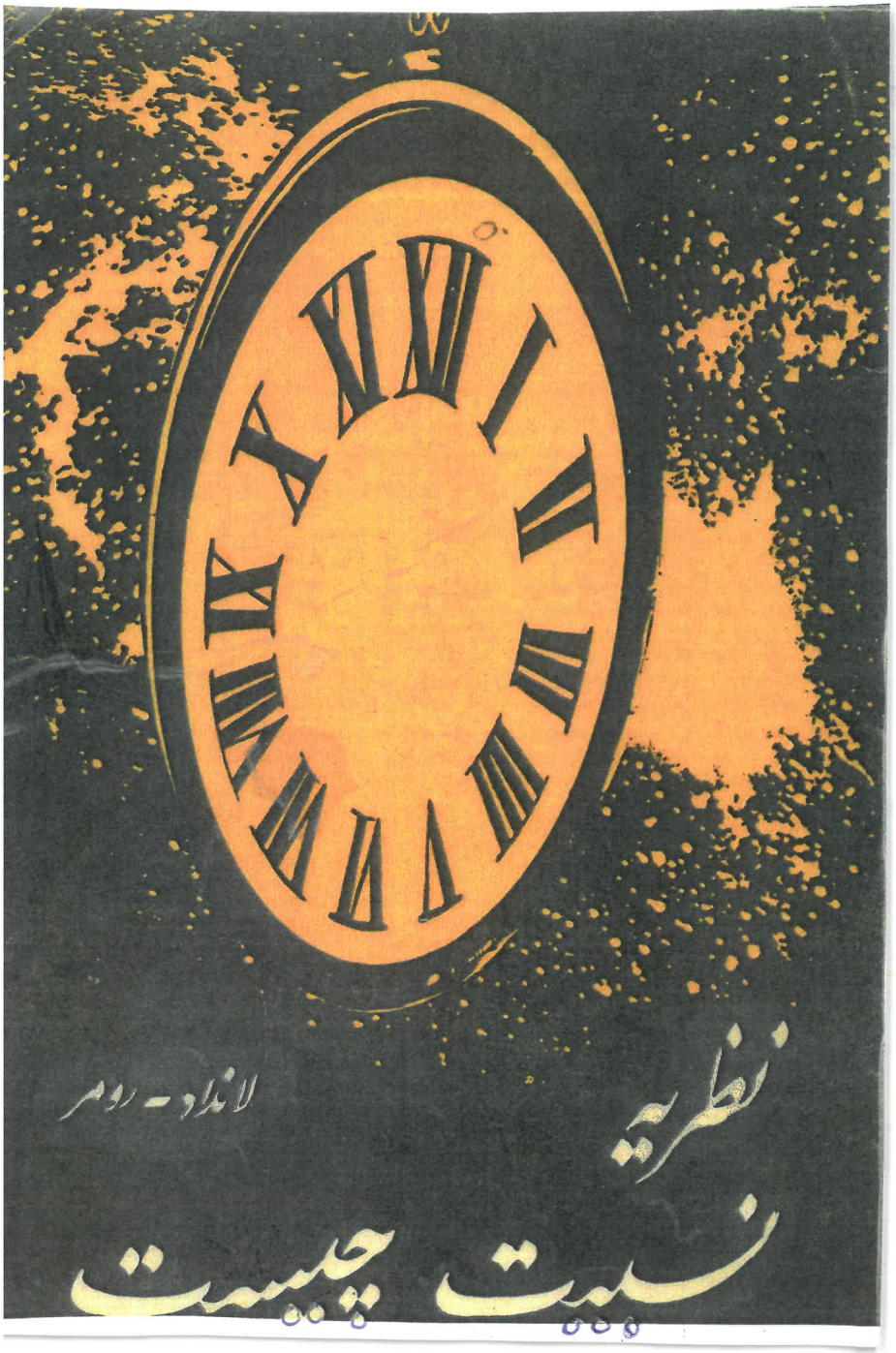

نظریه
نسبیت چیست
لانداو - رومر

بنگاه نشریات «میر»

Л. Д. ЛАНДАУ, Ю. Б. РУМЕР

Что такое теория относительности

Издательство «Советская Россия» Москва

ترجمه : انجنیر دوست محمد «علی‌زای»

На языке дари

© حق چاپ محفوظ و مخصوص
بنگاه نشریات «میر» است
۱۹۸۱

لانداو - رومر

نظریه نسبیت چیست

بنگاه نشریات «میر» — مسکو

پیشگفتار هیئت تحریریه

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

دکتر لانداو 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.

فهرست مطالب

ص

پیشگفتار هیئت تحریریه ۵
مقدمه ۶
فصل اول. نسبیتی که ما به آن عادت کرده‌ایم . . . ۷
آیا هر اظهار نظری معنی و مفهومی دارد؟ ۷
طرف راست و چپ ۷
اکنون روز است یا شب؟ ۸
کدام یک بزرگتر است؟ ۸
نسبی مطلق بنظر میرسد ۱۰
مطلق هم نسبی معلوم شد ۱۱
عقل سلیم به اعتراض می‌پردازد ۱۲
فصل دوم. فضا نسبی است ۱۳
آیا همان محل است یا نه؟ ۱۳
در واقع جسم چگونه حرکت میکند؟ ۱۴
آیا تمام نقطه نظرها معادل‌اند؟ ۱۵
حالت سکون یافت شد ۱۶
آزمایشگاه ساکن ۱۷
آیا قطار حرکت میکند؟ ۱۷
سکون بطور قطع از بین رفته است ۲۰
قانون اینرسی (جبر طبیعی) ۲۰
سرعت هم نسبی است ۲۱
فصل سوم. فاجعهٔ نور ۲۳
نور در آن واحد منتشر نمی‌شود ۲۳

آیا میتوان سرعت نور را تغییر داد؟ ۲۳
نور و صوت ۲۴
اصل نسبیت حرکت متزلزل بنظر میرسد . . . ۲۵
«اتر جهانی» ۲۷
حالت مشکلی بوجود می‌آید ۲۸
تجربه باید مسئله را حل سازد ۲۹
اصل نسبیت تسلط می‌یابد ۳۰
از باران زیر ناودان گریختن ۳۱
فصل چهارم. معلوم میشود زمان نسبی است ۳۳
آیا در واقع تضادی موجود هست؟ ۳۳
سوار قطار میشویم ۳۴
عقل سلیم رسوا شد ۳۵
زمان دچار سرنوشت فضا میشود ۳۷
پیروزی علم ۳۹
سرعت حدی را داراست ۳۹
زودتر و دیرتر ۴۲
فصل پنجم. ساعت‌ها و خط کش‌ها بوالهوسی می‌دارند . ۴۴
دوباره سوار قطار میگردیم ۴۴
ساعت‌ها منظماً عقب می‌مانند ۴۶
ماشین زمان ۴۸
مسافرت به ستاره ۵۰
اجسام کوتاه میشوند ۵۲
سرعت‌ها بوالهوسی میدارند ۵۶
فصل ششم. کار باعث تغییر جرم میشود ۵۹
جرم ۵۹
جرم افزایش می‌یابد ۶۰
قیمت یک گرام نور چقدر است ۶۱
نتیجه ۶۴

مقدمه

از زمان بوجود آمدن نظریهٔ نسبیت آلبرت اینشتین مدت بیشتر از شصت سال سپری میگردد. در طی این مدت زمانی این نظریه از نگاه برخی اشخاص بازیچهٔ عقلانی افکار بحساب می‌آمد ولی امروز به یکی از زیر بناهای اساسی فیزیک مبدل گردیده است. فیزیک معاصر بدون نظریهٔ نسبیت تقریباً مانند فیزیک بدون اطلاع و تصور درباره مالیکول‌ها و اتم‌ها غیر ممکن است. محال است از تمام پدیده‌های گوناگون فیزیکی که بدون نظریهٔ نسبیت توضیحشان غیر ممکن بود نام برد. براساس این نظریه دستگاه‌های بغرنجی از قبیل شتاب دهندهٔ ذرات بنیادی اختراع میگردد، فعل و انفعالات هسته‌ای حساب میشود و غیره.

با کمال تأسف نظریهٔ نسبیت برای هیچ کس جز تعداد محدود متخصصین چندان معلوم نیست. البته، این نظریه از جملهٔ «تئوری‌های مشکل» است و ممکن نیست از اشخاص غیر فیزیک‌دان انتظار داشت که ماهرانه از دستگاه ریاضی بس مشکل آن استفاده نمایند.

با وجود این ما گمان میکنیم که اطلاعات و ایده‌های اصلی نظریهٔ نسبیت‌را میتوان بشکل ساده و قابل فهم که شامل حال یک تعداد کثیر خوانندگان باشد، بیان کرد.

ما امیدواریم، خوانندگانی که کتاب را مطالعه می‌کنند در خاطرشان افکاری خطور نکند که نظریهٔ نسبیت در عبارت (همه چیز در جهان نسبی است) خلاصه میشود. برعکس، نظریهٔ نسبیت مانند هر تئوری صحیح دیگر فیزیک، قسمتی از علوم دربارهٔ حقیقت عینی بوده که منوط و مربوط به میل و خواهشات و سلیقه‌های احدی از اشخاص نمی‌باشد. با ترک تصورات قدیمی دربارهٔ فضاء (مکان)، زمان و جرم، ما قدری عمیقتر وارد این مبحث شده‌ایم که ساختمان حقیقی یا آفرینش جهان چگونه میباشد.

مؤلفین

فصل اول

نسبیتی که ما به آن عادت کرده‌ایم

آیا هر اظهار نظری معنی و مفهومی دارد؟

هویداست که نه. حتی اگر کلمات با معنی‌را انتخاب کرده و طبق قوانین گرامری از آنها جملهٔ سازیم، در این صورت هم ممکن است که جملهٔ بی‌معنا و مهمل از آن بدست آید. بطور مثال برای جملهٔ «این آب مثلثی شکل است» مشکل است که معنی و مفهومی دریافت کرد.

ولی متأسفانه پوچی همهٔ جملات بی‌معنی باین آسانی معلوم نمیشود و بسا مطالبی که در نظر اول مناسب و بامعنی بنظر میرسند در اثر تجزیه و تحلیل جدی کاملا بی‌معنی و بیهوده از کار در می‌آیند.

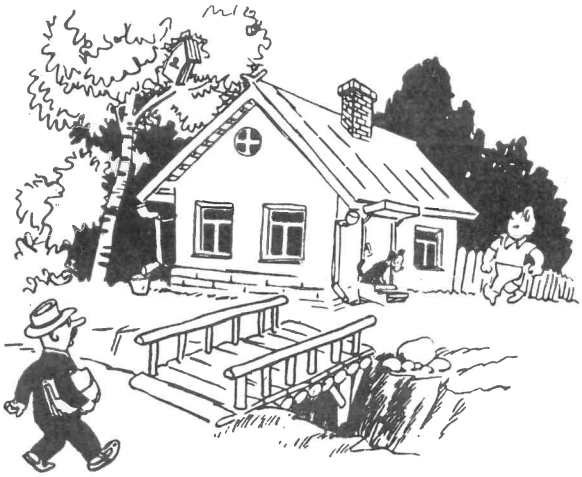
طرف راست و چپ

آیا خانه در کدام طرف سرک واقع است، طرف راست یا طرف چپ؟

به این سؤال فوراً نمیتوان جواب داد.

اگر از طرف پل بطرف جنگل حرکت کنیم خانه در سمت چپ و اگر برعکس از طرف جنگل بطرف پل حرکت نمائیم آنگاه خانه در سمت راست واقع میگردد. هویداست که ضمن صحبت دربارهٔ سمت راست و یا سمت چپ سرک نمیتوان جهتی‌را که ما نسبت بدان سمت راست یا چپ را مشخص می‌نمائیم از نظر دور داشت.

صحبت دربارهٔ ساحل راست دریا کاملا مفهوم معین دارد زیرا



که جریان آب جهت مسیر دریا را مشخص می‌سازد. قیاس بر این میتوان اظهار نمود که موتر در سمت راست حرکت میکند چونکه خود حرکت موتر سمتی از سرک یا جاده‌را مشخص میدارد.

همینطور، مفهوم «از راست» و «از چپ» امری است نسبی و فقط وقتی مشخص میگردد که سمتی که نسبت بدان معین شده است نشان داده شود.

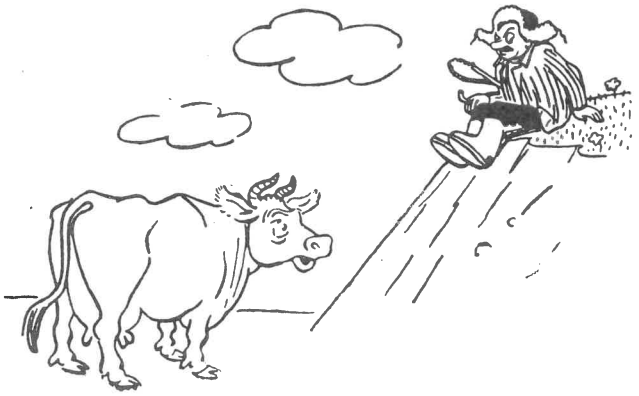
اکنون روز است یا شب؟

جواب این سوأل به مکان سؤال مربوط است. زمانیکه در مسکو روز بوده در ولادیوستوک شب است. در اینجا هیچ اختلافی نیست. زیرا روز و شب امری است نسبی و جواب بدون توجه به مکانی از کرهٔ زمین که سوأل در آنجا مطرح شده است غیرممکن میباشد.

کدام یک بزرگتر است؟

در رسم بالا گاوچران مسلماً از گاو بزرگتر است. در رسم پائین گاو از گاوچران بزرگتر است. در اینجا هیچ اختلافی نیست.

موضوع ازین قرار است که این دو رسم از نقاط مختلفی توسط مراقبت کنندگانی ترسیم شده است که یکی در نزدیکی گاو ایستاده و دیگری در نزدیکی گاوچران. در رسامی، اندازه‌های واقعی اشیاء ضروری نبوده بلکه مهم زاویه‌ایست که ما اشیاء را مشاهده میکنیم و این اندازه‌های زاویه‌ئی اشیاء محققاً نسبی است. صحبت دربارهٔ اندازه‌های زاویه‌ئی اشیاء در حالیکه به نقطه‌ئی از فضاء که در آنجا مراقبت به عمل می‌آید اشاره نگردیده باشد بی‌معنی است. بطور مثال اگر گفته شود: این منار تحت زاویهٔ ٤٥ درجه



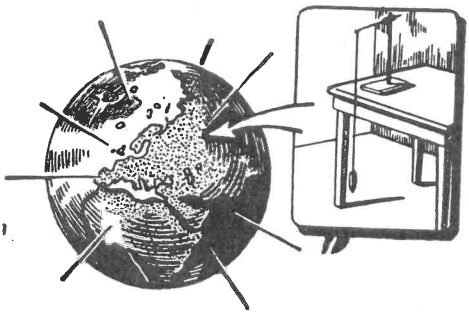
دیده میشود صراحتی در آن وجود ندارد. برعکس اگر گفته شود که منار از نقطهٔ واقع در فاصلهٔ ۱۵ متری تحت زاویهٔ ۴۵ درجه دیده می‌شود مفهوم و مطلبی‌را دارا و از چنین اظهار نظری برمیآید که منار ۱۵ متر ارتفاع دارد.

نسبی مطلق بنظر میرسد

اگر نقطهٔ مشاهده را به یک فاصلهٔ کمی تغییر مکان دهیم اندازه‌های زاویه‌ئی هم به مقدار کمی تغییر می‌یابند. بدین جهت است که در علم نجوم اکثراً اندازهٔ زاویه‌ئی بکار برده می‌شود. در نقشهٔ نجومی فاصلهٔ زاویه‌ئی بین ستارگان یعنی آن زاویه که تحت آن، فاصلهٔ بین ستاره‌ها از سطح زمین بنظر می‌آید، مشخص میشود.

معلوم است که اعم از چگونگی حرکت ما در روی زمین و اعم از اینکه از کدام نقطهٔ زمین به آسمان مینگریم همیشه ستارگان‌را از یکدیگر به همان فاصلهٔ که قبلا دیده‌ایم می‌بینیم. این امر مدیون عظمت فواصل غیر قابل تصوری است که مارا از ستارگان مجزا میدارد، تغییر محل ما در روی زمین در برابر این فواصل بقدری ناچیز است که بسهولت میتوان از آن صرف نظر نمود. به همین علت در حال موجود میتوان فاصلهٔ زاویه‌ئی را بعنوان اندازهٔ مطلق قبول کرد.

اگر گردش زمین بدور خورشید را مورد استفاده قرار دهیم آنگاه تغییرات اندازه‌های زاویه‌ئی گرچه چندان زیاد نمی‌باشد، قابل درک خواهد شد. و اگر نقطهٔ مشاهده را به یکی از ستارگان مثلا به سهیل تغییر دهیم، آنگاه تمام اندازه‌های زاویه‌ئی قسمی تغییر می‌نماید که ستارگان قابل دید ما در آسمان که از همدیگر فاصلهٔ زیاد دارند ممکن است که بیکدیگر نزدیک مشاهده گردند و برعکس.



مطلق هم نسبی معلوم شد

ما اکثراً می‌گوئیم: در «بالا»، در «پائین». آیا این مفاهیم مطلق‌اند یا نسبی؟

مردم در زمان‌های مختلف به این سؤالات جواب‌های متفاوت داده‌اند. زمانیکه مردم زمین‌را مثل قرص نان، مسطح فکر میکردند و نمیدانستند که زمین کروی است جهت عمودی‌را یک مفهوم مطلق تصور میکردند. در عین حال فرض میشد که در تمام نقاط سطح زمین جهت عمودی همان یک جهت است و صحبت از «بالا» و «پائین» مطلق امری است کاملا طبیعی.

زمانیکه کرویت زمین کشف شد مفهوم جهت عمودی در خاطرات مردم متزلزل گشت.

در واقع با توجه به شکل کروی زمین جهت خط عمود بطور قابل ملاحظه وابسته به آن نقطهٔ کره زمین است که از آن میگذرد.

در نقاط مختلف سطح زمین جهت خطوط عمود گوناگون خواهد بود. بدلیل اینکه مفهوم «بالا» و «پائین» بدون تعیین نقطهٔ مربوطه در سطح زمین معنی خود را از دست میدهد لذا این مفهوم از مطلق به نسبی تبدیل گشت. در تمام کائنات جهت عمودی واحدی وجود نداشته و بهمین جهت برای هر سمت دلخواه در فضاء ما میتوانیم نقطهٔ را در روی زمین نشان دهیم که در آن، جهت مذکور عمود باشد.

عقل سلیم به اعتراض می‌پردازد

اکنون برای ما این موضوعات فوق واضح، محقق، بدون شک و تردید است. و ضمناً تاریخ گواهی میدهد که درک مفهوم نسبیت «بالا» و «پائین» برای مردمان آن زمان کاری آسان نبوده است. اگر انسانها با تجارب و آزمون‌های یومیهٔ خود نسبیت مفاهیم را نتوانند دریابند آنگاه به قبول واقعیت مفهوم مطلق بیشتر مایل‌اند (همچون حالت «از راست» و «از چپ»).

مخالفت و اعتراضات خنده آوری‌را که در قرون وسطی مردم در برابر کرویت زمین داشتند بیاد می‌آوریم که میگفتند: پس انسانها چطور سرپائین راه خواهند رفت! ؟

اشتباه این چنین دلیلی در آنست که باصل نسبیت خط عمودی که ماحصل کرویت زمین است علم و آشنائی نداشتند.

و اگر اصل نسبیت خط عمودی‌را در نظر نگرفته و بطور مثال جهت خط عمودی در مسکو مطلق شمرده شود آنگاه بدون تردید اهالی زیلاند جدید سرپائین راه میروند. ولی این‌را هم در خاطر داشته باشید که از نظر مردمان زیلاند جدید اهالی مسکو نیز سرپائین راه میروند. هیچگونه اختلافی در این موضوع نیست زیرا که جهت عمود در واقع مطلق نبوده بلکه یک مفهوم نسبی می‌باشد.

یادآور می‌شویم تنها هنگامی به معنی حقیقی نسبیت خط عمودی واقف می‌شویم که دو نقطهٔ بقدر کافی دور از هم بر سطح کرهٔ زمین بطور مثال مسکو و زیلاند جدید را بررسی میداریم. ولی اگر دو نقطهٔ نزدیک بهم مثلا دو خانه در مسکورا در نظر بگیریم در این صورت تمام جهات خطوط عمودی عملا موازی با همدیگراند یعنی میتوان جهت خط عمودی را مطلق شمرد.

و تنها هنگامیکه ما با آن نواحیکه از لحاظ بزرگی با وسعت سطح زمین قابل قیاس می‌باشند سرو کار داریم کوشش استفاده نمودن از خط عمودی مطلق به نتایج بس مزخرف و مغایر هم خاتمه میابد.

مثال‌های فوق نشان میدهد که اغلب از مفاهیم و تصوراتیکه از آنها استفاده می‌نمائیم نسبی هستند یعنی زمانی دارای معنی حقیقی میگردند که شرایط مشاهده ذکر گردد.

فصل دوم

فضا نسبی است

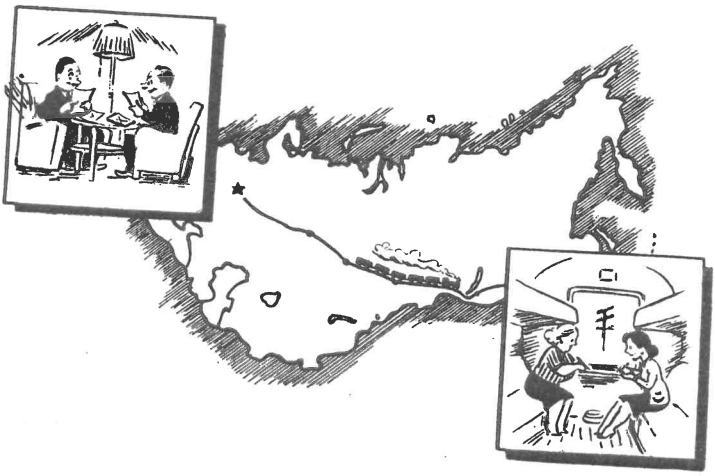
آیا همان محل است یا نه؟

غالباً میگوئیم که دو حادثه در یک محل رخ داده است و چنان به این موضوع عادی شده‌ایم که به این اظهار خود معنی مطلق میدهیم. ولی در حقیقت این چنین جملهٔ فاقد معنا است! مثل اینک گفته شود که اکنون ساعت پنج است ولی در ضمن به مکانی که در آنجا ساعت پنج است مثلاً در مسکو یا شیکاگو اشاره نشود.

برای درک کامل این مطلب فرض می‌کنیم که دو خانم سوار قطار سریع‌السیر مسکو — ولادیوستوک شده قرار گذاشته‌اند تا همه روزه در یک جای معین واگون با هم ملاقات داشته و به شوهران خود نامه بنویسند. اما غیر ممکن است که شوهران با این ادعا موافق باشند که خانمهایشان در همان یک نقطهٔ فضا ملاقات میکنند. برعکس شوهران برای اثبات اینکه آن نقاط صدها کیلومتر ازهم فاصله دارند تمام دلایل را در دست دارند زیرا که آنها از شهرهای یاروسلاول، پرم، سوردلفسک، تیومن، اومسک و خاباروفسک نامه حاصل داشته‌اند.

باین ترتیب این دو حادثه یعنی نوشتن نامه‌ها در روزهای اول و دوم مسافرت از نظر خانم‌های مسافر در یک محل اتفاق افتاده ولی از نظر شوهرانشان در فاصلهٔ صدها کیلومتر دور از هم رخ داده است.

حق به جانب کیست — خانم‌ها یا شوهران؟ هیچ دلیلی در دست نیست که به یکی از این دو طرف حق بدهیم. ما بخوبی مشاهده میکنیم که مفهوم «در همان یک محل و مکان» فقط امری است نسبی.



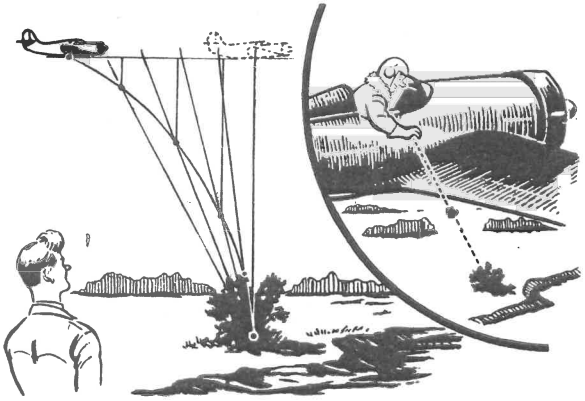
همینطور اظهار اینکه دو ستاره در آسمان بر هم منطبق‌اند بشرطی دارای معنی میگردد که منظور اظهارکننده از محل مراقبت، سطح زمین باشد. فقط در صورتی میتوان گفت دو حادثه در فضا بر هم منطبق است که به اجسامی اشاره گردد که نسبت بدانها محل وقوع این دو حادثه مشخص میشود.

همینطور، مفهوم موقعیت در فضا نیز نسبی است. وقتی ما دربارهٔ موقعیت جسمی در فضا سخن میگوئیم همیشه موقعیت آن جسم‌را نسبت به اجسام دیگری در نظر داریم. اگر ضمن سؤال دربارهٔ موقعیت یک جسم از ما مطالبه نمایند در جواب، نسبت آنرا با اجسام دیگر ذکر نکنیم در آنصورت باید تصدیق کرد که چنین سؤالی فاقد مفهوم و معنی است.

در واقع جسم چگونه حرکت میکند؟

از گفتار گذشته بر میآید که مفهوم «تغییر محل جسم در فضا» نیز امری نسبی است. اگر ما میگوئیم جسمی تغییر مکان داد پس معنی آنرا میدهد که موقعیت خودرا نسبت به اجسام دیگر تغییر داده است.

اگر حرکت جسمی از چند آزمایشگاهی که نسبت به یکدیگر



تغییر محل میدهند مراقبت گردد پس این حرکت بکلی متفاوت جلوه‌گر میگردد.

طیارهٔ در حال پرواز است. سنگی از آن بزمین می‌افتد. سنگ نسبت به طیاره به یک خط مستقیم سقوط میکند و نسبت به زمین به یک خط منحنی موسوم به خط عدسی سقوط می‌نماید.

پس، در حقیقت سنگ چگونه حرکت میکند؟

این سوءال هم به همان اندازه مفهوم کمی‌را داراست که سوءال در بارهٔ اینکه قمر در حقیقت تحت چه زاویه‌ئی دیده میشود؟ تحت آن زاویه که اگر از خورشید مراقبت میشد و یا تحت آن زاویه که از زمین ملاحظه میگردد؟

شکل هندسی منحنی که جسم بر روی آن تغییر محل میدهد دارای همان خواص نسبی است که عکس یک ساختمان داراست. همان قسمیکه اگر خانه‌ئی را از جلو و عقب عکاسی کنیم عکس‌های متفاوت حاصل میداریم، اگر حرکت یک جسم را هم از آزمایشگاه‌های مختلف مراقبت و ملاحظه کنیم منحنی‌های مختلف از آن بدست می‌آوریم.

آیا تمام نقطهٔ نظرها معادل‌اند؟

اگر هنگام مشاهدهٔ حرکت جسمی در فضا، منظور ما به شکل مسیر حرکت آن (منحنی که جسم روی آن حرکت میکند)

محدود میگشت آنگاه حل موضوع انتخاب محل مراقبت به حصول تصویر ساده و مناسبی منتهی میشد.

یک عکاس ماهر در موقع انتخاب محل عکس‌برداری زیبائی و ترکیب عکس آینده‌را در نظر دارد.

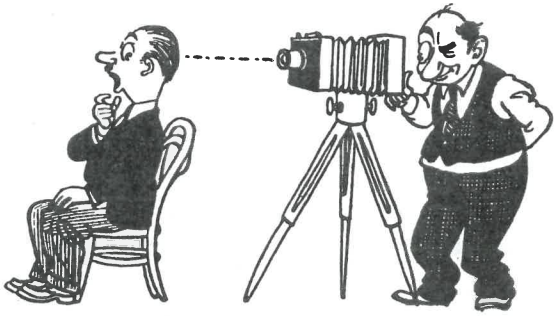
اما هنگام مطالعهٔ تغییر محل اجسام در فضا علاقمندی ما وسیعتر است. ما نه فقط میخواهیم خط سیررا بدانیم بلکه میخواهیم مسیر حرکت جسم را نیز در شرایط معین پیش‌بینی نمائیم. به عبارت دیگر ما میخواهیم قوانین هدایت‌کنندهٔ حرکت جسم را بدانیم که جسم را وادار می‌سازد تا بطرز خاصی و نه بطرز دیگری حرکت کند.

وقتیکه مسئله نسبیت حرکت را از این نقطهٔ نظر ملاحظه می‌کنیم واضح میگردد که تمام موقعیت‌ها در فضا معادل و یکسان نیستند.

اگر ما به عکاسی مراجعه و از وی خواهش نمائیم تا فوتو برای کارت هویت تهیه نماید واضح است که می‌خواهیم از سر و صورت ما عکاسی نماید و نه از پشت سر. همین خواهش است که معین می‌سازد تا عکاس از کدام نقطهٔ فضا باید از ما عکس بردارد. و هیچ نقطه و موقعیت دیگری نمیتواند جوابگوی شرط مذکور باشد.

حالت سکون یافت شد

در حرکت اجسام عوامل خارجی تاثیر میاندازد که ما آنهارا نیرو یا قوه مینامیم. مطالعهٔ تاثیرات این عوامل شاید



امکان بدهد مسئلهٔ حرکت‌را از دیدگاهی کاملا نوین بنگریم.

فرض کنیم جسمی‌را که تحت تاثیر هیچ نیروئی قرار ندارد در اختیار داریم. این جسم وابسته به اینکه از کجا ما آنرا می‌بینیم باشکال کم و بیش عجیب و غریب حرکت خواهد کرد. اما باید قبول نمود که طبیعی‌ترین موقعیت مشاهده‌کننده همان است که جسم در برابر آن در وضع سکون باشد.

بدین ترتیب، اکنون ما میتوانیم بدون توجه به تغییر محل جسم مورد نظر نسبت به اجسام دیگر تعریف کاملا جدیدی برای حالت سکون بیان نمائیم. خلاصه، جسمی که از تاثیر نیروی‌های خارجی در امان باشد در حالت سکون است.

آزمایشگاه ساکن

چطور میتوانیم به حالت سکون برسیم؟ چه وقت میتوانیم مطمئن باشیم که در جسم هیچ کدام نیروی خارجی تاثیر نمی‌کند؟

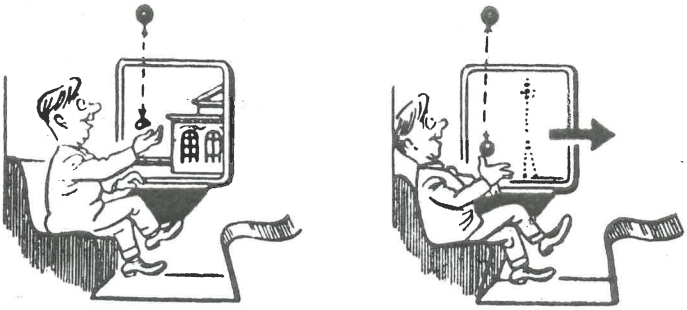
برای این منظور باید جسم مربوطه‌را از سایر اجسامیکه میتوانند در آن تاثیر وارد سازند دور نمائیم.

از این قبیل اجسام ساکن میتوانیم لااقل در تخیل خود یک آزمایشگاه کامل ساخته و اکنون در مورد خصوصیات حرکت مشاهده شده از این آزمایشگاه که آنرا ساکن نام مینهیم صحبت بداریم.

اگر خصوصیات حرکت که در آزمایشگاه دیگر مراقبت می‌گردد با خصوصیات حرکت در آزمایشگاه ساکن مغایر باشد در آنصورت بجرأت میتوانیم بگوئیم که آزمایشگاه اولی متحرک است.

آیا قطار حرکت میکند؟

بعد از آنکه ما معلوم نمودیم که حرکت در آزمایشگاه متحرک تابع قوانین متفاوت از قوانین آزمایشگاه ساکن است مفهوم حرکت ظاهراً خصوصیات نسبی خود را از دست داده است: در آینده



موقعیکه دربارهٔ حرکت سخن بمیان می‌آوریم ما باید تنها حرکت سکون نسبی‌را در نظر داشته و این چنین حرکتی را مطلق بنامیم.

آیا ما در تمام حالات تغییر مکان آزمایشگاه، انحراف از قوانین حرکت اجسام در آزمایشگاه ساکن‌را مشاهده خواهیم نمود؟

به قطاریکه سرعت یک‌نواخت داشته و بطور مستقیم حرکت می‌کند سوار میشویم. سپس به مراقبت حرکت اجسام داخل واگون پرداخته و آنرا با آنچه در یک قطار ساکن بوقوع می‌پیوندد مقایسه می‌نمائیم.

تجربهٔ روزانه بما می‌آموزد که حرکت اجسام در قطاریکه دارای حرکت یک نواخت و مستقیم است نسبت به قطار متوقف و ساکن هیچ تغییر و تفاوتی‌را دارا نمی‌باشد. همه میدانند در داخل واگون قطار متحرک توپی که بطور عمود به بالا انداخته

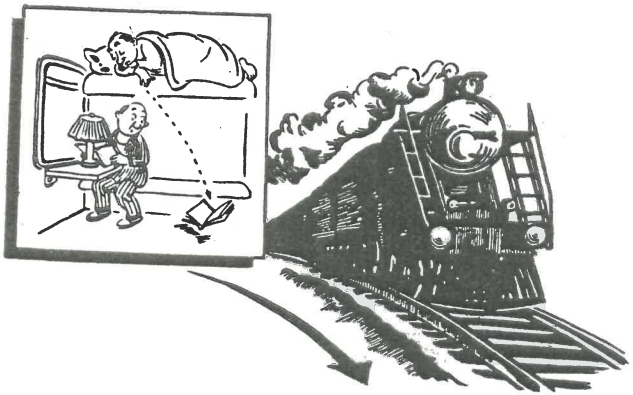
شود دوباره بدست ما می‌افتد و خط منحنی مانند شکل (صفحهٔ ۱۹) را ترسیم نمی‌نماید.

اگر از تکان‌های وارده که در اثر شرایط تخنیکی و فنی اجتناب‌ناپذیر است منصرف شویم هر عملی که در قطار دارای حرکت یکنواخت رخ میدهد مانند قطار متوقف خواهد بود.

این امر در حالیکه قطار سرعت خودرا کم و یا زیاد میسازد فرق می‌نماید. در حالت اولی به جلو و در حالت دومی به عقب تکان میخوریم و واضحاً احساس می‌کنیم که از حالت سکون خارج شده‌ایم.

اگر قطار در حالیکه با سرعت یکنواخت حرکت میکند جهت حرکت خود را تغییر دهد آنرا هم حس خواهیم کرد: هنگام حرکت در کج گردشی‌های شدید بطرف راست، ما به سمت چپ واگون و هنگام گردش بطرف چپ، ما به سمت راست واگون پرتاب می‌شویم.

در تعمیم این مشاهدات باین نتیجه میرسیم: مادامیکه یک آزمایشگاه نسبت به یک آزمایشگاه ساکن بطور مستقیم و یکنواخت حرکت کند نمیتوان در آن انحرافی از حالت اجسام موجود در آزمایشگاه ساکن پیدا نمود. ولی بمجرد اینکه سرعت آزمایشگاه متحرک از نظر مقدار (شتاب یا ابطا) یا جهت (هنگام کج گردشی) تغییر می‌نماید بلافاصله اثر این تغییرات در روش و وضع اجسام موجود در آن تاثیر وارد می‌سازد.



سکون بطور قطع از بین رفته است

خاصیت حیرت‌آور حرکت مستقیم و یکنواخت آزمایشگاه که در اجسام موجود در آن تاثیر نیاورد مارا وادار بر آن میسازد که در مورد مفهوم سکون تجدید نظر نمائیم. معلوم میگردد که حالت سکون و حالت حرکت مستقیم و یکنواخت هیچ فرقی با هم ندارند. آزمایشگاهی که بطور مستقیم و یکنواخت نسبت به آزمایشگاه ساکن حرکت میکند خودش میتواند ساکن پنداشته شود. و این بدان معناست که تنها یک حالت سکون مطلق وجود نداشته بلکه حالات گوناگون و بیشمار «سکون» وجود دارد. نه تنها یک آزمایشگاه «ساکن» بلکه تعداد بیشماری آزمایشگاه‌های «ساکن» که نسبت به همدیگر بطور مستقیم و یکنواخت با سرعت‌های متفاوت حرکت می‌نمایند موجود است.

از آنجا که حالت سکون نه مطلق بلکه نسبی معلوم میشود ما همیشه مجبوریم نشان دهیم که نسبت به کدام یک از آزمایشگاه‌های بی‌شماری که بطور مستقیم و یکنواخت نسبت بیکدیگر حرکت دارند حرکت جسم را مراقبت میداریم.

بدین ترتیب، با وجود این، ما نتوانسته‌ایم به مفهوم حرکت جنبهٔ مطلقیت دهیم.

این سؤال همیشه مطرح میگردد که ما حرکت‌را نسبت به کدام حالت «سکون» مراقبت میداریم؟

همینطور، ما به مهمترین قانون طبیعت که معمولا به اصل نسبیت حرکت یاد میگردد دست یافته‌ایم.

و آن حاکی است براینکه در تمامی آزمایشگاه‌هائی که نسبت به یکدیگر بطور مستقیم و یکنواخت حرکت میکنند حرکت اجسام طبق قوانین یکسان صورت میگیرد.

قانون اینرسی (جبر طبیعی)

از اصل نسبیت حرکت نتیجه میشود: جسمی که در آن هیچ قوای خارجی تاثیر وارد نمی‌نماید نه تنها در حالت سکون

بلکه در حالت حرکت مستقیم و یکنواخت هم میتواند باشد. این چنین حالتی در علم فیزیک بنام قانون اینرسی یاد میگردد.

اما این قانون در زندگی روزمره مستقیماً خود را ظاهر نساخته بلکه گویا روپوشی شده است. چون طبق قانون اینرسی جسمی که در حالت حرکت مستقیم و یکنواخت میباشد بدون تاثیرات قوای خارجی نیز باید حرکت خودرا بی‌پایان ادامه دهد ولی در جریان مشاهدات به این نتیجه میرسیم: هر جسمی که قوه‌ئی برآن وارد نسازیم از حرکت باز می‌ایستد.

حل مسئله در اینجاست که در تمام اجسام مورد مشاهدهٔ ما بعضی قوه‌های خارجی مانند قوهٔ اصطکاک تاثیر می‌نماید. بنابر این شرط لازم برای مشاهده و مراقبت قانون اینرسی یعنی عدم موجودیت قوه‌های خارجی وارده بر جسم، میسر نمی‌گردد. و اما با بهبود شرایط تجربی مثلا با کاهش قوهٔ اصطکاک میتوان به شرایط مطلوب که برای مشاهدهٔ قانون اینرسی لازم است رسید و همینطور صحت این قانون‌را در مورد حرکت‌هائی نیز که در زندگی روزمره مشاهده میشود ثابت کرد.

کشف اصل نسبیت حرکت، یکی از بزرگترین کشفیات بشمار میرود. بدون آن علم فیزیک قادر به پیشرفت و ترقی نمی‌بود. از این کشف ما مدیون نبوغ گالیلئو هستیم که باکمال شجاعت و تهور علیه تعلیمات ارسطو که در آن عصر حکمفرما بود و کلیسای کاتولیک با نفوذ خود از این تعلیمات حمایت میکرد مخالفت ورزید. بموجب نظریه ارسطو فقط قوه سبب حرکت میگردد و عدم آن حرکت‌را باز میدارد. گالیله با یک سلسله تجارب درخشان نشان داد که، برعکس، قوهٔ اصطکاک است که سبب توقف حرکت اجسام میگردد و اگر این قوه وجود نمیداشت جسمی که یکبار بحرکت در می‌آمد میتوانست برای همیشه بحرک خود ادامه بدهد.

سرعت هم نسبی است

از اصل نسبیت حرکت چنین نتیجه میشود که اگر هنگام بحث دربارهٔ حرکت مستقیم و یکنواخت جسم با یک سرعت معین

اشاره نشود که نسبت به کدام یک از آزمایشگاه‌های ساکن سرعت آن سنجش گردیده به همان اندازه بی‌معنی است که صحبت در بارهٔ طول جغرافیائی بدون توافق قبلی در بارهٔ اینکه از کدام نصف النهار باید آنرا حساب نمود.

معلوم میگردد که سرعت هم مفهومی است نسبی. هرگاه سرعت جسمی را نسبت به آزمایشگاه‌های ساکن مختلف تعیین کنیم ما نتایج مختلفی بدست خواهیم آورد. ولی با این همه، هرگونه تغییر سرعت از قبیل افزایش و کاهش و یا تغییر در جهت آن، مفهوم مطلق دارد و به اینکه ما در کدام یک از آزمایشگاه‌های ساکن حرکت را مشاهده و مراقبت می‌نمائیم وابستگی ندارد.

فصل سوم

فاجعهٔ نور

نور در آن واحد منتشر نمیشود

ما از موجودیت اصل نسبیت حرکت و آزمایشگاه‌های «ساکن» بیشمار اطمینان حاصل نمودیم. درین آزمایشگاه‌ها قوانین حرکت اجسام از همدیگر تفاوت ندارند. ولی یک شکل دیگری از حرکت هم وجود دارد که در نظر اول با اصل متذکرهٔ فوق مغایرت داشته و آن، انتشار نور است.

با اینکه نور دارای سرعت سیر بسیار زیاد ۳۰۰۰۰۰ کیلومتر در ثانیه می‌باشد در آن واحد منتشر نمی‌شود!

درک چنین سرعت فوق‌العاده زیادی مشکل است زیرا ما در زندگی روزانه با سرعتهائی برخورد می‌نمائیم که خیلی کمتر از سرعت نور است. بطور مثال حتی سرعت راکت فضائی شوروی فقط به ۱۲ کیلومتر در ثانیه میرسد. از تمام اجسامیکه ما با آنها سروکار داریم زمین دارای سریعترین حرکت گردشی بدور خورشید است. با این همه، سرعت آن فقط به ۳۰ کیلومتر در ثانیه میرسد.

آیا میتوان سرعت نور را تغییر داد؟

بخودی خود، سرعت بسیار زیاد انتشار نور چندان عجیب و حیرت‌آور نیست. چیزیکه باعث شگفت و تعجب میگردد این است که این سرعت ثابت و بدون تغییر می‌باشد.

غالباً حرکت هر جسم‌را میتوان بطور مصنوعی کم و یا زیاد نمود. حتی حرکت مرمی‌را. اگر سر راه مرمی صندوقی پر از ریگ گذاشته شود مرمی در موقع عبور از صندوق یک‌اندازه سرعت خودرا از دست داده و بعداً آهسته‌تر حرکت می‌نماید.

ولی موضوع نور بکلی طور دیگری است. در حالیکه سرعت مرسی منوط به نوع ساختمان تفنگ و خاصیت باروت بوده، سرعت نور اعم از منبع آن همیشه ثابت و یکسان است.

سر راه شعاع نور شیشه‌ئی را میگذاریم. از آنجا که سرعت نور در شیشه کمتر از خلا میباشد نور هنگام عبور از شیشه از سرعت خود کاسته ولی همینکه از شیشه عبور کرد مجدداً باهمان سرعت ۳۰۰۰۰۰ کیلومتر در ثانیه براه خود ادامه میدهد!

انتشار نور در خلأ بتفاوت از سایر حرکت‌های دیگر خاصیت بس مهمی‌را داراست و آن اینکه نمیتوان سرعت آنرا کم و یا زیاد کرد. علیرغم همهٔ تغییراتی‌را که شعاع نور هنگام عبور از ماده متحمل میشود به محض خروج در خلأ سرعت اولیهٔ خودرا باز یافته و منتشر میگردد.

نور و صوت

نور از نظر انتشار مشابه به صوت بوده و با حرکت اجسام معمولی شباهتی ندارد. صوت عبارت از حرکت نوسانی همان محیط است که در آن پخش میشود. از این رو خصوصیات محیط مشخص‌کنندهٔ سرعت صوت است و نه خواص اجسام تولیدکنندهٔ صوت: سرعت صوت مثل سرعت نور حتی هنگام عبور از سایر اجسام، قابل کاهش و افزایش نمی‌باشد.

مثلا اگر در سر راه انتشار صوت یک دیوار فلزی قرار داده شود صوت سرعت خود را در داخل دیوار تغییر داده و بمجردیکه از دیوار خارج و به محیط اول رسید سرعت اولیه‌را باز می‌یابد.

در زیر سرپوش پمپ هوا یک چراغ برقی و یک زنگ برقی‌را قرار میدهیم و بعد شروع به تخلیهٔ هوا از داخل سرپوش می‌نمائیم. صدای زنگ بتدریج تا موقعیکه دیگر قابل شنیدن نباشد کم میگردد ولی چراغ مانند سابق روشن باقی می‌ماند.

این تجربه مستقیماً ثابت می‌نماید که انتشار صوت فقط در محیط مادی اما انتشار نور حتی در خلأ هم امکان‌پذیر است. واین، فرق اساسی میان نور و صوت است.

اصل نسبیت حرکت متزلزل بنظر میرسد

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

قطاری را در نظر مجسم کنیم که با سرعت بسیار زیاد ۲۴۰۰۰۰ کیلومتر در ثانیه در حرکت است. فرض کنیم ما در اولین واگون قطار قرار داریم و در واگون آخر قطار یک چراغ روشن میشود. بیائید فکر کنید که اندازه‌گیری زمان سیر نور از انتهائی به انتهای دیگر قطار چه نتایجی‌را ممکن است بدست بدهد.

بنظر میرسد که این زمان با وقتی که برای این کار در قطار ساکن بدست می‌آید متفاوت است. در حقیقت نسبت به قطاریکه با سرعت ۲۴۰۰۰۰ کیلومتر در ثانیه حرکت دارد نور باید دارای سرعتی (به پیش، در جهت حرکت قطار) فقط معادل ۳۰۰۰۰۰ — ۲۴۰۰۰۰ = ۶۰۰۰۰ کیلومتر در ثانیه باشد. مثل آنست که نور در تعقیب دیوار جلوئی واگون اول که در حال گریز است بکوشد به آن برسد. اگر چراغ را در انتهای جلو قطار قرار دهیم و زمان لازم برای رسیدن نور به انتهای قطار را اندازه بگیریم آنگاه بنظر میرسد که سرعت نور در جهت مخالف حرکت قطار بایستی ۲۴۰۰۰۰ + ۳۰۰۰۰۰ = ۵۴۰۰۰۰ کیلومتر در ثانیه باشد. (نور و واگون آخری قطار به ملاقات همدیگر میروند).

پس چنین بر می‌آید که در قطار متحرک نور بایستی در جهات مختلف با سرعت‌های متفاوت انتشار شود. و حال آنکه در قطار متوقف سرعت نور در هر دو جهت یکسان می‌باشد.

این امر در مورد مرمی کاملا متفاوت است. اگر در قطاری که در حال حرکت است خواه در جهت موافق حرکت و خواه در جهت مخالف آن تیراندازی شود سرعت مرمی نسبت به دیوار واگون همیشه یکسان و برابر به سرعت سیر مرمی در واگون متوقف می‌باشد.

مطلب در اینجاست که سرعت مرمی به سرعت حرکت تفنگ

بستگی دارد حال آنکه سرعت نور همانطوریکه قبلا گفتیم با جابجا شدن چراغ تغییری نمی‌نماید.

به نظر میرسد که مباحثهٔ ما واضح میگرداند که انتشار نور با اصل نسبیت حرکت کاملا مغایر است. در حالیکه مرمی با سرعت یکسان هم در قطار ساکن و هم در قطار متحرک نسبت بدیوار واگون در حرکت است نور در قطاریکه با سرعت ۲۴۰۰۰۰ کیلومتر در ثانیه در حال حرکت می‌باشد به یک سو ۵ مرتبه کندتر و به سوی دیگر ۱٫۸ مرتبه سریعتر نسبت به قطار ساکن انتشار می‌یابد. *

به نظر می‌آید که مطالعه و بررسی انتشار نور مارا قادر می‌گرداند که سرعت مطلق حرکت قطار را تعیین نمائیم.

امیدی به ظهور میرسد: آیا امکان دارد که با استفاده از پدیدهٔ انتشار نور، مفهومی برای سکون مطلق تعیین کنیم؟

---

* به ترتیب $\frac{۳۰۰۰۰۰}{۶۰۰۰۰} = ۵$ و $\frac{۵۴۰۰۰۰}{۳۰۰۰۰۰} = ۱٫۸$ (مترجم).

آزمایشگاهی‌را که نور با سرعت یکسان ۳۰۰۰۰۰ کیلومتر در ثانیه به تمام جهات انتشار می‌یابد میتوانیم ساکن مطلق بنامیم. در تمامی آزمایشگاه‌های دیگری که نسبت به این آزمایشگاه بطور مستقیم و یکنواخت حرکت می‌کند سرعت نور در جهات مختلف باید متفاوت می‌بود. در اینصورت هیچ گونه نسبیت حرکت، نسبیت سرعت یا نسبیت سکون که فوقاً برقرار نمودیم وجود نخواهد داشت.

«اتر* جهانی»

درک این مطلب چگونه است؟ فیزیک دانان زمانی با استفاده از تشابه پدیده‌های انتشار صوت و نور، یک محیط مخصوصی بنام اتر وارد نمودند که نور در آن همان طور منتشر میشد که صوت در هوا. ضمناً فرض میشد که همهٔ اجسام در موقع حرکت در اتر آنرا بدنبال خود نمی‌کشند درست مانند قفسی از ترکهٔ نازک چوبی که در آب حرکت میکند و آنرا بدنبال خود بجریان نمی‌اندازد.

اگر قطار ما نسبت به اتر ساکن باشد نور در تمام جهات با سرعت یکسان انتشار خواهد یافت. حرکت قطار نسبت به اتر بلافاصله بدینصورت ظاهر میگردد که سرعت انتشار نور برای جهات مختلف متفاوت میشود.

اما طرح موضوع اتر یعنی محیطی که ارتعاشات آن بشکل نور آشکار میگردد سؤالات متحیرانه‌ای پیش می‌آورد. در مرحلهٔ اول خود این فرضیه آشکارا جنبهٔ مصنوعی بخود میگیرد. در واقع خواص هوا را میتوانیم نه تنها با انتشار صوت در آن بلکه با بکار بردن طریقه‌های مختلف تحقیقات فیزیکی و کیمیائی نیز مطالعه

---

* طبق نظر غلط و منسوخ، اتر جسم قابل ارتجاعی است که گویا فضا و فواصل میان ذرات اجسام‌را پر کرده و حاوی گرما و روشنائی میباشد (مترجم).

کنیم. و اما بیک علت مرموز اتر در اکثر پدیده‌ها شرکت نداشته است. تعیین غلظت و فشار هوا با وسایل ابتدائی و سادهٔ اندازه‌گیری امکان‌پذیر است. ولی باوجود کوشش‌های زیادی که برای کسب اطلاعاتی در بارهٔ غلظت و فشار اتر بکار برده شده نتیجهٔ مطلوب بدست نیامده است.

یک وضع و حالت کاملا مزخرف بوجود آمده است.

البته میتوان تمام پدیده‌های طبیعی‌را با استفاده از مایع مخصوصی که دارای خواص لازم باشد، «توضیح کرد». اما اختلاف بین نظریهٔ حقیقی یک پدیده و بیان ساده و به اصطلاح علمی حقایق معلوم در آن است که از نظریهٔ مربوطه نتایج مطلوب بیشتری ناشی میگردد تا از خود واقعیت که استناد بر آن کرده میشود. مثلا باوجود اینکه مفهوم اتم در علم در ارتباط با مسایل کیمیائی وارد علم شد تصور دربارهٔ اتم‌ها امکان توضیح و پیش‌گوئی پدیده‌های بسیار زیادی‌را داد که کوچکترین ارتباطی با کیمیا ندارند.

براستی که ما تصور دربارهٔ اتررا به تصوری که در یک آدم وحشی از مشاهدهٔ کار گرامافون حاصل میشد میتوانیم تشبیه نمائیم چراکه او گمان می‌نمود در آن صندوقچهٔ سحرآمیز، «روح گرامافون» مخصوصی زندانی شده است.

اینگونه «توضیحات» براستی که هیچ‌چیزرا روشن نمی‌سازد.

فیزیک‌دانان قبل از عهد اتر نیز از این قبیل تجارب تلخ داشتند: زمانی بود آنها پدیدهٔ احتراق را نیز خاصیت یک مایع مخصوص بنام فلوژیستن، و پدیده‌های حرارتی‌را خاصیت مایع دیگری بنام حرارت‌زا میدانستند. اتفاقاً این دو مایع مانند اتر مطلقاً نایاب بوده است.

حالت مشکلی بوجود می‌آید

اصل قضیه در این است که تخلف نور از اصل نسبیت حرکت بطور اجتناب‌ناپذیر می‌بایست سایر اجسام‌را نیز به تخلف از اصل نسبیت حرکت سوق میداد.

در حقیقت هم هر محیط مادی در مقابل حرکت اجسام مقاومت از خود نشان میدهد. از این رو تغییر محل جسم در اتر هم باید با قوهٔ اصطکاک ارتباط پیدا میکرد و حرکت جسم باید کند شده و بالاخره جسم به وضع سکون قرار میگرفت. واما (بموجب حقایق زمین شناسی) زمین میلیاردها سال است که بدور خورشید می‌چرخد و کوچکترین علایمی دربارهٔ بریکشدن وی در اثر اصطکاک مشاهده نمیگردد.

همینطور هنگامیکه برای توضیح و تشریح نمودن روش عجیب نور در یک قطار متحرک با موجودیت اتر کوشش کردیم به بن بست رسیدیم. تصور دربارهٔ اتر تضاد بین تخلف نور از اصل نسبیت و رعایت آن در سایر حرکت‌هارا رفع نمیگرداند.

تجربه باید مسئله‌را حل سازد

این تضاد را چه باید کرد؟ قبل از اینکه در این باره اظهار نظری کرده باشیم به قرائن زیر توجه میکنیم.

تضاد بین انتشار نور و اصل نسبیت حرکت‌را ما تماماً از طریق استدلال بدست آوردیم.

تکرار مینمائیم که براستی این استدلال نسبتاً قانع‌کننده بود. ولی اگر ما فقط به استدلال قانع میشدیم به برخی از فلاسفه عصر باستان که کوشش میکردند قوانین طبیعی را از اذهان خود استخراج کنند شباهت پیدا میکردیم. درین صورت لاجرم این خطر رخ میدهد که دنیائی که از این طریق ساخته شده با تمام برازندگی خود با دنیای حقیقی کاملا غیر مشابه معلوم شود.

محکمهٔ عالی تمامی نظریات فیزیکی تجربه میباشد و بنا بر این نباید خودرا به قضاوت در مورد انتشار نور در قطار متحرک مقید سازیم بلکه باید به تجربه‌ئی که عملا نشان‌گر چگونگی انتشار نور در آن شرایط باشد رو آوریم.

ترتیب و تنظیم یک چنین تجربهٔ از آن جهت آسان میگردد که خود ما در یک جسم متحرک زندگی میکنیم. زمین بدور خورشید اصلا بشکل مستقیم‌الخط حرکت نکرده و بنا بر این از

نظر هیچ آزمایشگاه ساکنی نمیتواند در حالت سکون دایمی بماند.

حتی اگر آزمایشگاهی‌را که زمین در ماه جنوری نسبت به آن ساکن باشد مبداء بررسی قرار دهیم، از آنجا که جهت حرکت زمین بدور خورشید متغیر است آزمایشگاه مربوطه بدون شک و تردید در ماه جولای در حال حرکت خواهد بود. بنا بر این مطالعهٔ انتشار نور در روی زمین، در حقیقت مطالعهٔ انتشار نور در آزمایشگاه متحرک بوده که سرعتش — ۳۰ کیلومتر در ثانیه — نسبت به شرایط ما کاملاً زیاد است. (از گردش زمین بدور محورش که سرعت‌هائی تا نیم کیلومتر در ثانیه‌را بوجود می‌آورد میتوان صرف نظر کرد.)

آیا ما حق داریم کرهٔ زمین را به قطار متحرکی که قبلا از آن تذکر بعمل آمده و مارا به مخمصه انداخته بود تشبیه کنیم؟ آخر، قطار بطور مستقیم و یکنواخت حرکت میکند و زمین بر روی دایره؟ بله حق داریم. میتوان قبول کرد که در قسمتی ناچیز از ثانیه که نور از آلات و افزار آزمایشگاه عبور می‌نماید زمین بطور مستقیم و یکنواخت حرکت میکند. این اشتباه وارده بقدری ناچیز است که قابل درک نمی‌باشد.

اما چون ما قطار را با زمین مقایسه نمودیم این انتظار ما طبیعی است که رفتار نور در روی زمین با همان غرابتی باشد که رفتار آن در قطار یعنی در جهات مختلف با سرعت‌های متفاوت انتشار یابد.

اصل نسبیت تسلط می‌یابد

در سال ۱۸۸۱ چنین تجربه‌ئی توسط مایکلسن یکی از بزرگترین آزمایشگران قرن گذشته بعمل‌آمد که سرعت نور را در جهات مختلف نسبت به زمین با دقت هر چه بیشتر اندازه گرفت. مایکلسن برای دریافت اختلاف کوچک تخمینی سرعت نور به دقیق‌ترین و موشکاف‌ترین وسایل تجربی متوسل گشت و بدین مناسبت در کشف و اختراع آن‌ها استعداد فوق‌العاده زیادی از خود بروز داد. دقت تجربه بقدری عالی بود که میتوانست اختلاف میان سرعت‌هارا، بمراتب کوچکتر از آنچه قبلا انتظار میرفت، کشف نماید.

تجربهٔ مایکلسن تا حال چندین بار در شرایط مختلف تکرار شد و به یک نتیجهٔ کاملا غیرمنتظره منتهی گردید. واضح گشت که انتشار نور در آزمایشگاه متحرک در حقیقت با آنچه که قبلا استنباط کرده بودیم کاملا متفاوت است. مخصوصاً مایکلسن کشف نمود که در روی زمین متحرک نور در تمامی جهات با سرعت یکسان انتشار می‌یابد. انتشار نور از این نقطهٔ نظر مشابه پرواز مرمی صورت میگیرد یعنی بدون وابستگی به حرکت آزمایشگاه و با سرعت یکسان در تمامی جهات نسبت بدیوارهای آن.

همینطور، تجربهٔ مایکلسن نشان دادکه برخلاف قضاوت ما پدیدهٔ انتشار نور با اصل نسبیت حرکت هیچ کدام تضادی نداشته و بر عکس با آن مطابقت کامل دارد. بقول دیگر، قضاوت و استدلال ما که در سابق در صفحهٔ ۲۵ بیان گردید مبنی بر اشتباه است.

از باران زیر ناودان گریختن

با این ترتیب تجربه مارا از یک تضاد شدید بین قوانین انتشار نور و اصل نسبیت حرکت رهائی بخشید. معلوم گردید که این تضاد فقط ظاهری بوده و از قضاوت نادرست ما سرچشمه میگیرد. این اشتباه بالاخره به کجا خاتمه می‌یابد؟

از سال ۱۸۸۱ تا سال ۱۹۰۵ تقریباً یک ربع قرن دانشمندان علم فیزیک تمام جهان برای حل این مسئله سرهای خود را بدرد آوردند ولی ناگزیر تمام توضیحات پیشنهاد شده منجر به اختلاف‌های تازه و تازه‌تری بین تئوری و تجربه گردید.

اگر منبع صوت و شخص ناظر در یک قفس متحرک که از ترکه‌های نازک چوبی درست شده جابجا شوند آنگاه شخص ناظر جریان هوای شدیدی‌را احساس خواهد کرد. اگر سرعت صوت‌را نسبت به قفس اندازه گیریم پس سرعت صوت در جهت حرکت قفس کمتر از سرعت آن در جهت مخالف می‌باشد.

با این همه اگر منبع صوت را در واگونی که دروازه‌ها و کلکین‌هایش بسته است قرار دهیم و سرعت صوت را اندازه بگیریم

خواهیم دید که چون واگون هوارا با خود میبرد پس سرعت صوت در آن در تمام جهات یکسان است.

با تغییر موضوع از صوت به نور میتوانیم برای توضیح نتیجهٔ تجربهٔ مایکلسن بترتیب زیر فرض کنیم. برخلاف قفس از ترکه‌های نازک چوبی، زمین ضمن حرکت خود در فضا اترا آرام نگذاشته، برعکس، فرض کنیم که اترا با خود گرفته و بشکل یکپارچه با آن حرکت کند. آنگاه نتیجهٔ تجربهٔ مایکلسن کاملا قابل درک است.

اما این فرض با تجارب متعدد دیگر کاملا اختلاف دارد، مثلا، با انتشار نور در نلی که آب در آن جاری است. اگر فرض با خود گرفتن اتر صحت داشت آنگاه در موقع سنجش سرعت نور در جهت جریان آب، ما سرعتی‌را حاصل می‌نمودیم برابر با سرعت نور در آب ساکن باضافهٔ سرعت حرکت آب. حال آنکه در اندازه‌گیری مستقیم، سرعتی حاصل میگردد که از استدلال فوق کمتر می‌باشد.

ما قبلا در بارهٔ این موضوع عجیب تذکر دادیم که اجسام هنگام عبور از طریق اتر با قوهٔ اصطکاکی قابل ملاحظهٔ برخورد نمی‌نمایند. اما اگر اجسام نه تنها از طریق اتر عبورکنند بلکه یک اندازهٔ از آنرا نیز با خود ببرند، در این صورت اصطکاک باید قابل ملاحظه شود.

همینطور، تمام کوشش‌ها برای برطرف کردن تضادی که بعد از نتیجهٔ غیرمنتظرهٔ تجربهٔ مایکلسن بمیان آمده بود بموفقیت نیانجامید.

تجربهٔ مایکلسن اصل نسبیت حرکت‌را نه تنها برای اجسام معمولی بلکه برای پدیدهٔ انتشار نور نیز یعنی برای تمامی پدیده‌های طبیعی مورد تأیید قرار میدهد.

همانطوریکه ما قبلا دیدیم از اصل نسبیت حرکت مستقیماً اصل نسبیت سرعت سرچشمه میگیرد: مقدار سرعتِ برای آزمایشگاه‌های مختلف که نسبت به یکدیگر متحرک هستند باید متفاوت باشد. ولی از جانب دیگر، سرعت نور که معادل ۳۰۰۰۰۰ کیلومتر در ثانیه است برای تمامی آزمایشگاه‌ها یکسان خواهد بود. بنا بر این، سرعت نور نسبی نبوده بلکه مطلق است.

فصل چهارم

معلوم میشود زمان نسبی است

آیا در واقع تضادی موجود هست؟

در نظر اول ممکن است چنین بنظر آید که ما با تضاد کاملا منطقی مواجه هستیم. ثابت بودن سرعت نور در جهات مختلف تأییدکنندهٔ اصل نسبیت بوده و در عین حال خود سرعت نور مطلق است.

با این همه، برخورد انسانهای قرون وسطی‌را به واقعیت کروی بودن زمین بخاطر بیاوریم: برای آنها شکل کروی زمین با موجودیت قوهٔ جاذبه شدیداً در تضاد بود، چه تمام اجسام باید از زمین

«به پائین» می‌افتادند حال آنکه ما به یقین میدانیم که در این مورد هیچ گونه تضاد منطقی وجود ندارد، بطور ساده مفهوم «بالا» و «پائین» امری مطلق نبوده بلکه نسبی است.

موضوع انتشار نور نیز در یک چنین وضعی قرار دارد.

تجسس تضاد منطقی بین اصل نسبیت حرکت و سرعت مطلق نور، کاری بیهوده خواهد بود. چه در اینجا تضاد فقط بدین علت بوجود میآید که ما در این مورد بدون اینکه متوجه باشیم فرضیه‌های دیگری‌را برای خود وارد موضوع کردیم همانطوریکه مردم قرون وسطی کرویت زمین‌را رد کرده و مفاهیم بالا و پائین را امری مطلق می‌پنداشتند. اعتقاد به بالا و پائین مطلق که برای ما خنده‌آور است از تجارب غیرمکفی آنان سرچشمه میگرفت چه در آن زمان مردم خیلی کم مسافرت میکردند و فقط به یک قسمت محدود سطح زمین آشنائی داشتند. احتمالا برای ما نیز عین قضیه رخ داده است. از قرار معلوم بنا بر غیرمکفی بودن تجارب خود چیزی نسبی را بعنوان مطلق قبول کردیم. پس چه چیزی‌را؟

از این لحظه به بعد برای دریافت اشتباه خود تنها به حقایق متکی بر تجارب اتکاء خواهیم نمود.

سوار قطار میشویم

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

در یک لحظهٔ معین در وسط قطار چراغ روشن میگردد. در واگون جلو و عقب قطار دروازه‌های اتوماتیک نصب گردیده است که بمحض تابش نور چراغ به آنها باز میشوند. مردمان داخل قطار و کسانیکه در ایستگاه ایستاده‌اند چه خواهند دید؟

در جواب به این سؤال مطابق قرار قبلی، فقط از عوامل تجربی پیروی خواهیم کرد.

مردمانیکه در داخل قطار نشسته‌اند مراتب زیر را خواهند

دید. از آنجا که طبق تجربهٔ مایکلسن نور نسبت به قطار با سرعت یکسان یعنی ۳۰۰۰۰۰ کیلومتر در ثانیه در تمام جهات انتشار می‌یابد بنالذا پس از ۹ ثانیه (۲۷۰۰۰۰۰ ÷ ۳۰۰۰۰۰ = ۹) همزمان به واگون عقب و جلو میرسد و هر دو دروازه در یک لحظه باز می‌شوند.

و اما مردمانیکه در ایستگاه ایستاده‌اند چه می‌بینند؟ نور نسبت به ایستگاه نیز با سرعت ۳۰۰۰۰۰ کیلومتر در ثانیه انتشار می‌یابد. چون واگون عقبی به پیشواز شعاع نور حرکت می‌کند بدین لحاظ نور بعد از ۵ ثانیه $\left(\frac{۲۷۰۰۰۰۰۰}{۳۰۰۰۰۰ + ۲۴۰۰۰۰} = ۵\right)$ با واگون عقبی ملاقی میشود. ولی در مورد واگون جلو شعاع نور باید خودرا به آن برساند و بدین لحاظ بعد از سپری شدن مدت ۴۵ ثانیه $\left(\frac{۲۷۰۰۰۰۰}{۳۰۰۰۰۰ - ۲۴۰۰۰۰} = ۴۵\right)$ به آن میرسد.

بدین ترتیب، مردمانیکه در ایستگاه ایستاده‌اند بنظرشان میرسد که دروازه‌های قطار همزمان باز نمیشود. اولا دروازه‌های عقب و پس‌از ۴۰ ثانیه (۴۵ — ۵ = ۴۰) دروازه‌های جلو باز خواهند شد.*

همینطور دو حادثهٔ کاملا مشابه، باز شدن دروازه‌های جلو و عقب قطار برای مردمانیکه در قطار نشسته‌اند همزمان معلوم میشود و برای مردمانیکه در ایستگاه ایستاده‌اند یکی پس از دیگری با فاصلهٔ ۴۰ ثانیه رخ خواهد داد.

عقل سلیم رسوا شد

آیا در این مورد تضادی هست؟ آیا واقعیت مکشوفه همانند این که گفته شود: «طول تمساح از دم تا سر دومتر و از سر تا دم یک متراست» یک چیز مهملی نیست؟

---

* این قضاوت و استدلال در صفحات بعدی کمی دقیق‌تر مطرح خواهد شد (به صفحهٔ ۵۳ و ۵۴ رجوع شود).

سعی میداریم تا دریابیم چرا نتیجهٔ حاصله با وجود اینکه با واقعیتهای تجربی کاملا مطابقت دارد اینقدر بی‌معنا بنظر ما جلوه می‌نماید.

هر قدر هم فکر نمائیم بازهم نمیتوانیم هیچ تضاد منطقی در این موضوع پیدا کنیم که دو پدیدهٔ که برای مردمان سوار قطار، همزمان و برای مردمان ایستاده در ایستگاه با فاصلهٔ ٤٠ ثانیه حادث شد.

تنها چیزیکه جهت تسلی خاطر خود میتوانیم اظهار نمائیم آنست که استنباط ما با «عقل سلیم» مغایرت دارد.

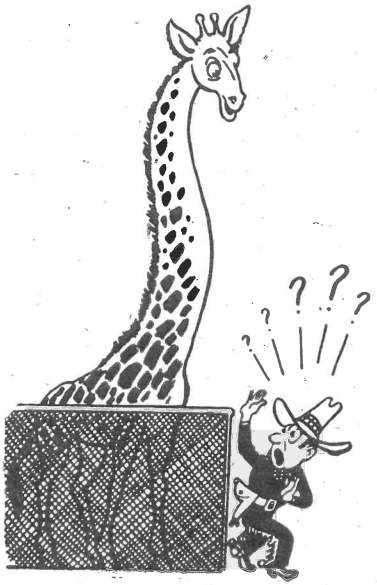
ولی بخاطر بیاوریم که «عقل سلیم» مردم قرون وسطی چطور با حقیقت گردش زمین بدور خورشید مخالفت می‌نمود! زیرا که در حقیقت، تمام تجارب روزمره به مردم قرون وسطی بطور انکارناپذیر نشانگر آن بود که زمین ساکن بوده و خورشید بدور آن میچرخد. و آیا مردم، آن دلیل مضحک بر ضد کرویت زمین‌را که اظهار میداشتند، مرهون «عقل سلیم» نبودند؟!

تصادم «عقل سلیم» با حقیقت عینی، در لطیفهٔ معروفی به باد مسخره افتاده که بموجب آن یک دهقان به باغ وحش رفته زمانیکه چشمش به زرافه افتاد فریاد کشید: «این غیر ممکن است!»

باصطلاح عقل سلیم، چیز دیگری جز تعمیم سادهٔ تصورات و عادت زندگی روزمره نمیباشد.

این، سطح معین ادراک است که سطح تجربه‌را منعکس میسازد.

تمام مشکل درک و فهم این نکته که دو حادثه در قطار در یک زمان رخ داده و برای مردم در ایستگاه غیر همزمان بنظر میرسد خیلی شبیه مشکل همان دهقان است که از دیدن زرافه متعجب گشت. مانند آن دهقان که هرگز چنین حیوانی‌را ندیده ما هم هرگز با سرعتی حتی لااقل تا اندازهٔ نزدیک بسرعت تخیلی ۲٤۰۰۰۰ کیلومتر در ثانیه حرکت نکرده‌ایم. جای تعجب نیست که فیزیک‌دانان هم زمانیکه با چنین سرعت‌های باور نکردنی برخورد میکنند واقعیت هائیرا مشاهده می‌نمایند که با آنچه که



ما در زندگی یومی بدان عادت کرده‌ایم کاملا متفاوت میباشد.

نتیجهٔ غیر منتظرهٔ تجربه مایکلسن که فیزیک‌دانان‌را در برابر این واقعیت‌های نوین قرار داد آنهارا وادار بدان نمود که حتی برخلاف «عقل سلیم» در تصوراتی ظاهراً بدیهی و عادی مانند همزمانی دو حادثه، تجدید نظر نمایند.

البته میبشد باساس «عقل سلیم» موجودیت پدیده‌های نوین‌را انکار کرد ولی چنین اقدامی مارا مشابه دهقان همان لطیفه میساخت.

زمان دچار سرنوشت فضا میشود

علوم از برخورد با آنچه که آن‌را عقل سلیم مینامیم حراسی ندارد. فقط آنرا عدم توافق تصورات موجود با حقایق تجربی نوین بوحشت می‌اندازد و هرگاه چنین باشد علم تصورات موجود را بیرحمانه از بین برده و دانش مارا به مرتبهٔ بلندتری ارتقاء میدهد.

ما فکر میکردیم که دو حادثهء همزمان در هر آزمایشگاه همزمان هستند. اما تجربه مارا به نتیجهٔ دیگری رسانید. آشکار شد که این موضوع تنها در صورتی صحت دارد که آزمایشگاه‌ها نسبت به یکدیگر ساکن باشند. اگر دو آزمایشگاه نسبت به یکدیگر در حال حرکت باشند دو حادثه‌ایکه در یکی از این آزمایشگاه‌ها همزمان انجام پذیرد در آزمایشگاه دیگر باید ناهمزمان محسوب گردد. پس مفهوم همزمان بودن جنبهٔ نسبی به خود گرفته و فقط با اشاره به چگونگی حرکت آزمایشگاهی که حوادث در آن مشاهده میشود مشخص میگردد.

مثال نسبی بودن اندازه‌های زاویه‌ئی را که قبلاً در صفحهٔ ۱۰

گفتیم بخاطر میآوریم. در آنجا موضوع از چه قرار است؟ فرض کنیم با مشاهده از روی زمین، معلوم شد که فاصلهٔ زاویهئی بین دو ستاره مساوی صفر است چونکه هر دو ستاره در یک خط راست مشترک واقع هستند. اگر این موضوع را مطلق بپنداریم ما هیچ وقت در زندگی یومی با هیچ اختلافی رو برو نخواهیم شد. موضوع طور دیگری خواهد بود اگر حدود منظومهٔ شمسی را ترک گفته و از یک نقطهٔ دیگر فضا آن دو ستاره را مشاهده کنیم. در این صورت فاصلهٔ زاویهئی آنها مخالف صفر خواهد بود.

این حقیقت مسلم از نظر یک انسان معاصر مبنی براینکه دو ستارهایکه با مشاهده از زمین بر هم منطبق هستند با مشاهده از دیگر نقاط فضا ممکن است برهم منطبق نباشند بنظر مردم قرون وسطی که آسمان را بشکل گنبدی تصور میکردند که ستارگان روی آن پاشیده شدهاند بیمعنی میآمد.

فرضاً سوأل شود که آیا صرف نظر از هرگونه آزمایشگاه، در واقع دو حادثه همزمان است یا نه؟ متأسفانه این سوأل همان اندازه بیمعنی است که سوأل زیر : صرف نظر از نقاط مشاهده آیا دو ستاره در یک خط مستقیم هستند یا نه؟ موضوع از اینقرار است: همان طوریکه قرار داشتن دو ستاره در یک خط مستقیم نه تنها به موقعیت ستارگان مذکور بلکه نیز به نقطهٔ مشاهدهٔ آنها وابسته است، همین قسم همزمانی هم نه تنها به هر دو حادثه بلکه به آزمایشگاه مشاهدهٔ حادثهها هم وابستگی دارد.

تا زمانیکه با سرعتهای کم نسبت به سرعت نور سرو کار داشتیم ما نمیتوانستیم نسبیت مفهوم همزمانی را کشف کنیم و فقط با مطالعهٔ حرکتهای دارای سرعت قابل قیاس با سرعت نور ما مجبور شدیم در مورد مفهوم همزمانی تجدید نظر نمائیم.

کاملا مشابه به این، زمانیکه مردم به فواصل قابل مقایسه با اندازهٔ زمین به مسافرت پرداختند آنگاه مجبور گشتند در مورد مفهوم بالا و پایین تجدید نظر بدارند. البته تا آن وقت تصور دربارهٔ هموار بودن زمین نمیتوانست هیچ تضادی با تجربه داشته باشد.

با اینکه ما امکان حرکت با سرعتی نزدیک به سرعت نور را نداریم و نمیتوانیم آن حقایق خارقالعاده از نقطهٔ نظر تصورات

قدیمی‌را که اکنون ذکر نمودیم با تجربهٔ شخصی خود مشاهده نمائیم اما با استفاده از تخنیک تجربیاتی معاصر، ما با اطمینان کامل میتوانیم این حقایق را در یک سلسله پدیده‌های فیزیکی کشف نمائیم.

باین ترتیب زمان هم به سرنوشت فضاء دچار شد! عبارت «همزمان» و یا «در آن واحد» مثل عبارت «در همان محل» یا «همان‌جا» بی‌معنی از کار در آمده است.

فاصلهٔ زمانی بین دو حادثه مثل فاصلهٔ فضائی بین آنها ذکر آزمایشگاهی را لازم دارد که نسبت به آن مشخص میگردد.

پیروزی علم

کشف این حقیقت که زمان نسبی است دگرگونی عمیقی در عقاید و نظریات بشر در مورد طبیعت از خود بجا گذاشت. این امر یکی از بزرگترین پیروزی‌های عقل بشر بر جمود تصوراتی است که طی قرن‌ها تشکیل یافته بود. آنرا فقط با تغییرات انقلابی تصورات بشری مربوط به کشف کرویت زمین میتوان مقایسه نمود.

کشف نسبیت زمان در سال ۱۹۰۵ توسط آلبرت اینشتین (۱۸۸۰ — ۱۹۵۵) بزرگترین فیزیکدان قرن بیستم بعمل آمد. این کشف اینشتین را که جوان ۲۵ سالهٔ بود در ردیف نوابغ بشریت قرار داد. وی مانند کوپرنیک و نیوتن و دیگر مشعل‌داران علم در خاطرهٔ ما جاویدان است.

و. ای. لنین آلبرت اینشتین را یکی از «بزرگترین دگرگون‌سازان علوم طبیعی» نامیده است.

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

سرعت حدی را داراست

قبل از جنگ دوم جهانی طیارات با سرعت کمتر از سرعت صوت پرواز میکردند و اکنون طیارات «ما فوق صوت» نیز ساخته

شده است. امواج رادیوئی با سرعت نور انتشار مییابد. آیا نمیشود در برابر خود این مسئله را قرار داد که دستگاه تلگراف «ما فوق نور» را ایجاد کرد و علائم تلگرافی را با سرعتی بیشتر از سرعت نور ارسال داشت؟ معلوم میشود که چنین دستگاهی غیر ممکن است.

در حقیقت اگر امکان میداشت علائم را با سرعت نامحدودی مخابره کنیم آنگاه میتوانستیم به یقین همزمانی دو حادثه را معلوم کنیم. اگر علامت بینهایت سریع یک حادثه همزمان با علامت حادثهٔ دوم بما میرسید در آن صورت میگفتیم که وقوع آن دو حادثه همزمان است. با این ترتیب همزمانی جنبهٔ مطلق را بخود میگرفت و به حرکت آزمایشگاهی که این نتیجه گیری در آن بعمل آمد وابسته نمیشد.

ولی از آنجا که تجربه، مطلق بودن زمان‌را رد میکند، نتیجه میگیریم که فرستادن علائم بطور آنی امکان‌پذیر نیست. سرعت انتقال عمل از یک نقطه به نقطهٔ دیگر در فضا نمیتواند نامحدود باشد یا به عبارت دیگر از یک اندازهٔ متناهی که سرعت حد نامیده میشود نمیتواند بیشتر باشد.

این سرعت حد با سرعت نور یکی است.

در حقیقت، بموجب اصل نسبیت حرکت، در تمامی آزمایشگاه‌هائی که نسبت به همدیگر در حال حرکت (مستقیم و یکنواخت) هستند قوانین طبیعت باید یکسان باشد. این مدعا که هیچ سرعتی نمیتواند از این حد تجاوز کند نیز قانون طبیعت است و به همین لحاظ مقدار سرعت حد در آزمایشگاه‌های مختلف باید کاملا یکسان باشد. طوریکه ما میدانیم سرعت نور نیز دارای چنین خصوصیاتی است.

بدین ترتیب، سرعت نور نه تنها بطور ساده سرعت انتشار یک پدیدهٔ طبیعی است بلکه مهمترین نقش را بمثابهٔ سرعت حد بازی میکند.

کشف وجود سرعت حد در جهان یکی از بزرگترین ظفرهای تفکر انسانی و امکانات تجربوی بشر است.

فیزیک‌دان قرن گذشته نمیتوانست فکر نماید که در جهان

سرعت حدی وجود دارد و وجود آنرا میتوان ثابت کرد. احیاناً گر او ضمن تجارب خود با موجودیت سرعت حد در طبیعت مواجه میشد وی مطمئن نبود که این حد قانون طبیعت بوده و نتیجهٔ امکانات محدود تجربوی نیست که در جریان پیشرفت بعدی تخنیک میتواند برطرف گردد.

اصل نسبیت نشانگر آنست که وجود سرعت حد در ذات اشیاء نهفته است. امید اینکه پیشرفت و تکامل تخنیک امکان دسترسی به سرعتی مافوق سرعت نور را بدهد همان اندازه خنده‌آور است که اگر گمان کنیم که فقدان نقطه‌ها در روی زمین با فاصلهٔ بیش از ۲۰ هزار کیلومتر از یک دیگر قانون جغرافیائی نبوده بلکه نتیجهٔ معلومات محدود ما است و اگر امیدوار باشیم که با پیشرفت علم جغرافیه (یاجغرافیا) بتوان در زمین نقاط باز هم دور تر از یکدیگر را پیدا نمود.

سرعت نور بدین لحاظ چنین نقش استثنائی را در طبیعت بازی می‌نماید که برای هرگونه انتشاری سرعت حد میباشد. نور یا از تمام دیگر پدیده‌ها سبقت می‌جوید و یا لااقل همزمان با آنها میرسد.

اگر خورشید دو پارچه گردیده و بصورت ستارهٔ دوگانه مبدل میشد طبعاً در حرکت زمین هم تغییراتی رخ میداد.

فیزیک‌دان قرن گذشته که نمیدانست در طبیعت سرعت حدی وجود دارد بدون شک گمان میکرد که تغییر در حرکت زمین بلافاصله بعد از دو پارچه شدن خورشید صورت گرفته است. حال آنکه ۸ دقیقه وقت لازم میشد تا نور از خورشید دو پارچه شده به زمین برسد.

ولی در واقعیت، تغییرات در حرکت زمین نیز فقط بعد از سپری شدن مدت ۸ دقیقه پس از دو پارچه شدن خورشید صورت میگرفت و در ظرف این مدت زمین همانطور حرکت میکرد که اگر خورشید دو پارچه نشده بود. و اصولا وقوع هرگونه حادثه در خورشید و یا روی خورشید، روی زمین و یا حرکت آن تاثیر نخواهد داشت مگر بعد از سپری شدن این ۸ دقیقه وقت.

سرعت حد انتشار علائم، طبعاً، مارا از این امکان محروم

نمیگرداند که همزمانی دو حادثه را معلوم کنیم. برای این کار فقط لازم است که زمان تاخیر علامت، در نظر گرفته شود و این امر معمولا اجرا میگردد.

اما چنین طریقهٔ تعیین همزمانی با نسبیت این مفهوم کاملا تطابق دارد. در واقع برای تفریق زمان تاخیر ما باید فاصلهٔ مکان‌های وقوع حوادث را بر سرعت انتشار علائم تقسیم بداریم. از جانب دیگر هنوز در موقع بحث دربارهٔ ارسال نامه‌ها از قطار سریع‌السیر مسکو — ولادیوستوک دریافتیم که خود مکان در فضا نیز یک مفهوم کاملا نسبی است.

زودتر و دیرتر

فرض کنیم در قطار ما که دارای چراغ روشن شونده است و آنرا از این به بعد قطار اینشتین می‌نامیم، دستگاه دروازه‌های اتوماتیک خراب شده و مردم داخل قطار ملتفت شوند که دروازهٔ جلو ۱۵ ثانیه زودتر از دروازهٔ عقبی باز شد. اما مردمانیکه در ایستگاه قطار ایستاده‌اند می‌بینند که، برعکس، دروازهٔ عقب ۴۰ — ۱۵ = ۲۵ ثانیه زودتر باز شد. همینطور واقعهٔ که برای یک آزمایشگاه زودتر اتفاق افتاد ممکن است برای آزمایشگاه دیگری دیرتر واقع گردد.

اما فوری این فکر بخاطر میرسد که نسبیت مفهوم «زودتر» و «دیرتر» باید برای خود حدودی داشته باشد. مثلا مشکل توان پذیرفت (از نقطهٔ نظر هر آزمایشگاهی) که طفلی قبل از تولد مادرش بدنیا آمده باشد.

اگر در سطح خورشید لکهٔ پدیدار میگشت ستاره‌شناسی که با دوربین نجومی (تلسکوپ) خورشیدرا رصد میکرد پس از ۸ دقیقه این لکه را میدید و هر کاری که منجم از این به بعد انجام میداد مطلقاً از زمان پیدایش لکه دیرتر میبود، دیرتر از نقطهٔ نظر هر آزمایشگاه دلخواه که از آنجا لکهٔ خورشید و منجم مشاهده و مراقبت گردند. برعکس، تمام آنچه که بر منجم تا ۸ دقیقه قبل از پیدایش

لکه میگذشت (بطوریکه علامت نوری این حادثه قبل از پیدایش لکه به خورشید میرسید) مطلقاً زودتر می‌بود.

بطور مثال اگر منجم عینک را در لحظهٔ بین این دو حد به چشم میگذارد، نسبت زمانی بین ظهور لکه و گذاشتن عینک روی چشم منجم، دیگر مطلق نخواهد بود.

ما نسبت به منجم و لکه خورشید طوری میتوانیم حرکت نمائیم که وابسته به سرعت و سمت حرکت خود عینک گذاشتن منجم را زودتر یا دیرتر از ، یا همزمان با پیدایش لکه ببینیم.

بنا بر این اصل نسبیت نشان میدهد که نسبت‌های زمانی حادثه‌ها سه نوع میباشد: مطلقاً زود تر، مطلقاً دیرتر و «نه زودتر و نه دیرتر» یا، دقیق‌تر بگوئیم، زودتر یا دیرتر منوط به آزمایشگاهی که این حوادث از آن مشاهده میشود.

فصل پنجم

ساعت‌ها و خط کش ها بوالهوسی میدارند

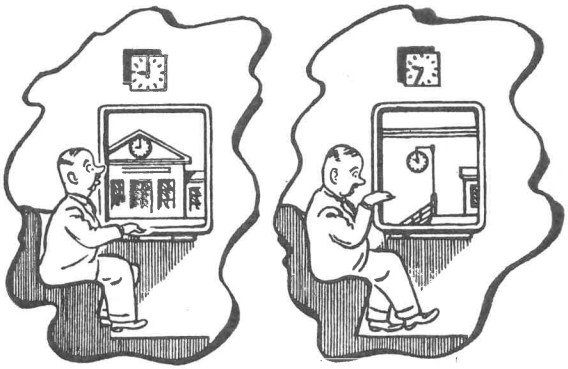
دوباره سوار قطار میگردیم

یک راه آهن بسیار طولانی در پیش روی ماست که قطار اینشتین روی آن حرکت میکند. فاصلهٔ دو ایستگاه از همدیگر ۸۶۴۰۰۰۰۰۰ کیلومتر است. برای قطار اینشتین که سرعت حرکتش ۲۴۰۰۰۰ کیلومتر در ثانیه است یک ساعت وقت لازم است که این مسافت را طی نماید.

در هر دو ایستگاه ساعت موجود است. در ایستگاه اول مسافری سوار واگون میشود و قبل از حرکت قطار ساعت خود را با ساعت ایستگاه عیار می‌سازد. هنگام رسیدن به ایستگاه دیگر، مسافر باتعجب ملتفت میگردد که ساعتش عقب مانده است. ساعت‌سازان به مسافر اطمینان میدهند که ساعتش کاملا سالم است.

پس جریان و علت موضوع چه بوده است؟

برای درک موضوع فرض میکنیم که مسافر شعاع نور چراغ



دستی‌را که در کف واگون گذاشته شده است بطرف سقف متوجه می‌سازد. در سقف واگون یک آئینه نصب شده است که شعاع نور را دوباره به چراغ دستی منعکس می‌سازد. راه شعاع که مسافر آنرا در واگون می‌بیند در صفحهٔ ٤٦ در قسمت فوقانی رسم نشان داده شده است. این شعاع برای بیننده که در ایستگاه ایستاده است طور دیگری بنظر میرسد. در خلال مدتی که نور از چراغ به آئینه میرسد خود آئینه در نتیجهٔ حرکت قطار تغییر مکان میدهد و تا زمانیکه نور از آئینه به چراغ برگردد چراغ نیز مانند آئینه به همان فاصله تغییر مکان میدهد.

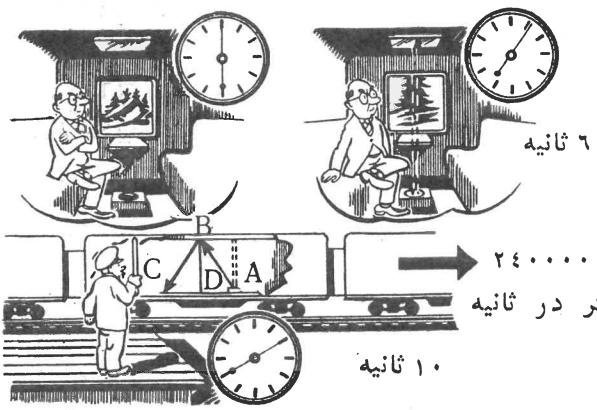
ما می‌بینیم که نور برای ناظرینی که در ایستگاه واقع‌اند راه کاملا طولانی‌تری را نسبت به ناظرینی که در داخل قطار هستند طی کرد. از جانب دیگر، میدانیم که سرعت حرکت نور مطلق است، هم برای سرنشینان قطار و هم برای آنهائیکه در ایستگاه ایستاده‌اند یکسان است. پس ما نتیجه میگیریم که فاصلهٔ زمان میان تابش و برگشت شعاع نور در ایستگاه نسبت به داخل قطار بیشتر است.

حساب نمودن این تناسب زمان چندان مشکل نیست.

فرض کنیم که بیننده در ایستگاه تعیین کرد که فاصله زمان میان تابش و برگشت شعاع نور ۱۰ ثانیه بود. در این ده ثانیه نور فاصلهٔ معادل ۳۰۰۰۰۰۰ = ۱۰×۳۰۰۰۰۰ کیلومتر را طی کرد. از اینجا نتیجه می‌شود که اضلاع AB و BC مثلث متساوی الساقین ABC هریک باندازهٔ ۱۵۰۰۰۰۰ کیلومتر است. بطور واضح طول ضلع AC مساوی است با راهی که قطار در ده ثانیه طی کرد یعنی ۲٤۰۰۰۰۰ = ۱۰×۲٤۰۰۰۰ کیلومتر .

اکنون به آسانی میتوان ارتفاع واگون را که عبارت از همان ارتفاع BD مثلث ABC است تعیین کرد.

در مثلث قائم‌الزاویه مربع وتر (AB) مساوی است با مجموع مربع‌های اضلاع (AD و BD). از تساوی $(AB)^2=(AD)^2+(BD)^2$ بدست می‌آوریم که ارتفاع واگون



$$BD = \sqrt{(AB)^2 - (AD)^2} =$$

$$= \sqrt{۱۵۰۰۰۰۰^2 - ۱۲۰۰۰۰۰^2} = ۹۰۰۰۰۰ \text{ کیلومتر}$$

ارتفاع حاصله خیلی بزرگ است ولی باید گفت که در برابر اندازه‌ی نجومی قطار اینشتین چیزی چندان عجیبی نیست.

از نقطهٔ نظر سر نشین قطار ، راهی‌را که شعاع نور از کف تا سقف و برعکس طی کرده است بطور واضح دو برابر ارتفاع قطار است یعنی $۹۰۰۰۰۰ \times ۲ = ۱۸۰۰۰۰۰۰$ کیلومتر و برای نور $\frac{۱۸۰۰۰۰۰۰}{۳۰۰۰۰۰} = ۶$ ثانیه وقت لازم است تا این مسافت را طی نماید.

ساعت‌ها منظماً عقب می‌مانند

به این ترتیب همان وقتیکه در ایستگاه ده ثانیه میگذرد در قطار فقط شش ثانیه گذشته است. پس اگر قطار مطابق با ساعت ایستگاه یک ساعت پس از عزیمت خود برسد در عین حال مطابق ساعت مسافر، قطار فقط پس از $\frac{۶}{۱۰} \times ۶۰ = ۳۶$ دقیقه خواهد رسید. به عبارت دیگر طی یک ساعت، ساعت مسافر نسبت به ساعت ایستگاه ۲۴ دقیقه عقب مانده است.

به آسانی میتوان دریافت که هر قدر سرعت قطار افزایش یابد به همان قدر هم ساعت عقب خواهد ماند.

واقعاً هم هر اندازه سرعت قطار به سرعت نور نزدیک تر شود بهمان اندازه هم طول ضلع AD که ترسیم راه طی شدهٔ قطار است به طول وتر AB که نمایانگر راه طی شدهٔ نور در همان مدت است نزدیکتر میشود. و مطابق با آن، نسبت ضلع BD به وتر کم میشود. و اما همین نسبت بمنزلهٔ تناسب زمان‌های قطار و ایستگاه است. با افزایش سرعت حرکت قطار تا سرعت حرکت نور میتوانیم بحالتی برسیم که در طی یک ساعت بوقت ایستگاه، در قطار فاصلهٔ زمانی هرچه کوچکتری گذشته باشد. مثلا اگر سرعت قطار معادل ۰,۹۹۹۹ سرعت نور گردد در ظرف یک ساعت بوقت ایستگاه، در قطار فقط یک دقیقه وقت خواهد گذشت.

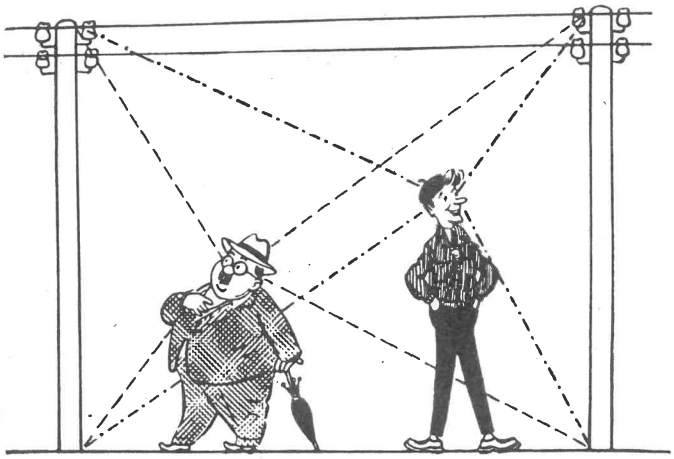
به همین ترتیب هر ساعت متحرک نسبت به ساعت ساکن عقب می‌ماند. آیا چنین نتیجهٔ با اصل نسبیت حرکت که مبداء بحث ما بود مغایرتی ندارد؟

آیا این بآن معنی نیست که ساعتیکه از تمام ساعت‌های دیگر سریعتر کار میکند در حال سکون مطلق است؟

نخیر، زیرا مقایسهٔ ساعت قطار با ساعت ایستگاه‌ها در شرایط کاملا نامساوی صورت گرفت. آخر، نه دو بلکه سه قاب ساعت در میان بود! مسافر ساعت خود را با دو ساعت مختلف 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 مقایسهٔ ساعت ایستگاهی و ساعت‌های مشهود در پنجره‌های قطار که از نزدیک او رد میشود درمی‌یافت که همانا ساعت ایستگاه است که مرتباً عقب می‌ماند.

آخر، در همین مورد که قطار نسبت به ایستگاه بطور مستقیم و یکنواخت حرکت میکند ما حق داریم قطار را ساکن و ایستگاه را متحرک بپنداریم و تمام قوانین طبیعت در 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



سریعتراند و هر قدر که سرعت حرکت آن بیشتر باشد همانقدر هم بیشتر جلو می‌روند.

این حالت کاملا شبیه به همان دو نفر ناظری است که کنار دو پایهٔ تلگراف ایستاده و هر یک اظهار می‌نماید که زاویهٔ دید پایهٔ تلگرافی که او در نزدیک آن قرار دارد از زاویهٔ دید پایهٔ دیگر بزرگتر است.

ماشین زمان

حالا فرض میکنیم که قطار اینشتین در مسیر مستقیم حرکت نکرده بلکه در راه آهن دایروی حرکت کند و پس از گذشت زمان معین دوباره به ایستگاه عزیمتش برگردد. همانطوریکه قبلا دیدیم مسافر می‌بیند ساعتش عقب مانده و هرقدر قطار سریع تر حرکت کند همان قدر ساعتش بیشتر عقب می‌ماند. با افزایش سرعت حرکت قطار اینشتین در راه آهن دایروی میتوان به حالتی رسید که در همان مدتی که از نظر مسافر فقط و فقط یک روز بگذرد از نظر آمر ایستگاه راه آهن سالها گذشته است. مسافر ما که بعد از یک روز (مطابق با ساعت خودش!) بقصد خانه به ایستگاه عزیمتش در راه آهن دایروی مراجعت می‌نماید می‌فهمد که تمام اقوام و دوستانش مدت‌ها است که مرده‌اند.

برخلاف مسافرت بین دو ایستگاه که مسافر ساعت خودش را با ساعت‌های مختلف کنترول میکند هنگام مسافرت در مسیر حلقوی، او نه سه قاب ساعت بلکه فقط دو قاب ساعت را مقایسه میکند یعنی ساعت قطار و ساعت ایستگاه عزیمت.

آیا در اینجا تضادی با اصل نسبیت حرکت وجود ندارد؟ آیا میتوان مسافر را ساکن و ایستگاه را متحرک در مسیر حلقوی با سرعت قطار اینشتین پنداشت؟ در این صورت ما به این نتیجه میرسیدیم که در همان مدتی که بر مردم در ایستگاه یک روز میگذشت بر سرنشینان قطار سالها سپری می‌شد. اما یک چنین استدلالی معقول نبوده و علتش هم از قرار ذیل است.

فوقاً بر ما روشن شد که فقط جسمی را که هیچ گونه قوهٔ به آن تاثیر نکند میتوان ساکن پنداشت. البته نه تنها یک حالت سکون بلکه تعداد بی‌شماری «حالات سکون» وجود دارد و چنانکه میدانیم دو جسم ساکن می‌توانند نسبت به همدیگر حرکت مستقیم و یکنواخت داشته باشند. اما از قرار معلوم بر ساعت قطار اینشتین که در راه آهن دایروی شتابان است قوهٔ گریز از مرکز تاثیر کرده و از این لحاظ به هیچ وجه نمیتوانیم آن ساعت‌را ساکن بشماریم. در این صورت اختلاف بین خواندن ساعت ساکن ایستگاه و ساعت در قطار اینشتین مطلق است.

هرگاه دو شخصی که ساعت‌هایشان یک وقت معین را نشان میدهد از هم جدا شده و پس از مدتی دوباره همدیگر را ملاقی گردند ساعت آن شخص وقت بیشتر را نشان میدهد که در حال سکون بوده یا بطور مستقیم و یکنواخت حرکت کرده یعنی همان ساعتی که تحت تاثیر هیچگونه قوهٔ قرار نگرفته باشد.

مسافرت در راه آهن دایروی با سرعتی نزدیک به سرعت نور به ما امکان اصولی میدهد لااقل تا اندازهٔ «ماشین زمان» ولز * را عملی نمائیم بطوریکه هنگام پیاده شدن مجدد در ایستگاه عزیمت دریابیم که در زمان آینده هستیم. با اینکه با این ماشین زمان ما میتوانیم

---

* ولز ــ نویسندهٔ برجستهٔ انگلیسی که آثار تخیلات علمی وی معروفیت جهانی دارد (مترجم).

به آینده سفر نمائیم ولی از امکان برگشت به گذشته محروم هستیم. و در همینجا اختلاف مهم بین ماشین زمان ما و ماشین زمان ولز نهفته است.

نباید امیدوار بود و آرزو داشت که در پرتو پیشرفت علم در آینده روزی بشود بگذشته مسافرت کرد. و الا مجبور میشدیم امکان اصولی مزخرف‌ترین حالات را قبول کنیم. در حقیقت هم با مسافرت به گذشته ممکن بود چنان وضع مزخرفی به آدم دست میداد که گویا پدر و مادرش هنوز پا بعرصهٔ وجود نگذاشته‌اند. و اما در مسافرت به آینده فقط یک تضاد ظاهری نهفته است.

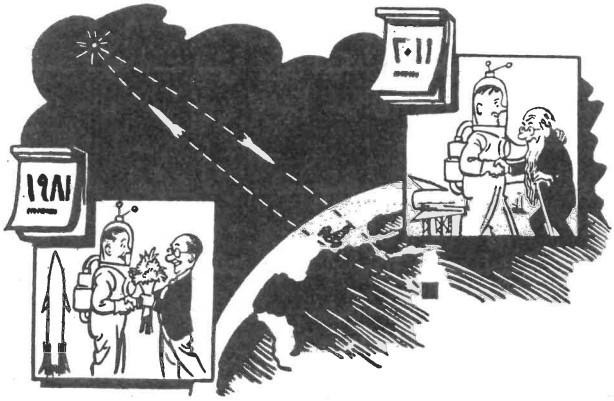
مسافرت به ستاره

در آسمان ستاره‌گانی هستند که فاصلهٔ آنها تا زمین باندازهٔ است که نور آنرا در چهل سال طی میکند. نظر به اینکه ما هم‌اکنون میدانیم که حرکت با سرعتی ما فوق سرعت نور امکان‌پذیر نیست میتوان چنین نتیجهٔ گرفت که رسیدن باین ستاره در فاصله زمان کمتر از ۴۰ سال ناممکن است. یک چنین استنباطی که در آن تغییر زمان مربوط به حرکت در نظر گرفته نشده غلط است.

فرض کنیم که ما با راکت اینشتین با سرعت ۲۴۰۰۰۰ کیلومتر در ثانیه به ستارهٔ پرواز میکنیم. از نظر ساکنین زمین، ما بعد از ۵۰ سال یعنی $\frac{۴۰ \times ۳۰۰۰۰۰}{۲۴۰۰۰۰} = ۵۰$ به آن ستاره میرسیم.

برای ما که با راکت انیشتین در حال پرواز هستیم مدت پرواز با سرعت مزبور به نسبت $\frac{۱۰}{۶}$ (ده برشش) کوتاه‌تر میشود، در نتیجه نه بعد از ۵۰ سال بلکه پس از $\frac{۶}{۱۰} \times ۵۰ = ۳۰$ سال به ستاره میرسیم.

با افزایش سرعت حرکت راکت اینشتین تا قریب سرعت نور میتوان برای رسیدن مسافران به ستارهٔ چنین دور بمقدار دلخواه زمان لازم‌را کوتاه نمود. بطور نظری با پرواز بقدر کافی سریع



میتوان حتی در ظرف یک دقیقه به ستاره رفته و از آنجا به زمین بازگشت! در عین حال در زمین ۸۰ سال میگذرد.

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 میگردد. ولی متأسفانه با مطالعهٔ دقیقتر معلوم میگردد که چنین امکانی خیلی ناچیز است.

در وهلهٔ اول، بدن انسان سازگاری لازم را برای زندگی در شرایط تسریع مداوم و تا اندازهٔ محسوسی متجاوز از شتاب ثقل زمین ندارد. پس برای اینکه به سرعتی نزدیک به سرعت نور برسیم زمان نسبتاً طولانی لازم است. محاسبات نشان میدهد که در مسافرت شش ماهه با ازدیاد سرعتی مساوی به شتاب ثقل زمین میتوان فقط به اندازهٔ یک و نیم ماه از وقت صرفه جوئی کرد. اگر این مسافرت را ادامه دهیم وقت صرفه جوئی شده به سرعت افزایش خواهد یافت و با یک سال پرواز در راکت میتوان مضافاً یک و نیم سال دیگر صرفه‌جوئی نمود و دو سال مسافرت معادل ۲۸ سال خواهد بود و در ظرف ۳ سال پرواز ما با راکت، در زمین بیش از ۳۶۰ سال خواهد گذشت!

این ارقام نسبتاً امیدبخش بنظر میرسند.

موضوع مصرف انرژی از این بدتر است، انرژی راکت در

حال حرکت که وزنش بسیار ناچیز مثلا یک تن است برای پرواز با سرعت ۲۶۰۰۰۰ کیلومتر در ثانیه (چنین سرعتی برای «دو برابر کردن» زمان لازم است یعنی برای اینکه هر سال مسافرت در راکت معادل دو سال در زمین باشد) معادل ۲۵۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰ کیلوات ساعت است.

این مقدار انرژی در ظرف چندین سال در تمام روی زمین تولید میشود.

اما ما فقط انرژی راکت در حال پرواز را حساب کردیم و آن مقدار انرژی را که ابتداء باید مصرف نمود تا سرعت دستگاه پرواز به ۲۶۰۰۰۰ کیلومتر در ثانیه برسد مد نظر نگرفته‌ایم. و در ختم مسافرت راکت باید بریک شود تا بدون خطر امکان فرود آمدن آن بزمین فراهم گردد. برای انجام این کار چقدر انرژی لازم است؟

حتی اگر ما سوختی را در اختیار داشتیم که جریان گاز خروجی تولید میکرد که با بیشترین سرعت ممکنه یعنی سرعت نور، از انجن جت بخارج فوران میزد در آن صورت نیز این انرژی می‌بایست ۲۰۰ برابر آن مقدار انرژی باشد که در بالا حساب کردیم یعنی مجبور می‌شدیم به همان اندازه انرژی مصرف نمائیم که بشر در ظرف چند ده سال تولید میکند. در واقع سرعت جریان گاز خروجی انجن‌های راکت 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

خلاصه، بطوریکه ما اکنون اطمینان پیدا کردیم زمان از تخت سلطنت مطلق سرنگون شد و دارای مفهومی نسبی است که مستلزم تعیین دقیق آزمایشگاه‌هائی میباشد که اندازه‌گیری در آنجا بعمل می‌آید.

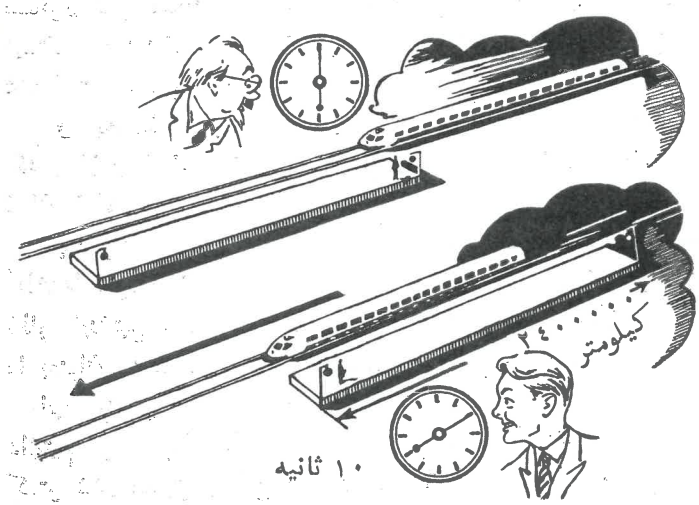
حال توجه خود را به فضا معطوف میداریم. هنوز تا قبل از بررسی و شرح تجربهٔ مایکلسن ما روشن کردیم که فضا نسبی است. با وجود چنین نسبیتی فضا ما برای ابعاد اجسام جنبهٔ مطلق قایل

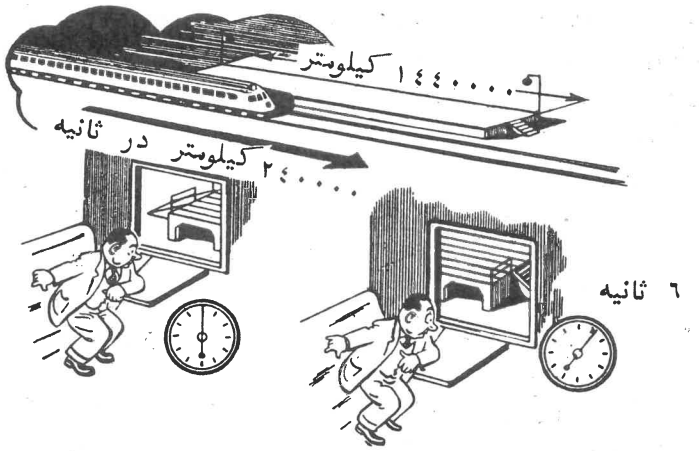
بودیم یعنی معتقد بودیم که ابعاد از خواص خود جسم است و وابسته باین نیست که در کدام آزمایشگاه مشاهده بعمل می‌آید. اما نظریهٔ نسبیت مارا وادار بر آن میدارد که با این عقیده نیز وداع نمائیم. این عقیده نیز مانند تصور در بارهٔ زمان مطلق فقط اشتباه ناشی از آن است که ما همیشه با سرعت‌هائی سر و کار داریم که در مقایسه با سرعت نور خیلی ناچیز هستند.

فرض میکنیم که قطار اینشتین از ایستگاهی که ۲ ۴۰۰۰۰۰ کیلومتر طول دارد میگذرد.

آیا مسافرین داخل قطار اینشتین با این مدعا هم‌عقیده خواهند بود؟ قطار سر تا سر ایستگاه را در ظرف $\frac{۲۴۰۰۰۰۰}{۲۴۰۰۰۰} = ۱۰$ ثانیه 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 ایستگاه میرسد. همان طوریکه میدانیم این مدت زمان فقط ۶ ثانیه است. از اینجا مسافران بالحق به این نتیجه میرسند که طول ایستگاه ۲ ۴۰۰۰۰۰ کیلومتر نبوده بلکه ۲۴۰۰۰۰ × ۶ = = ۱ ۴۴۰۰۰۰ کیلومتر می‌باشد.

ما می‌بینیم که طول ایستگاه از نقطهٔ نظر آزمایشگاهی که





نسبت به آن ساکن است در مقایسه با طول مشهود از نقطهٔ نظر آزمایشگاهی که ایستگاه نسبت به آن متحرک است بیشتر می‌باشد. تمام اجسام متحرک در جهت حرکت خود کوتاه می‌شوند.

اما این تقلیل طول به هیچ صورت دلیل بر مطلق بودن حرکت نیست: کافی است که ما در آزمایشگاهی که نسبت به جسم ساکن است قرار بگیریم تا جسم دوباره طویل گردد. کاملا همینطور مسافران فکر میکنند که ایستگاه کوتاهتر شده ولی مردمی که در ایستگاه ایستاده‌اند بنظرشان میرسد که قطار اینشتین کوتاهتر شده است (به نسبت ۶ بر ۱۰).

و این، خطای باصره نیست. آلات و اسباب اندازه‌گیری دلخواهی که بتوان با استفاده از آنها طول جسم را اندازه گرفت همین نتیجه‌را نشان خواهد داد.

بمناسبت کشف تقلیل ابعاد اجسام ما اکنون باید در بحث گذشتهٔ خود (صفحهٔ ۳۵) که در بارهٔ زمان باز شدن دروازه‌های قطار اینشتین بود اصلاح وارد نمائیم. درست در همان موقعیکه ما بعنوان بیننده در ایستگاه ایستاده و لحظهٔ باز شدن دروازه‌ها را حساب مینمودیم طول قطار متحرک و ساکن را یکسان در نظر داشتیم در صورتیکه طول قطار برای مردمیکه در ایستگاه ایستاده‌اند کمتر شد. مطابق با این واقعیت، فاصلهٔ زمان واقعی بین باز شدن

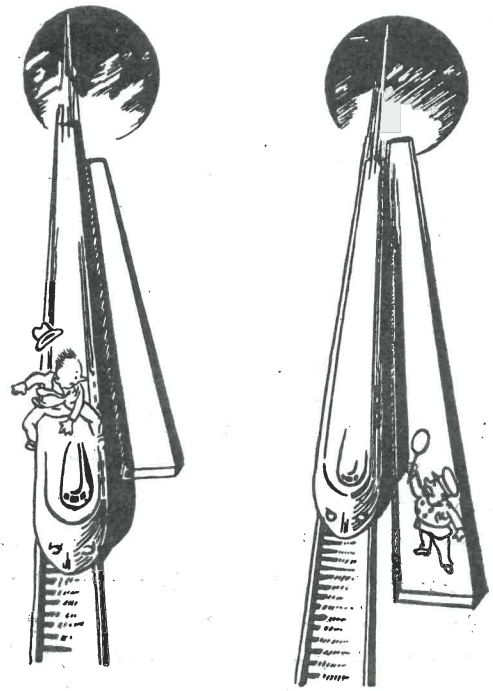
دروازه‌ها از نقطهٔ نظر ساعت ایستگاه در حقیقت نه به ۴۰ ثانیه بلکه به $\frac{۶}{۱۰} \times ۴۰ = ۲۴$ ثانیه مساوی می‌باشد.

مسلم است که این اصلاح برای نتیجهٔ که قبلا گرفته بودیم مهم نیست.

رسم‌های این صفحه نمایشگر قطار انیشتین و ایستگاه از نظر بیننده واقع در قطار و ناظر واقع در ایستگاه می‌باشد. ما می‌بینیم که در رسم سمت راست، ایستگاه طویل‌تر از قطار و در رسم سمت چپ، قطار طویل‌تر از ایستگاه است.

آیا کدام یک از این تصاویر با واقعیت مطابقت دارد؟

این سؤال نیز بهمان اندازه بی‌معناست که سؤال در بارهٔ گاوچران و گاو در صفحهٔ ۸ بود.



هر دو تصویر، همان واقعیت عینی است که از نقطهٔ نظرهای مختلف «عکس‌برداری» شده است.

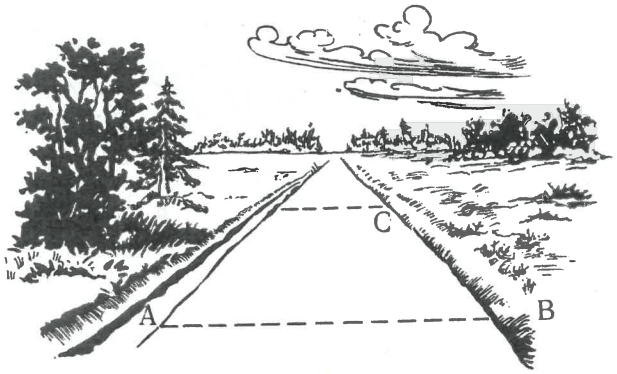
سرعت‌ها بوالهوسی میدارند

اگر قطاری با سرعت ۵۰ کیلومتر در ساعت در حال حرکت بوده و مسافری در داخل آن با سرعت ۵ کیلومتر در ساعت بطرف ابتداء قطار حرکت نماید سرعت مسافر نسبت به خط راه آهن چقدر خواهد بود؟ واضحاً سرعت مسافر نسبت به خط راه آهن مساوی ۵۰ + ۵ = ۵۵ کیلومتر در ساعت می‌باشد. این استدلال ما بر اساس قانون ترکیب سرعت‌ها بنا یافته و در مورد صحت آن هیچ تردیدی وجود ندارد. در حقیقت هم قطار در یک ساعت ۵۰ کیلومتر و مسافر در قطار اضافه بر آن ۵ کیلومتر دیگر طی میکند و مجموعاً ۵۵ کیلومتر می‌شود که ما در بارهٔ آن صحبت کردیم.

واضح است که موجودیت سرعت حد در جهان قابلیت استعمال عمومی را از قانون ترکیب سرعت ها در مورد سرعت‌های بسیار کم و بسیار زیاد سلب مینماید چون اگر مسافری در قطار اینشتین مثلا با سرعت ۱۰۰۰۰۰ کیلومتر در ثانیه حرکت کند سرعت او نسبت به خط راه‌آهن نمیتواند مساوی به ۱۰۰۰۰۰ + ۲۴۰۰۰۰ = = ۳۴۰۰۰۰ کیلومتر در ثانیه باشد زیرا که این سرعت از سرعت حد نور هم تجاوز میکند و بالنتیجه نمیتواند در طبیعت وجود داشته باشد.

بدین ترتیب معلوم میشود که قانون ترکیب سرعت‌ها که ما همه‌روزه از آن استفاده می‌کنیم دقیق نمی‌باشد و فقط در مورد سرعت‌های خیلی کمتر از سرعت نور صادق است.

خواننده که حالا به تمام حقایق خارق‌العادهٔ نظریهٔ نسبیت عادت کرده به سهولت درک خواهد کرد که چرا آن استدلال بظاهر واضح که بکمک آن همین اکنون قانون ترکیب سرعت‌هارا استخراج نمودیم غیر قابل استعمال است. چون برای این منظور ما مسافاتی را که در ظرف یک ساعت مسافر در قطار و قطار در خط راه‌آهن طی کرده‌اند با هم جمع نمودیم. ولی نظریهٔ نسبیت



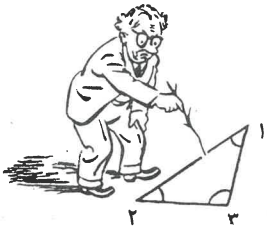
بما نشان میدهد که این مسافات را نمیتوان با هم جمع نمود. این امر بقدری مزخرف است که اگر بخواهیم برای حساب کردن مساحت میدانی که در صفحهٔ ۵۷ رسم شده طول قطعات AB و BC را در هم ضرب کنیم و در ضمن فراموش کنیم که در تصویر، ضلع BC در اثر دورنمائی تحریف شده است. گذشته از آن برای تعیین سرعت مسافر نسبت به ایستگاه، ما باید راهیرا که او بوقت ایستگاه در ظرف یک ساعت پیموده است تعیین نمائیم در حالیکه برای تعیین سرعت مسافر در قطار، ما از وقت قطار استفاده کردیم و همانطوریکه دیگر برای ما معلوم است این دو امر اصلا یکسان نیست.

این وضعیت مارا باین نتیجه میرساند که سرعت‌هائیکه لااقل یکی از آنها قابل قیاس با سرعت نور باشد کاملا بر خلاف آنچه که ما بدان عادت کرده‌ایم با هم ترکیب میشوند. این ترکیب غیر عادی سرعت‌هارا میتوان مثلا در تجربهٔ **انتشار** نور در آب جاری (که قبلا متذکر شدیم) ملاحظه کرد. چنین حالتی که سرعت انتشار نور در آب جاری مساوی مجموع سرعت نور در آب ساکن و سرعت حرکت آب نیست بلکه کمتر از مجموع آنها است نتیجهٔ مستقیم تئوری نسبیت است.

بویژه سرعت‌هائیکه مقدار یکی از آنها درست باندازهٔ ۳۰۰۰۰۰ کیلومتر در ثانیه باشد با روش خاصی ترکیب می‌شوند. همانطوریکه میدانیم این سرعت دارای آن خاصیت است که بطرز حرکت

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

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



آزمایشگاههائی که از آنجا مشاهده میشود ارتباط نداشته و همیشه ثابت می‌باشد. به عبارت دیگر هرگونه سرعتی را اگر به سرعت ۳۰۰۰۰۰ کیلومتر در ثانیه اضافه کنیم باز همان سرعت ۳۰۰۰۰۰ کیلومتر در ثانیه را بدست میآوریم.

مثال زیر را بعنوان تشبیه به حالتیکه قاعدهٔ معمولی ترکیب سرعت‌ها غیر قابل استعمال است ذکر مینمائیم.

از قرار معلوم در مثلث مسطح (به شکل چپ صفحهٔ ۵۸ رجوع شود) مجموع زوایا مساوی با دو زاویهٔ قایمه است. اما فرض کنیم که مثلثی در سطح کرهٔ زمین (به شکل راست صفحهٔ ۵۸ رجوع شود) رسم شده باشد. در نتیجهٔ کرویت زمین، مجموع زوایای چنین مثلثی بیشتر از دو زاویهٔ قایمه خواهد بود. این اختلاف فقط هنگامی مشهود است که اندازه‌های مثلث با اندازه‌های زمین قابل قیاس باشد.

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

فصل ششم

کار باعث تغییر جرم میشود

جرم

فرض کنیم که میخواهیم جسم ساکنی را با سرعت معین بحرکت آوریم. برای این منظور ما باید به آن قوهٔ وارد سازیم. آنگاه اگر قوه‌های خارجی مانند قوهٔ اصطکاک در حرکت جسم ممانعت تولید نکند جسم به حرکت در آمده 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 در می‌یابیم که برای دادن سرعت‌های مطلوب باجسام گوناگون به کمک قوهٔ معین، فواصل زمانی مختلف لازم میگردد.

برای نجات از قوهٔ اصطکاک فرض کنیم که در فضای کائنات دو کره باندازهٔ مساوی یکی از سرب و دیگری از چوب وجود داشته باشد. ما هر یک از این دو کره را با قوه‌های یکسان تا هنگامیکه سرعتشان بطور مثال به ۱۰ کیلومتر در ساعت برسد میکشانیم.

واضح است که برای رسیدن باین نتیجه باید طی مدت بیشتری بکرهٔ سربی نسبت به کرهٔ چوبی قوه وارد ساخت. در توضیح چنین حالتی میگویند که کرهٔ سربی از کرهٔ چوبی جرم بیشتری دارد. نظر به اینکه سرعت هنگام تاثیر قوهٔ ثابت، متناسب با زمان افزایش می‌یابد نسبت زمان لازم برای رسیدن به سرعت مطلوب از حال سکون به خود این سرعت، بعنوان میزان جرم پذیرفته میشود. جرم متناسب با این نسبت است و ضمناً ضریب تناسب به قوهٔ بستگی دارد که جسم را به حرکت درمی‌آورد.

جرم افزایش می‌یابد

یکی از مهمترین خواص جسم، جرم است. عادت بدان کرده‌ایم که جرم جسم همیشه یکسان است و از جمله به سرعت آن بستگی ندارد. این امر ناشی از اظهار نظر اولیهٔ ماست که افزایش سرعت هنگام تاثیر قوهٔ ثابت مستقیماً متناسب است بازمان تاثیر آن.

چنین اظهاری بر اصل معمول ترکیب سرعت‌ها بنا نهاده شده است. اما ما همین حالا ثابت نمودیم که این قاعده در تمامی موارد قابلیت استعمال ندارد.

برای اینکه مقدار سرعت را در ختم ثانیهٔ دوم تاثیر قوه بدست آوریم ما چطور عمل می‌کنیم؟ مطابق قاعدهٔ معمولی ترکیب سرعت‌ها سرعتی را که جسم در پایان ثانیهٔ اول دارا بود با سرعتی که در ثانیهٔ دوم بخود گرفت جمع می‌کنیم.

اما فقط تا موقعی میتوان بدین طرز عمل نمود که مقدار سرعت‌های حاصله با سرعت نور نزدیک و قابل قیاس گردد. در این حالت دیگر نمیتوان از قاعدهٔ قدیم استفاده کرد. هنگام ترکیب سرعت‌ها با در نظر داشتن نظریهٔ نسبیت، ما همیشه نتیجهٔ کمتری حاصل میداریم تا در صورتیکه از قاعدهٔ قدیمی ترکیب سرعت‌ها که اکنون دیگر بدرد نمی‌خورد استفاده میکردیم. و این بدان معنی است که هنگامیکه سرعت مقادیری زیاد بخود میگیرد دیگر متناسب با زمان تاثیر قوه افزایش نیافته بلکه بطی‌تر افزایش می‌یابد. و این خود واضح است زیرا که «سرعت حد» وجود دارد.

به هر اندازهٔ که سرعت جسم به سرعت نور نزدیک‌تر شود و در ضمن قوهٔ وارده ثابت بماند، کم و کمتر افزایش می‌یابد بطوریکه از سرعت حد هیچگاه تجاوز نخواهد کرد.

تا زمانیکه امکان داشت تصدیق شود که سرعت جسم متناسب با زمان تاثیر قوه افزایش می‌یابد میشد قبول کرد که جرم جسم وابسته به سرعت آن نیست. ولی زمانیکه سرعت جسم با سرعت نور قابل قیاس میشود تناسب بین زمان و سرعت جسم از بین رفته و جرم بستگی به سرعت پیدا میکند. نظر باینکه زمان شتاب بی‌نهایت افزایش می‌یابد و سرعت نمی‌تواند از مقدار حد تجاوز کند ما

می‌بینیم که جرم همراه با سرعت ازدیاد مییابد و زمانیکه سرعت جسم با سرعت نور مساوی می‌شود بمقدار بی‌نهایت میرسد.

از خلال حساب بر می‌آید که جرم جسم هنگام حرکت به همان تناسب زیاد میگردد که طول آن موقع حرکت کم میگردد. باین ترتیب جرم قطار اینشتین که با سرعت ۲۴۰۰۰۰ کیلومتر در ثانیه حرکت میکند نسبت به جرم قطار ساکن $\frac{1}{5}$ مرتبه زیادتر است.

کاملا طبیعی است زمانیکه با سرعت‌های عادی و کم نسبت به سرعت نور سر و کار داریم میتوان از تغییر جرم صرف نظر نمود، درست همانطوریکه از وابستگی اندازه‌های جسم به سرعت آن و یا وابستگی فاصلهٔ زمان بین دو حادثه به سرعت‌های حرکت مراقبت کننده‌گان آن حادثه‌ها صرف نظر میکنیم.

وابستگی جرم به سرعت را که از نظریهٔ نسبیت منشأ میگیرد میتوان بطور مستقیم در تجربه هنگام مشاهده و مراقبت حرکت الکترونهای سریع آزمون نمود.

در شرایط تجربوی معاصر، الکترونیکه با سرعت نزدیک به سرعت نور حرکت میکند امری معمولی است و نه نادر. در دستگاه‌های تسریع کنندهٔ مخصوص، الکترون‌ها را تا سرعتهائی بگردش درمی‌آورند که کمتر از ۳۰ کیلومتر در ثانیه با سرعت نور اختلاف دارند.

لذا فیزیک معاصر در چنان موقعیتی قرار دارد که میتواند جرم الکترون‌های فوق‌العاده سریع را با جرم الکترون‌های ساکن مقایسه نماید. نتایج تجربوی وابستگی جرم به سرعت را که از اصل نسبیت منشأ میگیرد بطور کامل تایید نموده است.

قیمت یک گرام نور چقدر است؟

مقدار افزایش جرم جسم با عملی که روی آن انجام گردیده ارتباط قریب داشته و با مقدار کاریکه برای به حرکت در آوردن جسم لازم است نسبت مستقیم دارد. در ضمن ضرور نیست که کار فقط برای بحرکت در آوردن جسم مصرف شود. هر نوع کاری که روی جسم انجام شود یا هرگونه افزایش انرژی جسم، جرم آنرا

افزون میکند. به همین دلیل، مثلا جرم جسم حرارت داده شده بیشتر از جرم جسم سرد و جرم فنر فشرده شده از فنر آزاد بیشتر است. البته، ضریب تناسب بین تغییر جرم و تغییر انرژی بقدری کم و ناچیز است که برای افزایش جرم جسم بمقدار یک گرام، انرژی معادل با ۲۰ میلیون کیلووات ساعت باید به آن افزوده شود.

بدین لحاظ است که تغییر جرم جسم در شرایط عادی بقدری ناچیز است که دقیقترین اندازه‌گیری‌ها نمیتواند آنرا ثبت نماید. لذا در اثر حرارت دادن یک تن آب از صفر درجه تا به جوشش، جرم آن تقریباً باندازهٔ پنج میلیونیم گرام افزایش می‌یابد.

اگر یک تن ذغال سنگ در یک کوره کاملا دربسته بسوزانیم پس از سرد شدن ماحصل احتراق، جرمش فقط باندازهٔ یک سه هزارم گرام کمتر از مجموع جرم‌های ذغال و اکسیژنی است که از آنها تشکیل یافته است. و این کمبود جرم، همان مقدار حرارتی است که در مراحل سوخت از دست رفته است.

اما فیزیک معاصر پدیده‌هائیرا میشناسد که تغییرات جرم اجسامرا بطور محسوسی در بر دارد. این پدیده‌ها هنگام بر خورد و تصادم هسته‌های اتم با یکدیگر صورت میگیرد وقتیکه از یک هسته، هستهٔ دیگری بوجود می‌آید. مثلا هنگام بر خورد هستهٔ اتم هیدروژن با هستهٔ اتم لیتیوم دو اتم هلیوم حاصل میگردد و جرم باندازهٔ $\frac{۱}{۴۰۰}$ مقدار جرم اولیه تغییر می‌یابد.

قبلا گفتیم که برای ازدیاد جرم جسم باندازهٔ یک‌گرام باید به آن انرژی برابر با ۲۰ میلیون کیلووات‌ساعت وارد ساخت. بنا بر این هنگام تبدیل یک گرام مخلوط لیتیوم و هیدروژن به هلیوم انرژی حاصله ۴۰۰ برابر کمتر است یعنی $\frac{۲۰۰۰۰۰۰۰}{۴۰۰} = ۶۰۰۰۰$ کیلووات‌ساعت.

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

بنا بر اعتقاد عمومی رادیوم پر ارزش‌ترین و گران‌بهاترین مادهٔ طبیعت بشمار می‌آید زیرا که یک گرام آن تا همین چندی قبل

در حدود $\frac{۱}{٤}$ میلیون روبل ارزش داشت.

اینک ارزش نور را حساب میکنیم.

در چراغ های برقی فقط $\frac{۱}{۲۰}$ انرژی بصورت نور مرئی حاصل میشود. بنا بر این یک گرام نور معادل ۲۰ برابر مقدار کاری است که مساوی ۲۵ میلیون کیلووات ساعت میباشد یعنی برابر با ۵۰۰ میلیون کیلووات‌ساعت است. اگر قیمت هر یک کیلووات‌ساعت‌را یک کوپیک حساب نمائیم ارزش این مقدار انرژی بالغ بر ۵ میلیون روبل میشود. لهذا ارزش یک گرام نور ۲۰ برابر از یک‌گرام رادیوم گرانتر است.

نتیجه

بدین ترتیب، تجارب دقیق و مقنع مارا وادار بدان میسازد که صحت نظریهٔ نسبیت را که از اسرار و خواص عجیب جهان دور و بر ما یعنی همان خواصی که در مطالعهٔ ابتدائی یا سطحی از نظر ما پنهان میماند پرده بر میدارد، تصدیق و قبول نمائیم.

دیدیم که نظریهٔ نسبیت چه تغییراتی عمیق در تصورات و ادراکات اصلی که بشر در خلال قرن‌ها و تجربیات روزمرهٔ زندگی کسب نموده است وارد میسازد.

آیا این به معنی ورشکست کامل تصورات و مفاهیم عادی نیست؟

و آیا این بدان معنا نیست که تمام فیزیک ایجاد شده تا قبل از کشف اصل نسبیت، خط بطلان خورده و مانند کفش کهنه‌ئی که قابلیت استفادهٔ بیشتری را نداشته باشد بدور انداخته می‌شود ؟

اگر کار بدین جا خاتمه می‌یافت به بررسی و تحقیق علمی دیگر نیازی نداشته و هیچ‌گاه نمیشد اطمینان داشت که در آینده نظریه‌های جدیدی ظاهر نشوند و کاخ آموزش قدیمی را واژگون نگردانند.

و اگر مسافری را در نظر مجسم کنیم که نه با قطار اینشتین بلکه در یک قطار سریع‌السیر معمولی حرکت کرده و ساعتش را با توجه به نظریهٔ نسبیت میزان و عیار می‌سازد و حراس دارد تا مبادا ساعتش نسبت به وقت ایستگاه عقب بماند البته چنین عملی مارا به خنده می‌اندازد. در حقیقت این عیار کردن و اصلاح یک جزء ناچیزی از ثانیه‌را تشکیل میدهد در حالیکه تکان‌های قطار در عالی‌ترین و دقیقترین ساعت بمراتب بیشتر تاثیر دارد.

انجنیر کیمیا اگر شک و تردید نماید که آب در موقع گرم شدن جرمش را ثابت حفظ میدارد واضح است که دچار دیوانگی شده و اگر دانشمند فیزیک هنگام مشاهدهٔ برخورد و تصادم هسته‌های

اتمی تغییرات جرم را در موقع برخورد و تبدیل هسته‌ها در نظر نگیرد باید به خاطر نادانی از آزمایشگاه بیرونش راند.

طراحان با استفاده از قوانین فیزیک قدیمی انجنهایشان را طرح‌ریزی مینمایند و در آینده نیز خواهند نمود چون اگر اصلاحاتی بر مبنای نظریهٔ نسبیت وارد میکردند این امر تاثیری کمتر از تاثیر یک میکروب میکرد که روی چرخ طیار نشسته باشد. و اما فیزیک‌دانی که مشغول مشاهده و مراقبت حرکت الکترون‌های سریع باشد موظف است تغییر جرم الکترونها را در اثر تغییر سرعت مد نظر داشته باشد.

بدین ترتیب نظریهٔ نسبیت تصورات و مفاهیمی را که علم قدیمی بوجود آورده است رد نکرده بلکه عمیقتر ساخته و چنان حدودی را برای کاربرد این مفاهیم قدیمی معین میکند که مارا از نتایج نادرست مصون میدارد. تمامی قوانین طبیعی که توسط فیزیک‌دانان تا قبل از بوجود آمدن نظریهٔ نسبیت کشف شده لغو و باطل نگردیده بلکه موارد استعمال آنها بطور کاملا واضح محدود و مشخص شده است.

ارتباط بین آن فیزیک که بر مبنای نظریهٔ نسبیت بنا شده یا فیزیک نسبیتی و فیزیک قدیمی یا کلاسیک تقریباً مانند ارتباط میان جیودزی عالی که شکل کروی زمین‌را در نظر میگیرد و جیودزی معمولی که آنرا نادیده میگیرد میباشد. جیودزی عالی نسبیت مفهوم خط قائم را باید نقطهٔ مبدا قرار دهد و فیزیک نسبیتی باید نسبیت ابعاد جسم و فاصلهٔ زمان میان دو حادثه را درنظر داشته باشد حال آنکه برای فیزیک کلاسیک، این نسبیت وجود خارجی ندارد.

همانطوریکه جیودزی عالی از جیوذری معمولی ریشه و اساس گرفت و بر مبنای آن پیشرفت کرد، همان طور هم فیزیک نسبیتی از فیزیک کلاسیک ریشه گرفت و پیشرفت و تکامل یافت.

اگر فرض کنیم که شعاع کرهٔ زمین بی‌نهایت باشد میتوانیم فرمول‌های هندسهٔ کروی یعنی هندسهٔ روی سطح کره‌را، به فرمول‌های هندسهٔ مسطحه یعنی هندسهٔ روی سطح مستوی تبدیل نمائیم. آنگاه زمین دیگر کروی نبوده بلکه به یک سطح صاف و هموار مبدل

ردیده و قائم بر آن مفهوم مطلق را بخود میگیرد و مجموع زوایای داخلی مثلث با مجموع دو زاویهٔ قائمه دقیقاً برابر خواهد بود.

اگر سرعت نور را بی‌نهایت و انتشار آنرا آنی فرض کنیم میتوانیم در فیزیک نسبیتی هم عمل مشابهی انجام دهیم.

در حقیقت هم اگر انتشار نور آنی باشد مفهوم همزمانی بطوریکه قبلا دیدیم مفهومی مطلق خواهد بود. فاصلهٔ زمان میان حوادث و اندازه‌های اجسام بدون وابستگی به آزمایشگاهی که از آن مراقبت و مشاهده بعمل می‌آید مفهوم مطلق بخود میگیرد. اگر سرعت نور را بی‌نهایت فرض کنیم در نتیجه میتوانیم تمام عقاید کلاسیک را حفظ نمائیم.

در عین حال تمام کوشش‌ها برای توأم نمودن سرعت متناهی نور با حفظ تصورات قدیمی دربارهٔ زمان و مکان مارا در موقعیت ابلهانهٔ شخصی قرار میدهد که میداند زمین کروی است ولی اطمینان دارد که خط قایم شهریکه در آن زندگی میدارد قایم مطلق است و بخاطر اینکه مانند فرفره در فضا پرتاب نشود نمی خواهد از حدود شهر خود قدم بیرون گذارد.

خوانندگان گرامی!

بنگاه نشریات «میر» خواهشمند است نظریات خود را در بارهٔ این کتاب و ترجمه وچاپ 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 بزبان فارسی، ترجمه و منتشر میکند.

شما میتوانید نظریات و پیشنهادهای خود را به نشانی زیر بفرستید:

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

قابل توجه خوانندگان گرامی!

در سال ۱۹۸۲ بنگاه نشریات «میر» کتاب آ. مارکوشویچ «دنبالنه‌های برگردا» را بزبان فارسی چاپ و منتشر میکند.

در این جزوهٔ آکادمیسین آ. مارکوشویچ نظریهٔ دنباله‌های برگردا با زبانی عامه‌فهم بیان شده است. دنباله‌های برگردا شامل حالات خاصی مانند تصاعدهای حسابی و هندسی، دنباله‌های مربعات و مکعبات اعداد طبیعی، اعداد فیبوناچی و هرگونه دنبالهٔ متناوب میباشد. این نظریه کاملاً ابتدائی بوده و بصورت قابل فهم دانش‌آموزان دورهٔ پایان دبیرستان بیان شده است.

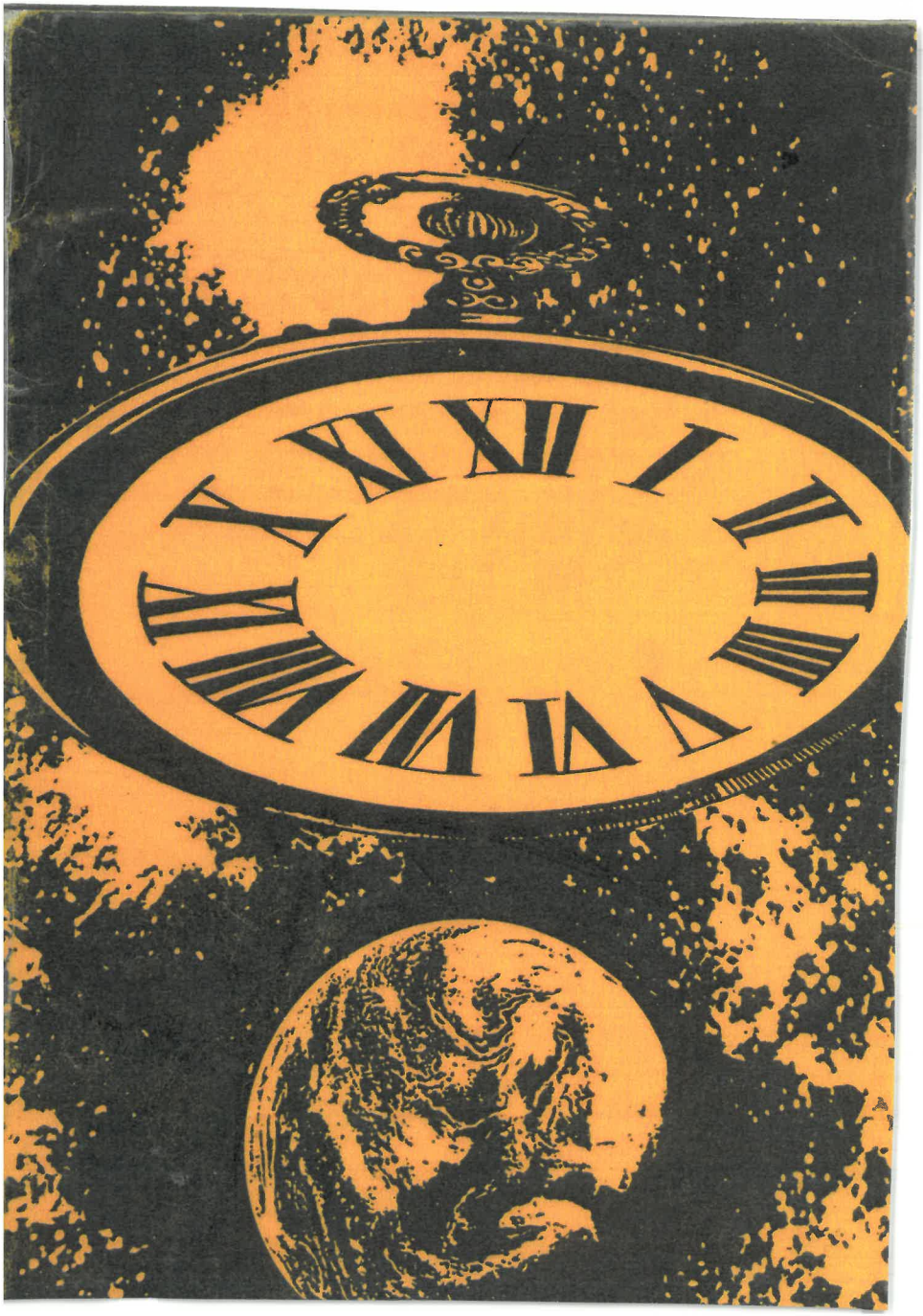
قابل توجه خوانندگان گرامی!

در سال ۱۹۸۱ بنگاه نشریات «میر» کتاب و. لانگه «مسایل هوش‌آزمائی در فیزیک تجربی» را بزبان فارسی چاپ و منتشر میکند.

این کتاب کوچک متضمن مسایلی از فیزیک عمومی میباشد که از خواننده علاوه بر دانستن مفاهیم و قوانین اساسی فیزیک، قدرت تفکر خلاقانه و کاربرد دانسته‌ها را ایجاب مینماید. برای کنترل نتیجه، راه حل مسایل بتفصیل تشریح شده است.

این کتاب برای توده‌های وسیع خوانندگان در نظر گرفته شده و آنان را بجای از بر کردن ناآگاهانهٔ فرمولها و قوانین به توسعهٔ قدرت تفکر فیزیکی راهنمائی میکند. تعداد زیادی از مسایل آن را میتوان برای برگزاری مسابقهٔ ریاضی تفننی مورد استفاده قرار داد. کتاب و. لانگه به زبانهای انگلیسی و فرنسوی نیز ترجمه شده است.

قابل توجه خوانندگان گرامی!

در سال ۱۹۸۲ بنگاه نشریات «میر» چاپ دوم فارسی کتاب ی. پرلمان «فیزیک برای سرگرمی» را در دو جلد منتشر مینماید.

چاپ اول فارسی این کتاب جالب چند سال است که در بازار کتاب کمیاب شده و خوانندگان با ارسال نامه‌های تحسین‌آمیز در بارهٔ این کتاب ما را بر آن داشتند تا به تهیهٔ چاپ مجدد مبادرت ورزیم. مسلماً در چاپ جدید، اصلاحات و تغییراتی در جهت بهبود چاپ و آرایش کتاب وارد خواهد شد.