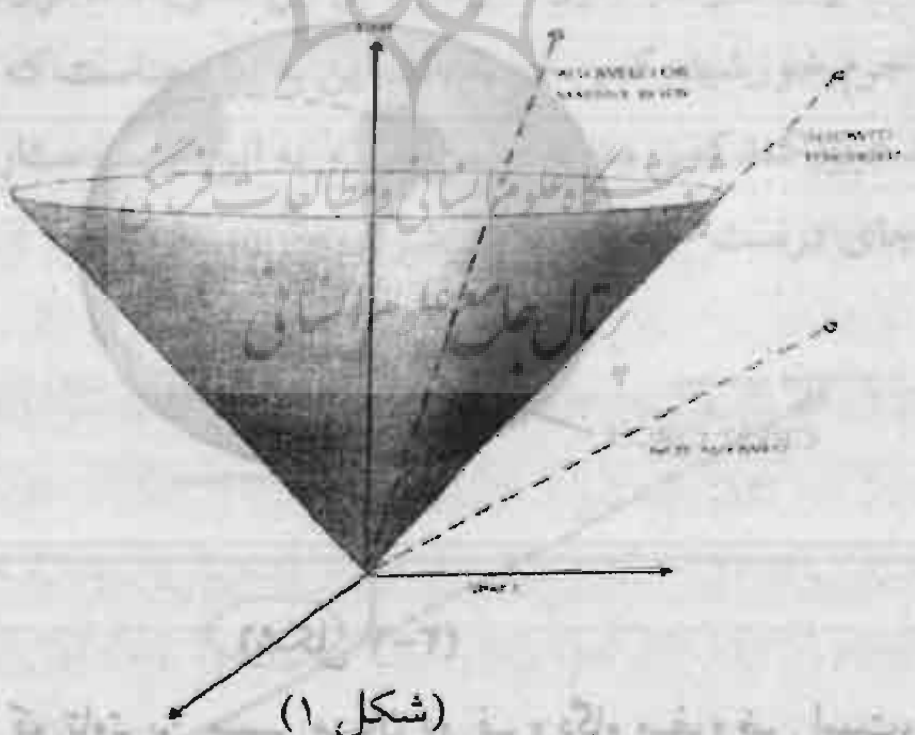
نوشته‌ی: استفن هاوکینگ
برگردان: دکتر روح‌اله عباسی؛ دکتر سعید اسحاقی

فضا و زمان (۳)

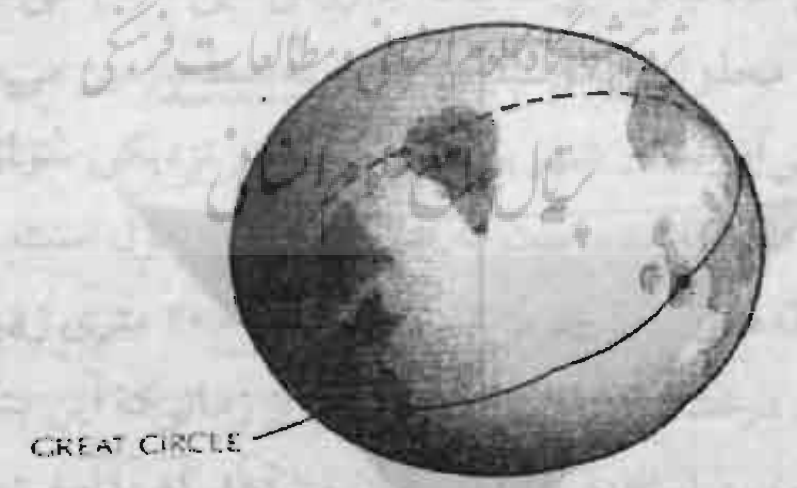
اگر از تاثیرات جاذبه‌ای بگذریم، همان‌طور که انیشتین و پوانکاره در سال ۱۹۰۵ صرف‌نظر کردند، نظریه‌ی نسبیت محدود را در اختیار داریم. برای هر حادثه در «فضا ـ زمان» می‌توانیم یک مخروط از نور بسازیم (مجموعه همه اشعه نورانی در فضا ـ زمان، قابل صدور تشعشع در لحظه‌ی حاضر) و بدان دلیل که سرعت سیر نور در هر حادثه و در همه سمت‌ها همانند است، همه‌ی مخروط‌های نوری همانند بوده و دارای سمت واحدی هستند. البته این نظریه را می‌دانیم که هیچ جنبنده‌ای قادر نیست سریع‌تر از نور جابه‌جا شود. این به آن معناست که می‌توان مسیر هر «شی مسافر» از خلال فضا و زمان را به‌وسیله‌ی خط مستقیمی که در اندرون مخروط نور گسترده شده به ازای هر حادثه که روی این خط راست قرار دارد، نشان داد.



(شکل ۱)

نظریه‌ی نسبیت محدود، به‌نحوی بسیار موثر این واقعیت را که سرعت نور برای همه‌ی رصدگران (بنا به اثبات میکل سان مورلی) یکی است و این وضع هنگامی واقع می‌شود که اشیای متحرک با سرعتی نزدیک به سرعت سیر نور حرکت کنند، توضیح داد. بنابراین، این نظریه با نظریه‌ی

جاذبه‌ی نیوتن که می‌گفت اجسام (اشیا) هم‌دیگر را بر حسب نیرویی که تابع و متناسب با فاصله‌ی بین آن‌هاست جذب می‌کنند (به‌سوی خود می‌کشند)، ناسازگار بود. این بدان معنا بود که اگر جای یکی از اشیا را عوض کنیم، نیروی وارده بر دیگری به سرعت تغییر می‌کند. یا به زبان دیگر، که اثرات جاذبه باید با سرعتی بی‌نهایت مسافرت کنند و نه با سرعتی برابر یا کم‌تر از نور، بدانسان که نظریه‌ی نسبیت محدود، الزام می‌کرد، در سال‌های ۱۹۱۴-۱۹۱۸، انیشتین آزمایش‌های متعددی را برای پیدا کردن یک نظریه جاذبه که با نظریه‌ی نسبیت محدود سازگار باشد، انجام داد. سرانجام در ۱۹۱۵، نظریه‌ی مطلوب را که ما امروزه به‌نام نظریه‌ی نسبیت عمومی می‌شناسیم، پیشنهاد و ارایه داشت. انیشتین این نظر انقلابی را مطرح کرد که: جاذبه، نیرویی همانند نیروهای دیگر نیست، بلکه جاذبه عبارت از نتیجه‌ی واقعیت است که «فضا- زمان» بر خلاف آن‌چه که درنظر گرفته‌شده، مسطح نبوده، بلکه منحنی، یا در اثر توزیع جرم و انرژی محتوای خود «کج ومعوج» است. اجرامی از قبیل زمین مجبور نیستند به‌علت نیرویی به‌نام نیروی جاذبه روی مسیرهای منحنی جابه‌جا شوند. این اجرام (اجسام)، در واقع روی مسیری حرکت می‌کنند که بیش‌تر نزدیک به مسیری خطی در یک فضای منحنی است، یعنی یک «ژئودزیک». ژئودزیک کوتاه‌ترین (یا درازترین) مسیر میان دو نقطه همسایه (مجاور) است. برای نمونه، سطح زمین یک فضای منحنی دو بعدی است. یک ژئودزیک بر روی زمین به دایره‌ای عظیمه موسوم است که کوتاه‌ترین راه میان دو نقطه است.

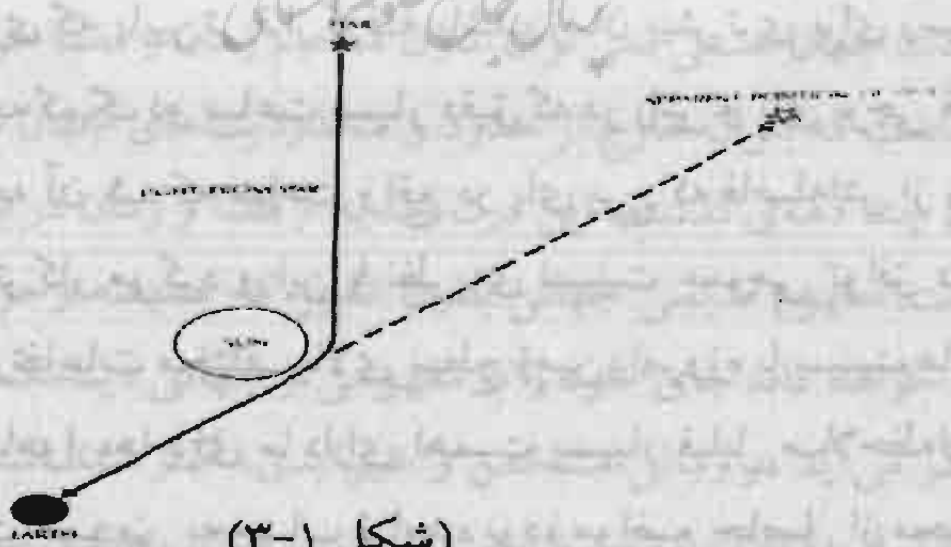


(شکل ۱-۲)

چون ژئودزیک عبارت از کوتاه‌ترین مسیر میان دو فرودگاه مفروض است، راهی است که هوانورد برای خلبان هواپیما تعیین می‌کند. در نسبیت عام (عمومی)، اجسام (اجرام)، همیشه خطوطی مستقیم در یک «فضا - زمان» چهار بعدی طی می‌کنند، ولی این اجسام به‌نظر ما چنین می‌آیند که در طول مسیرهای منحنی در «فضا - زمان» سه بعدی ما در حرکتند (به‌تقریب مانند این

است که هواپیمایی بر فراز زمینی ذو عارضه پرواز می‌کند. با وجودی که هواپیما روی خطی مستقیم در فضای «سه بعدی» می‌پرد، سایه‌ی آن، مسیری منحنی در روی زمین «دو بعدی» ترسیم می‌کند.) جرم خورشید، «فضا ـ زمان» را چنان خم می‌کند که با وجودی که زمین در یک «فضا ـ زمان» چهار بعدی مسیر مستقیم را طی می‌کند، در نظر ما چنان جلوه می‌کند که در مسیری واقع در فضای سه بعدی، جا به‌جا می‌شود. در عمل، پیش‌گویی نظریه‌های نسبیت عمومی و نظریه‌ی جاذبه نیوتون درباره‌ی مسیرهای سیاره‌ها به‌طور دقیق، همانند است: پس در مورد سیاره‌ی عطارد، نزدیک‌ترین سیاره منظومه‌ی خورشیدی به خورشید، که تحت تاثیر حداکثر نیروی جاذبه (ثقل) آن بوده و مسیر حرکت آن کمی طولانی‌تر است، بنا به‌نظریه‌ی نسبیت، محور بزرگ‌تر بیضی مسیر باید حول خورشید هر ده هزار سال، به‌تقریب یک درجه چرخش داشته باشد. این اثر هرچه هم خفیف باشد، پیش از سال ۱۹۱۵ کشف شده بود و از نخستین دلایل استحکام نظریه‌ی نسبیت به شمار می‌آید. در جریان سال‌های اخیر، انحراف‌های (زاویه‌ای) خفیف‌تری از سایر سیاره‌ها نسبت به‌نظریه‌ی نیوتون، از برکت رادار، اندازه‌گیری شده است که با نظریه‌ی نسبیت عمومی هم‌خوانی دارد.

پرتو نورانی نیز باید مسیرهای ژئودزیک «فضا ـ زمان» را بپیماید. یعنی باز این واقعیت که فضا منحنی است به آن معناست که دیگر نمی‌توان گفت که نور در فضا روی یک خط مستقیم جا به‌جا می‌شود (مسافرت می‌کند.) به این ترتیب، نسبیت عمومی پیش‌گویی می‌کند که نور باید به‌وسیله‌ی یک میدان جاذبه منحرف شود. به‌طور نمونه بنا بر این نظریه، مخروط‌های نور نقاط نزدیک به خورشید، به دلیل جرم خورشید، کمی خمیده‌اند. این به آن معناست که نور ستاره‌ای دوردست که از مجاورت خورشید عبور کند کمی منحرف می‌شود و به این جهت ستاره برای رصدکننده‌ای که روی زمین قرار دارد در جای درست خود دیده نمی‌شود.



(شکل ۱-۳)

البته، اگر نور رسیده از ستاره، همیشه از کنار خورشید می‌گذشت، ما قادر نبودیم که بگوییم آیا نور منحرف شده و یا این‌که ستاره، آن‌جایی است که ما می‌بینیم. با وجود این چون زمین حول

خورشید می‌گردد، پیش می‌آید که ستارگان مختلف از ورای آن بگذرند و نور آن‌ها منحرف شود. بنابراین، موضع ظاهری آن‌ها نسبت به ستارگان دیگر عوض می‌شود. به طور معمول خیلی دشوار است که بتوان این اثر را مشاهده کرد. زیرا نوری که از جانب خورشید می‌آید، مشاهده ستاره‌های نزدیک آن را غیرممکن می‌سازد. با وجود این، امکان دارد که به هنگام کسوف خورشید (گرفتن خورشید)، هنگامی که نور خورشید به‌وسیله‌ی ماه متوقف شده است، آن را رصد کرد. پیش‌گویی انشتن درباره‌ی انحراف نور در سال ۱۹۱۵ به‌علت جنگ جهانی اول تایید نشد، تا این‌که در سال ۱۹۱۹ هیات اعزامی بریتانیایی به آفریقای غربی برای رصدکردن کسوف، دلیل درستی آن را اثبات کرد. این تایید نظریه‌ی آلمانی به‌وسیله‌ی دانشمندان انگلیسی، به‌منزله‌ی یک رفتار آشتی‌گرایانه میان دو کشور متخاصم تلقی شد. جالب است که آزمایشی که بعد از عکس‌برداری‌های این هیات اعزامی انجام گردید، اشتباهاتی را به اهمیت اثری که باید اندازه‌گیری شود نشان داد. اندازه‌گیری‌های آن‌زمان همه نتیجه تصادف و شانس محض بود و این ماجرا از نمونه‌های خاصی است که نتایج مطلوب آن، از قبل برای ما معلوم است؛ این قبیل پیش‌آمدها در دانش کم نیستند، با این وجود انحراف نور با دقت و درستی از طریق مشاهدات و رصدهای آینده بعدی تایید شد.

پیش‌گویی جالب دیگری از نسبیت عمومی را یادآور شویم: به‌طور معمول زمان باید با سرعتی کم‌تر هنگام عبور از جوار جسمی بزرگ چون کره‌ی زمین جاری جریان داشته باشد و این به دلیل نسبت بین انرژی نور و بسامد (فرکانس، یعنی تعداد امواج نوری در یک ثانیه) آن است. هرچه انرژی زیادتر باشد بسامد آن بزرگ‌تر است. چون نور در میدان جاذبه‌ی زمین به‌سوی بالا حرکت می‌کند، انرژی از دست می‌دهد و در نتیجه بسامدش کاهش می‌یابد (این بدان معناست که طول فاصله‌ی زمانی بین اوج یک موج و اوج موج بعدی افزایش می‌یابد.) در نظر کسی که خیلی در بالا واقع است، چنین به‌نظر می‌آید که هر چیزی که پایین‌تر قرار گرفته باشد، زمان بیش‌تری برای رسیدن نیاز دارد. این پیش‌گویی در سال ۱۹۶۲ به کمک دو ساعت بسیار دقیق که در راس و پای برجی قرار داده شدند مورد آزمایش قرار گرفت. نتیجه آن شد که ساعت واقع در پای برج که فاصله‌اش از زمین کم‌تر از ساعت واقع در راس بود، کندتر کار می‌کرد و این با نظریه‌ی نسبیت عمومی توافق دارد. مساله‌ی اختلاف سرعت ساعت‌ها در ارتفاعات مختلف بالای سطح زمین، امروزه با سیستم‌های هواپیمایی بسیار دقیق، مبتنی بر علایم ماهواره‌ها برای ما دارای اهمیت بسیار قابل ملاحظه‌ای است. اگر مساله‌ی پیش‌گویی‌های نسبیت عمومی به‌حساب نیامده بود، مواضع حاصل از محاسبه، چندین کیلومتر غلط داشت. قانون حرکت نیوتون، به ایده موضع مطلق در فضا پایان داد. نظریه‌ی نسبیت، از دست زمان مطلق نجات یافت.

اکنون یک زوج دو قلو را در نظر بگیریم. فرض کنیم که یکی از این دو قلوها برود در قله یک کوهستان زندگی کند و دیگری در تراز سطح دریا. دو قلوی اولی باید زودتر از دومی پیر شود. پس، موقعی که این دو قلوها باز با هم تلاقی کنند یکی از آن‌ها باید پیرتر از دیگری باشد. در این دو قلوها اختلاف سن خیلی ناچیز است، ولی اگر یکی از آن‌ها در یک کشتی فضایی نشسته و با سرعتی نزدیک به سرعت سیر نور، فضانوردی کند، اختلاف سن آن‌ها خیلی بیش‌تر خواهد بود. به هنگام مراجعت، مسافر فضایی خیلی از برادرش که در سطح زمین مانده بود، جوان‌تر خواهد بود. این ماوقع را (تناقض ـ مفارق دو قلوها) «پارادوکس دو قلوها» می‌نامند. ولی برای کسی می‌تواند پارادوکس باشد که هنوز ایده‌ی زمان مطلق را در مغز خود نگه داشته باشد.

در نسبیت، زمان مطلق (منحصر به فرد) وجودندارد. هر فرد برای خود، اندازه‌ی زمان مربوط به خود را دارد، زمانی‌که تابع محل و هم نحوه حرکت و جابه‌جاشدن اوست. پیش از ۱۹۱۵، فضا و زمان به‌عنوان میدان ثابتی بود که در آن حوادث پیش می‌آمدند و خود آن میدان به هیچ‌وجه تحت تاثیر حادثه قرار نمی‌گرفت. این موضوع درباره‌ی نظریه‌ی نسبیت محدود (خاص) هم صادق بود. اجسام جابه‌جا می‌شدند (حرکت می‌کردند)، نیروها را جذب و دفع می‌کردند، ولی زمان و فضا، بی‌غل و غش، بدون تغییر، تداوم داشتند. طبیعی بود که انسان فکر کند فضا و زمان برای همیشه جاری باشند. با این وجود، اوضاع در نظریه‌ی نسبیت عمومی به‌طور کامل مغایر است. اکنون فضا و زمان کمیت‌های دینامیک هستند. وقتی که جسمی حرکت می‌کند، یا وقتی که نیرویی عمل می‌کند، این حرکت یا نیرو بر انحنای فضا و زمان ـ و در عوض، ... ساختار (ترکیب) فضا ـ زمان، بر نحوه‌ی حرکت اجسام و نحوه‌ی اعمال عمل نیروهای عامل اثر می‌گذارد. فضا و زمان نه تنها بر هرچه که به سر جهان هستی می‌آید اثر می‌گذارند، بلکه آن‌ها خود نیز تحت‌تاثیر واقع می‌شوند. همان‌طوری که درباره‌ی حوادث جهان هستی نمی‌توان بدون مفاهیم زمان و فضا حرف زد، در نسبیت عمومی دور از عقل و معناست که بتوان خارج از حدود و محدودیت‌های جهان سخن گفت.

در جریان چند دهه‌ی گذشته، این درک جدید از فضا و زمان در بینش ما از جهان هستی،انقلابی وارد کرده است. مفهوم قدیمی جهانی بدون تغییر، که همیشه وجود داشته و به‌وجود خود نیز همیشه ادامه خواهد داد، جای خود را به مفهومی از جهانی دینامک، در حال اتساع (گسترش) داده است که به‌نظر می‌آید در زمانی مشخص و غیر ابدی، آغاز شده است و در زمانی معین متناهی در آینده پایان یابد. این انقلاب موضوع بحث فصل بعدی این تحقیق است و چند سال بعد، این تحقیق نقطه شروع بررسی‌های من در فیزیک نظری خواهد بود. روژه پنرز و من، ثابت کردیم که نظریه نسبیت عمومی انیشتین خاطرنشان می‌کرد که جهان آغازی دارد و شاید آن را پایانی هم باشد.