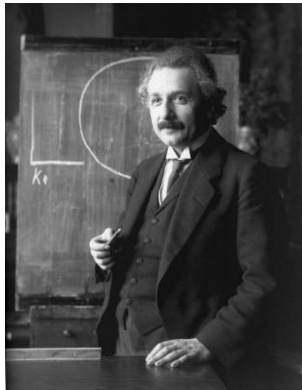
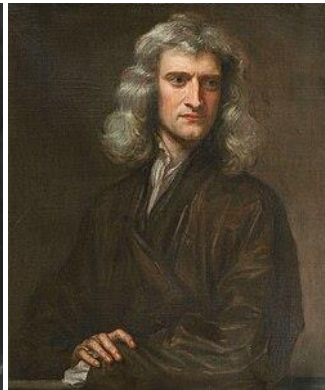
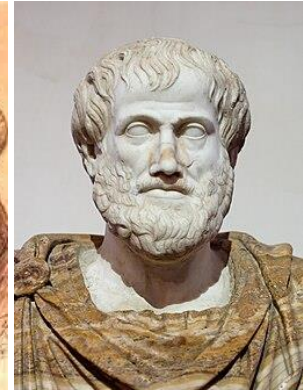


## فضازمان کلاسیک

آلبرت اینشتین<sup>۴</sup>ایزاک نیوتن<sup>۳</sup>محمد زکریای رازی<sup>۲</sup>ارسطو<sup>۱</sup>

### Classical spacetime

اولین قدم برای توصیف دنیای "واقعی بیرون"، ارایه مفهوم شیء فیزیکی است. قدم دوم، بازگویی فهم ما از این مفهوم است که می‌باید تا حد امکان مستقل از ادراک حسی باشد.<sup>۵</sup> گزاره‌هایی که نه به‌طور مستقیم و نه به‌طور غیرمستقیم در دسترس حواس ما نیستند، مانند گزاره‌های فضا و زمان، غیرقابل راست‌آزمایی و با ماهیت فیزیک در تضاد هستند.

#### فشرده

فضازمان کلاسیک یک ساختار چهار بُعدی است و برخلاف نظریه کوانتومی پیوسته تصور می‌شود. این‌که آیا این تصور درست است و یا توهمی بیش نیست، یکی از مسائل و پرسش‌های بزرگ انسان در طول تاریخ بوده و می‌باشد. مسئله‌ای که از جمله از جانب هر اکلیت معتقد به شکل‌گیری هستی از آتش و تغییرپذیری آن در سطوح گوناگون، زکریای رازی<sup>۲</sup> معتقد به فضا و زمان مطلق، هفتصد سال پیش از ایزاک نیوتن<sup>۳</sup>، و همچنین در دوران نیوتن از قرن هفدهم تا اوایل قرن بیستم و از آن زمان به این‌سو به‌صورت نسبیتی از جانب آلبرت اینشتین<sup>۴</sup> در شکل فضازمان چهاربُعدی خاص (۱۹۰۵) و عام (۱۹۱۵) مورد بحث و بررسی بوده است. با این همه، باید اذعان کرد، ما هنوز به پاسخ نهایی در باره هستی و چیستی فضازمان دست نیافته‌ایم.<sup>۱۰</sup> در مقاله‌ی حاضر، در بخش نظریه نسبیت عام، توضیح می‌دهیم که چرا اینشتین یک سال پس از ارایه نظریه نسبیت عام، یعنی در سال ۱۹۱۶ می‌گوید:

"الزام هموردایی عام (general covariance)، آخرین بقایای عنیت فیزیکی فضا و زمان را از بین می‌برد."<sup>۱۱</sup>

علم فیزیک حاضر، استوار بر دو نظریه اساسی از قرن بیستم، یعنی نظریه نسبیت و نظریه کوانتومی، جهان هستی را با یاری فضازمان توصیف می‌کند. با این حال، "ما نمی‌توانیم مطمئن باشیم، اصول اولیه فیزیکی که این دو نظریه بر اساس آنها بنا شده‌اند در مقیاس پلانک (<sup>۳۳-۱۰</sup>سانتیمتر) نیز معتبر هستند. با این وجود، تاریخ فیزیک به ما می‌آموزد، برون‌یابی‌های (extrapolations) نظریه‌های خوب اغلب بسیار خوب عمل می‌کنند. برای مثال، معادلات ماکسول از مقیاس هسته‌ای تا کهکشانی، یعنی در منطقه‌ای حدود <sup>۳۵-۱۰</sup>مرتبه، بیشتر از فاصله ما از مقیاس پلانک، بسیار خوب عمل می‌کند.<sup>۱۲</sup> از این‌رو، برای شناخت فیزیک در اندازه‌های پلانک لازم است هندسه‌ی فضازمان را در مقیاس پلانک با در نظر گرفتن دو نظریه نامبرده بررسی کرد. برای این منظور آشنایی با فضازمان کلاسیک (نیوتنی و نسبیتی) و نظریه کوانتومی ضروری است. به‌همین خاطر ما در این مقاله سعی داریم با دستاوردهای ۲۵ قرن گذشته در باره‌ی فضا و زمان کلاسیک آشنا شویم و در مقاله‌های پسین به فضا و زمان کوانتومی و فیزیک در مقیاس پلانک (نظریه گرانش کوانتومی) بپردازیم. با در نظر گرفتن این مهم که در حال حاضر هیچ‌گونه امکان راست‌آزمایی چنان نظریه‌ای وجود ندارد.

#### یادآوری:

۱. در مقاله 'معمای فضازمان'<sup>۱۳</sup>: به‌طور ح مسئله‌ی فضازمان در رابطه با نظریه نسبیت عام و نظریه کوانتومی پرداختیم.
۲. در مقاله 'محدودیت‌های شناخت فضازمان'<sup>۱۴</sup>: محدودیت‌ها را از جمله اختلاف در ساختارهای نظری ملاحظه کردیم.

## پیشگفتار

رویدادهای طبیعی با یاری گویه‌های (مقوله‌های) فضا و زمان توصیف می‌شوند. از این‌رو، روشن است که باید پیش از همه شناخت درستی از این دو گویه داشت. در درجه نخست لازم است نشان داده شود که اصولن فضا و زمان وجود دارند. اما همان‌گونه که می‌دانیم<sup>۱</sup> علم فیزیک با پیش‌فرض وجود فضا و زمان، چه به‌صورت مطلق و چه به‌صورت نسبی، بنا شده است. بی‌آنکه وجود آنها به‌عنوان مفهوم‌های پایه فهمیده و به اثبات رسیده باشد. از این‌رو، نمی‌توان این وضعیت را رضایت‌بخش و اساسی دانست. با این همه، ما شاهد کارآیی شایان توجه روش پیش‌گرفته در بخش‌های مختلف علمی و فنی هستیم. امری که بنوبه خود سبب باور ما به وجود فضا و زمان و دیدگاه ویژه به جهان هستی شده است. در این‌باره در مقاله‌ی 'مفهوم فضا'<sup>۱۰</sup> آمده است:

"مفهوم فضا مانند مفهوم زمان و مفهوم ماده در صد سال گذشته در ارتباط با دست‌آوردهای شگرف علمی تغییرات اساسی داشته است، تغییراتی حاصل از نقد فیزیکی و فلسفی آنها. فضا برای دانش فلسفه یک مؤلفه‌ی اساسی به‌حساب می‌آید. این‌که آیا فضا محدود است یا نامحدود، مطلق است یا نسبی و یا آیا اصولن چیزی به نام فضا وجود دارد یا صرفن رابط میان اشیاء و یا بخشی از یک چارچوب مفهومی، همواره در دانش فلسفه محل مناقشه بوده است.<sup>۱۱</sup> و در مقاله 'زمان چیست و چگونه به دنیا آمد؟'<sup>۱۵</sup> می‌خوانیم:

"مقوله‌ی زمان سخت با تجربه‌ی روزمره‌ی ما گرم‌خورده است. برای مثال، ما پروسه‌ی حیات را بازگشت‌ناپذیر و یک‌سویه شاهدیم. آیا این به‌معنای وجود زمان، یک‌سویه و جهت‌دار بودن آن است؟ حواس ما یک چنین حالتی را به ما القاء می‌کنند: در شکل زمان مطلق و جاری شدن بک‌نواخت آن. حالتی که ذکر‌یای رازی و هفتصد سال پس از او نیوتن آن را با چنان ویژگی‌هایی توصیف نموده‌اند و امانوئل کانت آنها را نه تنها مطلق بلکه آپریوری، پیش‌تجربی، پیشینی، نیز دانسته است.

به دلیل آن‌که قوانین طبیعی هیچ نشانی برای تعریف زمان از خود بروز نمی‌دهند، لذا عملن راهی جز تعریف دلخواه و قراردادی آن باقی نمی‌ماند. از این‌رو، ماخ، پوانکاره، اینشتین، رایشنباخ، کارناپ، گرونباوم و بسیاری دیگر اقدام به بررسی همه‌جانبه‌ی زمان قراردادی کردند. بررسی‌های نظری و تجربی آنها نشان دادند که زمان قراردادی توان توضیح مسائل حل نشده را دارد و قادر است بگوید، چرا اندازه‌های زمان در حرکت‌ها و یا در مکان‌های مختلف در مقایسه باهم یکسان نیستند.<sup>۱۵</sup>

با در نظر گرفتن نکات ذکر شده در نقل قول‌های<sup>۱۰، ۱۱</sup> و این‌که رویدادهای طبیعی با یاری گویه‌های فضا و زمان توصیف می‌شوند، لازم است به این پرسش ارنست شموترز Ernst Schmutzer، فیزیکدان آلمانی (۱۹۳۰-۲۰۲۲)، پاسخ داد:

"تصور نبود فضا و زمان به چه معنایی است؟ آیا راهی برای بیان ریاضی پروسه‌ی آبستراکت آن وجود دارد؟"<sup>۱۶</sup>

شموترز خود به این پرسش چنین پاسخ می‌دهد: "تا به امروز توفیقی برای بیان ریاضی چنان ایده‌ای حاصل نشده است."<sup>۱۶</sup> شاید پژوهش‌های علم فیزیک در مقیاس پلانک، حداقل به‌طور نظری، با آمیزش (تلفیق) نظریه نسبیت عام و نظریه کوانتومی به نظریه گرانش کوانتومی، امکان پاسخ اساسی به پرسش‌های دیرینه انسان در باره فضا و زمان را بوجود آورد.

## ارسطو (زمان مطلق، مکان)

ارسطو، فیلسوف یونانی (۳۲۲-۳۸۴ پ. م.)، در کتاب فیزیک<sup>۱۷</sup> (۳۴۷ پ. م.) به توضیح مقوله‌های اساسی در رابطه با فرایندهای طبیعی از جمله مکان، زمان، حرکت و علت می‌پردازد. او زمان را بی‌پایان و سنج‌ای برای تغییر و کیهان را کروئ‌شکل، محدود شده به ثوابت با مرکزیت زمین، ارزیابی می‌کند. کیهان برای ارسطو پیوستاریست متشکل از بخش پائین ماه، بنا شده از چهار عنصر (آب، آتش، خاک و باد)، و بخش بالای ماه، آکنده (مملو) از عنصر پنجم به نام اتر (aether, ether). به این ترتیب، ارسطو فضا را مکان اشیا نسبت به محیط مادی آنها تعریف می‌کند. او معتقد بود هیچ شی‌ای بیرون از آسمان (فلک الافلاک) وجود ندارد و هیچ شی‌ای را نمی‌توان به "بیرون" از آسمان برد.

در واقع، ارسطو گویه‌ی فضا را از مقوله مکان تفکیک می‌کند. او در کتاب نامبرده، topos را به‌معنای مکان تعریف می‌کند و معتقد است که فضا مجموعه‌ای از مکان‌هاست. او مکان را از جمله با این ویژگی تعریف می‌کند: مکان آن محصور شده از جانب چیزی است که خود جزو آن چیز نیست.

نظریه مکان و زمان ارسطو تا قرن چهاردهم میلادی، در واقع تا قرن هفدهم، یعنی حدود ۲۰۰۰ سال، نظریه‌ی چیره (غالب) بود، هرچند که نظریه او از همان ابتدا منتقدانی نیز داشت. یکی از منتقدان، شاگرد خود ارسطو، توفراستوس Theophrastus (۲۸۷-۳۷۱ پ. م.) بود. توفراستوس معتقد بود که فضا یک چیز واقعی نیست.

ارسطو در کتاب فیزیک، مقوله زمان را مورد بحث قرار داده و مانند استادش افلاطون<sup>۱۸</sup> که 'بود' و 'خواهد بود' را

اشکال صورت یافته‌ی زمان می‌دانست و تنها 'هست' را بی‌پایان می‌انگاشت، می‌نویسد:

"زمان اصولن واقعی نیست با فقط به‌زحمت و به‌شکل ناروشن واقعی است. این را می‌توان از واقعیت‌های زیر حدس زد: یک جزء آن گذشته است، لذا وجود ندارد؛ جزء دیگر آن هنوز در پیش است، لذا هنوز وجود ندارد. از چیزی که از غیرهستنده‌ها تشکیل شده نمی‌توان انتظار داشت که در بودن سهیم باشد. زمان از یک طرف به‌خاطر حالا به‌هم پیوسته است و از طرف دیگر توسط آن به بخش‌هایی تقسیم می‌شود. به‌نظر، چیزی که توسط حالا محدود می‌شود زمان است. و این را ما اساس قرار می‌دهیم."<sup>۱۷</sup>

ارسطو برای یافتن پاسخ به این پرسش: 'جوهر واقعی زمان چیست'، می‌گوید:

"روشن است که زمان را نمی‌توان برابر با حرکت دانست. در ضمن ما در اینجا فرقی میان حرکت و تغییر حالت قائل نمی‌شویم. ما باید کار خود را از آنجا شروع کنیم که می‌پرسیم، زمان چیست. اگر یک 'پیش از آن' و یک 'بعد از آن' محسوس باشد، در این‌صورت آن را زمان می‌نامیم: اندازه‌ی حرکت، تغییر، در رابطه با 'پیش از آن' و 'بعد از آن'."<sup>۱۸</sup> بی‌تردید، پیش از و پس از ارسطو فیلسوفان دیگری نیز در باره‌ی فضا و زمان اظهار نظرهایی کرده‌اند، از جمله:

**لیتزی**، فیلسوف چینی Liezi یا Liä-Tse، (۳۷۵-۴۵۰ پ. م.) لیتزی، در 'کتاب واقعی علت و العال جوشان و خروشان' در بخش 'اختلاف نظر در باره‌ی فضا و زمان' فضا را نامحدود و زمان را بی‌پایان می‌داند. او می‌نویسد:

"اگر فضای خالی وجود دارد، بی‌مرز است؛ اگر فقط فضای پُر وجود دارد، دارای اجزاء ساده نهائی است. چگونه می‌توانیم آن را بدانیم؟ آیا می‌تواند آن طرف مرزهای خالی یکبار دیگر یک بی‌مرزی نامحدود خالی باشد."<sup>۱۸</sup>

**زنون**، فیلسوف و ریاضی‌دان یونان باستان Zenon، (۴۳۰-۴۹۰ پ. م.) که ارسطو او را بنیانگذار دیالکتیک می‌داند، یکی از دگیری‌های ذهنی‌اش مسئله‌ی پیوستار، به‌ویژه پیوستار مربوط به فضا، زمان و حرکت، بود.

**افلاطون**، فیلسوف یونانی (۳۴۸-۴۲۳ پ. م.) معلم ارسطو، در نوشتار تیمائوس<sup>۱۷</sup>، هندسه را به‌عنوان علم فضا دانسته و خواهان بررسی کیهان به‌شکل هندسی است. افلاطون فضا را، به دلیل وجود اشکال مختلف هندسی، موضعی و ناهمگن می‌داند. او در همانجا به گویه زمان پرداخته و می‌نویسد:

"بود" و "خواهد بود" اشکال صورت‌یافته‌ی زمان هستند که ما آنها را بی‌آن‌که آگاه باشیم به نادرست به بودن ابدی گسترش (تعمیم) می‌دهیم. تنها 'هست' به بودن ابدی خویشی (تعلق) دارد."<sup>۱۹</sup>

به این ترتیب، افلاطون چیزی را که ما به‌عنوان 'حال' تجربه می‌کنیم از گویه‌ی زمان جدا می‌کند و آن را تنها وجه واقعی زمان می‌داند.

**اپیکور**، فیلسوف یونانی، (۲۷۱-۳۴۷ پ. م.) معتقد بود کیهان از اشیاء و فضای خالی تشکیل شده است و

**لوکرس**، فیلسوف و شاعر یونانی Titus Lucretius Carus (حدود ۵۵-۹۷ پ. م.)، طرفدار اتمیسم و نظریه اپیکور بود. لوکرس معتقد بود، اگر فضا محدود باشد، می‌شود به انتهای آن رفت و از آنجا نیزه‌ای را پرتاب کرد. به‌خاطر آن‌که دلیل روشنی برای از حرکت افتادن نیزه وجود ندارد، می‌باید که کیهان بی‌مرز باشد.

### محمد زکریای رازی (فضا و زمان مطلق)

محمد زکریای رازی، فیلسوف، پزشک و شیمی‌دان ایرانی (۲۵۱ - ۳۱۳ قمری)، هفتصد سال پیش از ایزاک نیوتن در کتاب 'شرح علم الهی'، یکی از مهم‌ترین کتاب‌های رازی، به گویه‌های زمان و مکان (خلاء) می‌پردازد. او این دو گویه را مطلق می‌داند. رازی، زمان مطلق و مکان مطلق را مجزا از زمان نسبی و مکان نسبی ارزیابی می‌کند. به این معنا که او زمان نسبی و مکان نسبی را در ارتباط با اشیاء مادی در نظر می‌گیرد ولیکن زمان مطلق و مکان مطلق را خوداستوار (قائم به ذات، آنچه هستی‌اش بدوست) ارزیابی می‌کند. رازی همچنین میان زمان، مدت و دهر (روزگار، ایام) فرق قایل است: زمان، آن مدت است که بین مبداء و منتهای هر حرکتی یا تغییری محصور است. اما، دهر بی‌آغاز و بی‌پایان است.

جالب است بدانیم، رازی براین نظر بود که در عالم هستی چیزی از هیچ (عدم) بوجود نمی‌آید، مگر از چیز دیگری. این نظر معنای آن نیز دارد که لازمه‌ی وجود هر شیئی‌ای مکان است. در واقع، رازی زمان مطلق و مکان مطلق را پیش‌فرض وجود اشیاء و حرکت و تغییر آنها در جهان هستی می‌داند. او در کتاب نامبرده با اتکا نفس بالایی می‌نویسد:

"من بر این نظرم که زمان به دو بخش تقسیم می‌شود: زمان مطلق و زمان محدود. زمان مطلق دائمی و بی‌پایان است. زمان همیشه وجود داشته و همواره (لاینقطع) جاری است. زمان محدود، آنی است که از حرکت اجسام سپهری (سماوی) و سیر خورشید و ستارگان بدست می‌آید.

من در باره‌ی مکان هم می‌گویم، مکان نیز مطلق و نسبی است. مکان مطلق مانند ظرفی است محیط بر اشیاء؛ اگر اشیاء داخل آن را نادیده بانگاری، ظرف ناپدید نمی‌شود. یا به تنگی می‌ماند که شراب آن تخلیه شده باشد: وقتی در آن شراب نباشد، به معنای آن نیست که آن تنگ وجود ندارد. در مقابل، مکان نسبی مکانی است نسبت به آنچه درونمایه‌ی آن می‌باشد. چنانچه چیزی وجود نداشته باشد که بشود آن را درونمایه‌اش نامید، در این صورت مکان هم وجود ندارد.<sup>۲۰</sup>

رازی منتقد جدی ارسطو:

"رازی یکی از جدی‌ترین منتقدین فیزیک ارسطویی بود. در واقع، او در تمام مسائل اساسی فیزیک موضع متفاوتی از ارسطو برگزید. رازی بجای مکان دو بُعدی ارسطو که وجودش تابعی از وجود اجسام اطرافش است، مکان (فضای) سه بُعدی بی‌نهایت و مطلق را معرفی و مطرح نمود. او همچنین معتقد به زمان بی‌پایان و مطلق بود. رازی زمان را همچون داده‌ای جاودانه و همواره جاری درک می‌کرد. او وجود زمان را برخلاف نظر ارسطو کاملن مستقل از حرکت و حتا وجود جهان (گیتی) می‌دید. رازی همچنین پشتیبان (مدافع) نظریه اتمی بود که همسویی بسیار اندکی با متکلمین داشت.<sup>۲۱</sup>

رازی عالمی خودآگاه:

مهدی محقق، پژوهشگر ایرانی (۱۳۰۸\*)، در مقاله و سخنرانی خود در دانشگاه مک گیل در کاندا تحت عنوان "علم الهی" رازی و قدمای خمس<sup>۲۲</sup>، در باره‌ی آنچه نویسندگان و دانشمندان در باره‌ی کتاب علم الهی گفته‌اند و یا از آن نقل کرده‌اند، می‌گوید:

"کتاب 'علم الهی' از مهم‌ترین و معروف‌ترین کتاب‌های محمدبن زکریای رازی است که در آن مباحث عقلی و مطالب فلسفی و جهان‌شناسی را مورد بحث قرار داده و اندیشه‌های خاص خود را در آن آشکار ساخته است.<sup>۲۱</sup> محقق در پایان مقاله‌اش به این جمع‌بندی می‌رسد:

"از بیان آراء و اقوال ذکر شده می‌توان چنین حدس زد که رازی با فلسفه‌ی قدیم یونان و آراء و عقاید حَرّانیان و کیش مانویان و مزدیسنان آشنایی داشته و از همه‌ی آنها در اظهار عقیده‌ی خود استفاده کرده است. ولی آنچه را که او در باره‌ی قدمای خمس اظهار داشته با هیچ یک از آنها قابل انتطابق نیست و به این نتیجه می‌توان رسید که همچنان‌که نظر دانشمندان غربی بر آنست، رازی یگانه فیلسوف اسلامی است که مقلد نبوده بلکه میراث گذشتگان را با وسعت نظر و اجتهاد علمی خود به صورتی مستقل در آورده است.<sup>۲۱</sup>

آثار رازی:

"در مورد آثار رازی در لغت‌نامه‌ی دهخدا آمده است: "ابن‌الندیم در 'کتاب الفهرست' خود تعداد آثار رازی را یکصد و شصت و هفت و ابوریحان بیرونی در کتاب 'فهرست کتب رازی' یکصد و هشتاد و چهار دانسته‌اند. کتاب‌های رازی برحسب فهرست بیرونی بدین ترتیب تقسیم موضوعی می‌شود: ۵۶ کتاب در پزشکی، ۳۳ کتاب در طبیعیات، ۷ کتاب در منطق، ۱۰ کتاب در ریاضیات و اخترشناسی، ۷ کتاب در تفسیر و تلخیص و اختصار کتب فلسفی یا طبی دیگران، ۱۷ کتاب در علوم فلسفی و تخمینی، ۶ کتاب در متافیزیک، ۱۴ کتاب در الهیات، ۲۲ کتاب در کیمیا، ۲ کتاب در کفریات، ۱۰ کتاب در فنون مختلف که جمعاً بالغ بر یکصد و هشتاد و چهار مجلد می‌شود و ابن ابی اصیبعه در عیون الأنباء فی طبقات الأطباء دوپست و سی و هشت کتاب از برای رازی برمی‌شمارد.

محمود نجم‌آبادی استاد دانشگاه تهران در کتاب 'مؤلفات و مصنفات ابوبکر محمدبن زکریای رازی' انتشارات دانشگاه تهران، (فهرست‌های ارائه شده ابن‌الندیم و ابوریحان بیرونی و ابن القفطی و ابن ابی اصیبعه با یکدیگر تطبیق داده و در مجموع، دوپست و هفتاد و یک کتاب و رساله و مقاله را فهرست کرده است.<sup>۲۲</sup>

از زمان زکریای رازی (سده‌های میانی، قرون وسطی) تا ارایه اولین کتاب فیزیک نظری بر پایه ریاضیات از جانب ایزاک نیوتن در عصر روشنگری، فیلسوف‌ها و فیزیکدان‌ها همچنان در پی درک و تعریف گویه فضا و زمان بودند. ما در اینجا تنها به اظهارات جوردانو برونو و رنه دکارت در باره‌ی فضا و زمان اکتفا می‌کنیم.

**جوردانو برونو**، Giordano Bruno کشیش، فیلسوف، و نظریه‌پرداز کیهان‌شناسی، ایتالیایی (۱۶۰۰-۱۵۴۸)، زمان را بی‌پایان و فضا را نامحدود می‌دانست. او معتقد بود، بهترین پرستش خدا، شناخت قوانین طبیعت و استفاده‌ی احسن از این قوانین است. برونو می‌نویسد:

"کیهان چگونه می‌توانست نامحدود باشد؟ بر عکس کیهان چگونه می‌توانست محدود باشد؟ می‌توان نامحدود بودن آن را ثابت کرد؟ می‌توان محدود بودن آن را ثابت کرد؟ اگر کیهان محدود است و در آن طرف هیچ نیست، کیهان در کجا قرار گرفته؟ ارسطو می‌گوید: "در خود". اما ارسطو خوب من، با این بیان چه می‌خواهی بگویی، این‌که فضا در خود غوطه‌ور است؟ کیهان در هیچ‌کجا نیست؛ بی‌مکانی برای همه‌ی چیزها.<sup>۲۳</sup>

جوردانو برونو به‌خاطر عقایدش که مخالف با تعلیمات کلیسای کاتولیک بود به حکم دادگاه تفتیش عقاید و با موافقت پاپ هشتم کلمنس Clemens در هفدهم فوریه ۱۶۰۰ میلادی در شهر رم زنده سوزانده شد. او خطاب به کشیشان دادگاه گفت:

«شاید شما با ترس بیشتری علیه من حکم صادر می‌کنید تا من آن را می‌پذیرم. (Maiori forsan cum timore, "sententiam in me fertis quam ego accipiam")»<sup>۲۳</sup>

**رنه دکارت،** Rene` Descartes ریاضی‌دان و فیلسوف فرانسوی (۱۵۹۶-۱۶۵۰)، معتقد بود که فضای خالی (خلاء)، یعنی بدون درون مایه، نمی‌تواند وجود داشته باشد. فضای خالی برای دکارت به‌معنای آن نیست که برای مثال یک ظرف آب تهی از آب باشد. چرا که در چنین حالتی آن ظرف پر از هوا است.

### ایزاک نیوتن (فضا و زمان مطلق)

ایزاک نیوتن، فیزیک و ریاضی‌دان انگلیسی (۱۶۴۲-۱۷۲۷)، فضا را مانند زکریای رازی مطلق دانسته و آن را به‌عنوان یک اصل فیزیک در کتاب معروف خود تحت عنوان 'اصول ریاضی علم طبیعت' چنین تعریف می‌کند:

"فضای مطلق، بنابر طبیعت‌اش و بدون رابطه با شیء بیرونی همواره یکسان و غیرمتحرک است. فضای نسبی، واحد، اندازه یا بخش متحرک آن است. برای مثال، یک بخش از محدوده‌ی فضای روی زمین، یک بخش از آتمسفر، یک بخش از آسمان. بخشی از فضا است."<sup>۲۴</sup>

توجه داریم که رازی و نیوتن هر دو فضا را مطلق تصور می‌کنند. اما، تعریف نسبی رازی از فضا متفاوت از آنی است که نیوتن بیان می‌دارد. نیوتن فضای نسبی را بخشی از فضا می‌داند. در حالی‌که برای رازی فضای نسبی فضایی است نسبت به آنچه درونمایه آن می‌باشد. تعریف رازی از فضای نسبی بسیار شبیه تعریف دکارت از فضا است.

رازی و نیوتن هر دو فضای مطلق را سه‌بعدی، مسطح، ساکن، همگن و همسانگرد تصور می‌کنند؛ همگن به این معنا که هیچ‌یک از نقاط آن باهم فرقی ندارند و همسانگرد یعنی هیچ یک از جهات آن باهم فرقی ندارند.

رازی و نیوتن فاصله‌ی میان دو نقطه در فضا را ثابت تصور می‌کنند. در این‌صورت، حجم فضای محصور شده از جانب یک جسم می‌باید ثابت باشد. آیا واقعاً و همواره چنین است؟ به این پرسش در زیر پاسخ می‌دهیم.

در قانون حرکت، مقوله‌ی شتاب دخیل است. نیوتن برای پاسخ به این پرسش: شتاب نسبت به چی، آن را نسبت به فضا ارزیابی می‌کند. این پنداشت، معنایی جز آن ندارد که نیوتن به فضا عینیت فیزیکی قائل می‌شود. بی‌آن‌که اثر متقابل فضا بر پروسه‌ها در نظر گرفته شود. به این ترتیب نیوتن یکی از اصول مقدماتی مکانیک خود را خدشه‌دار می‌کند. اصلی که می‌گوید هر عملی را عکس‌العملی است. اینشتین در این‌باره می‌نویسد:

"اسناد به‌واقعیت فیزیکی تحمیل بزرگی به فضا است، به‌ویژه به فضای خالی. فیلسوف‌ها از زمان‌های گذشته بارها مخالفت خود را با یک چنان تحمیلی اعلان کرده‌اند. دکارت تقریباً چنین استدلال می‌کرد: فضا و گسترش، ماهیت یکسانی دارند. اما، گسترش فضا در رابطه با اجسام معنا دارد. بنابراین، نبود فضا در صورت نبود اجسام، به‌معنای نبود فضای خالی است."<sup>۲۵</sup>

آلبرت اینشتین در ادامه پس از ذکر ضعف استدلال دکارت که می‌گوید گسترش در رابطه با جسم معنا دارد، بی‌آن‌که آن را مستدل کند، می‌نویسد آن‌چه دکارت را به‌چنان بیان حیرت‌انگیز و عجیبی واداشته، شاید این حس بوده است که نمی‌توان به چیزی مانند فضا که مستقیم قابل تجربه نیست بدون هیچ نیاز مبرمی عینیت قائل شد. هندسه‌دانان قدیم با ایزه‌های تجسمی، مانند نقطه، خط و سطح کار می‌کردند. اما، نه با چیزی به‌عنوان فضا، به‌شکلی که هندسه‌ی تحلیلی بعدها انجام داد. مخالفت دکارت با مقوله‌ی فضا را می‌توان درک کرد، گرچه این مانع از آن نگشت که او فضا را به‌عنوان مقوله‌ی پایه‌ای هندسه‌ی تحلیلی خود قرار ندهد. با مشاهده‌ی فضای خالی (خلاء) در فشارسنج جیوه‌ای، گفته‌ی دکارت - نبود فضا خالی در صورت نبود اجسام - بی اعتبار شد و آخرین طرفداران مکتب دکارتی خلع سلاح شدند.

تعریف نیوتن از فضای مطلق را جرج برکلی G. Berkeley، فیلسوف و کشیش ایرلندی (۱۶۸۵-۱۷۵۳)، ۲۰ سال پس از انتشار کتاب نیوتن در سال ۱۶۸۶ نقد و رد نمود. دیوید هیوم David Hume فیلسوف، تاریخ‌شناس و اقتصاددان اسکاتلندی، از پیش‌قرولان مکتب تجزیه‌گرایی (۱۷۷۶-۱۷۱۱) و دوست آدام اسمیت Adam Smith، اقتصاددان و فیلسوف اسکاتلندی (۱۷۹۰-۱۷۲۳)، معتقد بود که علم و مقولات علمی بایستی بدون ارجاع به‌عوامل فراطبیعی ارائه شوند. هیوم معتقد به زمینی‌کردن مقولات علمی، خاصه فیزیک بود. در اواخر قرن نوزدهم ارنست ماخ Ernst Mach، فیزیک‌دان و فیلسوف اتریشی (۱۸۳۸-۱۹۱۶)، نظریه‌ی نیوتن در مورد فضا را مورد سؤال قرار داد و نقد ژرف و عمیقی

به آن نوشت. نقدی که بی‌تردید در ارائه‌ی نظریه نسبیت عام اینشتین بی‌تأثیر نبوده است. ماخ با پیروی از افکار گوتفرید ویلهلم لایبنیتز (Gottfried Wilhelm Leibniz)، فیلسوف، ریاضی و فیزیکدان آلمانی (۱۶۴۶-۱۷۱۶) موجودیت فضا را قابل تفکیک از موجودیت اجسام نمی‌دید. لایبنیتز "شتاب" در قانون حرکت نیوتن را، برخلاف نیوتن، نسبت به ماده توزیع شده در کیهان می‌دید و نه نسبت به فضای مطلق.

بر فرض مطلق بودن فضا، با چه معیاری می‌توان واقعی بودن آن را سنجید؟ ما می‌دانیم که یک مقوله‌ی فیزیکی تنها زمانی واقعی محسوب می‌شود که چیزی در جهان پدیده‌ها، قابل تعیین از طریق اندازه‌گیری، با آن مطابقت کند. با این معیار و با در نظر گرفتن اصل نسبیت می‌توان نشان داد که هیچ نقطه‌ای در فضا وجود ندارد که بشود آن را علامت‌گذاری کرد، یعنی هیچ نقطه‌ای از فضا از عینیت مطلق برخوردار نیست. برای روشن شدن این مطلب، دو سیستم لختی را در نظر می‌گیریم. سیستم لختی اول ساکن و سیستم لختی دوم در حرکت یکنواخت و مستقیم نسبت به سیستم اول. از مقاله‌ی<sup>۱۰</sup> می‌دانیم که قوانین و جریان‌های مکانیکی در هر دوی این سیستم‌ها کاملاً یکسان هستند. یعنی، هیچ‌یک از این دو سیستم نسبت به دیگری کوچکترین امتیازی ندارد. حال اگر جسمی در یکی از این سیستم‌ها در حالت سکون باشد، بی‌شک از نگاه سیستم دیگر در حرکت مستقیم و یکنواختی است. و اگر فردی ادعا کند که آن جسم مکان معینی را در فضا نشان می‌دهد، فرد دیگری می‌تواند منکر آن شده و به حق مدعی در حرکت بودن آن جسم باشد.

نیوتن در مورد گویه‌ی زمان نیز معتقد به مطلق بودن آن بود. او در کتاب نامبرده‌اش در این باره می‌نویسد:

"زمان مطلق در اصل روان است و بنابر ماهیتش یکنواخت و بدون رابطه با چیزی بیرونی. بیان بیرونی آن، اندازه‌ی دقیق یا نادقیق، دوام است که معمولن از آن بجای زمان حقیقی بهره‌جسته می‌شود، مانند ساعت، روز، ماه، سال."<sup>۸</sup>

اما، در عین حال نیوتن به یک نکته‌ی مهم در رابطه با زمان مطلق اشاره می‌کند. او می‌نویسد:

"شاید حرکت یکنواختی که بشود با آن زمان را به‌طور دقیق سنجید وجود نداشته باشد."<sup>۹</sup>

این بیان از آن جهت بسیار با اهمیت است که نشان می‌دهد نیوتن تصور درستی از اندازه (مقیاس) برای سنجش زمان داشته است. چرا که در یک حرکت یکنواخت، مسافت‌های مساوی در زمان‌های مساوی طی می‌شوند. اگر در کیهان تنها یک حرکت یکنواخت وجود داشت، می‌شد از آن برای سنجش زمان استفاده کرد. اما، امکان وجود حرکت‌های یکنواخت بی‌شمار با سرعت‌های متفاوت معنایی جز نفی وجود چنان امکانی، متریک زمان جهانشمول، نیست.

در مورد تعریف نیوتن از زمان مطلق نیز، و همین‌طور در مورد تعریف او از فضای مطلق، فیلسوف‌ها، ریاضی و فیزیکدان‌ها، هم در زمان حیات نیوتن و هم پس از آن، اظهار نظرهای کرده‌اند که در زیر به چندی از آنها می‌پردازیم:

**گوتفرید ویلهلم لایبنیتز** معتقد بود، زمان به شکل مستقل وجود ندارد. او استدلال می‌کند:

"اگر آفریده شده‌ها نبودند، فضا و زمان فقط در افکار خداوند وجود داشت. فضا و زمان به‌هیچ‌وجه هستنده‌های مستقلی نیستند."<sup>۲۰</sup>

**ارنست ماخ**، زمان مطلق را بدرستی یک مقوله‌ی انتزاعی بیش نمی‌دانست. ماخ می‌نویسد:

"زمان مطلق در هیچ حرکتی قابل سنجش نیست. از این رو نه ارزش عملی دارد و نه ارزش علمی. هیچ‌کس مجاز نیست ادعا کند از آن چیزی می‌فهمد. زمان مطلق مقوله‌ای زائد و 'متافیزیکی' است."<sup>۲۵</sup>

**امانوئل کانت**، در باره‌ی فضا و زمان در کتاب 'نقد خرد ناب' می‌نویسد:

"فضا یک تصور ضروری، آپریوری (پیشینی، پیشاتجربی)، است، زیربنای همه‌ی نماهای بیرونی. هرگز نمی‌توان تصویری از نبود فضا داشت، اما می‌توان تصور کرد که فضا تهی از اشیاء باشد."<sup>۲۶</sup>

تعریف کانت از زمان نیز مشابه تعریف او از فضا می‌باشد. کانت در همان کتاب در این باره می‌نویسد:

"زمان یک مقوله‌ی تجربی نیست که به‌نحوی از تجربه مشتق شود. زمان آپریوری داده شده است. ما می‌توانیم به‌گوئیم این را تجربه به ما می‌آموزد، اما نه آن‌که چنین بایستی باشد."<sup>۲۶</sup>

در باره‌ی برداشت آپریوری امانوئل کانت از فضا و زمان، آلبرت اینشتین در نامه‌ای به دوست دیرینه‌اش ماکس بورن می‌نویسد:

"من دارم کم کم تاثیر بزرگ تلقین‌آمیزی که از این آدم - کانت - برخاسته درک می‌کنم. به‌محض تایید آپریوری آرای ساختگی او، اسیر می‌شوی."<sup>۲۷</sup>

### جمع‌بندی توضیحات ارایه شده تاکنون

شیرابه‌ی اندیشه‌ی بیش از ۲۵۰۰ ساله‌ی انسان تا اوایل قرن بیستم در باره‌ی فضا و زمان را می‌توان چنین بیان کرد:

پیشینیان ما، البته نه فقط آنها، موفق نشدند، بود یا نبود، محدود یا نامحدود، خالی یا خالی نبودن فضا را روشن کنند. آنها از فضا (مکان) صحبت کردند، بی آنکه درک درستی از فضا ارایه دهند. اینشتین معتقد است، کلمه‌ی فضا مبهم و ناروشن است و نمی‌توان از آن کوچکترین تصویری داشت. او در کتاب خود 'در باره‌ی نسبیت خاص و عام' می‌نویسد:

«اگر صادق باشیم باید اعتراف کنیم، ما نمی‌توانیم کوچکترین تصویری از کلمه‌ی "فضا" داشته باشیم.»<sup>۲۴</sup>

در واقع نیز، وقتی امکان آن نیست، مکانی را در فضا علامت گذاری کرد، چگونه می‌توان آن را تعریف کرد؟

در باره‌ی زمان نیز همان‌گونه که گفتیم، وقتی امکان آن وجود ندارد در جهان هستی یک حرکت یک‌نواخت، ضروری برای تعریف زمان، شناسایی کرد، چگونه می‌توان برای آن موجودیت قائل شد و برایش سنجه (متریک) تعیین نمود؟ از این‌رو لازم است متریک زمان را با ملاک‌هایی که خود تعیین می‌کنیم تعریف نمائیم: یعنی، تعریفی قراردادی.

### آلبرت اینشتین (فضازمان نسبیتی)

آلبرت اینشتین و لئوپولد اینفلد Leopold Infeld، فیزیکدان لهستانی (۱۸۹۸-۱۹۶۸)، در کتاب 'سیر تکامل فیزیک' می‌نویسند:

"در فیزیک کلاسیک (منظور فیزیک نیوتنی است، ح. ب.) همواره نظر بر این بود که ساعت‌ها در حالت سکون و حرکت، هماهنگ (synchron) کار می‌کنند؛ یک چوب دستی در سکون و یک چوب دستی در حرکت طول یکسانی دارند. اگر سرعت نور برای تمامی دستگاه مختصات یکی است، یعنی وقتی نظریه نسبیت صدق می‌کند، در این صورت لازم است یک چنان تصویری را کنار بگذاریم. کنار گذاشتن پیش‌داوری سخت است. اما، این تنها راه می‌باشد."<sup>۲۸</sup>

### فضازمان در نظریه نسبیت خاص

آزمایش معروف آلبرت آبراهام مایکلسون<sup>۲۹</sup> فیزیکدان آمریکایی (۱۸۵۲-۱۹۳۱)، برای نمایش حرکت زمین نسبت به "اثر" در سال ۱۸۸۱ نشان داد که گویه 'سکوت ناب (محض)' در جهان هستی واقعیت ندارد. اینشتین نتیجه منفی آزمایش مایکلسون را 'اصل نسبیت' نامید. این اصل می‌گوید:

قوانین فیزیکی برای همه‌ی مشاهدگران (ناظران) که نسبت به یکدیگر با سرعت ثابت حرکت می‌کنند یکسان است. به عبارت دیگر، هیچ مرجع مطلق وجود ندارد. یعنی، هر یک از مشاهدگران می‌تواند خود را نسبت به سایر مشاهدگران در حال سکون بدانند.

اینشتین 'نظریه نسبیت خاص (ویژه)' را بر اساس دو اصل، یعنی 'اصل نسبیت' و 'اصل ثابت سرعت نور در خلاء' (فضای خالی) در شکل فضازمان<sup>۴</sup> بعدی متقارن اقلیدسی (فضازمان مینکوسکی) بنا نمود. مختصات فضا و زمان در این نظریه، همچون در فیزیک نیوتنی، دارای معنای فیزیکی هستند. برداشتی که در فضازمان<sup>۴</sup> بعدی 'نظریه نسبیت عام' کنار گذاشته می‌شود.

در مقاله‌ی 'مفهوم فضا'<sup>۱۰</sup> پرسیدیم: "فضا و زمان چه رابطه‌ای با سرعت نور دارند؟ برای مثال، فاصله‌ی میان دو نقطه یا فاصله‌ی زمانی دو پدیده؟ اصولن، سرعت نور به عنوان بالاترین سرعت شناخته شده در طبیعت چه معنا و چه پی‌آمدهایی برای مشاهدات ما از فعل و انفعالات جهان هستی دارد و چگونه به عنوان یک قانون جهانشمول وارد قوانین فیزیک شده است؟"<sup>۱۱</sup> در همانجا پاسخ دادیم:

"جیمز کلرک ماکسول J. K. Maxwell، فیزیکدان اسکاتلندی (۱۸۷۹-۱۸۳۱)، با ارائه‌ی معادلات میدان‌های الکترومغناطیسم، معروف به معادلات ماکسول، در نیمه‌ی دوم قرن نوزدهم (۱۸۶۴) وحدت میان میدان الکتریکی و میدان مغناطیسی مایکل فارادی M. Faraday، فیزیک و شیمی‌دان انگلیسی (۱۸۶۷-۱۷۹۱)، را نشان داد. پرسشی که در این رابطه مطرح شد، سرعت انتشار امواج الکترومغناطیسم و نسبت آن بود. بدین معنا که سرعت انتشار این امواج چه مقدار است و این سرعت نسبت به چه چیزی سنجیده می‌شود. پرسش "سنجش سرعت نسبت به چه چیزی" پرسشی است که ریشه در نوع تفکر فیزیک نیوتنی دارد. در فیزیک نیوتنی سرعت انتشار همواره نسبت به یک چیز معین سنجیده می‌شود، مانند سرعت انتشار صوت نسبت به ماده‌ای که در آن انتشار می‌یابد، در گازها، مایعات و جامدات. به این خاطر تصور می‌شد که انتشار امواج الکترومغناطیسم، و با آن نور به عنوان طیف کوچکی از آن، نیاز به یک حامل دارد. حامل نور چیزی به نام "اثر" تصور می‌شد و سعی بر آن بود سرعت نور را نسبت به "اثر" بسنجند. اما، آزمایش‌ها نشان دادند که امواج الکترومغناطیسم نیاز به حامل برای انتشار ندارند. وضعیتی که تا آن زمان کاملن ناشناخته شده بود و دانشمندان نامداری مانند هندریک آنتون لورنتس H. A. Lorentz، فیزیکدان هلندی (۱۸۵۳-۱۹۲۸)، حاضر به پذیرش آن نبودند و سرسختانه مقاومت می‌کردند. ولیکن در نهایت، هرچند با تاخیر، نتایج آزمایش‌ها را مقدم بر نظر ذهنی خود دانسته و

آن را پذیرفتند. آزمایش‌های دقیق مایکلسون به وضوح نشان دادند که نور، برخلاف صوت، نیازی به حامل برای انتشار ندارد و معلوم شد که سرعت نور در خلاء در همه‌ی جهات یکسان است. نور از ذراتی به نام فوتون تشکیل شده است. جرم ساکن این ذرات برابر با صفر است. ذراتی که جرم ساکن‌شان برابر با صفر باشد، می‌توانند با سرعت نور حرکت کنند.<sup>۱۰۰</sup>

در همان مقاله، رابطه‌ی زمان با سرعت نور را از طریق مثال پرتاب یک سکه به بالا از جانب مسافری در قطاری در حال حرکت و اندازه‌گیری زمان رفت و برگشت سکه از جانب مسافر و همچنین ناظر ساکن در بیرون از قطار را با فرص هم‌آهنگ (سینکرون) بودن ساعت‌هایشان توضیح دادیم و دریافتیم که ناظر بیرونی، زمان طولانی‌تری را نسبت به مسافر می‌سنجد (اتساع زمان).

**اتساع زمان:** به معنای گسترش زمان، پدیده‌ایست حاصل از نظریه نسبیت. از جمله به این معنا که وقتی دو مشاهده‌گر نسبت به هم در حرکتند، هر یک از آنها شاهد آنست که زمان برای دیگری کندتر می‌گذرد (گسترش می‌یابد) و هرچه سرعت آن دو نسبت به یکدیگر بیشتر باشد به همان میزان نیز طی زمان برای دیگری کندتر است (اینشتین ۱۹۰۵). البته، ما می‌دانیم که این پدیده برای سرعت‌های بالا، نزدیک به سرعت نور، مطرح و قابل سنجش است.

**هم‌زمانی:** مشاهده‌ی گسترش زمان بیان از آن دارد که هم‌زمانی یک مفهوم نسبیتی است. به این معنا که زمان مطلق (جهانشمول) که برای همه‌ی سیستم‌های مختصات یکسان باشد وجود ندارد.

**انقباض طول:** انقباض یا فشردگی طول (فضا) با سرعت رابطه مستقیم دارد. برای توضیح این مطلب مثالی را که اینشتین در مقاله معروف سال ۱۹۰۵ بیان کرده است ذکر می‌کنیم:

"ما دو نقطه معین را در قطاری که با سرعت ثابت  $v$  روی ریل مستقیمی حرکت می‌کند در نظر می‌گیریم و می‌خواهیم فاصله‌ی آنها از یکدیگر را بدانیم، برای مثال وسط اولین و صدمین واگن. ما می‌دانیم که برای اندازه‌گیری فاصله نیاز به یک دستگاه مختصات است که فاصله نسبت به آن تعیین می‌گردد. از همه ساده‌تر آن است که خود قطار را به عنوان دستگاه مختصات در نظر بگیریم. مسافری در قطار فاصله‌ی مربوطه را در خط مستقیمی در امتداد قطار با قرار دادن مکرر واحد طول روی کف قطار از نقطه‌ی علامت‌گذاری شده تا رسیدن به نقطه‌ی علامت‌گذاری شده‌ی دیگر اندازه می‌گیرد. عددی که تعداد دفعات واحد طول را نشان می‌دهد فاصله‌ی میان دو نقطه است. اما وضع تغییر می‌کند اگر فاصله در بیرون از قطار (قطار در حال حرکت) اندازه‌گیری شود. برای این منظور می‌توان روش زیر را بکار برد. دو نقطه‌ی (علامت گذاری شده) قطار را که بناسات فاصله‌شان تعیین شود  $A'$  و  $B'$  می‌نامیم. هر دو نقطه با سرعت  $v$  (سرعت قطار) در امتداد ریل در حرکتند. ما نخست نقاط  $A$  با  $B$  ریل (بیرون از قطار) را تعیین می‌کنیم که دو نقطه‌ی  $A'$  و  $B'$  در یک زمان معین  $t$  - از نگاه بیرون از قطار - از آنها می‌گذرند. نقاط  $A$  و  $B$  ریل را می‌توان طبق تعریف زمان تعیین نمود. سپس فاصله میان  $A$  و  $B$  را در امتداد ریل با قرار دادن مکرر واحد طول اندازه می‌گیریم. آپریوری (پیش‌تجربی) به هیچ وجه روشن نیست که اندازه‌ی آخری می‌باید برابر با نتیجه اولی باشد. طول اندازه‌گیری شده از بیرون می‌تواند متفاوت از طول اندازه‌گیری شده در قطار باشد."<sup>۱۰۱</sup>

به طور خلاصه، طول قطار از نگاه ناظر ساکن در بیرون از قطار (قطار در حال حرکت) کوتاه‌تر از طولی می‌نماید که مسافر در قطار می‌سنجد. بعکس، یک طول معین برای مثال یک چوب دستی یک متری در بیرون از قطار که به موازات ریل قرار دارد، برای مسافر در قطار در حال حرکت کوچکتر از یک متر می‌نماید (انقباض طول).

انقباض طول، به معنای فشردگی طول، نیز پدیده‌ایست حاصل از نظریه نسبیت. یعنی، طول (فاصله) بین دو نقطه در فضا تابعیست از سرعت سیستم اندازه‌گیری کننده نسبت به سرعت سیستم اندازه‌گیری شونده. هرچه تفاوت سرعت دو سیستم نسبت به هم بیشتر باشد به همان نسبت نیز طول اندازه‌گیری شونده کمتر (انقباض بیشتر) است. در این پدیده نیز، همچون پدیده‌ی انبساط زمان، فشردگی طول برای سرعت‌های بالا، نزدیک به سرعت نور، مطرح و قابل سنجش است.

**هم‌ارزی جرم و انرژی:** یکی از شناخته‌شده‌ترین نتایج نظریه نسبیت خاص، هم‌ارزی جرم و انرژی است که با رابطه‌ی معروف  $E = m_0 c^2$  حاصل از تقارن فضا-زمان نشان داده می‌شود. این رابطه بیان از آن دارد که جرم و انرژی قابل تبدیل یکدیگر هستند ( $E$  انرژی،  $m_0$  جرم و  $c$  سرعت نور). جرم یک جسم ایستا (جرم سکون، جرم لختی) و انرژی آن (انرژی سکون) متناسب با یکدیگر و ثابت هستند. اما، همان جسم در حال حرکت، برای مشاهده‌گری در سکون، دارای انرژی حرکتی (نه فقط انرژی جنبشی معمولی) می‌باشد که مقدار آن به انرژی سکون جسم افزوده می‌شود. از این رو در رابطه‌ی ذکر شده  $E$  انرژی سکون و  $m_0$  جرم سکون می‌باشد. این رابطه را می‌توان چنین نیز بیان کرد: هر نوع انرژی دارای جرم لختی است که اندازه آن براحتی از تقسیم انرژی به مربع سرعت نور حاصل می‌شود.

حال، پس از توضیحات ارایه شده در باره‌ی فضا-زمان<sup>۱۰۲</sup> نظریه نسبیت خاص، این پرسش مطرح است که آیا فضا-زمان به دلیل یا دلایل دیگری نیز، سوای سرعت، اتساع و انقباض می‌یابند؟ پاسخ مثبت است: در نظر گرفتن ماده و انرژی موجود

در کیهان. به این امر در 'نظریه نسبیت خاص' پرداخته نمی‌شود. اما، در صورت ملاحظه‌ی آنها 'نظریه نسبیت عام' مطرح است.

### فضازمان در نظریه نسبیت عام

اینشتین در مقاله‌ی معروف (۱۹۱۵): 'اساس نظریه نسبیت عام' می‌نویسد:

"در مکانیک کلاسیک (منظور مکانیک نیوتنی است. ح. ب.) و همین‌طور در نظریه نسبیت خاص، مختصات فضا و زمان مستقیم دارای معنای فیزیکی هستند. ... اما، ما اکنون می‌خواهیم نشان دهیم، لازم است این برداشت را از طریق اصلی هموردایی عام کنار گذاشت. لازمه‌ی اجرای این اصل، صدق نظریه نسبیت خاص در حد آن است، یعنی در نبود میدان گرانشی. ... در اینجا روش پیشین، یعنی قراردادن مختصات به شیوه خاص در پیوستار فضازمان، عملی نیست. ... از این‌رو راهی جز این وجود ندارد که تمامی سیستم‌های مختصات قابل تصور برای توصیف طبیعت را در واقع برابر تلقی کرد. این به معنای آن می‌باشد که:

قوانین کلی طبیعت می‌باید توسط معادلاتی بیان شوند که برای همه‌ی سیستم‌های مختصات معتبر باشند. یعنی، نسبت به هرگونه جابجیزی هموردا باشند (اصل هموردایی عام). روشن است، فیزیکی که این اصل را برآورده کند، شامل نسبیت عام نیز می‌شود.<sup>۳۰</sup> در همین رابطه در بخش فشرده از قول اینشتین گفتیم:

"الزام هموردایی عام (general covariance)، آخرین بقایای عنیت فیزیکی فضا و زمان را از بین می‌برد."<sup>۳۱</sup>

در واقع، هموردایی عام در نظریه نسبیت، اصلی را توصیف می‌کند که طبق آن، قوانین علم فیزیک نه فقط در سیستم‌های لختی بلکه در هر نوع سیستم مختصات، فرم ریاضی یکسانی دارند. این اصل، پایه و اساس نظریه نسبیت عام است.

"نظریه نسبیت عام فقط یک نظریه گرانش نیست. این نظریه به معنای یک تغییر در درک ما از ماهیت فضا و زمان است. کشف اینشتین بیان از طبیعت یکسان فضازمان و میدان گرانش دارد. فضازمان نمود (نحلی) یک میدان فیزیکی است. همه‌ی میدان‌های شناخته شده دارای خواص کوانتومی هستند. از این‌رو باور داریم که فضا و زمان نیز خواص کوانتومی دارند. بنابراین، لازم است درک خود را از ماهیت فضا و زمان با در نظر گرفتن ویژگی‌های کوانتومی تغییر دهیم. توصیف فضازمان به عنوان مانیفولد (manifold) ریمانی (شبه فضازمان) نمی‌تواند از گرانش کوانتومی جان سالم به در ببرد. ما باید زبان جدیدی یاد بگیریم تا جهان هستی را توصیف کنیم: زبانی که نه از آن نظریه میدان استاندارد در فضازمان تخت (مسطح) و نه از آن هندسه‌ی ریمانی است. ما باید به فهمیم فضای کوانتومی و زمان کوانتومی چیستند. این جنبه‌ی دشوار گرانش کوانتومی است اما در عین حال منبع زیبای آنها نیز هست."<sup>۳۲</sup>

اینشتین در مقاله‌ای از سال ۱۹۱۶ می‌نویسد:

"به نظر می‌رسد که نظریه کوانتومی می‌باید نه فقط الکترودینامیک ماکسول بلکه نظریه گرانش جدید را نیز اصلاح کند."<sup>۳۳</sup>

### مراجع

1. <https://en.wikipedia.org/wiki/Aristotle>
2. <https://parvaresheafkar.com/biography/muhammad-zakariya-razi-polymath/>
3. [https://en.wikipedia.org/wiki/Isaac\\_Newton](https://en.wikipedia.org/wiki/Isaac_Newton)
4. [https://de.wikipedia.org/wiki/Albert\\_Einstein](https://de.wikipedia.org/wiki/Albert_Einstein)
5. Albert Einstein, Physik und Realität, In: Journal of The Franklin Institute, Vol. 221, March 1936, No. 3, S. 313-347, S. 314
6. <https://en.wikipedia.org/wiki/Heraclitus>
7. [https://en.wikipedia.org/wiki/Abu\\_Bakr\\_al-Razi](https://en.wikipedia.org/wiki/Abu_Bakr_al-Razi)
8. Isaac Newton, Mathematische Prinzipien der Naturlehre, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt, 1963, S. 25-31
9. Albert Einstein, Grungzüge der Relativitätstheorie, WTB, Band 58, Berlin, 1969, S. 11-12
10. Hassan Bolouri, The Consept of Space

۱۰. حسن بلوری، 'مفهوم فضا'، سخنرانی و منتشر شده در سایت‌های پارسی‌زبان، ماه جوئیه سال ۲۰۲۰
11. Albert Einstein, Grundlagen der allgemienen Relativitätstheorie, Annalen der Physik, 49, S. 769-822
12. Carlo Rovelli and Francesca Vidotto, Covariant Loop Quantum Gravity, Cambridge University Press, United Kingdom, 5<sup>th</sup> printing 2019, S. 6
13. Hassan Bolouri, The mystery of spacetime
۱۳. حسن بلوری، 'معمای فضا زمان'، منتشر شده در سایت‌های پارسی‌زبان، ماه ژوئن سال ۲۰۲۵
14. Hassan Bolouri, The limitations of our knowledge of spacetime
۱۴. حسن بلوری، 'محدودیت‌های شناخت فضا زمان'، منتشر شده در سایت‌های پارسی‌زبان، ماه اوت سال ۲۰۲۵
15. Hassan Bolouri, Time: What is it and how did it come into the world?
۱۵. حسن بلوری، 'زمان چیست و چگونه به دنیا آمد؟'، سخنرانی و منتشر شده در سایت‌های پارسی‌زبان، ماه دسامبر سال ۲۰۱۹
16. Ernst Schmutzer; Relativitätstheorie aktuell; B. G. Teubner Verl., Stuttgart, 5. Aufl., 1996
17. Aristoteles. Physik, übersetzt von C. H. Weiße, eingerichtet von M. Holzinger, Berliner Ausgabe 2016, S. 76
18. Liä Dsi, Das wahre Buch vom quellenden Urgrund, PDF:  
<http://www.zeno.org/Philosophie/I/liad0001>
19. Platon, Timaios, Reclams Universal-Bibliothek, Ausgabe 2009, Stuttgart 2013, S 55.
20. Muhammad Zakariyya Razi, in: Shmuel Sambursky, Der Weg der Physik, Deutscher Taschenbuch Verlag, München 1978, S. 171-2
۲۱. مهدی محقق، "علم الهی" رازی و قدمای خمسه، مجله‌ی دانشکده‌ی ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه تهران، سال پانزدهم، مرداد ۱۳۴۷، سال پانزدهم، شماره پنجم و ششم
22.  
[https://fa.wikipedia.org/wiki/%D9%81%D9%87%D8%B1%D8%B3%D8%AA\\_%D8%A2%D8%AB%D8%A7%D8%B1\\_%D9%85%D8%AD%D9%85%D8%AF\\_%D8%B2%DA%A9%D8%B1%DB%8C%D8%A7%DB%8C\\_%D8%B1%D8%A7%D8%B2%DB%8C](https://fa.wikipedia.org/wiki/%D9%81%D9%87%D8%B1%D8%B3%D8%AA_%D8%A2%D8%AB%D8%A7%D8%B1_%D9%85%D8%AD%D9%85%D8%AF_%D8%B2%DA%A9%D8%B1%DB%8C%D8%A7%DB%8C_%D8%B1%D8%A7%D8%B2%DB%8C)
23. [https://de.wikipedia.org/wiki/Giordano\\_Bruno](https://de.wikipedia.org/wiki/Giordano_Bruno)
24. Albert Einstein; Über die spezielle und die allgemeine Relativitätstheorie, Akademie-Verlag, Berlin, 21. Auflage, 1970, S. 12
25. Ernst Mach, Die Mechanik in ihrer Entwicklung, Xenomoi Verlag, Berlin 2012
26. Immanuel Kant, Kritik der reinen Vernunft, Verlag Philipp Reclam jun., Leipzig 1979, S. 95, 103
27. Albert Einstein - Max Born, Briefwechsel 1916-1955, Edition Erbrich, Frankfurt, 1982
28. Albert Einstein, Leopold Infeld; Die Evolution der Physik; Paul Zsolnay Verlag, Wien . Hamburg, 1. Auflage, Nachdruck, 1950, S. 78
29. Albert Abraham Michelson, American Journal of Science (3) 22 (1881) S. 120
30. Albert Einstein, Die Grundlagen der allgemeinen Relativitätstheorie, in: Das Relativitätsprinzip, Teubner Verlag, 8. Auflage, Stuttgart 1982, S. 84-6
31. Albert Einstein, Nahrungsweise Integration der Feldgleichungen der Gravitation, Sitzungsberichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften, Berlin 1916