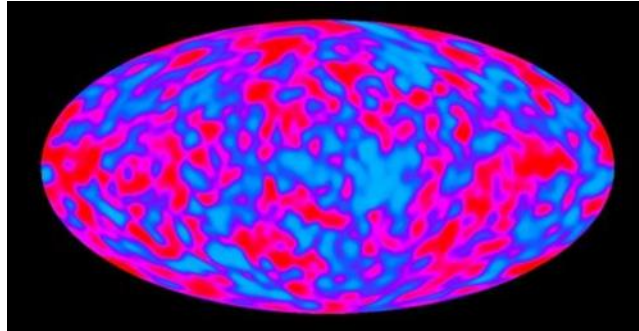


مفهوم فضا



The Concept auf Space

چکیده:

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 آن. مفهوم جدید فضا بسیار متفاوت از آنی است که در طول هزاران سال گذشته تا اوایل قرن بیستم مطرح شده‌اند.

فضا برای دانش فلسفه یک مؤلفه‌ی اساسی به حساب می‌آید. این‌که آیا فضا محدود است یا نامحدود، مطلق است یا نسبی، این‌که آیا اصولاً چیزی به نام فضا موجودیت دارد یا صرفاً رابطه‌ای میان موجودیت‌هاست و یا بخشی از یک چارچوب مفهومی، همواره در دانش فلسفه محل مناقشه بوده است. آنتولوژی و متافیزیک سعی در توضیح فضا مستقل از تجربه، و پدیدارشناسی در تجزیه و تحلیل فرم‌های تجربه شده‌ی آن، دارند. علم فیزیک نوین فضا را مقوله‌ای نسبی می‌داند و آن را در نظریه‌ای از اوایل قرن بیستم به نام نظریه‌ی نسبیت به اثبات رسانده است. در حال حاضر مسئله‌ی وحدت دو نظریه، نسبیت و کوانتوم، موضوع پژوهش است. حل این مسئله می‌تواند شناخت ما از فضا (زمان و ماده) را عمیق‌تر کند.

در این مقاله می‌خواهم پس از معرفی تاریخچه‌ی فضا از دوران باستان تا اینشتین، به مفهوم فضای مطلق و نقد آن پرداخته سپس مفهوم فضا در نظریه نسبیت خاص و نظریه نسبیت عام را توضیح بدهم، در ادامه به مسئله‌ی "فضای کوانتومی" می‌پردازم و در پایان خواهیم دید که آیا اصولاً فضا موجودیت دارد.

مقدمه:

واژه‌ی فضا: ریشه این واژه در اصل هند و اروپایی است: پزا (Pezo). پزا در بخش مرکزی آسیای صغیر به معنای خالی، تهی، پوچ به کار می‌رفته است. در عربی به شکل فضاء (با همزه) به معنای گشادگی، فراخی، که فارسی‌زبان‌ها آن را به شکل فضا (بدون همزه) می‌نویسند، و از آن مفاهیمی چون جا، حجم، حیاط، مکان، عرصه، ساحت، صحن، محوطه، محیط، میدان، هوا، آتمسفر، جو، آسمان، سپهر، فلک، کیهان را مراد می‌کنند.

نکاتی کلی در باره‌ی مقوله فضا: فضا از دیرباز مورد توجه بوده و در دوره‌های مختلف تاریخی بر اساس رویکردهای اجتماعی و فرهنگی با معناهای گوناگون تعریف شده است. از آن جمله‌اند:

فضای نامحدود (لینتزی)، فضای پیوسته (زنون)، فضای محدود و کرویی شکل (ارسطو)، فضای خالی (اپیکور)، فضای مطلق و نسبی [خلاء] (ذکریای رازی)، خلاء و نه فضا (دکارت)، فضای مطلق و نسبی (نیوتن)، فضای مطلق و آپریوری (کانت).

تاریخ علم نشان می‌دهد که راه دستیابی انسان به شناخت‌های جدید عموماً به شیوه‌ی قیاسی است؛ راهی طولانی از تک تجربه‌ها به مرحله‌ای از شناخت بالاتر، از خاص به عام.

بطور مشخص در رابطه با مقوله‌ی فضا باید گفت که انسان راه چند هزار ساله برای درک آن طی نموده است، بی‌آنکه هنوز به نتیجه نهائی دست‌یافته باشد. به قول بتراند راسل، کتاب‌های حجیم بسیاری در رابطه با پرسش "زمان، فضا، ماده چیست" نوشته شده‌اند. البته، با پاسخ‌های باور نکردنی ناروشن.^۱

فضا برای دانش فلسفه یک مؤلفه‌ی اساسی به حساب می‌آید، به معنای انبساطی در طول، عرض و ارتفاع. این‌که آیا فضا محدود یا نامحدود، مطلق یا نسبی، آیا به عنوان چیزی مستقل از تصور و حس آدمی وجود دارد یا رابط میان چیزهاست و یا تنها شکل حسی سوژکت *Anschauungsform* است یا بخشی از یک چارچوب مفهومی، و یا آیا هندسه‌ی فضا شکل واحدی دارد یا قراردادی است، هنوز در دانش فلسفه مورد مناقشه می‌باشد.

آنتولوژی و متافیزیک، فضا را به شیوه‌ی خود، یعنی مستقل از تجربه، تشریح می‌کنند. در مقابل سعی پدیدارشناسی (فننولوژی) بر آن است که فرم‌های تجربه شده‌ی فضا را تجزیه و تحلیل کند. در فیزیک نیوتنی فضا، مانند زمان، مطلق انگاشته می‌شود.

علم فیزیک نوین فضا و زمان را از اوایل قرن بیستم در نظریه‌ی نسبیت خاص، نسبیتی دانسته و این دو مقوله را در شکل یک مقوله واحد فضا-زمان، پیوستاری چهاربعدی، به اثبات رسانده است. نظریه‌ی نسبیت عام فضا را عاری از میدان، نیروی گرانشی، نمی‌داند. وحدت دو نظریه‌ی پایه‌ای علم فیزیک کنونی، یعنی نظریه‌ی نسبیت و نظریه‌ی کوانتوم، می‌تواند شناخت ما را از فضا (و زمان) عمیق‌تر کند.

کوشش من در این مقاله معطوف است به معرفی تاریخچه‌ی مقوله‌ی فضا از دوران باستان تا اینشتین، توضیح مفهوم فضای مطلق و نقد آن، تشریح مفهوم فضای نسبیتی خاص و فضای نسبیتی عام، توضیح مسئله‌ی مفهوم فضا در دنیای کوانتوم ("فضای کوانتومی"). در پایان به طرح و بررسی این مسئله خواهیم پرداخت که آیا اصولاً فضا موجودیت دارد. یعنی، تلاش صرفاً متوجه آن‌چه مستقیماً به مقوله‌ی فضا مربوط می‌شود است و نه بیان مطالبی مانند مفهوم فضا در ریاضیات، در نجوم، در معماری و یا آنچه در رابطه با جامعه و محیط مطرح است، مثل فضای فرهنگی، علمی، سیاسی، اقتصادی، فضای آزاد، فضای بسته، فضای جنجالی، فضای مجازی، فضای سبز، فضای جغرافیائی، فضای موسیقیایی و یا فضای درون در روانشناسی و غیره.

تاریخچه‌ی فضا^۲:

لیتزی Liezi یا Liä-Tse (۳۷۵-۴۵۰ پیش از میلاد):

لیتزی، فیلسوف چینی، در "کتاب (داستان) واقعی علت‌و‌العلل جوشان و خروشان" فضا را نامحدود و زمان را بی‌پایان می‌انگارد. لیتزی 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.»

زنون Zenon (۴۳۰-۴۹۰ پیش از میلاد):

یکی از مشغله‌های فکری زنون، فیلسوف و ریاضی‌دان یونان باستان که ارسطو او را بنیانگذار دیالکتیک می‌داند، مسئله‌ی پیوستار بود، به‌ویژه پیوستار مربوط به فضا، زمان و حرکت.

تذکر: موضوع پیوستار با گذشت بیش از ۲۵۰۰ سال هنوز هم مسئله است.

زنون در رابطه با مقوله‌ی پیوستار می‌نویسد:

«اگر هستنده فاقد یک حداقل اندازه باشد نمی‌تواند موجودیت داشته باشد. و اگر موجودیت داشته باشد، می‌باید که هر جزء آن دارای یک اندازه و فاصله‌ی معین از مابقی باشد. هیچ‌یک از آن‌ها نمی‌تواند یک مرز نهائی تشکیل دهد. هیچ‌یک از آن‌ها نمی‌تواند بدون رابطه با مابقی باشد. اگر چیزهای بسیاری هستند، لازم است که هم کوچک و هم بزرگ باشند: کوچک تا حد هیچ و بزرگ تا حد بی‌نهایت.»

افلاطون Platon (۳۴۸-۴۲۳ پیش از میلاد):

افلاطون، فیلسوف یونانی، در رساله‌ی تیمائوس هندسه را به عنوان علم فضا دانسته و خواهان بررسی کیهان به شکل هندسی است. افلاطون فضا را، به دلیل وجود اشکال مختلف هندسی، موضعی و ناهمگن می‌داند.

اودوکسوس Eudoxos (۳۴۵-۳۹۷ پیش از میلاد):

اودوکسوس، ریاضی‌دان، منجم و فیلسوف یونانی، برای اولین بار اقدام به هندسی کردن نجوم و ارائه‌ی مدلی از حرکت سیارات به شکل برگشتی حلقوی‌وار کرد.

ارسطو Aristotles (۳۲۲-۳۸۴ پیش از میلاد):

ارسطو، فیلسوف یونانی و شاگرد افلاطون، کیهان را از نظر زمانی بی‌پایان و از نظر گستردگی محدود و کروی شکل می‌داند. محیط کیهان ارسطو توسط ثوابت تعیین شده و مرکز آن منطبق با مرکز زمین است. برای ارسطو کل کیهان یک پیوستار فیزیکی است. بخش زیرقمری آن از چهار عنصر (آب، آتش، خاک و باد) و بخش فوق‌قمری آن پُر از عنصر پنجمی به نام اتر است. یعنی، ارسطو بشدت منکر خلاء است. به همین خاطر او فضا را به‌عنوان مکان یک شیء نسبت به محیط مادیش تعریف می‌کند. ارسطو معتقد بود هیچ شیء‌ای بیرون از آسمان (فلک الافلاک) وجود ندارد، هیچ شیء‌ای را نمی‌توان به بیرون از آسمان برد. در بیرون نه فضا، نه خلاء و نه زمان وجود دارد. او فضا را به‌عنوان ظرف تمامی اشیاء می‌داند، با پیرامونی بسته و لذا محدود:

«هیچ شیء‌ای نمی‌تواند بیرون از آسمان وجود داشته باشد یا بدانجا برده شود. در بیرون نه فضا، نه خلاء و نه زمان وجود دارد.»

ارسطو در کیهان‌شناسی خود نظری مخالف نظر استادش، افلاطون، که معتقد به طبیعت خدائی اجسام سماوی است، اظهار می‌دارد.

متذکر می‌شوم که ارسطو مقوله‌ی فضا را از مکان تفکیک می‌کند. او در رساله‌ی فیزیک (کتاب ۴، دلتا) topos را به‌معنای مکان تعریف کرده و معتقد است که فضا مجموعه‌ای از مکان‌هاست. وی مکان را با مشخصاتی از جمله این مشخصه تعریف می‌کند: مکان آن محصور شده از جانب چیزی است که خود جزء آن چیز نیست.

نظر ارسطو در باره‌ی فضا تا قرن چهاردهم میلادی، به واقع تا قرن هفدهم یعنی حدود ۲۰۰۰ سال، نظریه‌ی مسلط بود، هرچند که از همان ابتدا منتقدانی نیز داشت. یکی از منتقدان شاگرد افلاطون و سپس شاگرد ارسطو، توفراستوس Theophrastus (۲۸۷-۳۷۱ پیش از میلاد) بود. توفراستوس معتقد بود که فضا یک چیز واقعی [real] نیست.

اپیکور Epikur (۲۷۱-۳۴۷ پیش از میلاد)

اپیکور، فیلسوف یونانی، معتقد بود کیهان از اشیاء و فضای خالی تشکیل شده است، وگرنه اشیاء کجا می‌توانستند جای بگیرند و حرکت کنند.

تیتوس لوکرتوس کاروس Titus Lucretius Carus (حدود ۵۵-۹۷ پیش از میلاد)، شاعر و فیلسوف یونانی است. او می‌نویسد:

«اگر فضا محدود بود، می‌شد 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.»

کلادیوس بطلمیوس Claudius Ptolemaeus (۱۷۰-۱۰۰ پس از میلاد):

بطلمیوس، ریاضی‌دان، اخترشناس و فیلسوف یونانی است؛ کتاب *Almagest* یکی از معروف‌ترین آثار اوست. مجیسته یا مجیسطی به معنی بزرگترین یا پراهمیت‌ترین است. این نام‌گذاری به‌خاطر تفکیک این اثر از سایر آثار او بود و مترجمان عرب‌زبان حرف تعریف ال را پیشوند آن کرده و المجیسطی نامیدند. بطلمیوس در این اثر تصویری از کیهان با مرکزیت زمین ارائه می‌دهد که با اغلب مشاهدات آن زمان همخوانی داشت. تصویری که بطلمیوس از کیهان ارائه کرد بیش از سیزده قرن، یعنی تا قرن پانزدهم - شانزدهم باور عموم شده بود.

پاپ سیمپلیسیوس Simplicius

سیمپلیسیوس، ایتالیایی و پاپ کلیسای کاتولیک از سال ۴۶۸ تا ۴۸۳ بود. او می‌گفت:

«اگر فضا محدود بود، می‌شد به انتهای آن رفت و سعی کرد دست را به آن طرف دراز نمود. چنانچه مقاومتی محسوس شد، در این‌صورت چیزی در آن‌سو هست که می‌توان به انتهای آن رفته و از آنجا باز همان عمل را تکرار کرد. اما اگر

بشود دست را تکان داد، در این حالت نیز بیرون از آن چیزی وجود دارد که دست می‌تواند به طرفش دراز شود. از آنجا که این عمل بی‌نهایت بار قابل تکرار است، باید که فضا نامحدود باشد.»

محمد ذکریای رازی (۹۳۵/۹۲۵ - ۸۵۰ میلادی)

رازی، پزشک، فیلسوف و شیمی‌دان ایرانی، هفتصد سال پیش از نیوتن در کتاب خود شرح علم الهی پس از بررسی مقوله‌ی زمان که در مقاله‌ی "زمان چیست و چگونه به دنیا آمد؟"^۳ توضیح دادم به مقوله‌ی فضا پرداخته و می‌نویسد:

«من در باره‌ی فضا هم می‌گویم، فضا نیز مطلق و نسبی است. فضای مطلق مانند ظرفی است محیط به اشیاء؛ اگر اشیاء داخل آن را نادیده بیانگاری، 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، فضای نسبی فضائی است نسبت به آنچه درونمایه‌ی آن می‌شود. چنانچه چیزی وجود نداشته باشد که بشود آن را درونمایه‌اش نامید، در این صورت فضا هم وجود ندارد.»

نیکلاوس کوئس Nikolaus von Kues (۱۴۶۴-۱۴۰۱):

نیکلاوس کوئس، فیلسوف و ریاضی‌دان آلمانی، کیهان بطلمیوسی با مرکزیت زمین ساکن را مورد سؤال قرار داده آن را مردود می‌داند. او می‌نویسد:

«کسی که روی زمین یا خوشید و یا هر ستاره‌ی دیگری است گمان می‌کند در مرکز مکان ساکنی قرار گرفته و اجرام دیگر در حرکت هستند. بافت کیهان چنان است که گوئی همه‌جا مرکز آن است و جای متمازی ندارد.»

تذکر: نظر کوئس در واقع بیان محتوای اصل کسمولوژی حاضر است، اصلی که پس از گذشت بیش از پانصد سال از آن دوران در قرن بیستم از دل نظریه‌ی نسبیت اینشتین بیرون کشیده شد.

نیکلاوس کپرنیک Nikolaus Kopernikus (۱۵۴۳-۱۴۷۳)

نیکلاوس کپرنیک، منجم و ریاضی‌دان لهستانی، کره زمین را که تا آن زمان مکانی خاص در کیهان تلقی می‌شد باطل دانسته منظومه‌ی شمسی را با مرکزیت خورشید که سیارات به شکل دایره دور آن می‌چرخند، اصل می‌شمارد. اصل کپرنیکی می‌گوید: هر نقطه‌ای از کیهان هم‌ارز فیزیکی - کیهانی هر نقطه دیگر آن است، در کیهان هیچ نقطه‌ی خاص و یا جهت ویژه‌ای وجود ندارد. نظر کپرنیک نیز همچون نظر کوئس در باره‌ی ساختار کیهان بیان محتوای اصل کسمولوژی عصر حاضر است.

تیکو براهه Tycho Brahe (۱۶۰۱-۱۵۴۶):

تیکو براهه، منجم دانمارکی، در سال ۱۵۷۲ میلادی شاهد ابرنواختری Supernova [ستاره‌ای که به‌ناگهان به‌صورت درخشش بزرگی منفجر می‌شود] است. براهه نشان داد که دنباله‌مدار Komet دیده شده در سال ۱۵۷۷ دورتر از مدار کره‌ی ماه بود. به این ترتیب او بی‌اعتبار بودن تصویر ارسطو و بطلمیوس از کیهان را نشان داد.

جوردانو برونو Giordano Bruno (۱۶۰۰-۱۵۴۸)

جوردانو برونو (در اصل فیلیپو برونو)، کشیش، شاعر، فیلسوف، ریاضی‌دان و نظریه‌پرداز کیهان‌شناسی، اهل ایتالیا است. او 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.

برونو 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 ارسطوی خوب من، با این بیان چه می‌خواهی بگوئی، این‌که فضا در خود غوطه‌ور است؟ کیهان در هیچ‌کجا نیست؛ بی‌مکانی برای همه‌ی چیزها.»

گالیلئو گالیله Galileo Galilei (۱۶۴۲-۱۵۶۴):

گالیله، منجم، فیزیک‌دان و ریاضی‌دان ایتالیائی و پایه‌گذار روش تحقیق نوین، یعنی آزمایش است. گالیله توانست با

بهرمجویی از دوربین نجومی ماه‌های سیاره‌ی مشتری Jupiter و جَوَهای زهره را کشف، پستی بلندی‌های کره‌ی ماه و لکه‌های خورشیدی را مشاهده و از این طریق از نظریه‌ی کپرنیک حمایت نماید. او همچنین توانست با تمرکز بر روی ثوابت که به ظاهر نقطه‌مانند می‌نمودند کهکشانشان ما را ساختاری متشکل از ستارگان توصیف کند.

یوهانس کیپلر Johannes Kepler (۱۶۳۰-۱۵۷۱):

کیپلر، منجم و ریاضی‌دان آلمانی، دستیار تیکو براهه با بهره‌گیری از علم ریاضی نشان داد که نظریه کپرنیک مبنی بر این‌که خورشید در مرکز منظومه‌ی شمسی قرار دارد و سیارات، از آن‌جمله کره‌ی زمین، بدور آن می‌چرخند صحت دارد. او همچنین توانست نشان دهد که مدار سیارات نه به‌شکل دایره بلکه به‌شکل بیضی هستند. سه قانون مشهور کیپلر مربوط به چگونگی حرکت سیارات به دور خورشید جزو ارزشمندترین دست‌آوردها در علم نجوم است.

رنه دکارت Rene` Descartes (۱۶۵۰-۱۵۹۶)

دکارت، ریاضی‌دان و فیلسوف فرانسوی، معتقد بود که فضای خالی (خلأ)، 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 Isaac Newton (۱۷۲۷-۱۶۴۲):

نیوتن، فیزیک‌دان و ریاضی‌دان انگلیسی، فضا را مانند ذکریای رازی مطلق دانسته و آن را به‌عنوان یک اصل فیزیکی خود چنین تعریف می‌کند:

«فضای مطلق، بنا بر طبیعت‌اش و بدون رابطه با شیء بیرونی همواره یکسان و غیرمتحرک است. فضای نسبی، واحد، معیار یا بخش متحرک آن است. برای مثال یک بخش از محدوده‌ی فضای روی زمین، یک بخش از آتмосفر، یک بخش از آسمان. مکان بخشی از فضا است.»

امانوئل کانت Immanuel Kant (۱۸۰۴-۱۷۲۴):

کانت، فیلسوف آلمانی، در کتاب "نقد خرد ناب" می‌نویسد:

«فضا یک تصور ضروری پیشاتجربی، آپریوری، است، زیربنای همه‌ی نماهای بیرونی. هرگز نمی‌توان تصویری از نبود فضا داشت، اما می‌توان تصور کرد که فضا تهی از اشیاء باشد.»

تعریف کانت از فضا مشابه تعریفی است که او از زمان می‌کند. یعنی، مطلق و پیشاتجربی. به‌خاطر آن‌که در دو مقاله‌ی "مرزهای ادراک حسی در کسب شناخت بی‌واسطه" و "زمان چیست و چگونه به دنیا آمد؟" به تعریف کانت از دو مقوله‌ی فضا و زمان پرداخته‌ام، از تکرار آن در اینجا خودداری می‌کنم. همین اندازه تأکید می‌کنم که تعریف کانت از فضا و زمان را نباید جدی گرفت.

گاتفرید ویلهلم لایبنیتز Gottfried Wilhelm Leibniz (۱۷۱۶-۱۶۴۶)

لایبنیتز، فیلسوف و ریاضی‌دان آلمانی، می‌نویسد:

«من بارها تأکید کرده‌ام که من فضا را مثل زمان تنها چیزی نسبی می‌دانم؛ برای نظم آنچه هست، مانند زمان برای نظم آنچه در پی‌هم می‌آیند. وقتی آدمی چندین چیز را یکجا مشاهده می‌کند، متوجه نظم میان آن‌ها با یکدیگر می‌شود.»

لایبنیتز این احتمال را می‌داد که موجودیت فضا غیرقابل تفکیک از موجودیت اجسام است، به‌شکلی که با تصور نبود اجسام، فضا نیز موجودیت خود را از دست می‌دهد.

جمع‌بندی و توضیحاتی چند در باره‌ی آنچه تا کنون گفته شد: عصاره‌ی تفکر ۲۵۰۰ ساله‌ی انسان در باره‌ی مفهوم فضا را می‌توان به این شکل خلاصه کرد: فضا محدود است، فضا نامحدود است، فضا مطلق و نسبی است، فضای خالی (خلأ) وجود دارد، فضای خالی وجود ندارد!

یعنی پیشینیان ما، البته نه فقط آن‌ها، موفق نشدند در طول ۲۵ قرن موجودیت، محدود یا نامحدود بودن، خالی یا خالی نبودن فضا را روشن نمایند. آن‌ها همچنین در موقعیتی نبودند تا این پرسش را مطرح و بدان پاسخ دهند که آیا یک اندازه‌ی معینی از فضا همواره ثابت می‌ماند یا این‌که تابع داده‌هایی مانند حرکت و چگالی ماده‌ی محیط نیز است. پرسش‌های دیگری

شبهه آنچه در مقاله^۳ نیز مطرح شده‌اند. در آنجا از جمله به این پرسش مهم "تعریف زمان چیست؟" می‌پردازم و پاسخ را به‌شکلی که اینشتین بیان کرده است ارائه می‌کنم. دشواری پاسخ به پرسش‌هایی چون "تعریف فضا چیست؟" در آن است که به قول اینشتین کلمه‌ی فضا مبهم، ناروشن است و نمی‌توان از آن کوچکترین تصویری داشت. او در کتاب در باره‌ی نسبیت خاص و عام^۴ می‌نویسد:

«اگر صادق باشیم، باید اعتراف کنیم که ما نمی‌توانیم کوچکترین تصویری از کلمه‌ی "فضا" داشته باشیم.»

پاسخ به چرایی مبهم بودن مقوله‌ی فضا نیازمند مطالعه‌ی تاریخ علم تکامل است. پروسه‌ی تکامل جان‌داران با پرتویونت شروع می‌شود: از دوران ماقبل تکسلولی‌های اولیه، نزدیک به ۳,۵ میلیارد سال پیش و سپس تکسلولی‌ها و تمرین‌های اولیه این سلول‌ها و همچنین چندسلولی‌ها، برای طی فاصله‌های معین در جهت‌های ویژه، به‌خاطر جذب عناصر شیمیایی لازم برای خودسازمانی و توسعه. یعنی، آشنائی‌های اولیه با فاصله‌ها و جهت‌ها، به اصطلاح با "فضا". شکل‌گیری حس فضا در انسان از یک طرف به پروسه‌ی تکامل مربوط می‌شود و از طرف دیگر به نیاز او برای به‌نظم در آوردن مشاهدات‌اش و ایجاد امکاناتی برای بیان خواسته‌ها در جهت برقراری رابطه با محیط و هموعان. از این‌رو به‌نظم عجیب نیست که مقوله‌ی فضا مبهم و بسیار انتزاعی است. همچنین، علت تقدم مقوله‌ی فضا به مقوله‌ی زمان آن است که ما زمان را با "ابزار فضائی" توصیف می‌کنیم. مانند: پیش از آن، در طول صحبت، در فاصله‌ی دو سخنرانی، و در رازای عمر، در عمق تاریخ و مثال‌های دیگر.

در رابطه با محدود یا نامحدود بودن فضا، لازم است متذکر شوم که انسان امروزی نیز قادر نیست، با وجود دست‌آوردهای شگرف قرن بیستم و قرن حاضر، بگوید آیا فضا در نهایت محدود است یا نامحدود. آنچه ما امروز می‌توانیم بگوئیم این است که کیهان در حال انبساط است. این‌که آیا انبساط کیهان همواره ادامه خواهد یافت، به‌معنای فضای نامحدود، یا این‌که انبساط آن زمانی جهت معکوس پیش‌گرفته و رو به انقباض خواهد بود، به معنای فضای محدود، دانش کنونی قادر به پاسخ قطعی آن نیست.

فضای مطلق و نقد آن:

در این‌جا لازم می‌دانم، دو پرسش را مطرح کرده و به آن‌ها پاسخ دهم: ۱. مطلق دانستن فضا چه معنا و چه تبعاتی دارد؟ و ۲. کدام استدلال تصور فضای مطلق را رد می‌کند؟

پاسخ به پرسش اول: مطلق دانستن فضا چه معنا و چه تبعاتی دارد؟

گفتیم که ذکریای رازی و هفت قرن پس از او نیوتن فضا را مطلق و نسبی می‌دانستند. رازی در کتاب شرح علم الهی می‌نویسد:

«فضای مطلق مانند ظرفی است، محیط به اشیاء. اگر اشیاء داخل آن را نادیده بگیری، ظرف ناپدید نمی‌شود.»

و نیوتن در کتاب اصول ریاضی علم طبیعت^۵ می‌گوید:

«فضای مطلق بنا بر طبیعت‌اش و بدون رابطه با شیء بیرونی همواره یکسان و غیرمتحرک است.»

توجه داریم که رازی و نیوتن هر دو فضا را مطلق تصور می‌کنند. اما در تعریف نسبی فضا تصور رازی متفاوت از آنی است که نیوتن بیان می‌کند. نیوتن فضای نسبی را بخشی از فضا، برای مثال بخشی از آتمسفر و یا بخشی از آسمان، تعریف می‌کند. در مقابل، رازی فضای نسبی را چنین تعریف می‌کند:

«فضای نسبی، فضائی است نسبت به آنچه درونمایه‌ی آن می‌شود. چنانچه چیزی وجود نداشته باشد که بتوان آن را درونمایه‌اش نامید، در این‌صورت فضا نیز وجود ندارد.»

تعریف فضای نسبی رازی به‌وضوح بسیار شبیه تعریف دکارت از فضا است. در این‌باره توضیحاتی را در زیر ارائه خواهم داد.

بی‌گمان رازی و نیوتن فضای مطلق را سه بعدی، مسطح، ساکن، همگن و همسانگرد تجسم می‌کردند؛ همگن به‌معنای: هیچ‌یک از نقاط آن باهم فرقی ندارد و همسانگرد به‌معنای: هیچ یک از جهات آن باهم فرقی ندارد.

هندسه‌ی اقلیدسی قرن‌ها پیش از رازی و نیوتن کوتاه‌ترین فاصله میان دو نقطه A و B را یک خط مستقیم تعریف کرده و طول آن را ثابت انگاشته است. صرف‌نظر از این‌که اندازه‌گیری آن در چه مکانی، تحت چه شرایطی و از چه جایگاهی

صورت گیرد، برای مثال در نزدیکی شیء پُرجرمی مانند یک سیامچاله یا بسیار دورتر از آن و یا از سیستم‌هایی که نسبت بهم در حال حرکت‌اند. فضای رازی و نیوتن اقلیدسی است. هندسه‌ی اقلیدسی طول خط مستقیم میان دو نقطه A و B را کاملاً به شکل ذهنی نسبت به پس زمینه‌ای می‌سنجد که ساکن و همگن می‌نماید. از این‌رو، در این نگاه نه تنها طول بلکه همچنین حجم (فضای) یک جسم همواره ثابت، مطلق، تصور می‌شود.

مشخصه‌ی بارز فیزیک نیوتنی آن است که اساس را بر واقعی و مطلق بودن فضا و زمان گذاشته است. نیوتن در کتاب ذکر شده‌اش فضا را در شکل مطلق بکار می‌گیرد، گرچه آزمایش معروف خود او (با سطل آب) این پنداشت را رد می‌کرد. نیوتن از یک طرف برای مستدل کردن قانون حرکت و از طرف دیگر، به‌گفته استیون هاکنینگ، فیزیکدان انگلیسی، به‌خاطر اعتقادش به خدای مطلق فضا را مطلق می‌دید. به‌گمان من نیوتن در قرن هفدهم، با توجه به سطح دانش و امکانات آن زمان، به‌سختی می‌توانست فراتر رفته و نسبی بودن فضا (و زمان) را تجسم و آن را به زبان ریاضی بیان دارد.

در قانون حرکت مقوله‌ی شتاب دخیل است. نیوتن برای پاسخ به این پرسش - شتاب نسبت به چی؟ - آن را نسبت به فضا ارزیابی می‌کند؛ نسبت به فضای ساکن، حداقل اما نسبت به فضای بدون شتاب. چنین پنداشتی از فضا اما معنایی جز آن ندارد که نیوتن به فضاعینیت فیزیکی قائل بود. عینیتی که تاثیرگذار بر پروسه‌هاست بی‌آن‌که خود از آن‌ها متأثر 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 در کتاب نامبرده‌اش 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. گسترش (Ausdehnung) اما در رابطه با اجسام معنا دارد. بنابراین، نبود فضا در صورت نبود اجسام، به‌معنای نبود فضای خالی است.»

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 مستقیماً 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 (خلأ) در فشارسنج جیوه‌ای، گفته‌ی دکارت - نبود فضا خالی در صورت نبود اجسام - بی‌اعتبار شد و آخرین طرفداران مکتب دکارتی خلع‌سلاح شدند.

فضا در فیزیک نیوتنی مطلق محسوب می‌شود. این نظریه را ابتدا جرج برکلی G. Berkeley، فیلسوف و کشیش ایرلندی (۱۶۸۵-۱۷۵۳)، ۲۰ سال پس از انتشار کتاب *اصول ریاضی علم طبیعت* از جانب نیوتن در سال ۱۶۸۶ نقد و رد نمود. دیوید هیوم David Hume فیلسوف، تاریخ‌شناس و اقتصاددان اسکاتلندی، از پیشروان 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 به عوامل فراطبیعی ارائه شوند. هیوم یکی از پیشقراولان زمینی‌کردن مقولات علمی، خاصه فیزیک بود. در اواخر قرن نوزدهم ارنست ماخ، فیزیک‌دان و فیلسوف اتریشی، نیز نظریه‌ی نیوتن در مورد فضا را مورد سؤال قرار داد و نقد ژرف و عمیقی به آن نوشت. نقدی که بی‌تردید در ارائه‌ی نسبیت از جانب اینشتین بی‌تأثیر نبوده است. ماخ با پی‌روی از افکار لایب‌نیتز موجودیت فضا را قابل تفکیک از موجودیت اجسام نمی‌داند. او "شتاب" را در قانون حرکت نیوتن، برخلاف نظر نیوتن، نسبت به ماده توزیع شده در کیهان می‌داند نه نسبت به فضای مطلق.

تذکر: با نگاه ژرف‌تر به موضوع می‌توان نشان داد که قوانین طبیعی اصولاً پژوهش‌گر را در مقابل پرسش "شتاب نسبت به چی؟" قرار نمی‌دهند.^۳

در این‌جا مایل‌ام پیش از پرداختن به پرسش دوم مطلبی را تکرار کنم. در نظریه‌ی فضای مطلق نه تنها مکان بلکه مقدار فضائی که از آن یک شیء معینی است، برای مثال یک کتاب در اتاقی، همواره ثابت انگاشته می‌شود. صرف‌نظر از این‌که این مکان و فضا از چه سیستمی و با چه سرعتی و یا از چه مکانی ملاحظه شود. چنان انگاشتی تنها زمانی صادق است که در کیهان تنها یک نوع سرعت وجود داشته باشد و فضا ساکن و در همه‌ی نقاط همگن باشد.

پاسخ به پرسش دوم: کدام استدلال انگاشت فضای مطلق را رد می‌کند؟:

این پرسش را می‌توان به شکل معکوس نیز مطرح کرد: بر فرض مطلق بودن فضا، با چه معیاری می‌توان واقعی بودن آن را سنجید؟ معیار ما برای سنجش، همان معیار علم فیزیک است:

یک مقوله در علم فیزیک 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 خاص می‌توان نشان داد هیچ نقطه‌ای در فضا نیست که بشود آن را علامت‌گذاری کرد، یعنی هیچ نقطه‌ای نیست که دارای عینیت مطلق باشد. برای روشن شدن این مطلب، ما 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 مقاله^۲ می‌دانیم که قوانین و جریان‌های مکانیکی در هر دوی این سیستم‌ها کاملاً یکسان هستند. یعنی، هیچ یک از این دو سیستم نسبت به دیگری کوچکترین امتیازی ندارد. حال اگر جسمی در یکی از این سیستم‌ها ساکن باشد، بی‌شک از نگاه سیستم دیگر دارای حرکت مستقیم و یکنواختی است. و اگر فردی ادعا کند که آن جسم مکان معینی را در فضا نشان می‌دهد، می‌تواند فرد دیگر منکر آن شده و به حق مدعی در حرکت بودن آن باشد.

نتیجه: فضائی که نشود در آن مکانی را با یک جسم علامت‌گذاری کرد کاملاً نامعین است. به بیان دیگر، فضا آن‌گونه که ادعا می‌شود به ظرفی نمی‌ماند که اشیای مادی در آن همواره، یعنی بطور مطلق، جای خاص خود را دارند. برای مثال یک کتاب در اطای که بخشی از فضای اطراف زمین است برای ما مکان خاصی را از آن خود کرده است، برای مشاهده‌گری در سیستم دیگری، مثلاً در یک سفینه‌ی فضائی، که نسبت به زمین ساکن و یا در حرکت است، کتاب مکان ثابتی را در فضا ندارد. می‌توان به غیر از دو سیستم ذکر شده سیستم‌های مشابه بیشتری را نیز با سرعت‌های گوناگون تصور کرد. در این صورت مشاهده‌ی یک جسم مشخص، مثال کتاب، از هر یک از آن سیستم‌ها مکان‌های کاملاً متفاوتی را نشان خواهند داد؛ به این معنا که "فضاهای" بسیاری نسبت به هم در حرکت‌اند. روشن است که چنین وضعیتی نمی‌تواند مطلوب ما باشد. از این رو لازم است تا حد ممکن از به‌کارگیری کلمه‌ی مبهم فضا، به‌ویژه فضای مطلق، اجتناب کنیم.^۶

در راستای این استدلال و با بروز تضادهای غیرقابل انکار در اواخر قرن نوزدهم و اوایل قرن بیستم - حاصل از تجربه و آزمایش‌ها در عرصه‌های مختلف علمی به‌ویژه در علم فیزیک - نیاز به یک تجدید نظر جدی و اساسی در انگاشت‌های ذهنی ما، از جمله در باره‌ی فضا و ارائه‌ی راه حل‌های واقعی و برای اندازه‌گیری آن‌ها مشهود بود. تجدیدنظر در انگاشت‌های ذهنی کار ساده‌ای نیست. اینشتین و اینفلد، فیزیکدان لهستانی (۱۹۶۸-۱۸۹۸)، در این باره در کتاب *سیر تکامل فیزیک*^۷ می‌نویسند:

«در فیزیک کلاسیک همواره نظر بر این بود که ساعت‌ها در حالت سکون و حرکت هماهنگ 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.»

فضا در نظریه‌ی نسبیت خاص

پیشتر به اصلی اشاره شد به نام اصل نسبیت خاص. این اصل می‌گوید:

سیستم‌های همسان زیادی وجود دارند که نسبت بهم در حرکت‌های انتقالی هستند. و یا: سیستم‌های لختی کاملاً هم‌تراز هستند و قوانین طبیعی می‌توانند هموردا (covariant) نسبت به ترادوسی‌ها از یک سیستم لختی به یک سیستم لختی دیگر نوشته شوند.

این اصل را در مقاله‌ی^۲ توضیح داده‌ام. قوانین سینماتیک و مکانیک در سیستم‌های لختی به شکل ساده و کلاسیک معتبر هستند و رابطه‌ی تنگاتنگی با زمان و فضا دارند. علم سینماتیک، علم حرکت‌شناسی، می‌گوید سرعت یک جسم برای دو مشاهده‌گر که نسبت به هم در حرکت هستند متفاوت است. سرعت نور اما طبق تجربه همواره ثابت است، صرف‌نظر از این‌که حالت مشاهده‌گران نسبت به هم و یا نسبت به نور به چه صورتی باشد.

ملاحظه می‌کنیم که ما در این‌جا با دو بیان متضاد روبرو هستیم. فیزیک نیوتنی توان حل این تضاد را ندارد. و از آن‌جا که ثابت بودن سرعت نور امر اثبات شده‌ای است، تنها راه چشمپوشی از بیان اولیه است؛ یعنی صرف‌نظر کردن از دیدگاهی که تا قرن بیستم معتبر انگاشته می‌شد. دیدگاهی که ریشه در برداشت نادرست از مفهوم هم‌زمانی داشت.

مفهوم همزمانی را در مقاله^۳ توضیح داده‌ام، دقیقاً به‌شکلی که اینشتین بیان کرده است. فقط تکرار می‌کنم که عبارتی مانند "دو پدیده یکی در A و دیگری در B هم‌زمان هستند" بی‌معناست، چرا که هیچ امکانی برای تشخیص درست بودن و یا نادرست بودن آن ارائه نشده است. برای سنجش صحت آن می‌باید ساعت‌های مشابه هماهنگ، سینکرون شده باهم، را در A و B در اختیار داشت.

فضا و زمان چه رابطه‌ای با سرعت نور دارند؟ برای مثال، فاصله‌ی میان دو نقطه یا فاصله‌ی زمانی میان دو پدیده با سرعت نور به چه شکلی است؟ سرعت نور به‌عنوان یک سرعت حداکثر چه معنا و چه پی‌آمدهایی برای مشاهدات ما از فعل و انفعالات طبیعی دارد؟ اصولاً این سرعت چگونه وارد قوانین طبیعی، فیزیک، شد؟

جیمز کلرک ماکسول J. K. Maxwell، فیزیکدان اسکاتلندی (۱۸۷۹-۱۸۳۱)، با ارائه‌ی معادلات میدان‌های الکترومغناطیسی، 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 الکترومغناطیسی 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 امواج الکترومغناطیسی، و با آن نور به‌عنوان بخش کوچکی از آن، نیازمند یک حامل است. حامل نور چیزی به نام اتر تصور گردید و سعی فراوان شد تا سرعت این امواج را نسبت به آن بسنجند. در صورت توفیق در این امر موجودیت اتر اثبات شده محسوب می‌شد. آزمایش‌ها اما وجود اتر را تایید نکردند. یعنی، امواج الکترومغناطیسی و با آن نور نیازی به حامل برای انتشار ندارند. وضعیتی که تا آن زمان کاملاً ناشناخته شده بود و دانشمندان نامداری مانند هندریک آنتون لورنتس H. A. Lorentz، فیزیکدان هلندی (۱۹۲۸-۱۸۵۳)، حاضر به پذیرش آن نبودند و سرسختانه مقاومت می‌کردند. ولیکن در نهایت، هرچند با تاخیر فراوان، نتایج آزمایش‌ها را مقدم بر نظر ذهنی خود دانسته و آن‌ها را پذیرفتند. آزمایش‌های بسیار دقیق مایکلسون و مورلی به‌وضوح نشان می‌دادند که نور برخلاف صوت نیازی به حاملی 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. و اما حداکثر سرعت ذراتی که دارای جرم ساکن هستند، هرچند که این جرم بسیار کوچک و ناچیز باشد مانند جرم ذره الکترون، به چه اندازه است؟

در آزمایشی که در سال ۱۹۶۲ از جانب ویلیام برتتزی W. Bertozzi از دانشگاه ام آی تی انجام گرفت و آن را در شکل فیلم نیز ثبت کرد، معلوم شد که با ازدیاد انرژی حرکتی، سرعت ذره‌ی الکترون مدام بیشتر می‌شود. ولیکن از مرحله‌ی معینی به بعد بعکس تصور فیزیک نیوتنی دیگر سرعت آن افزایش چشمگیری نمی‌کند و رفته رفته حالت ثابتی به خود می‌گیرد. یعنی، سرعت ذره با افزایش انرژی حرکتی تغییر محسوسی نشان نمی‌دهد.^۴ علت این پدیده روشن است. همسو با ازدیاد انرژی حرکتی، جرم حرکتی ذره (الکترون) نیز مدام رو به افزایش می‌گذارد و با نزدیک شدن سرعت به ماکزیموم؛ یعنی به سرعت نور، جرم ذره بسیار زیاد می‌شود. در این حالت هیچ انرژی حرکتی در جهان قادر نیست سرعت چنان جرمی را به حد سرعت نور برساند. سرعت نور برای هیچ ذره‌ای دارای جرم ساکن، هر اندازه هم که جرم آن ناچیز باشد، قابل دسترسی نیست.

در مقاله^۳ رابطه‌ی زمان با سرعت نور را توضیح دادم. در آنجا می‌بینیم که برای مثال زمان رفت و برگشت یک سکه‌ی پرتاب شده به بالا برای مسافری در قطار در حال حرکت کوتاه‌تر از زمانی است که یک ناظر ساکن بیرون از قطار ملاحظه می‌کند (با فرض سینکرون بودن ساعت‌ها باهم). و اما فضا چه رابطه‌ای با سرعت دارد؟ برای ساده کردن مطلب می‌توان یکی از سه بعد فضا را در نظر گرفت. در هندسه‌ی اقلیدسی طول خط مستقیم میان دو نقطه‌ی A و B دارای یک اندازه‌ی ثابت است. فیزیک نیوتنی و تجربه‌ی روزمره ما نیز آن را تایید می‌کند؛ اما برآستی چنین است؟ خیر! برای روشن کردن این مطلب از مثالی استفاده می‌کنم که اینشتین در کتاب ذکر شده‌اش توضیح می‌دهد. او می‌نویسد:

«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 به‌عنوان 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 بناست فاصله‌شان تعیین شود A' و B' می‌نامیم. هر دو نقطه با سرعت v (سرعت قطار) در امتداد ریل در حرکتند. ما نخست نقاط A یا B ریل (بیرون از قطار) را تعیین می‌کنیم که دو نقطه‌ی A' و B' در یک زمان معین t - از دیدگاه 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 (پیشاتجربی) به هیچ وجه روشن نیست که اندازه‌گیری آخری می‌باید برابر با نتیجه اولی باشد. طول اندازه‌گیری شده از بیرون می‌تواند متفاوت از طول اندازه‌گیری شده در قطار باشد.»

اینشتین در ادامه به فرمولبندی ریاضی این مسئله از طریق ترانسفورماسیون‌ها، ترادبسی‌ها، انتقال‌دهنده‌های لورنتس که در مقاله‌ی^۳ به آن‌ها اشاراتی شد می‌پردازد.

نتیجه: 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. به همین منوال است فضای یک جعبه‌ی یک متر مکعبی در بیرون از قطار که برای مسافر کوچکتر از یک متر مکعب می‌نماید. در صورت وجود قطارهایی با سرعت‌های مختلف همان فضای یک متر مکعبی از هر یک از آن‌ها متفاوت ارزیابی می‌شود و به هیچ وجه یکسان، مطلق، نمی‌نمایند.

جمع‌بندی بخش‌های ۳ و ۴: طول و حجم یک جسم در امتداد حرکت سیستم‌های لختی با سرعت‌های متفاوت یکسان نیستند، یعنی مطلق نیستند. با نزدیک‌تر شدن سرعت سیستم‌ها به سرعت نور طول و حجم مربوطه کوچکتر و کوچکتر و در نهایت متمایل به صفر جلوه می‌کند. یعنی، فضا کمیتی است نسبی و نه آن‌گونه که قرن‌ها، تا اوایل قرن بیستم، به غلط مطلق انگاشته می‌شد.

حال این پرسش مطرح است که آیا فضا به علت دیگری هم، سوای حرکت، نسبی می‌شود؟ پاسخ به این پرسش مثبت است. چرا که اندازه‌ی فضا متأثر از مقدار ماده‌ی محیط نیز است و به همین دلیل نیز نسبی می‌شود. این را نظریه‌ی نسبیت عام به ما می‌گوید.

فضا در نظریه‌ی نسبیت عام

اصلی که می‌گوید قوانین فیزیک در تمامی سیستم‌های لختی - با حرکت‌های یکنواخت مستقیم، بدون شتاب - یکسان (دارای فرم واحد) هستند اصل نسبیت خاص نامیده می‌شود. ما می‌خواهیم این اصل را چنان توسعه یافته بدانیم که شامل همه نوع سیستم‌ها، بی شتاب و با شتاب، گردد. این امر بسیار مهم را اینشتین در اصلی به نام اصل نسبیت عام چنین بیان می‌کند:

«قوانین فیزیک می‌باید چنان ارائه شده باشند که در هر سیستم متحرک دلخواهی معتبر باشند.»

آزمایش‌ها نشان می‌دهند که هیچ اختلاف قابل سنجشی میان تاثیر حاصل از شتاب یک سیستم و تاثیر حاصل از نیروی گرانشی بر همان سیستم وجود ندارد. به بیان دیگر، تشخیص تاثیر شتاب از تاثیر گرانش برای مثال در سقوط آزاد یک سنگ، امکان ندارد. یعنی، شتاب و گرانش هم‌ارز هستند. اینشتین این ایده‌ی بسیار مهم خود را اصل هم‌ارزی نامید و آن را پایه و اساس کل نظریه‌ی نسبیت عام قرار داد. اصل هم‌ارزی می‌گوید که نظریه‌ی نسبیت عام یک نظریه‌ی گرانشی است. نظریه‌ی گرانشی نشان می‌دهد که فضا (فضازمان) در اصل نه اقلیدسی، مسطح، بلکه نامسطح، ریمانی، یعنی خمیده است. اندازه‌ی خمیدگی فضا نمایانگر اندازه‌ی نیروی گرانشی است، نیروئی که تابع ماده‌ی موجود است. به بیان دیگر، خمیدگی‌های فضا در نقاط مختلف کیهان، یعنی نیروهای گرانشی در نقاط مربوطه، حاصل از مقدار ماده‌ی توزیع است. هر اندازه که مقدار ماده بیشتر و فشرده‌تر باشد، یعنی چگالی آن زیادتر باشد، به همان نسبت نیز خمیدگی فضا بیشتر و به همان میزان نیز نیروی گرانشی قوی‌تر است. بعکس، هر اندازه که چگالی ماده کمتر باشد خمیدگی فضا نیز کمتر خواهد بود. خمیدگی بیشتر فضا یعنی فضای متریک‌تر، فضای فشرده‌تر، فضای "غلیظتر"، و خمیدگی کمتر یعنی فضای "رقیق‌تر". با در نظر گرفتن این واقعیت که ماده‌ی توزیع شده در کیهان ناهمگن است، بدیهی می‌نماید که تراکم فضا و با آن هندسه‌ی فضا نیز ناهمگن، نامسطح، مملو از "پستی و بلندی‌ها"، باشد. برای مثال فضای اطراف خورشید به مراتب متریک‌تر از فضای اطراف زمین و فضای اطراف زمین متریک‌تر از فضای اطراف کره‌ی ماه است. فضای اطراف یک سیاه چاله یا مرکز کهکشان بسیار خمیده‌تر از فضای اطراف یک ستاره است. چنانچه چگالی ماده در ناحیه‌ای از کیهان نزدیک و یا تقریباً برابر با صفر باشد، خمیدگی فضا در آن ناحیه می‌تواند قابل اغماض باشد، یعنی می‌توان آن را مسطح

در نظر گرفت. در این حالت نظریه‌ی نسبیت خاص (فضای مینکوفسکی) صدق می‌کند. هندسه‌ی اقلیدسی تنها در یک چنین حالت خاصی صحت دارد. صحت نظریه‌ی نسبیت عام از طریق انداز‌گیری پدیده‌های طبیعی، مانند انحنای نور در نزدیکی جسم پرجرمی مثل خورشید، به اثبات رسیده است.

از توضیحات ارائه شده می‌توان دریافت که طول یا حجم (فضای) یک جسم در سیستم‌هایی با سرعت‌های گوناگون و یا در محیط‌هایی با مقدار ماده‌ی متفاوت به یک اندازه دیده نمی‌شوند. به بیان ساده‌تر، واحد طولی یا واحد فضای مطلق، جهانشمول، وجود ندارد. اندازه‌ی طول و فضا نسبیتی هستند.

نکته‌ی حائز اهمیت دیگر، رابطه‌ی فضا و نیروی گرانش است. نیروی گرانش به‌عنوان یکی از چهار نیروی پایه‌ای علم فیزیک همواره در ارتباط با ماده در صحنه‌ی گیتی حضور دارد. وجود ماده بی‌درنگ حضور نیروی گرانشی را در پی دارد و با دور شدن از مرکز ثقل آن مدام ضعیف‌تر می‌شود. آیا فضا همان دامنه‌ی میدان گرانش است؟

آیا فضا موجودیت دارد؟

ارنست شموترز Ernst Schmutzer، فیزیک‌دان آلمانی (-۱۹۳۰*)، در کتاب *نظریه‌ی نسبیت، آکتوئل*^۹، می‌پرسد:

«تصور نبود فضا و زمان به چه معنایی است؟ آیا راهی برای بیان ریاضی پروسه‌ی آبستراکت آن وجود دارد؟»

و او خود به این پرسش چنین پاسخ می‌دهد:

«تا به امروز توفیقی برای بیان ریاضی چنان ایده‌ای حاصل نشده است.»^۸

تصور ما از فضا، همان‌گونه که در بالا گفته شد، در طول تکامل و در شرایط محیط زیست خاص و در سرعت‌های بسیار پائین نسبت به سرعت نور شکل گرفته است. به‌همین خاطر ما فضا را مجزا از زمان و سه بعدی درمی‌یابیم. تصویری که دستگاه ادراک ما با یاری حواس پنج‌گانه‌مان از گیتی می‌سازد در اصل انعکاس برون در درون ماست. برون اما محیطی است عمدتاً نیوتنی، یعنی غیرنسبیتی و غیرکوانتومی. تصور و بیان ریاضی این محیط برای ما شناخته شده است، آن هم در شکل مدل‌های ریاضی و در حله‌ی اول به‌شکل هندسه‌ی اقلیدسی، هندسه‌ی تحلیلی دکارت و فیزیک نیوتنی. درجه‌ی همخوانی این مدل‌ها، در ارتباط با فضا، با جهان عینی‌ای که بی‌شک محدود به محیط زیست ما نیست، تا چه میزانی است؟ پاسخ کوتاه به این پرسش:

فضایی که از طریق مدل‌های هندسه‌ی اقلیدسی و دکارتی تصور و ارائه می‌گردد فضایی است سه بعدی و پیوسته. بدین معنا که می‌شود آن را با یک فرم منظم هندسی مانند یک مکعب پُر کرد. اینشتین در این رابطه در کتاب *در باره‌ی نسبیت خاص و عام*^۶ چنین توضیح می‌دهد:

«کشف نبود یک جسم کاملاً صلب (شق، سخت) ظرافت (Subtilität) مقوله‌ی فضا را آشکار کرد. تمامی اجسام کش‌سان توان تغییر شکل دارند و با تغییر دما حجم‌شان تغییر می‌کند. ساختارهایی که چپش آن‌ها توسط هندسه‌ی اقلیدسی بیان می‌شود نمی‌توانند عاری از مضمون فیزیک باشند. به‌خاطر آن‌که فیزیک می‌باید در تعیین مقولات خود از هندسه بهره جوید، می‌توان مضمون تجربی هندسه را تنها در چهارچوب کل فیزیک بیان و آزمایش کرد.»

در همین رابطه لازم است به نظریه‌ی اتم‌گرایی فیلسوفانی از دوران باستان مبنی بر این‌که کیهان از اتم‌ها ساخته شده است و اعتقاد آن‌ها بر محدودیت قابل تقسیم بودن به اجزاء توجه شود، بدین خاطر که فضاها بین مادون اتم‌ها را نمی‌توان دقیقاً سنجید. این نظریه در اصل خواهان کنار گذاشتن ایده‌ی تعریف سطح‌های صاف و بی‌تحرک برای اجسام صلبی نیز است. در این‌جا، اگر دقیق باشیم، خواهیم دید که قوانین خاصی برای این حالت‌ها وجود ندارد؛ همین‌طور است در بخش ماکرو (یعنی در اندازه‌های فوق اتم‌ها). با این همه، هیچ‌کس به فکر آن نشد مقوله‌ی فضا را کنار بگذارد؛ زیرا مقوله‌ی فضا برای کل نظام علم طبیعت که به‌شکل عالی آزموده شده است ضروری می‌نمود. ماخ در قرن نوزدهم تنها کسی بود که بطور جدی به حذف مقوله‌ی فضا فکر کرد، به این شکل که می‌کوشید آن را با مقوله‌ی مجموعه‌ی فواصل موجود همه‌ی نقاط مادی جایگزین کند. توفیق در این امر از پیشرفتی حاصل گردید که در آغاز به‌نظر هیچ ربطی به مسئله‌ی فضا زمان نداشت. بروز مقوله‌ی میدان [Feldbegriff] و در نهایت گذاشتن مقوله‌ی ذره، یک نقطه‌ی مادی، به‌جای آن.»

همان‌گونه که در مقدمه گفته شد فضای مطلق از گذشته‌های دور به ظرفی تشبیه شده است که با خالی کردن درونمایه‌اش پابرجا می‌ماند. عین این حالت در مورد نظریه‌ی نسبیت خاص نیز صادق است. فارغ از آن‌که در این‌جا مقوله‌های فضا و زمان به‌شکل نسبیتی و پیوستاری چهاربعدی ظاهر می‌شوند. در واقع، نه تنها فضای نیوتنی بلکه همچنین فضای نسبیتی

خاص اینشتین نیز آنی نیستند که قادر به رفع دغدغهی دکارت باشند. توجه داریم که برای دکارت فضای خالی بدون درونمایه معنا ندارد.

آیا می‌توان دغدغهی دکارت را توسط نظریه کاملتری، نظریه‌ی نسبیت عام، برطرف شده دانست؟ در زیر بی‌آن که بخواهم وارد تشریح مقولات فنی و ریاضی بشوم توضیحات چندی را در این باره ارائه می‌کنم.

بنا بر آنچه تا کنون گفته شد، فضا هم در مکانیک نیوتن هم در نسبیت خاص اینشتین مستقل از ماده و میدان وجود دارد. نظریه‌ی نسبیت عام اینشتین اما هیچ‌نوع هستی خاصی را برای فضا نسبت به "پُرکننده-فضا" قائل نیست. برای مثال یک میدان گرانشی صرف را در نظر می‌گیریم. اگر این میدان گرانشی را از میان برداشته انگاریم، به‌عنوان دیگر هیچ چیزی باقی نمی‌ماند. به‌همین دلیل فضای نسبیتی خاص، در تعبیر نسبیت عام، به‌معنای فضای عاری از میدان نیست. فضای خالی یعنی فضایی عاری از ماده و میدان. با این استدلال نظریه‌ی دکارت، طالب کنار گذاشتن مقوله‌ی فضای خالی، چندان هم نادرست نبود. این نظریه البته وقتی بی‌معنا می‌نمود که واقعیت فیزیکی محدود به اجسام با جرم ساکن می‌شد. در واقع ایده‌ی میدان به‌عنوان یک واقعیت فیزیکی در نظریه‌ی نسبیت عام هسته‌ی واقعی ایده‌ی دکارت را نشان می‌دهد: "فضای عاری از میدان" وجود ندارد.^۲

نکات ذکر شده نشان می‌دهند که میدان گرانشی با ماده در رابطه است. ذرات این میدان فاقد جرم ساکن هستند؛ یعنی با سرعت نور انتشار می‌یابند. در این رابطه در کتاب "علم اندیشیدن"^{۱۰} می‌خوانیم:

«وقتی ما فضا را شکلی از ماده ارزیابی می‌کنیم، در این صورت خلاء را که می‌باید فارغ از هر نوع برانگیختگی فیزیکی، از جمله توسط فضا، باشد چگونه باید توصیف کرد؟ پاسخ به این پرسش را شاید بتوان از طریق وحدت دو نظریه‌ی اساسی علم فیزیک، یعنی نظریه‌ی گرانش و نظریه‌ی کوانتوم، در شکل یک نظریه‌ی گرانش کوانتومی به‌دست آورد. برای حالت خاصی از آن، یعنی برای گرانش کوانتومی حلقه‌ای، نتایجی به‌ویژه در بخش کیهان‌شناسی در افق دسترسی قرار گرفته‌اند.

توضیح خلاء مطلق از ما می‌طلبد که از به‌کارگیری مقوله‌های علم هندسه و همچنین مقوله‌ی فضا صرف‌نظر کنیم. این خواستی است که تشریح خلاء مطلق را سخت دشوار می‌کند. دشواری آن زمانی بیش‌تر محسوس می‌شود که به یاد آوریم نظریه‌ی کوانتومی میدان‌ها خود به‌نوعی متکی به علم هندسه است. به عبارت دیگر، تشریح کامل گرانش کوانتومی فارغ از مقوله‌های علم هندسه و فضا کاری است بسیار دشوار، اما نه غیرممکن. محاسبات نظری نشان از آن دارند که عملگرهای *ارون گرانش کوانتومی حلقه‌ای* قادر هستند اتم‌های فضا (!) را محو کرده از تعداد آن‌ها بکاهند.

نظریه‌ی نسبیت عام به تنهایی قادر به تشریح کل کیهان نیست، زیرا این نظریه اعتبار خود را برای مثال در مسئله‌ای به نام تکینگی، یعنی در مقطعی مانند مه‌بانگ، از دست می‌دهد. موضوعی که در مورد سیاه‌چاله‌ها نیز صادق است.»

اینشتین کتاب *در باره‌ی نظریه‌ی نسبیت خاص و عام* را با این جملات به پایان می‌رساند:

«در حال حاضر پرسش اصلی این است که آیا اصولاً یک نظریه‌ی میدانی از نوعی که این‌جا منظور است می‌تواند منتهی به نتیجه شود. فیزیک‌دان نسل حاضر مایل است به این پرسش پاسخ منفی بدهد، او باور به فرم کنونی نظریه‌ی کوانتوم دارد که حالت یک سیستم را نه بطور مستقیم بلکه فقط به‌شکل غیرمستقیم بیان می‌کند، بیان آماری کمیت‌های انداز‌گیری شده بر سیستم مربوطه؛ نظریه‌ی غالب این است که طبیعت دوگانه (ذره‌ای و موجی) که بطور تجربی ثابت شده است فقط از طریق تضعیف مقوله‌ی واقعیت امکان‌پذیر است. من فکر می‌کنم که یک چنین انصراف شدید نظری توسط دانش کنونی ما قابل اثبات نیست و این نباید مانع از آن شود که راه نظریه‌ی میدانی نسبیتی را تا آخر طی کنیم.»

بطور خلاصه، اینشتین از یک طرف می‌گوید "فضای عاری از میدان وجود ندارد" و از طرف دیگر می‌گوید "آیا اصولاً یک نظریه‌ی میدانی از نوعی که این‌جا منظور است می‌تواند منتهی به نتیجه شود؟". به‌عنوان مثال مسئله‌ی فضا در گرو کوانتومی کردن نیروهای پایه‌ای علم فیزیک است. و این برای مفهوم فضا به‌معنای کوانتومی کردن آن، "فضای کوانتومی"^{۱۱و۱۲} است. فضای کوانتومی فضایی است ناپیوسته، گسسته. این موضوع یادآور مسئله‌ی مورد علاقه‌ی فیلسوف ریاضی‌دان یونان باستان زنون در بیش از ۲۴۰۰ سال پیش است که در بخش تاریخچه فضا ذکر شد. در آن‌جا گفته شد که یکی از مشغله‌های فکری زنون مسئله‌ی پیوستار، به‌ویژه پیوستار فضا، زمان و حرکت، بود.

در حال حاضر سه نیرو از چهار نیروی پایه‌ای علم فیزیک، یعنی نیروی الکترومغناطیسم، ضعیف و قوی، کوانتیزه شده هستند. به بیان دیگر، تنها نیروی کوانتیزه نشده نیروی گرانشی است که سرسختی خاصی را از خود برای کوانتیزه شدن نشان داده و می‌دهد. امید آن است که با کوانتیزه کردن این نیرو به وحدت میان نیروهای پایه‌ای دست‌یابیم که از نظر علمی و فلسفی بسیار حائز اهمیت است. البته، شاید هم نتوانیم میدان گرانشی را کوانتیزه کنیم و یا، در صورت توفیق، نتوانیم از

این راه به وحدت نیروها دست‌یابیم. به احتمال زیاد برای وحدت آن‌ها نیاز به یک نظریه‌ای کامل‌تر از نظریه‌ی نسبیت و نظریه‌ی کوانتوم است، نظریه‌ای که محیط بر این دو باشد و هر یک در نظریه‌ی جدید به‌صورت حالت‌های خاص مستتر باشند.

گفتیم که اینشتین معتقد است "فضای عاری از میدان وجود ندارد". یعنی، فضا از میدان یا میدان‌های نامبرده و یا هر میدان احتمالی دیگری که می‌تواند برای آن شناخته شده باشد، ساخته شده است. اینشتین در سال ۱۹۵۴، یک سال پیش از مرگش، می‌گوید:

«نظریه‌ی (میدان) کوانتومی کنونی که بر پایه‌ی نظریه‌ی نسبیت خاص بنا شده و حشتناک پیچیده است. [...] علانم زیادی به ما می‌گویند که نظریه‌ای بدون فضا و زمان لازم است. اما هیچ‌کس نمی‌داند چگونه می‌توان چنان نظریه‌ای را بنا کرد. این‌که راه چاره کوانتومی کردن فضا و زمان باشد، طبعاً یک ایده‌ی بچگانه است. در این مورد من نظر کاملاً خاصی دارم.»

جمع‌بندی کلی (همراه با جمع‌بندی بخش‌های ۵ و ۶):

۱- در حال حاضر ما نیز، مانند پیشینیان خود در عهد باستان، قادر نیستیم محدود یا نامحدود بودن فضا را مشخص کنیم. در عین حال برای ما مسلم شده که کیهان (فضا) در حال انبساط است. ما فضا را مانند پیشینیان خود ساکن نمی‌انگاریم و برخلاف بسیاری از آن‌ها دریافته‌ایم فضا به طرفی نمی‌ماند که بشود با دور کردن پُرکننده - فضا چیزی به نام فضای باقی می‌ماند.

۲- ما دریافته‌ایم که فضا مطلق نیست بلکه نسبیتی است. در نگاه فضای مطلق طول یا حجم یک جسمی برای مشاهده‌گرانی در سیستم‌هایی که نسبت بهم با سرعت‌های مختلف در حرکتند همواره یکسان می‌نماید، یعنی اندازه‌ی طول و حجم آن مطلق (ثابت) است. مطلبی که نظریه نسبیت خاص آن را نفی می‌کند. برای مثال طول یک قطار از نگاه ناظری در بیرون از آن با ازدیاد سرعت قطار کوتاه‌تر می‌نماید و با نزدیک شدن به سرعت نور متمایل به صفر می‌شود.

۳- ما همچنین دریافته‌ایم که طول یا حجم یک جسم در محیط‌هایی با چگالی‌های مختلف یکسان نیست، برای مثال در نزدیکی زمین بزرگتر و در نزدیکی خورشید کوچکتر می‌نمایند. به بیان دیگر، "غلظت فضا" در نقاط مختلف کیهان یکسان نیست. یعنی، هندسه‌ی فضا یکنواخت و مسطح نیست بلکه مملو از "پستی و بلندی" هاست. این را نظریه‌ی نسبیت عام به ما می‌آموزد.

۴- فضا در بخش‌های مختلف کیهان نسبت به مقدار ماده‌ی موجود نامسطح، خمیده، است. هر اندازه که مقدار ماده بیشتر، فشرده‌تر، باشد خمیدگی فضا بیشتر است و برعکس. این واقعیت را می‌توان برای مثال در انحنای نور در نزدیکی یک ستاره مشاهده کرد. به همین خاطر هم هندسه‌ی اقلیدسی تنها در محدوده‌های مسطح معتبر است. از این‌رو برای مثال جمع زوایای یک مثلث می‌تواند کوچکتر یا بزرگتر از ۱۸۰ درجه باشد. مطلبی که به‌سادگی بر روی یک جسم کروی‌شکل قابل ترسیم و اثبات است. (این بیان در مورد اشکال مختلف هندسی نیز صادق است.)

۵- حضور ماده همواره میدان گرانشی را سبب می‌شود و هرگز نمی‌توان آن را حذف کرد. هرچند این نیرو در مقایسه با نیروهای پایه‌ای دیگر با اختلاف بسیار بالایی ضعیف‌ترین نیرو است، اما در ابعاد بزرگ تعیین‌کننده‌ترین نیرو در گیتی است.

۶- بعکس دوران باستان (مکتب اتم‌گرایی) ما معتقد به وجود اجسام صلبی نیستیم و بر این نظریه که نمی‌توان فواصل را دقیقاً اندازه‌گرفت و یا سطح اجسام را صاف (مسطح) انگاشت.

۷- برخلاف مکانیک نیوتن و نسبیت خاص اینشتین که برای فضا موجودیت مستقلی قائل هستند، نظریه‌ی نسبیت عام اینشتین هیچ نوع هستی خاصی را برای فضا نسبت به پُرکننده - فضا قائل نیست.

۸- نظریه‌ی نسبیت عام به تنهایی قادر به توضیح گیتی نیست. برای این امر لازم است از نظریه‌ی کوانتوم بهره‌جوییم.^{۱۳} این نظریه می‌تواند ما را با مسئله‌ای به نام "فضای - کوانتومی" مواجه کند.^{۱۴}

مراجع:

1. Bertrand Russel; Das ABC der Relativitätstheorie; Rowohlt verlag, Hamburg, 1980

2. Shmuel Sambursky; Der Weg der Physik; Deutscher Taschenbuch Verlag, München, 1978

