

این که آنان را با کمک آنچه شامل می‌شوند، بشناسیم. یعنی مکان را با اشیا و زمان را با توالی رویدادها - که منجر به دیدگاه لاینیتیز می‌شود و می‌گوید زمان و مکان چیزی جز ارتباط درونی محتوایشان نیستند بشناسیم. دیگر اینکه زمان و مکان را از محتوایشان خالی کنیم که منجر به فضا و زمان مجرد و مستقل نیوتنی می‌شود. اما برگسون راه سوم را برگزید که «قالب شهود» بود. شهود از دیدگاه الکساندر معنی بسیار متفاوتی از دیدگاه برگسون دارد. روش الکساندر تحلیلی و مفهومی است و به دیدگاهی متفاوت با برگسون از زمان منجر می‌شود. از دیدگاه برگسون زمان و مکان ذاتاً متفاوت هستند، اما الکساندر زمان و مکان را پیوند داد. او فضا و زمان را کل‌هایی پیوسته و نامتناهی از اجزا می‌داند؛ نامتناهی زیرا هر جزء را می‌توان به جزء بزرگ‌تری توسعه داد و پیوسته چون بین هر دو جزء همسایگی جزئی وجود دارد. الکساندر و برگسون با وجود اختلاف نظریه‌هایشان هر دو خلاقیت در روند تکامل را بر پایه زمان توضیح می‌دادند (بوخونسکی، ۱۳۸۷).

۵- سیر تحول مفهوم زمان در ادوار مختلف فیزیک

منشأ بسیاری از علوم در طول تاریخ، فلسفه بوده ولی فیزیک در اصل از فلسفه طبیعی مشتق شده است. اصطلاحی که زمینه مطالعاتی «کارکرد طبیعت» را توضیح می‌دهد. آنچه باعث ایجاد شاخه فیزیک در دانش شد به زمینه‌های اخترشناسی، نور شناخت و مکانیک بازمی‌گردد که پایه نخست همه آن‌ها هندسه بود. سرآغاز این رشته‌های ریاضیاتی را باید در دوران باستان و در تمدن‌های بابل و هلنی^{۲۷} جستجو کرد. دانشمندانی مانند ارشمیدس و کلاودیوس بطلمیوس به آن دوران تعلق دارند. در آن دوران فلسفه و آنچه فیزیک را در برمی‌گرفت بیشتر به توضیح و فهم کلی پدیده‌ها می‌پرداخت تا به مطالعه عمیق آن‌ها، این روش بیشتر در دوره ارسطو گسترش یافت. ارسطو شاگرد افلاطون این اندیشه را پیشنهاد کرد که مشاهده پدیده‌های فیزیکی در نهایت منجر به شناخت قوانین طبیعی حاکم بر آن‌ها می‌شود. او این پیشنهاد را در قالب یک کتاب با نام «فیزیک»^{۲۸} ارائه کرد. فیزیک علم مطالعه خواص طبیعت است. این علم را عموماً علم ماده و حرکت و رفتار آن در فضا و زمان می‌دانند. این ماده می‌تواند از ذرات زیر اتمی تا کهکشان‌ها و اجرام بسیار بزرگ آسمانی باشد. فیزیک از مفاهیمی مانند انرژی، نیرو، جرم، بار الکتریکی، جریان الکتریکی، میدان الکتریکی، الکترومغناطیس، فضا، زمان، اتم و نورشناسی استفاده می‌کند. اگر به‌طور وسیع‌تر سخن بگوییم، هدف اصلی علم فیزیک بررسی و تحلیل طبیعت است و همواره این علم در پی آن است که رفتار طبیعت را در شرایط گوناگون درک و پیش‌بینی کند. علم فیزیک نیز مانند فلسفه تاریخ پرفرازونشیبی را پشت سر گذاشته است. تاریخچه فیزیک را می‌توان در دسته‌بندی کلی شامل ۴ دوره در نظر گرفت: دوران باستان، دوران فلسفه طبیعی، دوران فیزیک کلاسیک، دوران فیزیک مدرن (جدید).

^{۲۷} عصر هلنیستی یا تمدن هلنیستی به دوره‌ای از تاریخ یونان باستان میان درگذشت اسکندر مقدونی در سال ۳۲۳ پیش از میلاد مسیح تا پدید آمدن امپراتوری روم

گفته می‌شود.

۵-۱- دوران باستان

از دوران باستان، انسان‌ها سعی می‌کردند که رفتار طبیعت را درک و پیش‌بینی کنند. در ابتدا، این گونه پرسش‌ها در مورد طبیعت و رفتار آن، در قلمرو فلسفه دسته‌بندی می‌شد. به همین دلیل است که در نوشته‌های فیلسوفان باستان همچون ارسطو، افلاطون و بطلمیوس و... نوشته‌های بسیاری در مورد رفتارهای طبیعت، مخصوصاً حرکت ستارگان و خورشید می‌بینیم. در بعضی از این نوشته‌ها، مواردی وجود داشت که بررسی پدیده‌های آسمانی را با افسانه‌ها و اعتقادات مردمان آن دوره از تاریخ آمیخته می‌کرد و علی‌رغم پیش‌بینی‌های درست، نمی‌توانست باعث متقاعدشدن آیندگان شود. شواهدی از توجه به مفهوم زمان در دوران فیزیک باستان وجود ندارد و بیشترین یافته‌های تاریخی در این عصر معطوف به کیفیت رفتارهای طبیعت و مهارت در شناخت و نحوه رفتار با طبیعت در انجام امور اولیه زندگی بوده است فقط در برخی منابع همان‌طور که در سیر مفهوم زمان در فلسفه عنوان شد برخی مانند ارسطو در کتاب چهارم طبیعیات (فیزیک) زمان را به‌عنوان شمار دگرگونی‌ها نسبت به پیش و پس از دگرگونی و مکان یک جسم را به‌عنوان درونی‌ترین محدوده بدون حرکتی که آن جسم را در برمی‌گیرد تعریف می‌کند.

۵-۲- دوران فلسفه طبیعی

فلسفه طبیعی یا فلسفه طبیعت عبارت بود از مطالعه فلسفی طبیعت و جهان فیزیکی که تا پیش از گسترش دانش نوین، دانشی فراگیر بود. این دانش به‌عنوان مادر علوم طبیعی مانند فیزیک محسوب می‌شد. علوم طبیعی از نظر تاریخی از فلسفه و به‌طور خاص از فلسفه طبیعی سرچشمه گرفته‌اند. شاخه یادشده از فلسفه جدا شد و نام آن را فلسفه طبیعی نهادند و این موضوع سالیان طولانی ادامه یافت تا حدوداً در قرن هفدهم میلادی که دوباره با حضور چهره‌های بزرگ و برجسته‌ای همچون آیزاک نیوتن^{۲۹} و گوته‌فرد لایبنیتز می‌رفت که دوباره تحولی عظیم در علم و نحوه نگرش به آن مخصوصاً در ریاضیات و فیزیک ایجاد شود این نام برای فیزیک باقی‌مانده بود. البته در این دوران فیلسوفانی همچون تالس^{۳۰} هم بودند که تمامی تلاش خود را برای دور ماندن از دلایل ماوراءالطبیعه می‌کردند. به خاطر همین تلاش‌ها در بسیاری از منابع تاریخی به تالس لقب نخستین چهره علم را داده‌اند. یکی از کارهای مهم وی در حوزه ستاره‌شناسی، پیش‌بینی خورشیدگرفتگی در سال ۵۸۵ قبل از میلاد مسیح است. شاید در این دوره توجه به مفهوم زمان با ظهور کوپرنیک^{۳۱} و بعد از وی گالیله^{۳۲} که تأیید کننده نظریه کوپرنیک بود، در تاریخ ماندگار شده است. کوپرنیک پس از سال‌ها مطالعه و مشاهده

^{۲۹} سر ایزاک نیوتن (به انگلیسی: Sir Isaac Newton)؛ زاده ۱۶۴۲ - درگذشته ۱۷۲۷ فیزیک‌دان، ریاضی‌دان، ستاره‌شناس، فیلسوف و شهروند انگلستان بوده است

^{۳۰} تالس یا طالِس؛ فیلسوف مَلَطی بود که در نیمه دوم سده ششم پیش از میلاد می‌زیسته است.

^{۳۱} نیکلاس کوپرنیک (۱۴۷۳ - ۱۵۴۳) ستاره‌شناس، ریاضیدان و اقتصاددانی لهستانی بود که نظریه خورشید مرکزی منظومه شمسی را گسترش داد و به‌صورت علمی درآورد.

^{۳۲} گالیلهو گالیله (به ایتالیایی: Galileo Galilei) (۱۵۶۴-۱۶۴۲) دانشمند و مخترع سرشناس ایتالیایی در سده‌های ۱۶ و ۱۷ میلادی بود. گالیله در فیزیک، نجوم، ریاضیات و فلسفه علم تبحر داشت و یکی از پایه‌گذاران تحول علمی و گذار به دوران دانش نوین بود.

اجرام آسمانی به این نتیجه رسید که برخلاف تصور پیشینیان زمین در مرکز کائنات قرار ندارد، بلکه این خورشید است که در مرکز منظومه شمسی است و سایر سیارات از جمله زمین به دور آن در حال گردش‌اند. نظریه انقلابی کوپرنیک یکی از درخشان‌ترین مستندسازی‌های عصر رنسانس است که نه فقط آغازگر ستاره‌شناسی نوین بود، بلکه دیدگاه بشر را درباره جهان هستی و مفهوم مبدأ و نحوه محاسبه زمان دگرگون کرد. این نظریه می‌توانست پایه‌های مبدأ زمان، نحوه محاسبات تقویم و بسیاری از مفاهیم مرتبط با زمان را که تا قبل از آن به گونه‌ای دیگر شناخته شده و تعریف شده بود، با چالش جدی‌ای مواجه کند (روسن، ۱۹۸۶).

۵-۳- دوران فیزیک کلاسیک

با چاپ شدن کتاب نیوتن در سال ۱۶۸۷ بانام اصول ریاضی فلسفه طبیعی تقریباً این نوع نگرش به فیزیک و ریاضیات به پایان راه خود رسید و نیوتن و همکاران وی در قرن هفدهم میلادی، نحوه نگرشی نو به طبیعت را بنیان‌گذاری کردند که امروزه به فیزیک کلاسیک معروف است. پس از قرن هفدهم، فیزیک و ریاضیات با سرعت قابل توجهی توسعه یافتند و دانشمندان زیادی در شاخه‌های مختلف این دو علم، توانستند پاسخ بسیاری از پرسش‌های خود را بیابند. این روند تا قرن نوزدهم ادامه داشت. فیزیک کلاسیک به کلیه اصول و نظریه‌های فیزیکی تا قبل از پیدایش نظریه کوانتومی گفته می‌شود. بخش‌های اصلی در این مبحث از فیزیک، عبارت‌اند از:

- مکانیک کلاسیک؛
- قوانین حرکت نیوتن؛
- الکترومغناطیس کلاسیک؛
- معادله‌های ماکسول؛
- ترمودینامیک کلاسیک؛
- قوانین ترمودینامیک.

همان‌گونه که سنت آگوستین در پایان تکاپوی خود برای معرفت به چیستی زمان اعتراف می‌کند که هنوز نمی‌داند زمان چیست، سایر اندیشمندان مغرب زمین نیز در فرجام کوشش‌های فلسفی خود برای شناخت زمان همچنان در تعریف و تبیین آن حیران مانده‌اند، هرچند به صورت صریح به این نکته اشاره نکرده باشند. اگر تلاش فلاسفه برای فهم زمان جز حیرت نیفزوده است، کوشش‌های عالمان فیزیک در این زمینه چه نتایجی در برداشته است؟ نیوتن در تمامی فعالیت‌های علمی خود بر این فرض کلامی تکیه کرده است که زمان به طور مطلق و مستقل از هر پدیده دیگری وجود داشته و بر اساس طبیعت خود جریان می‌یابد. فرض زمان مطلق بر تمامی فیزیک کلاسیک سایه افکنده است بدون اینکه این فرض به کمک تحقیقات فیزیکی به اثبات رسیده باشد و یا اساساً قابل اثبات باشد (موسوی کریمی، ۱۳۷۹).

نیوتن با توجه به این تحوّل‌ها دست‌به‌کار تدوین اصول ریاضی برای علم طبیعی زد و فیزیک کلاسیک را مستقر کرد. این فیزیک بر چندپایه بنا شده است که در سراسر آن حضور نمایان دارد. از جمله پایه‌های علم طبیعی نیوتن مطلق بودن زمان و مکان بود. مکان از دید او تهیگاهی مستقل از اجسام است که به‌طور یکنواخت و ساکن وجود دارد و اشیا در درون آن یا آرامند و یا شناور. نیوتن خود را ناگزیر دید طرح زمان و مکان مطلق را پیش از پرداخت اصل‌های مکانیک استوار کند، چون حتی ساده‌ترین این اصل‌ها که به قانون لختی^{۳۳} (اینرسی) ارتباط دارد بدون حکم قبلی درباره زمان و مکان قابل توضیح نیست. وی در پی دستگاه مأخذی بود که اینرسی و دیگر عبارت‌های بنیادی مکانیک در آن صدق کند و در این مسیر به این نقطه رسید که هیچ مأخذ مادی‌ای نمی‌تواند پایه قانون لختی به شمار آید. این قانون فقط با فضای تهی و غیر نسبی مربوط است؛ فضایی که انگاره هندسه اقلیدسی^{۳۴} آن را ترسیم می‌کند و خط راست و احکام و قواعدش در آن تحقق می‌یابد. درباره زمان هم چون همین برنامه به نظرش رسید آن را از هر مأخذ مادی-چه زمین چه خورشید و چه کهکشان- جدا انگاشت. بد نیست یادآوری شود که کانت همین زمان و مکان مطلق را پس از نقادی در بنیاد فلسفه‌ای قرارداد و عینی بودن آن دو را در چهارچوب یک نقد فلسفی تقریر کرد. البته عینی بودن به مفهوم کانتی از عینی بودن به مفهوم عمومی که نیوتون آن را منظور کرده است، فاصله دارد. اینک با این زمینه درباره دیدگاه نیوتونی زمان می‌توان گفت: زمان از دید نیوتن به‌خودی‌خود، بدون وابستگی به جسم و حرکت می‌گذرد و مانند مکان از قدر مطلق جداگانه‌ای برخوردار است. اجسام و ذرات چه متحرک باشند چه ساکن، یک قدر مطلق زمانی دارند. پس چنین نیست که اگر در سکون باشند، زمان بر آن‌ها نگذرد. در حالت سکون نیز قدر مطلق زمان بی‌کم و بیش بر شیء ساکن می‌گذرد و از این طریق بر عمر شیء لحظه‌به‌لحظه افزوده‌شده و کهنسال‌تر می‌شود. زمان در این دید برای اشیا متحرک و ساکن یکنواخت بوده و به انتخاب دستگاه مقایسه بستگی ندارد. (عابدی شاهرودی، ۱۳۷۴).

بنابراین زمان و فضای مطلق به ترتیب جنبه‌های مستقل واقعیت عینی هستند. زمان مطلق، حقیقی و ریاضیاتی، به‌خودی‌خود و از طبیعت خود به‌طور مساوی و بدون در نظر گرفتن هر عامل خارجی جریان می‌یابد و نام دیگرش «استمرار» است و زمان نسبی، آشکار و مشترک، یک اندازه‌گیری محسوس و ظاهری از استمرار با مضمون حرکت است (چه معقول و چه بی‌نظیر) که معمولاً به‌جای زمان حقیقی مورد استفاده قرار می‌گیرد. به گفته نیوتن، زمان مطلق مستقل از هر درک و پیشرفت در سرعت ثابت در سراسر جهان است. برخلاف زمان نسبی، نیوتن معتقد بود که زمان مطلق غیرقابل‌شناسایی است و تنها ممکن است به‌صورت ریاضی درک شود. به عقیده نیوتن، انسان‌ها تنها قادر به درک زمان نسبی که همان اندازه‌گیری اشیا قابل‌درک در حرکت است، هستند (مانند ماه یا خورشید). از این حرکات است که گذر زمان را متوجه می‌شویم. فضای

^{۳۳} لختی، مأخذ یا اینرسی خاصیتی از یک جسم است که در برابر تغییر سرعت یا تغییر جهت حرکت جسم مقاومت می‌کند. هر چه جرم یک جسم بیشتر باشد لختی‌اش بیشتر است. به قانون اول نیوتون قانون لختی نیز گفته می‌شود.

^{۳۴} هندسه اقلیدسی به مجموعه گزاره‌هایی گفته می‌شود که به بررسی مفاهیم ریاضی مثل نقطه و خط می‌پردازد و بر اصولی که اقلیدس ریاضی‌دان یونانی در کتاب خود به نام اصول عرضه کرده، بنا شده است.

مطلق به طور طبیعی و بدون توجه به هیچ عامل خارجی، همیشه یکسان و غیرقابل حرکت می ماند. فضای نسبی یک بعد متحرک یا اندازه گیری از فضای مطلق است به طوری که حس های ما توسط موقعیت آن نسبت به جرم تعریف می شود که به صورت فاحشی فضای غیرقابل جابجایی در نظر گرفته شده است. حرکت مطلق انتقالی است از مکان مطلق در دیگری و حرکت نسبی انتقالی است از یک مکان نسبی در دیگری. این مفاهیم این منظور را می رساند که فضا و زمان مطلق به رویدادهای فیزیکی بستگی ندارد، بلکه پس زمینه یا مرحله ای است که در آن پدیده های فیزیکی رخ می دهد. به این ترتیب، هر جسم دارای حرکت مطلق نسبت به فضای مطلق است، به طوری که یک شی یا باید در وضعیت بی حرکتی مطلق باشد یا با یک سرعت مطلق حرکت کند.

۵-۴- فیزیک مدرن (جدید)

توجه به فلسفه زمان در قرن بیستم شتاب گرفت چرا که تحولات جدید در فیزیک و علوم شناختی منجر به ابداعاتی در پدیدارشناسی، متافیزیک و منطق زمان شد. تحولاتی که در نظریه نسبیت^{۳۵} و فیزیک کوانتومی^{۳۶} پدید آمده بود منجر به تلقی هایی بسیار باریک بینانه تر از مسائل بغرنج قدیمی مربوط به زمان در میان فیلسوفان شد. در اواخر قرن نوزدهم و اوایل قرن بیستم بود که پدیده هایی توسط برخی از فیزیک دانان مشاهده شد که با علم فیزیک آن زمان قابل توضیح نبود یا اگر توضیحی ارائه می شد، در آن تناقض هایی وجود داشت. در این زمان بود که فیزیک دانان تقریباً به دودسته تقسیم شدند. دسته ای سردمدار پایه گذاری فیزیکی جدید که در آن اشکالات و کاستی های فیزیک کلاسیک جبران شده باشد، بودند و دسته ای سرسختانه در مقابل هرگونه تغییر مقاومت می کردند و می کوشیدند که پدیده های جدید را با همان فیزیک کلاسیک (یا نیوتنی) توضیح دهند. سرانجام ماکس پلانک^{۳۷} بر پایه تلاش های دانشمندان قبل از خود توانست نظریه مکانیک کوانتومی^{۳۸} را ارائه دهد و همین طور آلبرت اینشتین^{۳۹} توانست نظریه نسبیت را ارائه و با موفقیت از آن دفاع کند. در همین سال ها بود که فیزیک دانان پذیرفتند، با وجود اینکه فیزیک کلاسیک در حوزه مورد بحث خود (که عموماً

^{۳۵} نظریه نسبیت دو نظریه اصلی و معروف نسبیت خاص و نسبیت عام آلبرت اینشتین را در برمی گیرد. ایده اصلی این نظریه آن است که زمان و فضا باهم مرتبط هستند، نه جدا از هم و ثابت.

^{۳۶} فیزیک کوانتومی شاخه ای بنیادی از فیزیک نظری است که با پدیده های فیزیکی در مقیاس میکروسکوپی سروکار دارد.

^{۳۷} ماکس کارل ارنست لودویگ پلانک (به آلمانی: Max Karl Ernst Ludwig Planck) (زاده ۱۸۵۸ - درگذشته ۱۹۴۷) یکی از مهم ترین فیزیک دانان آلمان در سده ۱۹ میلادی و اوایل سده ۲۰ بود. او را پدر نظریه کوانتوم می شناسند.

^{۳۸} مکانیک کوانتومی شاخه ای بنیادی از فیزیک نظری است که با پدیده های فیزیکی در مقیاس میکروسکوپی سروکار دارد. بنیادی ترین تفاوت مکانیک کوانتومی با مکانیک کلاسیک در این است که مکانیک کوانتومی توصیفی سازگار با آزمایش ها از ذرات در اندازه های اتمی و زیر اتمی در اختیار می دهد، در حالی که مکانیک کلاسیک در قلمرو میکروسکوپی به نتایج نادرست می انجامد.

^{۳۹} آلبرت آینشتین (به آلمانی: Albert Einstein) (زاده ۱۸۷۹ - درگذشته ۱۹۵۵) فیزیک دان آلمانی بود. او بیشتر، به خاطر نظریه نسبیت شهرت دارد. علاوه بر این، او در بسط تئوری کوانتوم و مکانیک آماری سهم عمده ای داشت. اینشتین جایزه نوبل فیزیک را در سال ۱۹۲۱ برای خدماتش به فیزیک نظری و به خصوص به خاطر کشف قانون اثر فوتوالکتریک دریافت کرد. او به دلیل تأثیرات چشمگیرش، به عنوان یکی از بزرگ ترین فیزیک دانانی شناخته می شود که به این جهان پا گذاشته اند.

پدیده‌هایی آزمایش پذیر بودند) خالی از هرگونه خطا است، اما نیاز به ایجاد شاخه‌ای جدید در علم فیزیک با نام فیزیک نوین ضروری است. پس از آلبرت اینشتین، تئوری مکانیک کوانتومی و همچنین فیزیک اتمی با تلاش دانشمندان بزرگ بعد از وی هرروز کامل‌تر شد و این تکامل روزافزون علم فیزیک تا به امروز در ده‌ها گرایش و شاخه ادامه دارد (معصومی، ۱۳۹۵).

با ظهور فیزیک جدید و نظریه‌های نسبیت خاص و عام، درباره فرض ثابت و مطلق بودن زمان تشکیک جدی به عمل آمد و باور نسبی بودن زمان در میان فیزیکدانان رایج شد؛ اما نه با اتکا به فرض زمان مطلق و نه در سایه باور زمان نسبی، فیزیکدانان هرگز نتوانسته‌اند به این سؤال ابتدایی که گذشته، حال و آینده چه نسبتی با یکدیگر دارند و نسبت رویدادها با زمان چگونه نسبتی است، پاسخی روشن ارائه نمایند. بدون اینکه اصل جریان زمان در فیزیک به‌روشنی تبیین شود، این جریان یک‌سویه در نظر گرفته می‌شود و باز برای یک‌سویه بودن آن دلیل فیزیکی متقنی وجود ندارد. حتی در این خصوص که آیا زمان دارای وجود مستقلی است یا اینکه تنها مفهومی است که ذهن از نحوه وجود پدیده‌ها انتزاع می‌نماید در میان فیزیکدانان توافق وجود ندارد. به‌این‌ترتیب خصوصیات اساسی زمان همچنان در پرده ابهام باقی‌مانده است. چنین می‌نماید که شناخت ماهیت زمان نه با ملاحظات محض فلسفی میسر است و نه در میدان تحقیقات خالص فیزیکی قابل‌دستیابی است. بلکه تنها در سایه همکاری نزدیک این دو حوزه معرفت، شناخت مزبور حاصل خواهد شد. به بیان روشن‌تر، تئوری‌های علم فیزیک الزامات و قیدهایی را در مورد خصوصیات زمان به همراه دارند. در صورتیکه درباره این لوازم و محدودیت‌های فیزیکی زمان به تأملات فلسفی بپردازیم، ممکن است که تصویر روشنی از زمان در گسترده معارف بشری ترسیم شود.

در دوران فیزیک نوین، دو دیدگاه فیزیکی عمده در مورد زمان مطرح شده است: زمان مطلق و زمان نسبی. مفهوم زمان مطلق که واضع آن نیوتن بود عبارت است از: «زمان مطلق، حقیقی و ریاضی از خود و به طبع خود به نحو یکنواخت جریان دارد، بدون ملاحظه هر امر بیرونی. زمان نسبی، ظاهری و عرفی مقداری محسوس از زمان مطلق است که از طریق حرکت اجسام اندازه گرفته می‌شود». با این حال افرادی چون لایبنیتز و فیزیکدان و فیلسوف اتریشی ارنست ماخ^{۴۰} با این نظریه مخالف بودند. لایبنیتز به نسبی بودن مکان و زمان معتقد بود و زمان را به‌صورت توالی ادراکات می‌دانست. تا اینکه نظریه نسبیت اینشتین که مطابق آن زمان برای ناظر متحرک در فضا نسبت به ناظر ساکن روی زمین کندتر می‌گذرد مطرح شد و نظریه نیوتن و زمان مطلق از نظر علمی مردود شد. به عبارتی بُعد چهارمی بنام زمان هم به مختصات مکانی اضافه گردید (گودن، ۱۹۶۹).

^{۴۰} ارنست والدفرید یوزف ونتسل ماخ (به آلمانی: Ernst Waldfried Josef Wenzel Mach) فیلسوف مشهور و فیزیکدان برجسته اتریشی در قرون نوزدهم و بیستم میلادی.

۵-۴-۱- مفهوم زمان و ترمودینامیک

تعریف ترمودینامیکی زمان، بر الگوهایی از رفتار مبتنی است که در سیستم‌های ساده دیده می‌شود. بخش مهمی از سیستم‌هایی که در پیرامون ما وجود دارند، نظام‌هایی ساده هستند که از شمار زیادی از عناصر به نسبت ساده تشکیل یافته‌اند. عناصری که رفتارشان تقریباً تصادفی به نظر می‌رسد، اما برآیند رفتارهای سطح خردشان بر مبنای قواعدی کلان پیش‌بینی پذیر است. بررسی تحولات انرژی این سیستم‌ها، ستون فقرات علم ترمودینامیک را تشکیل می‌دهد. کل ساختمان علم ترمودینامیک، بنایی است که بر پایه چند ستون اصلی تکیه کرده است. این ستون‌ها، قوانین ترمودینامیک خوانده می‌شوند. قوانین یادشده، از نظر منطقی بسیار ساده و بدیهی می‌نمایند. مثلاً قانون صفرم ترمودینامیک چنین می‌گوید که اگر دو سیستم A و B از نظر حرارتی باهم در تعادل باشند و دو سیستم B و C هم چنین وضعیتی داشته باشند، آنگاه دو سیستم A و C هم باهم در تعادل گرمایی خواهند بود. چنان‌که می‌بینید، این درواقع بیانی حرارتی از اصل منطقی این‌همانی^{۴۱} است. دومین قانون ترمودینامیک، چنین می‌گوید که سیستم‌های باز به‌مرور زمان به‌سوی بی‌نظمی (آنتروپی^{۴۲}) میل می‌کنند. این بدان معناست که متغیری ثابت و عام به نام زمان بر رفتار چنین سیستم‌هایی حاکم است. با یک مثال ساده می‌توان رابطه زمان و آنتروپی را نشان داد فرض کنید در یک اتاق، شیشه‌ای عطر داشته باشیم و در آن را گشوده باشیم. در چنین وضعیتی تراکم مولکول‌های عطر در یک نقطه خاص از اتاق -درون شیشه- نشانگر وجود شکلی از نظم است. اتاقی که در آن مولکول‌های عطر در کنار هم و مولکول‌های هوا در کنار هم قرار گرفته‌اند، اتاقی منظم است و محتوای اطلاعاتی‌اش از اتاقی که مولکول‌های یادشده به‌طور نامنظم و درهم‌برهم قرار گرفته باشند، بیشتر است. قانون دوم ترمودینامیک به ما می‌گوید که سیستمی باز -مانند شیشه عطر دارای در گشوده- در گذر زمان از حالت منظم اولیه به‌سوی وضعیت نامنظم دومی پیش خواهد رفت. آنچه در این میان افزایش می‌یابد، بی‌نظمی اتاق است که در ترمودینامیک با عنوان آنتروپی شناخته می‌شود (جوادی، ۱۳۸۷).

^{۴۱} این‌همانی یا «اصل هو هویت» در فلسفه چنانکه ابن سینا و برخی دیگر نامیده‌اند یعنی این اصل که هر چیزی خودش، خودش است. این‌همانی از جمله فطریات است و به گفته ابن سینا فطریات قضایی هستند که اولاً تصور موضوع و محمول برای تصدیق کفایت نمی‌کند و به برهان عقلی نیازمند است و ثانیاً برهان عقلی به‌صورت خودکار همراه این سنخ قضایا وجود دارد. یعنی، به صرف تصور موضوع و محمول، برهان عقلی پدیدار می‌شود. ثالثاً به ابزار دیگر معرفتی مانند حواس ظاهری یا حواس باطنی نیازی ندارد. یعنی وقتی چیزی هم به عنوان موضوع و هم محمول تصور شود («الف»، «الف» است)، این برهان پدید می‌آید که اگر هر چیزی، خودش نباشد («الف»، «غیرالف» باشد)، اجتماع نقیضین لازم می‌آید، که محال است.

^{۴۲} آنتروپی (S) کمیتی ترمودینامیکی است که اندازه‌ای برای درجه بی‌نظمی در هر سیستم است. هر چه درجه بی‌نظمی بالاتر باشد، آنتروپی بیشتر است؛ بنابراین برای یک ماده معین در حالت تعادل درونی کامل در هر حالت: آنتروپی جامد < آنتروپی مایع < آنتروپی گاز

۵-۴-۲- زمان و اصل عدم قطعیت هایزنبرگ^{۴۳}

این اصل اعلام می‌کند که تعداد حالات قابل تصور برای یک سیستم فیزیکی متناهی است و بنابراین توصیف آن با مقداری متناهی از اطلاعات ممکن است. این بدان معناست که اطلاعات در سطح میکروسکوپی حدی مشخص دارند و نامتناهی نمی‌باشند. این اصل در مورد تمام زیرسیستم‌های کیهان صادق است. اصل عدم قطعیت هایزنبرگ را می‌توان به خود کیهان هم تعمیم داد. کیهان، با زیرسیستم‌هایش در یک مورد تفاوت دارد و آن هم بیکران بودنش است. اگر اصل تقارن محض انیشتین را بپذیریم، یعنی قبول کنیم که اثرات تصادفی هم در کیهان توزیعی متقارن دارند، به این نتیجه می‌رسیم که اطلاعات سطح میکروسکوپی، اگر در سطح کیهان -یعنی کلیت عالم- نگریسته شوند، عینیت ندارند. چرا که در سطوح خُرد، می‌توان همانندی‌هایی اطلاعاتی را در میان سیستم‌هایی تشخیص داد که در سطح کلان متفاوت‌اند یعنی از محتواهای اطلاعاتی متمایزی برخوردارند. پیشنهاد دیوید لیزر^{۴۴} به‌طور خلاصه آن است که محور زمان را در سطوح میکروسکوپی متقارن فرض کنیم. در چنین شرایطی، پیش‌فرض کیهان‌شناسانی که اعتقاد دارند جهان از حالت عدم تعادل ترمودینامیکی اولیه (مهبانگ) زاده شده و به‌سوی چنین تعادلی (مرگ حرارتی) حرکت می‌کند، قطعیت خود را از دست می‌دهد. از دید لیزر، چنین تصویری از تکامل عالم، در پیش‌فرض‌هایی قدیمی‌تر ریشه دارد. این پیش‌فرض آن است که جهان یک سیستم دینامیک بسته است و بنابراین حرکتی که در آن مشاهده می‌شود، با قانون دوم ترمودینامیک تبیین می‌شود. از دید لیزر، با توجه به نقض جهت‌دار بودن زمان در سطح میکروسکوپی، این حالت که جهان از وضعیتی نامتعادل به‌سوی تعادل پیش رود، همان‌قدر محتمل است که وضعیت برعکس آن. درواقع لیزر از این مدل اخیر دفاع می‌کند و معتقد است نقطه شروع عالم وضعیتی نزدیک به تعادل ترمودینامیکی بوده و درگذر زمان کیهان از این تعادل دور می‌شود. مشکل دوم، یعنی جهت‌مند بودن زمان، به اشکال متفاوت تبیین شده است. دانشمندانی مانند امیل بورل^{۴۵} اعتقاد داشتند که بسته نبودن سیستم‌های فیزیکی، به معنای آن است که هیچ سیستمی از تأثیر عناصر تصادفی و کاتوره‌ای محیط خود در امان نیست. در نتیجه اثر این عوامل، اطلاعات سطح خُرد هنگام سازمان دادن نظم‌های سطح کلان به‌طور منظم تلف می‌شوند و این همان چیزی است که اصل آنتروپیک و جهت‌دار شدن زمان را نتیجه می‌دهد. برخی دیگر از اندیشمندان -مانند مک‌تاگارت^{۴۶}- اصولاً جهت‌مند بودن زمان را نفی کرده‌اند تأکید مک‌تاگارت بر مفهومی از زمان است که برچیده شدن رخدادها در کنار

^{۴۳} ورنر کارل هایزنبرگ (به آلمانی: Werner Karl Heisenberg) (زاده ۱۹۰۱ - درگذشته ۱۹۷۶)، فیزیکدان آلمانی و برنده جایزه نوبل فیزیک و یکی از بنیان‌گذاران فیزیک کوانتومی بود.

^{۴۴} یک فیزیک‌دان اهل بریتانیا.

^{۴۵} فلیکس ادوارد ژوستن امیل بورل (به فرانسوی: Félix Édouard Justin Émile Borel) (زاده ۷ ژانویه ۱۸۷۱ - درگذشته ۳ فوریه ۱۹۵۶) سیاستمدار و

ریاضی‌دان اهل فرانسه بود.

^{۴۶} جان مک‌تاگارت (۱۸۶۶-۱۹۲۵) از مهمترین متافیزیسین‌های اوایل قرن بیستم است. مهمترین اثر او کتاب ماهیت هستی است و مقالات مهمی در خصوص مابعدالطبیعه دارد. از جمله مقاله معروف و مشهور وی «واقعی نبودن زمان» است. وی پیرو هگل بوده و بعنوان فیلسوف هگلی شناخته می‌شود اما بیشترین شهرت وی به دلیل استدلالش علیه واقعیت زمان است.

هم - به صورت توالی‌هایی از قبل و بعد - دلالت دارد. در این تعریف - که خصلتی نیوتونی هم دارد، زمان «چیزی» است مانند مکان که همچون ظرفی رخدادها را در برمی‌گیرد. نقطه‌ای به نام اکنون بر این محور وجود دارد که رخدادهای قبل و بعد آن به گذشته و آینده منسوب می‌شوند و جایگیری‌شان نسبت به هم به آن‌ها - و به محور زمان - معنا می‌بخشد. مک‌تاگارت معتقد است که دو بیان از این محور زمانی وجود دارد نخست «سری آ» که برچیده شدن رخدادها نسبت به مرجعی به نام اکنون مبتنی است. سری آ در صورتی معنا دارد که بتواند بر مبنای صفاتی اصیل و غیر انضمامی رخدادها را نسبت به هم مرتب کند و دوم «سری ب» که نظم رخدادها را بر مبنای رابطه قبل و بعدشان با یکدیگر می‌سنجد و مرجع اکنون را نادیده می‌گیرد. استدلال او برای رد مفهوم خطی زمان این چنین است:

(الف) زمان وجود دارد اگر و فقط اگر سری ب وجود داشته باشد؛ یعنی زمینه‌ای از رخدادها و تحولات وجود داشته باشند که با یکدیگر قابل مقایسه باشند.

(ب) این امر تنها زمانی امکان‌پذیر است که چیزی به نام تغییر وجود داشته باشد؛ یعنی چیزی میان رخدادهای مربوط به زمان‌های مختلف تمایز گذارد.

(پ) تغییر تنها زمانی ممکن خواهد بود که نوعی سری آ وجود داشته باشد؛ یعنی وجود زمینه‌ای از رخدادهای مشابه که نسبت به هم قبل و بعد داشته باشند ولی مرجعی بیرونی برای چیده شدنشان وجود نداشته باشد، بر تفاوت میانشان - یعنی حضور تغییر - دلالت نمی‌کند.

(ت) رخدادهای درون سری آ تنها به یکی از مفاهیم گذشته، حال، یا آینده متصل می‌شوند. اتصال آن‌ها به بیش از یکی از این مفاهیم، به تناقض منتهی می‌شود.

(ث) در نتیجه، اعتبار محور زمان و مرجع اکنون - که سری آ را می‌ساخت - تنها به زنجیره‌ای از روابط مفهومی وابسته است که هیچ‌یک اعتبار کامل ندارند؛ یعنی در هر برش مشاهداتی، هر رخداد تنها یکی از سه وضعیت یادشده را به خود می‌پذیرد. از اینجا برمی‌آید که سه مفهوم حال، گذشته و آینده خصلتی انضمامی دارند و بنابراین نمی‌توانند شالوده استواری را برای سری آ فراهم کنند. (عبداللهی و فرهانیان، ۱۳۹۰).

۵-۴-۳- نظریه نسبیت عام و خاص اینشتین

نظریه نسبیت دو نظریه اصلی و معروف نسبیت خاص^{۴۷} و نسبیت عام^{۴۸} آلبرت اینشتین را در برمی‌گیرد. ایده اصلی این نظریه آن است که زمان و فضا باهم مرتبط هستند، نه جدا از هم و ثابت. مفاهیم فضا و زمان قبل از پیشرفت نسبیت خاص جدا بررسی می‌شدند که نسبیت خاص این دو را به هم مرتبط کرد و نشان داد که هر دو به حرکت دستگاه لخت وابستگی دارد. در نظریه اینشتین ایده فضا و زمان مطلق با مفهوم فضا-زمان در نسبیت خاص و فضا-زمان خمیده در نسبیت عام

^{۴۷} Special Relativity

^{۴۸} General relativity

جایگزین شدند. هم‌زمان بودن مطلق به همخوانی وقایع در زمان، در مکان‌های مختلف در فضا به‌نحوی که در همه دستگاه‌های لخت توافق شده است، اشاره دارد. نظریه نسبیت هیچ مفهومی از زمان مطلق ندارد چون نسبیت هم‌زمانی است. یک رویداد که به‌طور هم‌زمان با رویداد دیگری در دستگاه لخت رخ می‌دهد ممکن است در گذشته یا آینده‌ای متفاوت از آن رخداد در دستگاه لخت متفاوتی باشد که هم‌زمان بودن مطلق را نفی می‌کند.

الف: نسبیت خاص

نسبیت خاص نگره‌ای بر روی ساختار فضا‌زمان است. این نگره در سال ۱۹۰۵ توسط اینشتین و در مقاله‌ای به نام «درباره الکترو‌دینامیک اجسام در حال حرکت» ارائه شد. این نگره بر پایه دو فرضی است که در تناقض با مکانیک کلاسیک هستند: قوانین فیزیک در دستگاه ناظر کلی (نظارت کیهانی) برای همه اجسام یکسان و واحد است. (اصل نسبیت). سرعت نور در خلأ برای همه ناظران، صرف‌نظر از حرکت نسبی‌شان یا حرکت منبع تولیدکننده نور، ثابت است. چنین نگره‌ای همخوانی بهتری با آزمایش‌های تجربی نشان می‌دهد:

- نسبیت هم‌زمانی: دو رویداد که برای یک ناظر هم‌زمان هستند، ممکن است برای ناظر دیگری که نسبت به ناظر نخست در حال حرکت است هم‌زمان نباشند.
- اتساع زمانی: ساعت‌های در حال حرکت گذر زمان کمتری را نسبت به ساعت‌های ساکن تجربه می‌کنند و نشان می‌دهند.
- انقباض طول: اشیاء متحرک، در جهت حرکتشان از دید یک ناظر ایستا کوتاه‌تر اندازه‌گیری می‌شوند.
- هم‌ارزی جرم و انرژی: جرم و انرژی باهم هم‌ارز هستند و به هم تبدیل می‌شوند: $E = mc^2$
- نور بیشترین سرعت ممکن را دارد: هیچ جسم مادی یا پیامی نمی‌تواند با سرعتی بیشتر از سرعت نور در خلأ سفر کند.
- جاذبه در فضا با سرعت نور حرکت می‌کند، نه سریع‌تر یا بی‌درنگ.

گالیله قبلاً چنین اصلی را بیان نموده بود که تمام حرکات یکنواخت نسبی هستند و هیچ حالت سکون مطلق و تعریف‌شده‌ای وجود ندارد (چارچوب مرجع برتر وجود ندارد). این اصل امروزه اصل نسبیت گالیله خوانده می‌شود. اینشتین این اصل را با در نظر گرفتن پدیده سرعت ثابت نور گسترش داد. او همچنین بیان نمود که این اصل برای تمام قوانین فیزیک صادق است که در آن زمان شامل قوانین مکانیک و الکترو‌دینامیک می‌شد. این نظریه پیامدهای گسترده‌ای دارد که مورد تأیید داده‌های تجربی قرار گرفته‌اند و شامل موضوعاتی غیرشهودی همچون انقباض طول، اتساع زمان و نسبیت هم‌زمانی است. او مفهوم کلاسیک بازه زمانی ناوردا^{۴۹} برای دو رویداد را با مفهوم ناوردایی بازه فضا- زمان تعویض

^{۴۹} در فیزیک و ریاضیات، هر ویژگی/خصیصه سیستم را که تحت یک تبدیل تغییر نکند، ناوردا (تغییرناپذیر / پایا) می‌نامند.

کرد. می‌توان با استفاده از دو اصل نسبیت و ترکیب آن‌ها با سایر قوانین فیزیک به هم‌ارزی جرم و انرژی بر طبق اصل هم‌ارزی جرم و انرژی $E = mc^2$ رسید که c در آن برابر با سرعت نور در خلأ و m جرم است (تیلور و ویلر، ۱۹۹۲). پیش‌بینی‌های نسبیت خاص با مکانیک نیوتنی در قلمرو مشترکشان همخوانی دارند. به‌ویژه در مورد سرعت‌هایی که از سرعت نور بسیار کوچک‌تر هستند. تأثیر نسبیت خاص هنگام بررسی اجسام در حال حرکت با سرعت‌های بسیار زیاد (نزدیک به سرعت نور) قابل توجه می‌شود؛ بنابراین نظریه نسبیت همان‌طور که اصل همخوانی فیزیک ایجاب می‌کند باید نتایج مشاهدات قبلی را به شکل کامل‌تری بیان کند. مقایسه رابطه بین مکانیک نیوتنی و مکانیک نسبیتی همانند مقایسه بین تبدیلات لورنتس^{۵۰} و تبدیلات گالیله^{۵۱} است و می‌توان مطلب فوق را به بیان ریاضی به شکل زیر نمایش داد:

$$(\text{لورنتس تبدیلات}) = \lim_{c \rightarrow \infty} (\text{تبدیلات گالیله})$$

البته باید در نظر داشت هنگامی که c به سمت بی‌نهایت میل می‌کند (همان‌گونه که پیش از اثبات متناهی بودن سرعت نور پنداشته می‌شد) کسر v/c به سمت صفر می‌رود. این بدان معناست که تبدیلات لورنتس که اساس نظریه نسبیت خاص هستند در سرعت‌های بسیار کم نسبت به نور، نتایج یکسانی را با معادلات گالیله که اساس نسبیت نیوتونی هستند به دست می‌دهند. نظریه نسبیت خاص به ما می‌گوید که c تنها سرعت یک پدیده مشخص نیست بلکه یکی از ویژگی‌های بنیادی شیوه‌ای است که فضا و زمان با یکدیگر به شکل فضازمان یکپارچه گشته‌اند. یکی از پیامدهای این نظریه است که ذره‌ای که جرم لختی دارد هرگز سرعتش به سرعت نور نمی‌رسد (انیشٹین، ۲۰۰۱).

واژه خاص در نسبیت خاص نشانگر حالت خاصی است که این نظریه در آن صادق است. این نظریه اصل نسبیت را تنها در مورد ویژه چارچوب‌های مرجع لخت به کاربرده است. به عبارت دیگر این‌طور پنداشته شده است که چارچوب‌های مرجع نسبت به یکدیگر با سرعت یکنواختی حرکت می‌کنند انیشٹین نسبیت عام را معرفی نمود و اصل نسبیت را در حالت کلی‌تری به کار گرفت تا برای هر چارچوبی که قادر به تغییر مختصات عمومی است، صادق باشد. این نظریه تأثیرات گرانشی را هم در نظر می‌گیرد. این واژه امروزه کاربرد جامع‌تری پیدا کرده و برای ارجاع به هر موردی که در آن گرانش ناچیز است استفاده می‌شود. نسبیت عام تعمیمی بر نسبیت خاص است که گرانش را نادیده نمی‌گیرد. در نسبیت عام

^{۵۰} مختصات لورنتس (Lorentz transformation) در نسبیت خاص، تبدیلات لورنتس معادله‌هایی هستند که مختصه‌های فضایی و زمانی یک رویداد را از دید دو ناظر مختلف به هم تبدیل می‌کنند. یعنی اگر یک ناظر برای رویداد خاصی در فضا-زمان مختصه‌های مکانی x و y و z و زمان t را اندازه بگیرد، و ناظر دیگری (که در مکان دیگری واقع است و با سرعت خاصی نسبت به ناظر اول حرکت می‌کند) مختصه‌های x' ، y' ، z' و t' را برای همان رویداد اندازه بگیرد، تبدیلات لورنتس رابطه بین این دو مختصات را بیان می‌کند.

^{۵۱} معادلاتی که در فیزیک کلاسیک مختصات فضا و زمان دو دستگاه مختصات را که با سرعت ثابت نسبت به هم حرکت می‌کنند، به هم مربوط می‌سازند، تبدیلات گالیله‌ای یا نیوتنی می‌نامند.

گرانش توسط هندسه نا اقلیدسی^{۵۲} توصیف می‌شود؛ به گونه‌ای که تأثیرات گرانشی با خمش فضا زمان نمایش داده می‌شوند. نسبیت خاص تنها به فضاها و تخت محدود است. همان گونه که خمش زمین در زندگی روزمره ناچیز به نظر می‌رسد خمش فضا زمان نیز در مقیاس‌های کوچک قابل صرف نظر کردن است و بنابراین به صورت محلی نسبیت خاص تقریب قابل قبولی از نسبیت عام است.

انیشیتین دو پنداشت پایه‌ای مطرح نمود که به نظر می‌رسید بدون توجه به اعتبار قوانین شناخته شده - که در آن زمان یا مکانیکی یا الکترو دینامیکی بودند - قابل اطمینان باشند. این پنداشت‌ها ثابت بودن سرعت نور و دیگری استقلال قوانین فیزیکی (مخصوصاً ثابت بودن سرعت نور) از دستگاه لخت انتخاب شده بود. در اولین ارائه نسبیت خاص در سال ۱۹۰۵، وی این اصول را به صورت زیر مطرح نمود:

- اصل نسبیت: قوانین فیزیک در تمام چارچوب‌های لخت یکسان هستند و هیچ چارچوب لخت مرجعی وجود ندارد. این اصل که پیش از نسبیت خاص در نسبیت نیوتونی نیز بوده است بیان می‌کند که تمامی چارچوب‌هایی که با سرعتی ثابت (بدون شتاب) حرکت می‌کنند هم‌ارز و یکسان هستند، بدین ترتیب هیچ چارچوب لختی بر چهارچوب دیگر برتری یا با دیگری تفاوت ندارد.

به سخنی دیگر اصل نسبیت (با در نظر گرفتن یک شرایط ایده آل) می‌گوید که اگر شما در آزمایشگاه سربسته‌ای قرار داشته باشید و آن آزمایشگاه با سرعت ثابتی نسبت به زمین حرکت کند، شما با هیچ روشی نمی‌توانید تعیین کنید که سرعتتان نسبت به زمین چقدر است. در این بیان از اصل نسبیت، فرض شده است که زمین یک چارچوب لخت است (این موضوع درباره زمین به تقریب صادق است)، همچنین فرض شده است که شما نسبت به زمین به نرمی حرکت می‌کنید و آزمایشگاه هیچ لرزش و تکانی ندارد.

- اصل سرعت ثابت نور: نور همواره در فضای خالی با سرعت مشخص C منتشر می‌شود که مستقل از وضعیت حرکتی جسم منتشرکننده نور است.

این بدان معنی است که نور در خلأ، حداقل در یک دستگاه مختصات لخت (دستگاه ثابت) با سرعت C (مقداری ثابت که مستقل از جهت است) و بدون توجه به وضعیت حرکتی منبع نور منتشر می‌شود. سرعت نور در خلأ برای تمام ناظران لخت ثابت و برابر C است و به حرکت چشمه نور یا حرکت ناظر بستگی ندارد. به سخنی دیگر اگر شما سوار اتومبیلی باشید که با سرعت ۵۰ کیلومتر بر ساعت حرکت می‌کند و اتومبیل دیگری با سرعت ۲۰ کیلومتر بر ساعت به شما نزدیک شود، سرعت نسبی اتومبیل شما و اتومبیل مقابل تقریباً برابر با ۷۰ کیلومتر بر ساعت خواهد بود، اما بر طبق این اصل اگر چشمه نوری با سرعت دلخواهی به شما نزدیک شود و شما هم با سرعت متفاوتی به سمت آن چشمه حرکت کنید باز هم سرعت

^{۵۲} هندسه‌های نا اقلیدسی از مطالعه عمیق‌تر موضوع توازی در هندسه اقلیدسی پیدا شده‌اند. در هندسه نا اقلیدسی مجموعه زوایای داخلی مثلث ۱۸۰ درجه نمی‌باشد. برای مثال اگر ضلع‌های مثلث هذلولوی باشد مجموعه زوایای داخلی هیچگاه به ۱۸۰ درجه نمی‌رسد و کم‌تر می‌باشد. همچنین اگر هندسه بیضوی باشد هیچگاه ۱۸۰ درجه نمی‌شود بلکه بیشتر خواهد بود.

نور شما همان C خواهد بود. چنین چیزی کاملاً مخالف شهود روزمره ماست. نسبیت خاص نه تنها بر این دو اصل آشکار بلکه بر چندین پنداشت ضمنی دیگر نیز وابسته است. از جمله این پنداشته‌ها می‌توان به همسانگردی و یکنواختی فضا و استقلال ساعت‌ها و میله‌های اندازه‌گیری از تاریخ گذشته‌شان اشاره نمود (اینشتین و لورنتز، ۱۹۵۲).

ب: نسبیت عام

اندکی پس از انتشار نظریه نسبیت خاص در سال ۱۹۰۵، اینشتین در این اندیشه بود که چگونه می‌تواند گرانش را در چارچوب نسبیتی جدیدش جای دهد. در سال ۱۹۰۷ با شروع از یک آزمایش فکری شامل یک مشاهده‌گر در سقوط آزاد، جستجویی هشت‌ساله برای دستیابی به نظریه‌ای نسبیتی برای گرانش را آغاز کرد. پس از اشتباهات و انحرافات متعدد سرانجام کار او در قالب آنچه امروزه معادلات میدان اینشتین می‌خوانیم، حاصل داد. این معادلات بیان می‌کنند که چگونه هندسه فضا و زمان از کل ماده و تابش موجود تأثیر می‌پذیرد و هسته نسبیت عام اینشتین را تشکیل می‌دهند. نسبیت عام، نظریه‌ای هندسی برای گرانش است که در سال ۱۹۱۶ توسط آلبرت اینشتین مطرح گردید و تصویر کنونی فیزیک جدید از گرانش را تشکیل می‌دهد. نسبیت عام، نظریه نسبیت خاص و قانون جهانی گرانش نیوتن را تعمیم می‌دهد و توصیفی یکتا از گرانش به‌عنوان یک ویژگی هندسی فضا و زمان، یا فضازمان ارائه می‌کند. به‌خصوص در این نظریه، انحنا و فضازمان، به‌طور مستقیم به انرژی و تکانه هر ماده و تابشی که موجود باشد مربوط است. این رابطه توسط معادلات میدان اینشتین مشخص می‌گردد که یک دستگاه معادلات مشتقات پاره‌ای را تشکیل می‌دهند.

برخی از پیش‌بینی‌های نظریه نسبیت عام به‌خصوص موارد مرتبط با گذشت زمان، هندسه فضا، حرکت اجسام هنگام سقوط آزاد و انتشار نور، با پیش‌بینی‌های نظریه‌های فیزیک کلاسیک تفاوت بسیاری دارند. برای نمونه از چنین تفاوت‌هایی می‌توان به اتساع گرانشی زمان، همگرایی گرانشی، انتقال به سرخ گرانشی نور و تأخیر زمانی گرانشی اشاره کرد. نسبیت عام تنها نظریه نسبیتی نور نیست اما ساده‌ترین نظریه‌ای است که با آزمایش‌ها مطابقت دارد. البته پرسش‌های بدون پاسخی باقی‌مانده‌اند که بنیادی‌ترین آن‌ها چگونگی آشتی دادن نسبیت عام با فیزیک کوانتومی برای ایجاد یک نظریه خود-سازگار و کامل از گرانش کوانتومی است. نظریه اینشتین نتایج اخت‌فیزیکی مهمی به دنبال دارد. برای مثال، وجود سیاه‌چاله‌ها را نشان می‌دهد (مکان‌هایی در فضا که در آن فضا و زمان طوری ناهموار شده‌اند که هیچ‌چیز، حتی نور نمی‌تواند از آن فرار کند)، حالتی که در پایان عمر برای ستاره‌های پر جرم ایجاد می‌گردد. شواهد فراوانی وجود دارد که نشان می‌دهد تابش‌های شدید گسیل شده از برخی اجسام نجومی، مربوط به سیاه‌چاله‌ها است. برای مثال، ریز اختروش‌ها یا هسته‌های کهکشانی فعال نتیجه حضور سیاه‌چاله‌های ستاره‌وار و سیاه‌چاله‌هایی با جرم‌های بسیار بیشتر هستند. خم شدن نور توسط گرانش می‌تواند منجر به پدیده‌ای موسوم به همگرایی گرانشی گردد که موجب دیده شدن چند تصویر از یک شیء نجومی دور، در آسمان می‌شود. نسبیت عام همچنین وجود امواج گرانشی را پیش‌بینی می‌کند (مک کالوم، ۲۰۰۶). در خلال آن دوران، نسبیت عام کنجکاوی بسیاری از فیزیک‌دانان نظری را برانگیخته بود. این نظریه به‌وضوح از

گرنانش نیوتن برتر بود زیرا با نسیت خاص سازگار بود و از عهده توضیح بسیاری از پدیده‌هایی برمی‌آمد که نظریه نیوتنی از توضیح آن‌ها ناتوان بود. خود اینشتین در سال ۱۹۱۵ نشان داد که چگونه نظریه‌اش حرکت تقدیمی غیرعادی حضیض خورشیدی سیاره تیر را بدون استفاده از هیچ‌گونه پارامتر اختیاری توجیه می‌کند. به‌طور مشابهی در سال ۱۹۱۹، طی اکتشافی که توسط ادینگتون^{۵۳} صورت گرفت، پیش‌بینی نسبیت عام در مورد انحراف نور ستاره‌ها در طی خورشیدگرفتگی ۲۹ مه ۱۹۱۹، تأیید گردید و باعث شهرت بیشتر اینشتین شد (جانسن، ۲۰۰۵).

پ: هندسه گرانش نیوتنی

بنیان فیزیک کلاسیک بر این مفهوم استوار است که حرکت یک جسم را می‌توان ترکیبی از حرکت آزاد جسم (حرکت لخت) و انحراف‌هایی از این حرکت لخت دانست. این انحراف‌ها ناشی از نیروهای خارجی است که بر جسم وارد می‌شوند و بر طبق قانون حرکت دوم نیوتن عمل می‌کنند. قانون دوم نیوتن بیان می‌کند که نیروی خالص وارد بر یک جسم برابر با جرم (لختی) آن ضرب در شتاب جسم است ($F = m.a$). نوع حرکت لخت جسم با هندسه فضا و زمان مرتبط است و در چارچوب‌های مرجع استاندارد فیزیک کلاسیک حرکت لخت اجسام در خط مستقیم و با سرعت ثابت انجام می‌شود. در ادبیات فیزیک مدرن مسیرهای حرکت لخت اجسام ژئودزیک^{۵۴} نامیده می‌شوند که تعمیمی از مفهوم خط راست در هندسه فیزیک کلاسیک هستند، جهان‌خط‌های مستقیم در فضا-زمان خمیده.

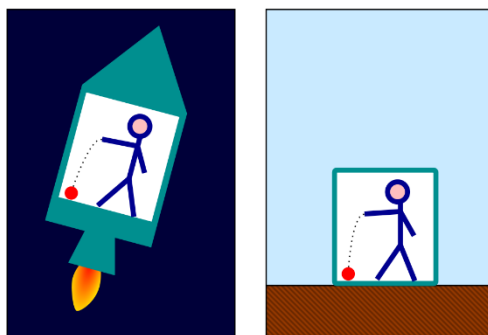
در روندی معکوس ممکن است این انتظار وجود داشته باشد که با مشخص کردن حرکت لخت اجسام از طریق مشاهده حرکت واقعی و حذف انحراف‌های مربوط به نیروهای خارجی (مانند الکترومغناطیس و اصطکاک)، می‌توان هندسه فضا و همچنین مختصات زمان را تعریف کرد، اما وقتی پای گرانش به میان می‌آید این موضوع کمی ابهام‌آمیز می‌شود. بر طبق قانون گرانش نیوتن و تأیید آزمایش‌های مستقل، سقوط آزاد جهان‌شمول است (این قانون همچنین بانام اصل ضعیف هم‌ارزی یا قانون جهانی برابری جرم لختی و جرم غیرفعال گرانشی شناخته می‌شود): مسیر حرکت ذره آزمون در سقوط آزاد تنها به مکان و سرعت اولیه‌اش بستگی دارد و به هیچ‌یک از ویژگی‌های مادی‌اش وابسته نیست (نورتون، ۱۹۸۵).

نسخه‌ای ساده‌شده از این مفهوم را می‌توان در آزمایش آسانسور اینشتین یافت که در شکل شماره ۱ دیده می‌شود. ناظری که در یک اتاق بسته کوچک قرار گرفته غیرممکن است که تنها با بررسی مسیر سقوط آزاد جسمی مانند یک توپ بتواند بفهمد که آیا محفظه، در حال سکون و در یک میدان گرانشی قرار دارد یا اینکه در فضای آزاد سوار بر موشکی شتاب‌دار است که نیرویی به‌اندازه گرانش ایجاد می‌کند. با توجه به جهان‌شمول بودن گرانش، تمایز قابل‌مشاهده‌ای بین حرکت لخت و حرکت ناشی از نیروی گرانشی وجود ندارد. این موضوع ما را بر آن می‌دارد که کلاس جدیدی از حرکت لخت

^{۵۳} آرتور استنلی ادینگتون (زاده ۱۸۸۲ - درگذشته ۱۹۴۴) اخترفیزیکدان انگلیسی و استاد پلومی دانشگاه کمبریج در نیمه نخست سده ۲۰ (میلادی) بود. توان درخشش ادینگتون یعنی اندازه طبیعی درخشش ستارگان به‌افتخار این دانشمند، بنام او نام‌گذاری شده است.

^{۵۴} Geodesic

برای اجسام در حال سقوط آزاد تحت تأثیر نیروی گرانش تعریف کنیم. این کلاس جدید نیز، به نوبه خود هندسه‌ای از فضا و زمان به زبان ریاضی تعریف می‌کند که عبارت است از حرکت ژئودزیک متناظر با یک اتصال خاص که به گرادیان پتانسیل گرانشی^{۵۵} بستگی دارد.



شکل شماره ۱: مقایسه سقوط اجسام در میدان گرانشی

در اینجا فضا هنوز هندسه اقلیدسی معمولی دارد؛ اما فضا-زمان، به عنوان یک کل، پیچیده‌تر است. همان‌طور که می‌توان با آزمایش‌های فکری ساده در مورد مسیرهای سقوط آزاد ذرات آزمون مختلف نشان داد، نتیجه جابجایی بردارهای فضازمان که بیانگر سرعت ذره هستند به مسیر ذره بستگی دارد؛ به زبان ریاضی، می‌توان گفت که اتصال نیوتنی انتگرال‌پذیر نیست. از این می‌توان نتیجه گرفت که فضا-زمان خمیده است. نتیجه، یک فرمول‌بندی هندسی از گرانش نیوتنی تنها با استفاده از مفاهیم هم‌وردا است؛ یعنی توصیفی که در هر دستگاه مختصاتی معتبر است. در این توصیف هندسی اثرات کشندگی - شتاب نسبی اجسام در سقوط آزاد - با مشتق اتصال مرتبط است که نشان می‌دهد چگونه تغییر شکل هندسی، برآمده از وجود جرم است (برتوتی، ۲۰۰۳).

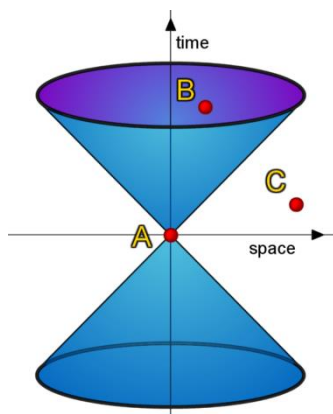
ت: نسبی بودن هم‌زمانی

نسبیت بر پایه مفهوم «چارچوب‌های مرجع» استوار است. در اینجا منظور از واژه چارچوب مرجع، یک ژرفانمایی (پرسپکتیو) مشاهده‌ای در فضا است که تغییری در حرکت آن رخ نمی‌دهد (شتاب ندارد) که از طریق آن می‌توان یک موقعیت را در امتداد سه محور فضایی اندازه گرفت (مخروط نوری ترسیم‌شده در شکل شماره ۲). افزون بر این یک چارچوب مرجع توانایی تعیین زمان رویدادها از طریق یک «ساعت» (هر دستگاه مرجعی با تناوب یکنواخت) را دارد. یک رویداد، اتفاقی است که می‌توان یک زمان یکتا را به مکانی در فضا نسبت به یک چارچوب مرجع، نسبت داد: «نقطه» ای در فضازمان. از آنجایی که سرعت نور در نسبیت در همه چارچوب‌های مرجع ثابت است، می‌توان از پالس‌های نور برای اندازه‌گیری مطمئن فاصله‌ها و ارجاع به زمان‌هایی که رویدادها برای ساعت اتفاق افتاده‌اند استفاده نمود. اگرچه که برای

^{۵۵} در مکانیک کلاسیک، پتانسیل گرانشی موجود در یک مکان ویژه، برابر است با کاری که (انرژی که باید تبدیل شود) بوسیله نیروی گرانشی باید انجام شود تا جسمی را از یک نقطه فعلی به سوی آن مکان ویژه، جابجا کند. این مقدار به صورت جرم ماده در هر یکای آن نشان داده می‌شود.

نور هم‌زمانی پس از شروع رویداد طول خواهد کشید تا به ساعت برسد. مثلاً انفجار یک ترقه را می‌توان یک «رویداد» در نظر گرفت. می‌توان یک رویداد را با استفاده از چهار مختصات فضا-زمان آن مشخص نمود.

زمان رویداد و مکان فضایی سه‌بعدی‌اش یک نقطه مرجع می‌سازند. این چارچوب مرجع را S می‌نامیم. در نسبیت اغلب به محاسبه موقعیت یک نقطه از یک نقطه مرجع دیگر علاقه‌مندیم. فرض کنید که چارچوب مرجع دومی به نام S' داریم که محورها فضایی و ساعتش با محورها فضایی و ساعت S در زمان صفر هم‌زمان و هم‌مکان بوده‌اند، اما با سرعت ثابت v نسبت به S در امتداد محور افقی (x ها) حرکت می‌کند. از آنجا که در نظریه نسبیت هیچ چارچوب مرجع مطلق وجود ندارد، مفهوم مؤکدی از «حرکت» نیز وجود ندارد زیرا همه چیز همواره نسبت به چارچوب مرجع دیگری در حرکت است. به جای آن هرگاه دو چارچوب مرجع که با سرعت یکسان در جهت یکسان حرکت کنند، به آن حرکت همراه گفته می‌شود؛ بنابراین S و S' حرکت همراه ندارند.



شکل شماره ۲: مخروط نوری

تبدیلات لورنتس که توسط ریاضیدان و فیزیکدان آلمانی هندریک لورنتس با استفاده از روابط هندسی و دو فرض همسانگرد و همگن بودن فضا برای توجیه نظریه اتر^{۵۶} به دست آمد اساس نظریه نسبیت خاص است. همسانگرد بودن فضا بدین معناست که خواص آن در تمامی جهات یکسان است. همگن بودن فضا بدین معناست که خواص فضا به نقطه‌ای که شما در آن قرار دارید بستگی ندارد. فرض همسانگرد بودن فضا به ما اجازه می‌دهد که بتوانیم حرکت ذره را در راستای محور x ها بررسی کنیم (از راستاهای y و z برای خلاصه‌سازی چشم‌پوشی کنیم)، فرض همگن بودن فضا تضمین می‌کند که این معادلات حتماً درجه اول هستند، یعنی تنها توان اول متغیرهای ما می‌تواند دخالت داشته باشند. چون اگر به توان دوم یا درجات بالاتر بستگی داشته باشند اثبات می‌شود که آنگاه طول یک میله بستگی به نقطه‌ای از فضا که میله در آن قرار گرفته است دارد، یعنی مثلاً یک میله که بدون حرکت در ارتفاع ۵ متری قرار دارد با هنگامی که همان میله بدون

^{۵۶} در سده ۱۹ میلادی می‌پنداشتند واسطه گسیل نور محیط با واسطه‌ای به نام اتر است که فضا را پر می‌کند. امروزه این نظریه که برای انتشار پرتو الکترومغناطیس، وجود محیط اتری لازم است دیگر پذیرفتنی نیست. بر اساس این نظریه، نور آشوب اتر محسوب می‌شد که به موجب آن، اتم‌هایش به طرز خاصی مرتعش شده و موجب گسیل نور می‌شوند.

حرکت در ارتفاع ۳ متری قرار دارد طول متفاوتی دارد و این خلاف شهود ماست. دو رویداد در مکان‌های متفاوت که در چارچوب مرجع یک ناظر لخت هم‌زمان رخ می‌دهند، ممکن است در چارچوب مرجع یک ناظر لخت دیگر غیر هم‌زمان باشند. (نبود هم‌زمانی مطلق) اگر یک ناظر لخت دو پدیده آ و ب را هم‌زمان ببیند، ناظر لخت دیگری که با سرعت نسبت به ناظر اول حرکت می‌کند، بسته به شرایط ممکن است پدیده آ را زودتر، هم‌زمان، یا دیرتر از پدیده ب ببیند. هم‌زمانی در نسبیت خاص معنای مطلق و نیوتنی خود را از دست می‌دهد و پدیده‌ای نسبی می‌شود. (براون، ۲۰۰۵).

ث: مفهوم اتساع زمان

اتساع زمان یکی از مفاهیم فیزیکی مربوط به نظریه نسبیت خاص آلبرت اینشتین هست که مبنی بر پایه نسبیت این گونه بیان می‌شود که از دید دو ناظر با سرعت متفاوت، گذر زمان متفاوت بررسی می‌شود. در مثال آزمایشی ساده: یکی با دو سرعت نزدیک به سرعت نور و سرعتی کمتر از سرعت نور (به‌طوری که دو بردار سرعت باهم زاویه غیر از ۱۸۰ و صفر درجه بسازند؛ برای احساس بهتر پدیده اتساع) فرض می‌شود و ناظر دوم ساکن فرض می‌شود. به‌طور کلی هرچه با سرعت بیشتری حرکت کنیم، زمان کندتر می‌گذرد و این دو رابطه معکوس دارند. در این نظریه ۲ نمونه از اتساع زمان بررسی شده است. در نسبیت خاص، ساعت‌هایی که نسبت به یک فرد مشاهده‌کننده اندازه‌گیری می‌شوند به‌کندی کار می‌کنند. برای نمونه اگر دو جسم داشته باشیم که یکی از آن‌ها جسم ۱ است و دیگری جسم ۲ و جسم اول با سرعت بیشتری نسبت به جسم دوم حرکت کند در این حالت گفته می‌شود که زمان برای جسم اول به‌طور محسوسی کند می‌شود. چنانچه این توسط ساعت اندازه‌گیری شود عقربه‌های ساعت در حالت اول به‌کندی کار می‌کنند. در نسبیت عام ساعت برای جسمی کند کار می‌کند که نزدیک نیروی گرانشی قوی مانند یک سیاره قرار گرفته است. آلبرت اینشتین قبل از انجام محاسبات نسبیت خاص، دو فرض مهم زیر را انجام داد:

۱- قوانین فیزیک در تمامی دستگاه‌های مختصات صادق هستند.

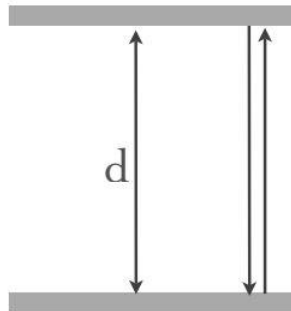
۲- سرعت نور در تمامی دستگاه‌های مختصات برابر با سرعت نور (C) اندازه‌گیری می‌شود.

نقطه عطف این نظریه، همین فرض بود. به‌منظور درک بهتر تصور کنید که سوار خودرویی هستید که با سرعت V حرکت می‌کند. در این حالت، سرعت نور چراغ آن، هم برای شما و هم برای ناظر ساکنی که در خیابان است، یکسان اندازه‌گیری می‌شود.

سناریوی اول:

فرض کنید که در یک دستگاه مختصات لخت و به‌صورت ساکن قرار گرفته‌ایم. هم‌چنین زمان اندازه‌گیری شده توسط شما ناظر ساکن، در دستگاه مختصات لخت با Δt_0 نشان داده می‌شود. توجه داشته باشید که دو آینه با فاصله d از یکدیگر

جداشده‌اند. هم‌اکنون مطابق با شکل زیر تصور کنید که سیگنالی نوری از آینه بالا به سمت پایین حرکت می‌کند و سپس به همان آینه بازتاب می‌شود:



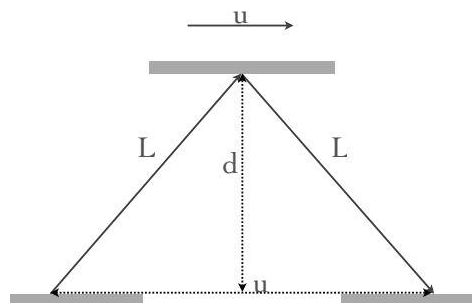
شکل شماره ۳: انعکاس نور در بین دو آینه و مسافت طی شده

بر اساس مکانیک کلاسیک زمان اندازه‌گیری شده برابر با حاصل تقسیم مسافت پیموده شده روی سرعت است، بنابراین زمان اندازه‌گیری شده توسط ناظر ساکن برابر است با:

$$\Delta t_0 = \frac{2d}{c}$$

سناریوی دوم:

در این قسمت همان دو آینه با سرعت u و در جهت $x+$ حرکت می‌کنند. شما نیز به همراه ساعت نوری در حرکت هستید و ناظر دوم به صورت ساکن قرار گرفته است. حال، سیگنالی نوری از آینه پایین به سمت بالا حرکت می‌کند و دوباره به آینه پایین می‌رسد. (مطابق شکل شماره ۴)



شکل شماره ۴: انعکاس نور در آینه‌های در حال حرکت

توجه داشته باشید که منبع نور نیز در حال حرکت است، بنابراین مسیر حرکت سیگنال، مشابه با شکل بالا خواهد بود. با استفاده از قانون فیثاغورث^{۵۷} می‌توان بیان کرد:

$$L = \sqrt{d^2 + \left(\frac{u\Delta t}{2}\right)^2}$$

هم‌چنین مشابه با سناریوی اول می‌توان گفت:

$$\Delta t = \frac{2L}{c}$$

با ترکیب این دو معادله با یکدیگر، معادله زیر حاصل خواهد شد:

$$\Delta t = \frac{2}{c} \sqrt{d^2 + \left(\frac{u\Delta t}{2}\right)^2}$$

با توجه به فرض دوم، (ثابت بودن سرعت نور در تمامی دستگاه‌های مختصات) زمان اندازه‌گیری شده برای ناظری که روی ساعت قرار گرفته، برابر است با:

$$d = \frac{c\Delta t_0}{2}$$

با ترکیب دو معادله بالا، به رابطه زیر می‌رسیم:

$$\Delta t = \frac{2}{c} \sqrt{\left(\frac{c\Delta t_0}{2}\right)^2 + \left(\frac{u\Delta t}{2}\right)^2}$$

با انجام اعمال ریاضی روی این معادله و بازنویسی آن داریم:

$$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}}$$

^{۵۷} بر اساس آن، در یک مثلث راست‌گوشه (قائم‌الزاویه)، همواره مجموع توان‌های دوم دو ضلع برابر با توان دوم وتر است.

همان‌طور که معادله بالا نشان می‌دهد، زمان اندازه‌گیری شده توسط ناظر متحرک (Δt) و ساکن (Δt_0) متفاوت هستند. این فرمول مفهوم اتساع زمان را بیان می‌کند.

ج: نتایج اتساع زمان

رابطه ارائه‌شده در بالا، مفهوم اتساع زمان را نشان می‌دهد. این معادله بیان می‌کند که اگر شما با کسری از سرعت نور (V) حرکت کنید، نسبت به شخص ساکن، زمان، برایتان کندتر خواهد گذشت. تصور کنید که در فضاپیمایی هستید و با ۹۹٪ سرعت نور حرکت می‌کنید. با توجه به فرمول به‌دست آمده در بالا، می‌توان بیان کرد:

$$\Delta t_0 = \sqrt{1 - 0.99^2} \Delta t = 0.141 \Delta t$$

یعنی اگر زمان برای افراد ساکن، ۱ سال بگذرد، برای شما ۰٫۱۴۱ سال معادل با ۱٫۶۹ ماه گذشته است. درواقع بقیه افراد بیشتر از شما پیر شده‌اند و یا به عبارتی دقیق‌تر شما به آینده سفر کرده‌اید. دوقلویی را در نظر بگیرید که یکی از آن‌ها در فضاپیمایی، با سرعت بالا جابجا شده و دیگری شخصی است که روی زمین و به صورت عادی زندگی کرده است. همان‌طور که اثبات شد با توجه به مفهوم اتساع، زمان سپری‌شده برای آن‌ها متفاوت خواهد بود؛ بنابراین روند پیری در آن‌ها نیز یکسان نیست. به این مثال معروف «پارادوکس دوقلوها»^{۵۸} گفته می‌شود. از دیگر نتایج این فرمول انقباض طول و افزایش جرم ناظری است که در حال حرکت است. طبق فرمول پایین، جرم ناظری که با سرعت V نسبت به ناظر ساکن حرکت می‌کند معادل با مقدار زیر است:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

m = جرم جسم در حال حرکت
 m_0 = جرم جسم در حال سکون

این فرمول نشان می‌دهد، ناظری که در حال حرکت باشد، نسبت به ناظر ساکن از جرم بیشتری برخوردار خواهد بود. طبق نظریه نسبیت خاص، جرمی که در دستگاه مختصات، در حال سکون باشد به‌عنوان جرم ساکن^{۵۹} یا همان m شناخته می‌شود. هم‌چنین طول ناظری که در جهت X حرکت می‌کند، برابر است با:

^{۵۸} Twin Paradox

^{۵۹} Rest Mass

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

l_0 = طول جسم در حال سکون
 l = طول جسم در حال حرکت

فرمول بالا به این نکته اشاره می‌کند که اگر شما تخم مرغی را با سرعت نور حرکت دهید، احتمالاً می‌توانید آن را از سوراخ سوزن عبور دهید. دقت کنید که این تغییر طول در راستای بردار سرعت اتفاق خواهد افتاد و با افزایش سرعت اجسام، طول آن‌ها نیز کمتر می‌شود (آشبی، ۲۰۰۳).

ح: سیاه‌چاله‌ها و سایر اجسام پرجرم

سیاه‌چاله ناحیه‌ای از فضا-زمان است که آثار گرانشی آن، چنان نیرومند است که هیچ‌چیز حتی ذرات و تابش‌های الکترومغناطیسی مثل نور نمی‌توانند از میدان گرانش آن بگریزد. نظریه نسبیت عام آلبرت اینشتین پیش‌بینی می‌کند که یک جرم به اندازه کافی فشرده شده، می‌تواند سبب تغییر شکل و خمیدگی فضا-زمان و تشکیل سیاه‌چاله شود. مرز این ناحیه از فضا-زمان که هیچ‌چیزی پس از عبور از آن نمی‌تواند به بیرون برگردد را افق رویداد می‌نامند. صفت «سیاه» در نام سیاه‌چاله برگرفته از این واقعیت است که همه نوری که از افق رویداد آن می‌گذرد را به دام می‌اندازد که از این دیدگاه سیاه‌چاله رفتاری شبیه به جسم سیاه در ترمودینامیک دارد. از سوی دیگر نیز، نظریه میدان‌های کوانتومی در فضا-زمان خمیده پیش‌بینی می‌کند که افق‌های رویداد نیز تابشی به نام تابش هاوکینگ^{۶۰} گسیل می‌کنند که طیف آن همانند طیف جسم سیاهی است که دمای آن با جرمش نسبت وارونه دارد. تابش هاوکینگ باعث کاهش جرم و انرژی سیاه‌چاله می‌شود که به تبخیر سیاه‌چاله شناخته می‌شود. به همین خاطر سیاه‌چاله‌هایی که جرم آن‌ها به روش دیگری افزایش نمی‌یابد با گذر زمان جرم آن کاهش یافته و در پایان، از بین می‌روند. پیش‌بینی می‌شود که تابش ریز سیاه‌چاله، بیشتر از سیاه‌چاله‌های بزرگ‌تر باشد؛ بنابراین با سرعت بیشتری کوچک شده و از میان می‌رود.

میزان دما در مورد سیاه‌چاله‌های ستاره‌ای در حد چند میلیارد کلوین^{۶۱} است و از این رو ردیابی آن دشوار است. برای دوره‌ای طولانی این چالش مورد کنجکاوی ریاضیدانان بود تا اینکه در میانه دهه ۱۹۶۰، پژوهش‌های نظری نشان داد که سیاه‌چاله‌ها به‌راستی یکی از پیش‌بینی‌های کلی نسبیت عام هستند. یافتن ستارگان نوترونی باعث شد تا وجود اجرام فشرده شده بر اثر رمبش گرانشی^{۶۲} به عنوان یک واقعیت امکان‌پذیر فیزیکی مورد علاقه دانشمندان قرار گیرد. این گونه

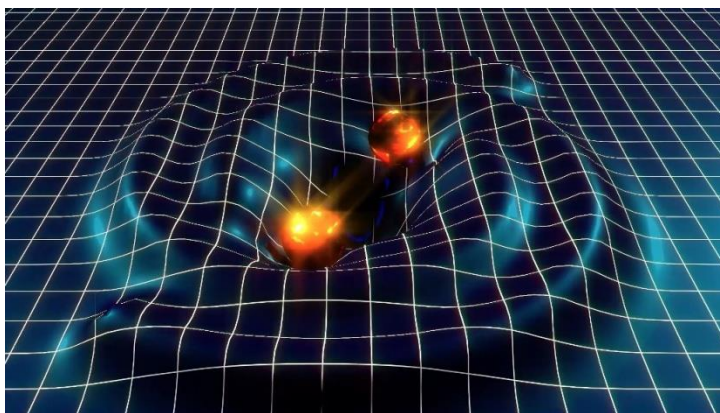
^{۶۰} تابش هاوکینگ (به انگلیسی: Hawking radiation) تابش جسم سیاه است که پیش‌بینی می‌شود به خاطر تأثیر کوانتومی در نزدیکی افق رویداد، از سیاه‌چاله تابیده شده باشد. این پدیده به نام استیون هاوکینگ نام‌گذاری شده است؛ زیرا نخستین بار او در سال ۱۹۷۴ (میلادی) بحث نظری وجود آن را مطرح کرد.

^{۶۱} کلوین با نماد K یکای اندازه‌گیری دما است که بر اساس مقیاس مطلق بیان می‌شود.

^{۶۲} رمبش گرانشی (به انگلیسی: Gravitational Collapse) به فروریختن یک جسم به درون بر اثر گرانش خودش گفته می‌شود. در هر جسم پایداری این نیروی گرانش با فشار داخلی جسم در تعادل است. اگر نیروی گرانش به سمت داخل از برآیند تمام نیروهای به سمت خارج بیشتر شود، این تعادل از بین می‌رود و رمبشی اتفاق می‌افتد تا زمانی که فشار داخلی بیشتر از نیروی گرانشی شود و تعادل دوباره برقرار شود.

پنداشته می‌شود که سیاهچاله‌های ستاره‌ای در جریان فروپاشی ستاره‌های بزرگ در یک انفجار ابر نواختی در پایان چرخه زندگی‌شان به وجود می‌آیند. جرم یک سیاهچاله پس از شکل‌گیری می‌تواند با دریافت جرم از پیرامونش افزایش یابد. با جذب ستارگان پیرامون و به هم پیوستن سیاهچاله‌های گوناگون، سیاهچاله‌های کلان جرم با جرمی میلیون‌ها برابر خورشید تشکیل می‌شوند. یک سیاهچاله به دلیل اینکه نوری از آن خارج نمی‌گردد نادیدنی است، اما می‌تواند بودن خود را از راه کنش و واکنش با ماده از پیرامون خود نشان دهد. از راه بررسی برهمکنش میان ستاره‌های دوتایی با همدم نامرئی‌شان، اخترشناسان نامزدهای احتمالی بسیاری برای سیاهچاله بودن در این منظومه‌ها شناسایی کرده‌اند. این باور جمعی در میان دانشمندان رو به گسترش است که در مرکز بیشتر کهکشان‌ها یک سیاهچاله کلان جرم وجود دارد. برای نمونه، دستاوردهای ارزشمندی بازگوی این واقعیت است که در مرکز کهکشان راه شیری ما نیز یک سیاهچاله کلان جرم با جرمی بیش از چهار میلیون برابر جرم خورشید وجود دارد (گبهات و توماس، ۲۰۰۹).

آن‌گونه که در نسبیت عام پیش‌بینی می‌شود، حضور یک جسم باعث خمش فضا-زمان می‌شود به گونه‌ای که مسیرهایی که ذرات طی می‌کنند به سمت جرم خمیده می‌شوند (شکل شماره ۵). در افق رویداد یک سیاهچاله این تغییر شکل به اندازه‌ای قوی می‌شود که هیچ مسیری که از سیاهچاله دور شود وجود نخواهد داشت. از دید یک ناظر دور زمان در نزدیکی سیاهچاله کند تر از نقاط دورتر خواهد گذشت؛ این پدیده همان اتساع زمان نامیده می‌شود.

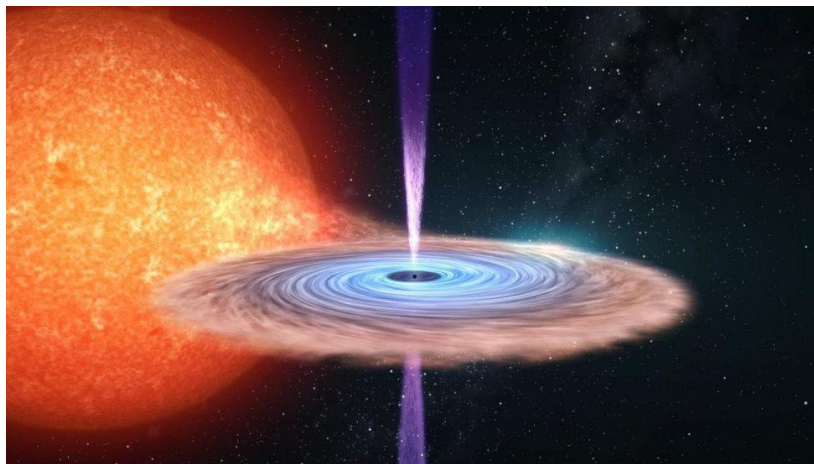


شکل شماره ۵: خمش فضا در اثر وجود اجرام سنگین

در مورد شیئی که به افق رویداد نزدیک شود اینگونه به نظر خواهد رسید که هرچه نزدیک‌تر می‌گردد از سرعت آن کاسته می‌شود و زمانی بی‌نهایت طول خواهد کشید تا به آن برسد و چون تمام فرایندهای این ذره کندتر می‌شود، نوری که منتشر می‌کند تاریک‌تر و قرمزتر خواهد شد و سرانجام در نقطه‌ای که به افق رویداد می‌رسد این جسم کاملاً تاریک و غیرقابل مشاهده می‌شود. از سوی دیگر ناظری که به درون سیاهچاله سقوط می‌کند، در زمانی که افق رویداد را رد می‌کند، متوجه هیچ کدام از این تأثیرات نخواهد شد. طبق ساعت خودش افق رویداد را در زمانی متناهی رد می‌کند. اگرچه هرگز نمی‌تواند بفهمد که دقیقاً در چه زمانی از افق رویداد رد شده است؛ زیرا غیرممکن است که بتوان با

مشاهدات محلی، موقعیت افق رویداد را تعیین کرد. افق رویداد یک سطح جامد نیست و مانع ورود ماده یا تابشی که به سمت ناحیه داخل آن در حرکت است نمی‌شود (شکل شماره ۶).

درواقع افق رویداد یک ویژگی تعریف‌شده سیاهچاله است که حدود سیاهچاله را مشخص می‌کند. علت سیاه بودن افق رویداد هم این است که هیچ پرتوی نور یا تابش دیگری نمی‌تواند از آن بگریزد.



شکل شماره ۶: جذب جرم‌های آسمانی توسط سیاهچاله

از این رو افق رویداد هر آنچه را که درون آن اتفاق می‌افتد از دید دیگران پنهان نگه می‌دارد. شکل افق رویداد یک سیاهچاله همیشه تقریباً کروی است و برای سیاهچاله‌های چرخان کمی بیضوی است (اولیری و رازیو، ۲۰۰۶).

۶- جمع‌بندی

زمان مفهومی است که ما همواره در زندگی روزمره خود با آن مواجه هستیم و همه انسان‌ها فکر می‌کنند درک درستی از آن دارند. با این حال ارائه تعریفی جامع و قوی از زمان بسیار دشوار و پیچیده است و این مفهوم همواره در نحله‌های فکری و مکاتب علمی مختلف، محل نزاع و نظریه‌پردازی‌های زیادی بوده است. در این مقاله سعی گردیده با توجه به اینکه دانش آینده‌پژوهی بر مبنای مطالعه زمان و پژوهش در گذشته، ترسیم و تجویز آینده و تعریف اقدامات لازم در زمان حال جهت رسیدن به آینده‌های بدیل و مطلوب استوار است، به بررسی دو دیدگاه عمده فلسفه و فیزیک نسبت به مفهوم زمان پرداخته شود و در دوره‌های مختلف در تاریخ این دو دیدگاه، نگرش و تعریف مفهوم زمان بررسی و تبیین شود. آنچه در این میان به اختصار می‌توان گفت این است که زمان یک شیء یا ماده قابل لمس نیست که ما بتوانیم آن را دیده و تصویر کنیم. همچنین زمان صرفاً یک بُعد، کمیت و یا مفهوم نیست بلکه جنبه‌های زیادی دارد و تعاریف آن در وضعیت‌های گوناگون و کاربردهای مختلف و متفاوت آن مؤید همین مطلب است. زمان سازه‌ای ذهنی نیست بلکه دربردارنده مفاهیم عمیق‌تری است که باید به تبیین‌های بنیادی‌تری از مضامین آن دست یافت و همان‌گونه که در بخش‌های مختلف این مقاله ملاحظه شد هنوز هم این مفهوم در پیچه‌های جدیدی را به روی انسان می‌گشاید و این بیانگر آن است که باز هم نیاز به ژرف‌نگری‌های بیشتری پیرامون مفهوم زمان احساس می‌شود.

منابع و مراجع

۱. موسوی کریمی، سید مسعود. (۱۳۷۹). زمان چیست؟ فصلنامه نامه مفید، شماره ۲۳.
۲. گمپرتس، تئودور. (۱۳۷۵). متفکران یونانی جلد اول. ترجمه: لطفی، محمدحسن. انتشارات خوارزمی، تهران.
۳. کاپلستون، فردریک. (۱۳۹۲). تاریخ فلسفه یونان و روم جلد ۱، چاپ هشتم. مترجم: مجتوبی، سید جلال‌الدین. انتشارات علمی و فرهنگی، تهران.
۴. جلالی مقدم، مسعود. (۱۳۸۴). آئین زروانی مکتب فلسفی - عرفانی زرتشتی بر مبنای اصالت زمان. انتشارات امیرکبیر، تهران.
۵. مطهری، مرتضی. (۱۳۷۱). حرکت و زمان در فلسفه اسلامی جلد ۲. انتشارات حکمت، تهران.
۶. کدیور، محسن. (۱۳۷۴). تحلیل و نقد نظریه موهوم بودن زمان. فصلنامه نامه مفید، شماره ۱.
۷. آگوستین. (۱۳۸۰). اعترافات. ترجمه: میثمی، سایه. دفتر پژوهش و نشر سهروردی، چاپ دوم. تهران.
۸. ویکی‌پدیا، دانشنامه آزاد. (۱۳۹۲). فلسفه فضا و زمان. وبسایت اینترنتی www.wikipedia.com، بازبینی شده در ۱۸ آذر ۱۳۹۲.
۹. مصباح یزدی، محمدتقی. (۱۳۹۲). آموزش فلسفه جلد دوم. شرکت چاپ و نشر بین‌الملل وابسته به سازمان تبلیغات اسلامی.
۱۰. راسل، برتراند. (۱۳۹۴). تاریخ فلسفه غرب جلد ۱. مترجم: دریابندری، نجف. نشر پرواز. چاپ هشتم. تهران.
۱۱. دلوز، ژیل. (۱۳۹۶). انسان و زمان آگاهی مدرن. مترجم: واعظی، علی‌اصغر. نشر هرمس. چاپ اول.
۱۲. رستگار، آرش. (۱۳۹۷). فلسفه زمان. وبگاه دانشگاه صنعتی شریف: sharif.ir/~rastegar/Falsafe/20zaman.pdf
۱۳. بوخونسکی، یوزف‌ماری. (۱۳۸۷). فلسفه معاصر اروپایی. مترجم: خراسانی، شرف‌الدین. نشر علمی فرهنگی.
۱۴. عابدی شاهرودی، علی. (۱۳۷۴). بررسی مقدماتی تئوری زمان. کیهان اندیشه، شماره ۶۳.
۱۵. باردون، آدریان. (۱۳۹۵). تاریخچه فلسفه زمان. مترجم: امیری آراء، حسن. نشر کرگدن.
۱۶. معصومی، سعید. (۱۳۹۵). تلقی واقع‌گرایانه از مکانیک کوانتومی. فصلنامه فلسفه علم، پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی، سال ششم، شماره دوم.
۱۷. کرکلند، کایل. (۱۳۹۷). زمان و ترمودینامیک. ترجمه: معلمی، بهرام. انتشارات مازیار. چاپ اول.
۱۸. جوادی، حسین. (۱۳۸۷). کتاب فیزیک از آغاز تا امروز. چاپ دوم. انتشارات اندرز.
۱۹. منصوری، علیرضا و سرکرده‌ای، محمدرضا. (۱۳۷۹). در جستجوی رئالیسم علمی در مکانیک کوانتومی. فصلنامه پژوهش‌های فلسفی کلامی، شماره ۳.
۲۰. بل، وندل. (۱۹۲۴). مبانی آینده‌پژوهی. ترجمه تقوی، مصطفی و محقق، محسن. نشر موسسه آموزشی و تحقیقاتی صنایع دفاعی.
۲۱. سمیعی، سعید. (۱۳۹۷). زمان مفهومی کلیدی در آینده‌پژوهی. ماهنامه آینده‌پژوهی راهبردی. موسسه افق آینده‌پژوهی راهبردی. شماره ۵۵، خرداد ۹۷.
۲۲. گل‌پرور، سید احسان. (۱۳۸۹). مقدمه‌ای بر آینده‌پژوهی. مجله توسعه مهندسی بازار سال هفتم خرداد و تیر ۱۳۹۲ شماره ۳۱.

۲۳. عیوضی، محمدرحیم و پدارم، عبدالرحیم. (۱۳۹۵). درآمدی بر آینده‌پژوهی اسلامی. نشر موسسه آموزشی و تحقیقاتی صنایع دفاعی.
۲۴. عبداللهی، محمدعلی و فرهانیان، فاطمه. (۱۳۹۰). متافیزیک زمان، نقد و بررسی استدلال مک‌تاگارت بر واقعی نبودن زمان. دوفصلنامه متافیزیک، پاییز و زمستان ۱۳۹۰ شماره ۱۱ و ۱۲.
۲۵. Rosen, Edward, (۱۹۸۶), "Copernicus, Nicolaus", Encyclopedia Americana, International Edition, volume ۷, Danbury, Connecticut, Grolier Incorporated, شابک ۰-۱۱۷-۷۱۷۲-۰, pp. ۷۵۵-۵۶.
۲۶. Jones, Daniel, (۲۰۰۳), Roach, Peter; Hartmann, James; Setter, Jane, eds., English Pronouncing Dictionary, Cambridge: Cambridge University Press, ISBN.
۲۷. Gödel K. (۱۹۶۹), in Albert Einstein: Philosopher-Scientist Edt. P.A. Schilpp, Cambridge Univ. Press, London.
۲۸. Greene, Brian: The Fabric of the Cosmos; Space, Time and the Texture of Reality, Random House, ۲۰۰۴.
۲۹. Aichelburg, Peter C., "On the evolution of the concept of time and its implication for modern cosmology", "Science and Religion: Global Perspectives", June ۴-۸, ۲۰۰۵, in Philadelphia, PA, USA, a program of the Metanexus Institute.
۳۰. Newton I. Philosophiae Naturalis Principia Mathematica (۱۹۶۷) quotations from Sir Isaac Newton's mathematical Principles of natural Philosophy and his System of the World F. Cajori, Univ. of California Press; Berkeley (۱۹۶۲).
۳۱. Edwin F. Taylor and John Archibald Wheeler (۱۹۹۲). Spacetime Physics: Introduction to Special Relativity. W. H. Freeman. ISBN ۰-۷۱۶۷-۲۳۲۷-۱.
۳۲. Albert Einstein (۲۰۰۱). Relativity: The Special and the General Theory (Reprint of ۱۹۲۰ translation by Robert W. Lawson ed.). Routledge. p. ۴۸. ISBN ۰-۴۱۵-۲۵۳۸۴-۵.
۳۳. Einstein, A. , Lorentz, H. A. , Minkowski, H. , & Weyl, H. (۱۹۵۲). The Principle of Relativity: a collection of original memoirs on the special and general theory of relativity. Courier Dover Publications. p. ۱۱۱. ISBN ۰-۴۸۶-۶۰۰۸۱-۵.
۳۴. MacCallum, M. (۲۰۰۶), "Finding and using exact solutions of the Einstein equations", in Mornas, L., A Century of Relativity Physics (ERE۰۵, the XXVIII Spanish Relativity Meeting), American Institute of Physics.
۳۵. Janssen, Michel (۲۰۰۵), "Of pots and holes: Einstein's bumpy road to general relativity", Ann. Phys. (Leipzig), ۱۴(S۱), p. ۵۸-۸۵
۳۶. Norton, John D. (۱۹۸۵), "What was Einstein's principle of equivalence?", Studies in History and Philosophy of Science.
۳۷. Bertotti, Bruno; Iess, L.; Tortora, P. (۲۰۰۳), "A test of general relativity using radio links with the Cassini spacecraft", Nature, ۴۲۵
۳۸. Brown, Harvey R. (۲۰۰۵). Physical relativity: space-time structure from a dynamical perspective, Oxford University Press.
۳۹. Ashby, Neil (۲۰۰۳), "Relativity in the Global Positioning System", Living Reviews in Relativity, ۶
۴۰. Gebhardt, Karl; Thomas, Jens (۲۰۰۹). "The Black Hole Mass, Stellar Mass-to-Light Ratio, and Dark Halo in M^{۸۷}". The Astrophysical Journal. ۷۰۰
۴۱. O'leary, R. M.; Rasio, F. A.; Fregeau, J. M.; et al. (۲۰۰۶). "Binary Mergers and Growth of Black Holes in Dense Star Clusters". The Astrophysical Journal. ۶۳۷