

اسرار فیزیک مدرن

اسرار فیزیک مدرن: زمان

شون کارول

ترجمہی جمیل آریابی

زمتالیات ماریار

سرشناسه	: کارول، شون ام، ۱۹۶۶ - م. Carroll, Sean
عنوان و نام پدیدآور	: اسرار فیزیک مدرن / شون کارول؛ ترجمه‌ی جمیل آریایی.
مشخصات نشر	: تهران: مازیار، ۱۴۰۱.
مشخصات ظاهری	: ۱۷۶ ص.
فروست	: قلمرو علم
شابک	: ۹۷۸-۶۲۲-۷۰۶۱-۳۰-۷
وضعیت فهرست‌نویسی: فیپا	
یادداشت	: عنوان اصلی: Mysteries of Modern Physics: Time, e2012
عنوان دیگر	: اسرار فیزیک مدرن: زمان.
موضوع	: فیزیک
موضوع	: فضا و زمان
موضوع	: Physics
موضوع	: Space and time
شناسه افزوده	: آریایی، جمیل، ۱۳۳۰ -، مترجم
رده‌بندی کنگره	: QC۲۲۲
رده‌بندی دیویی	: ۵۳۰
شماره کتابشناسی ملی	: ۹۰۰۷۴۱۱

www.mazyarpub.ir
mazyarpub@yahoo.com

امشالات مازیار

ثبت علامت تجاری: ۳۵۴۴۲۴

مقابل دانشگاه تهران، ساختمان ۱۲۹۶ (ظروفچی) طبقه اول، واحد ۴، تلفن ۶۶۴۶۲۴۲۱

اسرار فیزیک مدرن: زمان

شون کارول

ترجمه‌ی جمیل آریایی

صفحه‌آرایی مروا ک.

چاپ اول ۱۴۰۲

شمارگان ۱۲۰۰

لیتوگرافی سحر

چاپ و صحافی طیف‌نگار

شابک ۹۷۸-۶۲۲-۷۰۶۱-۳۰-۷

مواد اولیه این کتاب به صورت آزاد تهیه شده است.

فهرست مطالب

۷	اسرار فیزیک مدرن: زمان
۹	۱. چرا زمان اسرارآمیز است
۱۶	۲. زمان چیست؟
۲۳	۳. زمان سنجی
۳۰	۴. پیکان زمان
۳۷	۵. قانون دوم ترمودینامیک
۴۴	۶. برگشت پذیری و قوانین فیزیک
۵۰	۷. وارونی زمان در فیزیک ذرات
۵۷	۸. زمان در مکانیک کوانتومی
۶۳	۹. آنتروپی و شمارش
۷۰	۱۰. بازی با آنتروپی
۷۸	۱۱. فرضیه‌ی گذشته

۸۵	۱۲. خاطره، علیت، و عمل
۹۱	۱۳. مغزهای بولتسمانی
۹۸	۱۴. پیچیدگی و حیات
۱۰۵	۱۵. ادراک زمان
۱۱۲	۱۶. حافظه و خودآگاهی
۱۱۸	۱۷. زمان و نسبیت
۱۲۶	۱۸. فضا زمان خمیده و سیاهچاله‌ها
۱۳۳	۱۹. سفر در زمان
۱۴۰	۲۰. آنتروپی سیاهچاله
۱۴۷	۲۱. تحول جهان هستی
۱۵۴	۲۲. مهبانگ
۱۶۱	۲۳. چندجهان
۱۶۸	۲۴. رویکردهایی به پیکان زمان
۱۷۵	منابع

اسرار فیزیک مدرن: زمان

هدف

این دوره‌ی درسی به یکی از بنیادی‌ترین پرسش‌های فیزیک مدرن می‌پردازد: چرا زمان این‌گونه کار می‌کند؟ زمان به آن اندازه که آشناست، به همان اندازه هم اسرارآمیز است و در این دوره درس‌ها کندوکاو می‌کنیم که این اسرار از کجا ناشی می‌شوند و در فیزیک، فلسفه، زیست‌شناسی، علوم اعصاب، و کیهان‌شناسی، چگونه به آن‌ها پرداخته می‌شود.

نخست به این می‌پردازیم که زمان در بنیادی‌ترین سطح چگونه کار می‌کند، یعنی زمان چیست و چگونه باید ساعت‌ها و تقویم‌ها را اندازه گرفت. لیکن در آنی به راز اصلی زمان برمی‌خوریم و آن این است که چرا زمان جهت دارد؟ در این دوره‌ی درسی هدف اصلی ما این خواهد بود که به تفاوت میان گذشته و آینده پی ببریم.

خواهیم دید که قوانین بنیادی فیزیک، از دوران آیزاک نیوتون به این طرف، ویژگی بنیادینی دارند و آن این است که گذشته را از آینده تمیز نمی‌دهند. این قوانین برگشت‌پذیر هستند، یعنی اگر از حرکت سیارات به گرد خورشید، یا از تاب خوردن‌های آونگی فیلم بسازیم و آن را وارونه، از جلو به عقب، نمایش دهیم، هیچ فرقی احساس نخواهیم کرد. لیکن در سامانه‌هایی که قطعات متحرک زیادی دارند، زمان جهت‌گرایی بارزی دارد. فرآیندهای آشنای زیادی هستند که برگشت‌ناپذیرند، از جمله رایحه‌ای که در اتاق می‌پیچد، شیری که در قهوه می‌ریزیم و با آن مخلوط می‌شود، تخم‌مرغی که آن را هم می‌زنیم. در دنیای راستین، این فرآیندها در یک راستای زمان رخ می‌دهند و در راستای دیگر آن هرگز. این اختلاف همان پیکان زمان است.

درک پیکان زمان یکی از دغدغه‌های عمده‌ی فیزیک مدرن است. خواهیم

دید که پیکان زمان ایده‌ای نیست که از مکانیک کوانتومی یا فیزیک ذرات آمده باشد، بلکه ناشی از افزایش آنتروپی است که روشی برای اندازه‌گیری به هم ریختگی یا بی‌نظمی هر سامانه‌ای در گذر زمان است. افزایش آنتروپی به ژرف‌ترین ویژگی‌های زمان منجر می‌شود، از جمله توانایی ما در به خاطر سپردن گذشته و تصمیم گرفتن‌هایی که بر آینده اثر می‌گذارند.

اینک این پرسش مطرح می‌شود: چرا آنتروپی افزایش می‌یابد؟ افزایش آنتروپی در آینده به قانون دوم ترمودینامیک معروف است و آن را لودویگ بولتسمان در قرن نوزدهم برحسب مفاهیم مدرن توضیح داد. دیدگاه بولتسمان این است که آنتروپی به این دلیل افزایش می‌یابد که رفتن هر سامانه‌ای به آنتروپی‌های بالا به مراتب بیشتر از راه‌های رفتن آن به آنتروپی‌های پائین است، بنابراین آنتروپی بالا پیامدی است طبیعی.

حالا پرسش تازه‌ای پیش می‌آید: چرا آنتروپی در گذشته پائین بود؟ معلوم می‌شود که این پرسش مسئله‌ی بسیار مشکلی است که ریشه‌اش به آغازین لحظات زمان بازمی‌گردد. آنتروپی پائین گذشته در نهایت به این دلیل است که جهان هستی ما در حدود ۱۳/۷ میلیارد سال پیش در لحظه‌ی مهبانگ آنتروپی پائینی داشت.

کیهان‌شناسی تلاش می‌کند توضیح دهد که چرا مهبانگ آنتروپی پائینی داشته است، لیکن جدیدترین نظریه‌ها قادر نیستند به این پرسش پاسخ دهند. حتی بی‌آن که توضیح آن را بدانیم، می‌توانیم شگفت‌زده شویم از ارتباطات عمیق و تنگاتنگی که میان زمان در زندگی روزمره و جهان پهناوری وجود دارد که در آن زندگی می‌کنیم.

چرا زمان اسرارآمیز است

زمان چیزی است که ما همه با آشنا هستیم، لیکن نمی‌دانیم که فیزیک درباره‌ی آن چه می‌گوید. به احتمال زیاد می‌دانید که زمان در فیزیک مهم است، و هم‌چنین در زیست‌شناسی، پزشکی، علم اعصاب، روان‌شناسی، و علوم انسانی چون تاریخ، سیاست، و اقتصاد. زمان در فعالیت‌های نوع آدمی از اهمیت اساسی برخوردار است و فیزیک برای زمان نوعی شالوده است. اگر از دیدگاه فیزیک درک کنیم که زمان چگونه کار می‌کند، بهتر خواهیم فهمید که زمان در رشته‌های دیگر علم و در زندگانی روزمره ما چگونه کار می‌کند.

رخنه به اسرار زمان

- ما هر روز به زمان فکر می‌کنیم و از آن استفاده می‌کنیم، گیریم که زمان به این شهره دارد که اسرارآمیز است. به طوری که آگوستین قدیس می‌گوید، «زمان چیست؟ اگر کسی از من نپرسد، می‌دانم. اما اگر بخواهم آن را به کسی توضیح دهم که از من می‌پرسد، نمی‌توانم.»
- اختلاف میان سروکار داشتن روزانه‌ی ما با زمان و این که تلاش کنیم زمان را در سطح ژرف‌تری درک کنیم مثل است که بخواهیم اختلاف میان عملکرد اجاق مایکروویو و سازوکار آن را بفهمیم. مثل مورد اجاق مایکروویو، گیریم که زمان اسرارآمیز و غیرقابل فهم به نظر می‌رسد، می‌توان آن را درک کرد.
- هدف ما در این دوره‌ی درسی این خواهد بود که زمان را مثل فیزیکدان‌ها درک کنیم و این درک فیزیکی را به دیگر جلوه‌هایی ربط دهیم که زمان در علوم و در زندگانی روزمره دارد. در این مسیر، کشف خواهیم کرد که زمان هم در زندگانی روزمره ما و هم در ادراک کیهانی‌تری نمود پیدا می‌کند و رابطه‌ی مستقیمی میان عملکرد زمان در این دو قلمرو وجود دارد.
- دلیل این که زمان این‌گونه در زندگانی روزمره ما کار می‌کند در نهایت به

این دلیل است که جهان این‌گونه کار می‌کند.

- همین که در اسرار زمان وارد شویم، درخواستیم یافت که سرّ آن اسرار در تجارب روزمره‌ی ما نیست بلکه در خلقت خود جهان هستی است.

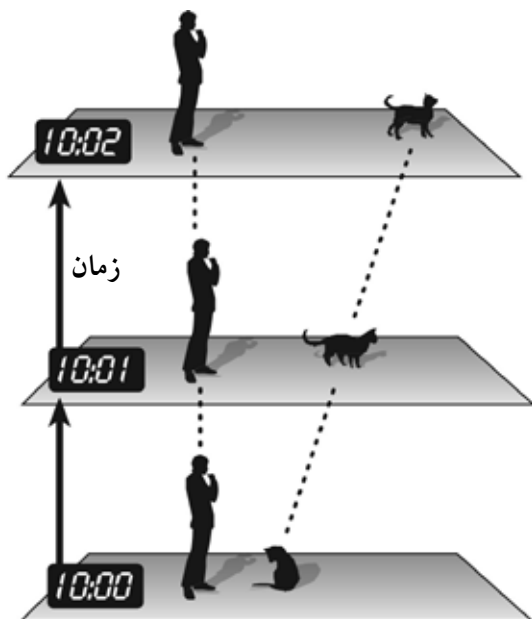
زمان سنجی

ما همه‌جا در اطراف‌مان ساعت‌ها را داریم که زمان را اندازه می‌گیرند، در گوشی‌های مان، کامپیوترهای مان، و همه‌جا. در سطح پایه، ساعت ابزاری است که خود را تکرار می‌کند، آن هم به شیوه‌ای که می‌شود پیش‌گویی کرد. عناصر این تعریف، یعنی تکرارپذیری و پیشگویی‌پذیری، هر دو مهم هستند.

- ایده‌ی قدیمی ساعت این است که خورشید در صبح از شرق بالا می‌آید و هنگام عصر در غرب فرو می‌رود. این ساده‌ترین ابزار زمان‌سنجی است که ما داریم. ساعت‌های دیگر نیز بر اساس همین اصل بنیادی کار می‌کنند، یعنی بارها کار یکسانی را انجام می‌دهند، آن هم به شیوه‌ای تکرارپذیر و پیشگویی‌پذیر.
- در این دوره‌ی درسی خواهیم آموخت که ساختن ساعت کار آسانی نیست و هر چند همه‌جای اطراف‌مان پر است از ساعت، این ساعت‌ها دقیق نیستند. ساختن ساعت‌هایی که خواسته‌های دنیای مدرن را برآورده کنند، کار سهل و آسانی نیست.

زمان در درون ما

- ساعت گذر زمان را اندازه می‌گیرد، اما ما در درون‌مان نیز زمان را حس می‌کنیم، دست‌کم بخشی به این دلیل که ساعت‌ها، آن سازوکارهایی که خود را به شیوه‌ای پیشگویی‌پذیر تکرار می‌کنند، در درون ما وجود دارند، چون نفس‌ها و ضربان‌های قلب ما.
- ما چیزهایی دیگری هم داریم که خود را تکرار نمی‌کنند اما با گذشت زمان متحول می‌شوند، از جمله این که ما پیر می‌شویم، فکر می‌کنیم، تصمیم‌هایی می‌گیریم، برای آینده برنامه‌ریزی می‌کنیم، و گذشته را به یاد می‌آوریم. این ویژگی‌های گوناگون زمان در زندگی کردن ما، در انسان بودن ما، اهمیت به سزایی دارند.



تک تک چارچوب‌ها و نیز مجموعه‌ی چارچوب‌ها چیزی را تعریف می‌کنند که ما به آن جهان هستی می‌گوییم. جهان هستی که از فضا و زمان تشکیل شده است، چهار بعدی است.

• شاید مهم‌ترین ویژگی گذشت زمان برای زندگانی ما انسان‌ها، اندوختن تجربه‌هاست.

○ تنها این نیست که ما چیزی را امروز تجربه می‌کنیم، سپس چیز دیگری را روز بعد، و همین‌طور الی آخر، بلکه چیزی را که امروز تجربه می‌کنیم، فردا به یاد می‌آوریم. با گذشت زمان، تجارب زندگی بیشتری کسب می‌کنیم و بعدها در تصمیماتی که می‌گیریم از آن‌ها استفاده می‌کنیم. با گذشت زمان، در طول زندگی مان، مدام تجربه می‌آموزیم.

○ گذشته‌ای که تجربه کرده‌ایم برای آنچه امروز هستیم، مهم بوده است. حتی در فرآیند گذراندن این ۲۴ درس، شما چیزها خواهید آموخت، تغییر خواهید کرد، و پس فارغ شدن از این درس‌ها، آدم متفاوتی خواهید شد. این است ویژگی عمده‌ی کارکرد زمان.

حرکت در درون زمان

- وقتی که دقت کنیم می‌بینیم این ایده که زمان می‌گذرد، یا این ایده که ما درون زمان حرکت می‌کنیم، چندان ایده‌های روشنی نیستند. آنگاه که می‌گوییم زمان می‌گذرد، معنی آن چیست؟
- این ایده که زمان می‌گذرد، دو ویژگی مختلف دارد که یکی پیوستگی است و دیگری تداوم.
 - گذشت زمان روایت بازآرایی کامل واقعیت نیست، بلکه بیشتر نوعی حلقه فیلم سینمایی نابریده‌ای را می‌ماند. لحظاتی را یکی پس از دیگری در تاریخ جهان هستی می‌بینیم، اما این لحظات «ماده» اصلی یکسانی دارد. همه چیز متحول می‌شود، اما همه چیز در هر لحظه متفاوت نیست.
 - زمان فقط برچسبی نیست که ما به لحظات مختلف می‌زنیم، بلکه فهرست توالی لحظات است که در یک جهت حرکت می‌کنند. درست مثل فیلم‌های سینمایی که مجموعه‌ای از قاب‌های پراکنده در کف اتاق نیستند، همین‌طور، تداوم زمان از گذشته، به حال حاضر و به آینده مهم است.
 - این که روی جهت‌های گذشته و آینده توافق داریم، اساس مفهومی به نام پیکان زمان است.
- ما با چه سرعتی در درون زمان حرکت می‌کنیم؟ سرعت زمان چه چیزی غیر از مثلاً یک ثانیه بر ثانیه می‌تواند باشد؟
 - در فضا که حرکت می‌کنیم و سرعتی داریم، منظورمان این است که در واحد زمان مقداری در فضا حرکت کرده‌ایم، مثلاً چند کیلومتر بر ساعت.
 - لیکن اگر راجع به سرعت زمان صحبت می‌کنیم، اندازه‌گیری‌ای که در مورد فضا به کار می‌بریم، بی‌معنی می‌شود. اگر چیزی به نام سرعت زمان وجود می‌داشت، فقط می‌توانست یک دقیقه بر دقیقه، یک سال بر سال، و غیره، باشد. زمان با آهنگ حرکت زمان حرکت می‌کند و یا این که زمان به هیچ‌روی حرکت نمی‌کند. زمان همین است و بس.
 - چه بخواهیم چه نخواهیم، زمان اتفاق می‌افتد. فضا چیزی است که ما انتخاب می‌کنیم در آن حرکت کنیم، لیکن زمان را فقط لحظه به لحظه

تجربه می‌کنیم.

جهت زمان

- فرق بنیادی میان زمان و فضا، در این است که زمان به گذشته، حال، و آینده تقسیم می‌شود. گذر زمان از گذشته، به حال، به آینده، فقط در یک جهت رخ می‌دهد و رویدادها نیز به همین منوال رخ می‌دهند.
 - برای مثال، خاطره چیزی است که ما دربارهی گذشته داریم. ما خاطره‌ی آینده را نداریم. پیر که می‌شویم، همیشه جوان به دنیا آمده‌ایم، اندک اندک پیر شده‌ایم، و دست‌آخر می‌میریم. زمان این طوری کار می‌کند.
 - این پیکان زمان است. این پیکان از گذشته، به حال، و به سوی آینده نشانه می‌رود. زمان به طور مطلق و به طور ذاتی این طوری حرکت می‌کند.
- اینشتین به ما آموخت که زمان با فضا رابطه دارد، لیکن فضا جهت‌گیری ذاتی ندارد.
 - اگر چیزی را بیاندازیم همیشه به طرف پائین و در خلاف جهت بالا حرکت می‌کند، اما فرق میان بالا و پائین بازتاب هیچ جنبه‌ی خاصی از واقعیت نیست. اگر به جای ایالات متحده در استرالیا زندگی می‌کردید، جهت پائین چیز متفاوتی می‌بود، یعنی «پیکان فضا» به جایی که هستید بستگی دارد.
 - ما به پیکان فضا اصلاً فکر نمی‌کنیم چون آشکار است که این پیکان یکی از ویژگی‌های محیط ماست. به این دلیل پیکان فضا وجود دارد که ما در مجاورت شیئی تأثیرگذاری به نام زمین زندگی می‌کنیم.
 - برعکس، به نظر می‌رسد که پیکان زمان یکی از ویژگی‌های ژرف واقعیت باشد و به نظر می‌رسد که همه‌جا یکسان است.
- آن‌گونه که پیکان فضا با این واقعیت توضیح داده می‌شود که در مجاورت شیئی تأثیرگذاری زندگی می‌کنیم که همان زمین است، پیکان زمان نیز با این واقعیت توضیح داده می‌شود که ما در مجاورت رویدادی تأثیرگذار زندگی می‌کنیم که مهبانگ، آغاز جهان هستی، است.
 - در سطح زیرین واقعیت، پیکان زمانی وجود ندارد و تا آنجا که قوانین

- نهایی فیزیک نشان می‌دهند، فرقی میان گذشته و آینده نیست.
- پیکان زمان می‌باید با رفتار ماکروسکوپیکی اشیاء در جهان سروکار داشته باشد، اما در سطح برخورد دو ذره با یکدیگر و پراکنده شدنشان پدیدار نمی‌شود، یعنی چیزی که گذشته و آینده را مطلقاً یکسان در نظر می‌گیرد.
- پیکان زمان فقط وقتی پدیدار می‌شود که تعداد ذرات بسیار، بسیار زیاد باشد — وقتی کسی یا ابری از گاز در منظومه‌ی شمسی داریم که سیاره‌ی جدید می‌سازد.

آنتروپی

- آنتروپی راهی است برای صحبت کردن درباره‌ی بی‌نظمی «سامانه‌ها»یی که در جهان هستی یافت می‌شوند. تخم‌مرغ سامانه‌ی بسیار نظم‌یافته‌ای است، لیکن اگر آن را بشکنیم، بی‌نظم می‌شود و اگر به‌هم‌اش بزنیم بی‌نظم‌تر می‌شود. دانشمند می‌گوید که آنتروپی تخم‌مرغ افزایش می‌یابد.
- اگر سامانه‌های جهان هستی به حال خود رها شوند، آنتروپی‌شان افزایش می‌یابد و با گذشت زمان به بی‌نظمی بیشتری می‌گیرند. در واقع، افزایش آنتروپی تمایز میان گذشته و آینده را نشان می‌دهد.
- راه‌های زیادی هست که پیکان زمان خود را نمایان می‌کند، اما ویژگی زیربنایی‌ای هست که همه‌ی این نموده‌های مختلف پیکان زمان را توضیح می‌دهد. آنتروپی هر سامانه‌ای که به حال خود رها شده باشد، افزایش می‌یابد. این موضوع به قدری مهم است که یکی از قوانین طبیعت شده است: قانون دوم ترمودینامیک.
- در قرن نوزدهم، دانشمندان گام‌های بلندی برای درک سازوکار آنتروپی برداشتند، این که چرا به آینده که می‌رویم آنتروپی افزایش می‌یابد و چگونه آنتروپی می‌تواند هر یک از نموده‌های پیکان زمان را توضیح دهد. لیکن چنین درکی پرسشی به جای گذاشت که بی‌پاسخ مانده است: چرا آنتروپی در گذشته پائین بوده است؟
- این پرسش ما را تا مهبانگ عقب می‌برد. جهان هستی ما ۱۳٫۷ میلیارد سال پیش در شرایط آنتروپی بسیار پائین و با سازمان‌دهی بسیار منظم

آغاز شد. آن لحظه آغاز زمان بود که ما امروزه در زندگی روزمره آن را تجربه می‌کنیم.

○ از لحظه‌ی مهبانگ تا به امروز، ما با فرآیندی به سر برده‌ایم که با آن آنتروپی جهان افزایش می‌یابد. مهبانگ رویداد تأثیرگذاری بود که ما در پیامد آن زندگی می‌کنیم.

● در این دوره‌ی درسی خواهیم آموخت که آنتروپی چیست و چرا تمایل دارد افزایش یابد. همین‌که فهمیدیم آنتروپی، پیکان زمان و همه‌ی اشکال آن را توضیح می‌دهد، برمی‌گردیم و توضیح می‌دهیم که چرا آنتروپی باید باشد که به نوبه خود درک نسبیت، فضا-زمان، کیهان‌شناسی، مهبانگ، و جفت و جور شدن این ایده‌ها با یکدیگر را می‌طلبد.

برای مطالعه‌ی بیشتر

Carroll, *From Eternity to Here*, chapter 1.

Falk, *In Search of Time*.

Frank, *About Time*.

Greene, *Fabric of the Cosmos*, part II.

پرسش‌هایی که باید در نظر گرفت

۱. شما واژه‌ی «زمان» را چه تعریف می‌کنید؟ در زندگی روزمره‌ی‌تان از زمان چه استفاده‌ای می‌کنید؟ آیا فکر می‌کنید که شما در درون زمان حرکت می‌کنید یا زمان بر شما می‌گذرد.

۲. از چه جنبه‌هایی گذشته با آینده فرق دارد؟ آیا این تفاوت‌ها ذاتی هستند؟ این تفاوت‌ها چه رابطه‌ای با یکدیگر دارند؟

زمان چیست؟

علم و فلسفه رابطه‌ی دیرینه‌ای با هم دارند که نوعی رابطه‌ی رقابتی دوستانه‌ای است. این دو رشته اهداف متفاوتی را دنبال می‌کنند، لیکن به موضوعاتی می‌پردازند که اغلب هم‌پوشانی دارند و مطالعه‌ی زمان قلمرویی است که در آن دیدگاه‌های فلسفی، حتی برای فیزیکدان‌ها، فوق‌العاده سودمند هستند. فلاسفه تلاش می‌کنند تا سازوکار منطقی پدیده‌ای را درک کنند، حال آن که فیزیکدان‌ها فقط به پرداختن نظریه‌ای بسنده می‌کنند، چه بسا که معنی‌دار هم نباشد. ما سازوکار فیزیکی زمان را در شرایط خوش‌تعریف خاصی درک می‌کنیم، اما پرسش‌های فلسفی را نه. در این درس، بعضی از این پرسش‌ها را در نظر می‌گیریم که به ما کمک می‌کنند تا جنبه‌های علمی‌ای را درک کنیم که در مابقی این دوره‌ی درسی از آن‌ها رونمایی خواهیم کرد.

زمان و فضا در جهان هستی

- به جهان هستی که فکر می‌کنیم، بیشتر به یاد فضا می‌افتیم، آن هم نه فضای فرامنظومه‌ای، بلکه فضای اطراف‌مان که اجسام مختلف در کجاها قرار دارند. به این نیز فکر می‌کنیم که جهان هستی رویدادی است که مدام اتفاق می‌افتد. از همان آغاز، میان فضا و زمان فرق می‌گذاریم.
- به نظر می‌رسد که فضا مهم‌تر باشد یا برای توصیف جهان هستی مناسب‌تر باشد، حال آن که زمان را برجستگی می‌پنداریم که به لحظه‌ای از جهان هستی می‌زنیم که داریم درباره‌اش صحبت می‌کنیم.
- در درس ۱، گفتیم که جهان هستی نوعی حلقه فیلم سینمایی را می‌ماند. مهم است اشاره کنیم که آنچه را ما جهان هستی می‌پنداریم، چیزی است که هم تک‌تک قاب‌ها و هم کل رشته‌ی قاب‌ها، یعنی این فیلم سینمایی، تعریف می‌کنند و این جهان هستی چهار بُعدی است که هم فضا را دارد و هم زمان را.

- بر خلاف فضا، جهان هستی خود را بازاریابی نمی‌کند.
- در فضا، هر اتفاقی که در یک نقطه می‌افتد، کم و بیش هیچ رابطه‌ای با اتفاقی که در نقطه‌ی دیگری می‌افتد ندارد. فضا قاعده‌ای ندارد که چه چیزی باید بعد از چیزی دیگر اتفاق بیافتد.
- از سوی دیگر، زمان بر آنچه بعد از یک لحظه در لحظه‌ی دیگر رخ می‌دهد، حاکم است. سازوکار قوانین فیزیک چنین است: اگر هر چیزی را که جهان در یک لحظه انجام می‌دهد بدانیم، قوانین فیزیک به ما خواهند گفت که در لحظه‌ای بعد چه اتفاق می‌افتد. از آن لحظه به بعد هم قوانین فیزیک خواهند گفت که بعد چه اتفاق خواهد افتاد، و همین‌طور الی آخر.
- قوانین فیزیک از لحظه‌ای شروع می‌کنند — حالت جهان هستی در لحظه‌ی مفروضی در زمان — و با استفاده از معادلاتی که قوانین فیزیک هستند، به ما می‌گویند که در هر لحظه‌ای بعدی از زمان چه اتفاق می‌افتد.

تفاوت میان زمان و فضا

- بعدها در این دوره درسی به نسبت و رابطه‌ی میان زمان و فضا خواهیم پرداخت، لیکن در اینجا می‌خواهیم شرح دهیم که دو مفهوم زمان و فضا به کل با هم فرق دارند.
- می‌توانیم جایی را در فضا انتخاب کنیم و به آنجا برویم، اما نمی‌توانیم به جای دیگری در زمان برویم. زمان انعطاف‌پذیر نیست، حال آن‌که در فضا به هر جا که خواسته باشیم می‌توانیم برویم.
- آنچه گفتیم چشم‌انداز خاصی از واقعیت است. واقعیت را لحظه‌ای از زمان می‌پنداریم و در عین حال فکر نمی‌کنیم که مکانی که برای ما دسترس‌پذیر نیست، به همان اندازه واقعی نباشد.
- مکان‌های مختلف فضا از هر لحاظ واقعی هستند، خواه ما آنجا باشیم خواه نه، اما درباره‌ی گذشته و آینده چه می‌توان گفت؟ آیا آن‌ها واقعی هستند؟
- در حال به هستی جهان ایمان داریم، اما فکر می‌کنیم که از گذشته عبور کرده‌ایم. گذشته و نیز آینده را به اندازه حال واقعی نمی‌پنداریم.

- چرا آینده و گذشته فرق زیادی با هم دارند؟ چرا درباره‌ی آن‌ها آن‌طور فکر نمی‌کنیم که به بخش‌های مختلف فضا فکر می‌کنیم؟
- برای این که به این پرسش‌ها پاسخ دهیم، باید ببینیم که ما فضا و زمان را چگونه توصیف می‌کنیم.
- اگر قرار باشد دوستی را در زمان خاصی در کافی‌شاپ ملاقات کنید، کاری که می‌کنید این است که به دوست‌تان مختصاتی در جهان می‌دهید، چیزی که فیزیکدان آن را «رویداد» می‌نامد.
- باید فضا (جایی که قرار است دوست‌تان را ملاقات کنید) و زمان (کی قرار است دوست‌تان را ملاقات کنید) را مشخص کنید. برای این که جایی را روی زمین مشخص کنید، تنها به دو عدد — خیابانی که در آن هستید و آدرس آن خیابان — نیاز دارید، اما در فضا باید سه عدد را مشخص کنید، چون فضا سه بُعدی است.
- زمان بُعد دیگری در جهان است که می‌توان سه بُعد فضا را با تک بُعد زمان در هم آمیخت تا فضا-زمان چهار بُعدی داشت.

حال‌گرایی و ازل‌گرایی^۱

- فلاسفه نحوی تفکر روزمره ما درباره‌ی جهان را «حال‌گرایی» می‌نامند. فلاسفه می‌گویند که آنچه وجود دارد و واقعی است، جهان سه بُعدی در لحظه‌ی مفروضی از زمان و همه‌ی آنچه در درون آن است. گذشته و آینده واقعی نیستند.
- اما فیزیک دیدگاه دیگری دارد و می‌گوید اگر ما جهان را همین حالا دقیق بدانیم، می‌توانیم آینده‌ی آن را پیشگویی کنیم و می‌توانیم گذشته‌ی آن را بازسازی کنیم. قوانین فیزیک لحظه‌ی حال را به لحظه‌ی آینده و لحظه‌ی گذشته وصل می‌کنند.
- از این دیدگاه، به این فکر می‌افتیم که گذشته، حال، و آینده چه بسا به اندازه‌ی هم واقعی هستند. این دیدگاه، «ازل‌گرایی» نام دارد.

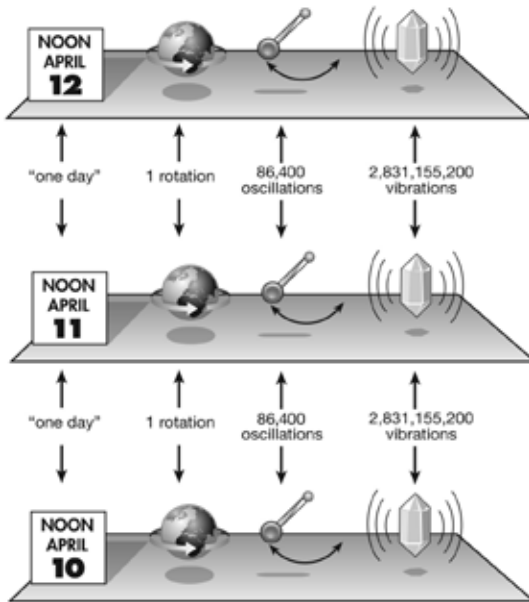
- بر خلاف حال‌گرایی که می‌گوید لحظه‌ی حال واقعی است، گذشته‌خاطره است، و آینده نوعی پیشگویی است، ازل‌گرایی می‌گوید که همه‌ی لحظات در تاریخ جهان هستی به اندازه‌ی هم واقعی هستند. لحظه‌ی حال ویژگی خاصی ندارد، جز این که ما هم‌اینک آن را تجربه می‌کنیم.
- گاهی ازل‌گرایی را «چشم‌انداز جهان مجموع» می‌گویند، زیرا مثل این است که از جهان هستی خارج می‌شویم و آن را از بیرون نگاه می‌کنیم و همه‌ی چهار بُعد را مجموعه‌ای متشکل از فضا و زمان می‌بینیم. عبارت دیگری که برای ازل‌گرایی به کار می‌رود، عبارت «نگرش خارج از زمان» است و آن نگرش به سامانه‌ای در لحظه‌ی مفروضی نیست، بلکه نگرش از بیرون به کل سامانه است.
- قوانین کنونی فیزیک پیشنهاد می‌کنند که ازل‌گرایی — گذشته، حال، و آینده باید مثل هم بررسی شوند — نگرش درست به جهان هستی است.

پیکان زمان

- گفتیم که حال‌گرایی لحظه‌ی حال را واقعی می‌داند، اما گذشته و آینده را نه. با اندک پس و پیش کردن فلسفه‌ی حال‌گرایی می‌توانیم گذشته و حال را واقعی در نظر بگیریم، اما آینده را نه. گذشته اتفاق افتاده است، گیریم که شاید ما آنجا نبوده‌ایم، لیکن آینده هنوز اتفاق نیفتاده است و نامعلوم است. شاید چنین نحوه‌ی تفکری برای ما انسان‌ها طبیعی به نظر برسد، لیکن در قوانین فیزیک بازتابی ندارد.
- راه بهتر این که درک کنیم چه دلیلی دارد ما میان گذشته و آینده فرق می‌گذاریم، ایده‌ی پیکان زمان است. خود زمان نیست که میان گذشته، حال، و آینده فرق می‌گذارد، بلکه پیکان زمان است که در نهایت به «ماده» در جهان هستی بستگی دارد، ماده‌ی ماکروسکوپی و چیدمان‌هایی که دارد.
- از پیکان زمان برداشت می‌کنیم که زمان در حال گذر است و این که ما در لحظات مختلف زمان جاری هستیم. از این دیدگاه، به این نتیجه می‌رسیم که این گذشته نیست که واقعی‌تر از آینده است، بلکه ما درباره‌ی گذشته بیشتر از آینده می‌دانیم. دسترسی ما به گذشته با دسترسی ما به آینده فرق دارد.

ساعت‌ها

- یک راه فکر کردن به زمان این است که ببینیم ساعت چه چیزی را اندازه می‌گیرد. با ساعت، نه تنها پی می‌بریم که زمان در حال گذر است، بلکه ساعت به ما می‌گوید که چقدر زمان سپری شده است. پیش از این دیدیم که ساعت ابزاری است که کار خاصی را بارها و بارها تکرار می‌کند.



«ساعت‌های خوب» در جهان ما بر مبنای حرکت زمین به دور محورش و به دور خورشید، تاب خوردن‌های پاندول، و ارتعاشات بلور کوارتز کار می‌کنند.

- آیا در اینجا با تعاریف ادواری سروکار داریم؟ به نظرمان می‌رسد که ما زمان را به عنوان چیزی تعریف می‌کنیم که ساعت اندازه می‌گیرد و ساعت را ابزاری تعریف می‌کنیم که با گذشت زمان کار یکسانی را بارها و بارها تکرار می‌کند.
- در واقع، چنین تعریفی ادواری نیست و این که ادعا می‌کنیم زمان چیزی است که ساعت اندازه‌گیری می‌کند، منطقی و اساسی دارد. افزون بر آن،

هستی چیزهایی که وجود دارند و به نحوی پیشگویی پذیر کار خاصی را بارها تکرار می کنند — مثل ساعت‌ها — چیزی نیست که بتوانیم آن را مسلم بدانیم. چه بسا در جهانی زندگی کنیم که در آن هر چیزی که خود را تکرار می کند، پیشگویی ناپذیر باشد.

• یکی از ویژگی‌های ساعت این است که ما در جهان هستی بیش از یک ساعت داریم. البته، واژه «ساعت» در اینجا ابزاری است که با آن می توانیم گذشت زمان را اندازه گیری کنیم.

○ زمین به گرد محورش دوران می کند و نیز خورشید را دور می زند. این‌ها دو حرکت مختلفی هستند که زمین انجام می دهد و هر دو را به نحوی پیشگویی پذیر انجام می دهد.

○ این دو حرکت با یکدیگر قابل قیاس هستند: زمین هر بار که به دور خورشید می گردد، تقریباً $\frac{365}{4}$ بار دور خودش می چرخد. این رقم سال به سال تغییر نمی کند و سال پس از سال مقدارش همین است. این است که حرکت ساعت قابل اطمینانی را برای ما فراهم می کند.

• دوران زمین به دور محورش و حرکت آن به دور خورشید، انتخاب آشکاری است برای نوعی ساعت خوب. در میان ساعت‌های مچی امروزی، بهترین‌شان با بلورهای کوارتز کار می کنند که با آهنگ دقیقی ارتعاش می کنند. حرکت پاندول نیز ساعت خوبی است.

• در جهانی که نظم بر آن حاکم نباشد، ساعت خوبی پیدا نخواهد شد. رویدادها بارها تکرار خواهند شد، لیکن نسبت به یکدیگر با آهنگ پیشگویی ناپذیری رخ خواهند داد. زمان هم چنان خواهد بود، اما نخواهیم توانست بگوییم که از لحظه‌ای تا لحظه‌ای دیگر چقدر زمان سپری شده است.

• راه عملی فکر کردن به زمان، ساعت است، چون ساعت به رویدادهایی می پردازد که به راستی اتفاق می افتند، نه به مفاهیمی که انتزاعی هستند.

○ حال اگر زمان ناگهان متوقف شود، چه می شود؟ یا اگر زمان در همه جای جهان کند کار کند، چه پیش می آید؟

○ پاسخ این است که اتفاق خاصی نمی افتد. اگر زمان در همه جای جهان

هستی متوقف شود، شناختی وجود نخواهد داشت.

- چه اتفاقی می‌افتد اگر می‌توانستید زمان را برای هر چیزی در جهان هستی که در فاصله‌ی سه متری‌تان بود متوقف سازید؟
 - ناگهان نمی‌توانستید چیزهایی را ببینید که بیش از سه متر با شما فاصله داشتند، زیرا از چیزهایی که در منطقه‌ی توقف زمانی شما بودند، نوری به شما نمی‌رسید.
 - اگر می‌خواستید از درون هوا بگذرید و مولکول‌هایی که در فاصله‌ی سه متری شما بودند ساکن بودند، این مولکول‌ها مانند دیوار آجری در برابر شما عمل می‌کردند.
- ایده‌ی متوقف ساختن زمان یا حتی زمان‌هایی که برای افراد مختلف با آهنگ‌های متفاوت در جریان باشند، ایده‌ای ناشدنی است. از نسبت که صحبت می‌کنیم، می‌بینیم مفهوم علمی خوش تعریفی وجود دارد که در آن افراد مختلف می‌توانند زمان را که با سرعت‌های متفاوت در حال حرکت است، اندازه‌گیری کنند، لیکن تنها راهی که می‌توانند این کار را بکنند این است که در نقاط مختلفی از جهان باشند یا در جهان با سرعت‌های متفاوتی حرکت کنند.

برای مطالعه‌ی بیشتر

Callender, *Introducing Time*.
 Carroll, *From Eternity to Here*, chapter 1.
 Klein, *Chronos*.

پرسش‌هایی که باید در نظر گرفت

۱. آیا فکر می‌کنید گذشته، حال، آینده به اندازه‌ی هم واقعی هستند؟ چگونه می‌توانید کسی را قانع کنید که با دیدگاه شما موافق نیست؟
۲. چه فرآیندهایی را اطراف‌تان می‌شناسید که حکم «ساعت‌های خوب» را داشته باشند؟
۳. می‌توانید تصور کنید که زمان، سریع بگذرد، کند بگذرد، یا در کل متوقف شود؟

زمان سنجی

در درس پیشین اندکی فلسفه‌گرا شدیم، اما در این درس می‌خواهیم عمل‌گرا باشیم. اگر زمان می‌گذرد و ما گذر زمان را تجربه می‌کنیم، آنگاه پرسش عملی آشکار این می‌شود که ما گذر زمان را چگونه باید اندازه‌گیری کنیم؟ بدیهی است که این پرسش درباره‌ی ساختن ساعت است. لیکن هر چه ما به لحاظ تکنولوژیکی پیشرفته‌تر می‌شویم — چون جامعه در راستای پیکان زمان پیش می‌رود — تقاضا برای اندازه‌گیری دقیق زمان روز به روز بیشتر می‌شود. می‌خواهیم بدانیم که بهترین ساعت کدام ساعت است؟ برای این که به این پرسش پاسخ دهیم، باید بررسی کنیم که ایده‌ی اندازه‌گیری زمان در طول تاریخ چه مراحل را پشت سر گذاشته است.

یکایا و اندازه‌گیری زمان

- هر روز خورشیدی مدت زمانی است که طول می‌کشد تا خورشید از مکانی، مثلاً ظهر، به همان مکان در ظهر روز بعد برسد. هر سال خورشیدی مدت زمانی است که طول می‌کشد تا زمین، خورشید را دور بزند. ماه قمری مدت زمانی است که طول می‌کشد تا ماه از حالتی — ماه تازه یا ماه کامل — دوباره به همان حالت برگردد.
- وظیفه‌ی ما این است که وسیله‌ای بسازیم که این دوره‌های زمانی — روز، سال، و ماه — را هر چه دقیق‌تر اندازه‌گیری کند.
 - ساده‌ترین وسیله، ساعت آفتابی است. می‌توانیم میله‌ای را دقیقاً عمود بر زمین قرار دهیم و با گذشت زمان که خورشید در آسمان حرکت می‌کند، حرکت سایه‌ی میله را تماشا کنیم.
 - با وجود این، چنین وسیله‌ای هم به آن سادگی نیست که به نظر می‌رسد. اگر این میله را دقیقاً عمودی قرار دهیم، زمان روز را در بهار، تابستان، پاییز، و زمستان متفاوت اندازه‌گیری می‌کند. نکته اینجاست که میله را با محور دوران زمین هم‌راستا کنیم.



بنای استون‌هنج اساسی‌ترین کار هر رصدخانه‌ی اخترشناسی را انجام می‌دهد، یعنی وقت از سال را به ما می‌گوید.

○ ساعت آفتابی بخش کوچکی از مشکل بزرگتری است که ما داریم و آن این است که بهترین روش اندازه‌گیری زمان چیست که دستخوش ادا و اطوار هوس‌بازی‌های اخترشناختی نباشد؟

- با استفاده از رصدخانه می‌توانیم بگوییم که چه وقت از سال است. آن‌گونه که مردم باستان می‌دانستند ما نیز می‌دانیم که خورشید در تابستان شمالی‌تر و در زمستان جنوبی‌تر است. بنای استون‌هنج مثال قدیمی ساده‌ای از نوعی رصدخانه است. تخته‌سنگ‌های استون‌هنج را طوری سمت داده‌اند که خورشید هنگام طلوع در انقلاب تابستانی — بلندترین روز سال — طرح این بنا را به دو نیم تقسیم می‌کند.

ساختن تقویم

- برای مردمان باستان ثمربخش بود که بدانند تابستان کی شروع می‌شود، لیکن کلی‌تر از آن این است که بخواهیم تقویمی بسازیم، سامانه‌ای از یکاها که هر آئینه به ما بگوید در چه زمانی از سال هستیم. معنی آن این است که مدت زمانی طول، چون سال یا ماه، را بگیریم و آن را به دوره‌های زمانی کوتاه‌تر تقسیم کنیم.

- سال، ماه قمری، و روز، هر یک دوره‌ی زمانی مشخصی هستند که می‌توانیم آن‌ها را با هم مقایسه کنیم، لیکن مشکل اینجاست که این بازه‌های زمانی به این سادگی‌ها با هم جفت و جور نمی‌شوند.
 - هر سال $365\frac{1}{4}$ روز است که این هم دقیق نیست. اگر دقیق‌تر بخواهیم بگوییم، هر سال $365/2422$ روز است که عدد سراسستی نیست.
 - ماه قمری بدتر از سال است. هر ماه قمری $29/5306$ روز است که به هیچ‌روی عدد سراسستی نیست و هر سال $12/3683$ ماه قمری است.
 - طبیعت رابطه‌ی میان ماه، سال، و روز را به ما نداده است. هزاران سال است که انسان‌ها تلاش می‌کنند راه‌های هوشمندانه پیدا کنند تا رابطه میان این زمان‌سنج‌های اخترشناختی را معلوم کنند.
- تلاش‌های باستانی‌ان به جایی ختم شده است که فرهنگ‌های مختلف تقویم‌های مختلف بسازند. برای مثال، در تقویم اسلامی که بر اساس ماه قمری ($29/5$ روز) ساخته شده است، ماه‌ها به طور متناوب ۲۹ روزه و ۳۰ روزه هستند. مشکل اینجاست که اگر همه‌ی ماه‌های قمری را با هم جمع کنیم، رقم ۲۵۴ روز را به دست می‌آوریم که به رقم روزهای سال نمی‌رسد.
- تلاش برای یافتن رابطه‌ای میان ماه و سال‌ها به مفهوم هوشمندانه‌ی ماه کیسه انجامیده است که اعتبار آن از آن مردم بابل باستان است.
 - بابلی‌ها به این واقعیت عجیب پی بردند که ۱۹ سال خورشیدی به ۲۳۵ ماه قمری بسیار نزدیک است.
 - افزون بر این، آنان پی بردند اگر فرض کنند که ۱۲ ماه در سال قاعده‌ای باشد برای ۱۲ سال پی در پی، و سپس ۱۳ ماه در سال برای هفت سال بعدی، آنگاه دوره‌ی ۱۹ ساله‌ای خواهند داشت که تقویم قمری را با تقویم خورشیدی هماهنگ خواهد کرد.

تقویم گرگوری

- تقویم گرگوری که امروزه از آن استفاده می‌کنیم، از ایده‌ی ماه قمری استفاده نمی‌کند و به همین دلیل است که در این تقویم بعضی از ماه‌ها ۳۰ روزه، بعضی ۳۱ روزه، و ماه فوریه ۲۸ یا ۲۹ روزه است.