



## هفت درس کوتاه درباره فیزیک

نویسنده: پروفسور کارلو روولی

مترجم: صابر فرهنگیان

انتشارات تمدن علمی



@Science\_And\_Philosophy1

@arian\_xboy



## درباره نویسنده

کارلو روولی فیزیکدانی نظری ست که یافته‌ها و تحقیقات وی تأثیر بسزایی بر فیزیک فضا-زمان داشته است. این فیزیکدان ایتالیایی در کشورهای ایتالیا و آمریکا دارای سابقه فعالیت بوده و در حال حاضر هدایت گروه تحقیقاتی گرانش کوانتومی در مرکز فیزیک نظری مارسی را بر عهده دارد. هفت درس کوتاه درباره فیزیک خیلی زود پس از انتشار عنوان پرفروش‌ترین کتاب را در ایتالیا به خود اختصاص داد. این اثر تاکنون، یعنی در کمتر از یک سال، به بیست و چهار زبان ترجمه شده است.





## پیش‌گفتار

این درس‌ها به فراخور نیاز کسانی نگاشته شده است که در حوزه علوم نوین یا فاقد اطلاعات کافی بوده و یا به کلی با آن غریبه‌اند. مجموعه این هفت درس شرحی گذرا از شگفت‌انگیزترین جنبه‌های انقلابی که در قرن بیستم در علم فیزیک به وقوع پیوسته و نیز مسئله‌ها و رازهایی که از پس این تحول عظیم در این حوزه به وجود آمده است را به خواننده ارائه می‌کند. باری همزمان که علم ما را در درک و شناخت بهتر از جهان هستی رهنمود می‌دارد به ما یادآور می‌شود که عرصه ناشناخته‌های این عالم هنوز تا چه اندازه گسترده است. درس نخست با عنوان "زیباترین نظریه" به بحث در خصوص نظریه نسبیت عام انشتین می‌پردازد. در درس دوم مکانیک کوانتوم، که دربردارنده حیرت‌آورترین جنبه‌های فیزیک نوین است مطرح می‌شود. درس سوم از کائنات و معماری جهانی که ما انسان‌ها در آن سکونت داریم سخن به میان آورده و در درس چهارم ذرات بنیادی مورد بحث واقع شده‌اند. محتوای درس پنجم در خصوص گرانش کوانتوم و تلاش‌هایی می‌باشد که اخیراً در جهت پی‌ریزی آمیزه‌ای از عمده‌ترین یافته‌های کوانتومی قرن بیستم صورت پذیرفته است. درس ششم درباره احتمال و نیز گرمای سیاه‌چاله‌هاست، و درنهایت درس هفتم این کتاب به خود ما بازمی‌گردد و از ما این سؤال را می‌پرسد که چگونه ممکن است در پرتو چنین جهانی که علم فیزیک توصیف کرده، ما انسان‌ها بتوانیم در مورد وجود و هستی خود تفکر کنیم.

درس‌هایی که در این کتاب گردآوری شده‌اند شرحی از مجموعه مقالاتی می‌باشد که توسط نویسندگان در یک روزنامه ایتالیایی به صورت ضمیمه به چاپ می‌رسیده است. "مایلم که مخصوصاً از جناب آقای آرماندو ماسارنتی که موجبات اختصاص ستون فرهنگی روزنامه "ایتالیا ۲۴" را به مباحث علمی فراهم آورده و از این طریق سبب هرچه روشن‌تر شدن



نقش بی‌بدیل و حیاتی علم به‌عنوان بخش لاینفکی از فرهنگ در جامعه گردیدند مراتب تقدیر و تشکر فراوان را به عمل  
بیاورم."

کارل روولی



@Science\_And\_Philosophy1

@arian\_xboy



## درس ۱: زیباترین نظریه

آلبرت انشتین در دوران نوجوانی خود یک سال تمام را به بطالت گذراند! حقیقت تلخی که اغلب والدین در مورد فرزند نوجوانشان فراموش می‌کنند این است که "یک نوجوان اگر اتلاف وقت نکند در آینده به هیچ توفیقی دست نخواهد یافت." انشتین در شهر پائویا به سر می‌برد؛ او از آنجا که دیگر تحمل سخت‌گیری‌های دبیرستان محل تحصیلش در آلمان را نداشت مدرسه را رها کرده و به خانواده‌اش در ایتالیا ملحق شده بود. سال‌های آغازین قرن بیستم بود و ایتالیا در اوایل انقلاب صنعتی خود به سر می‌برد. پدر انشتین مهندس بود و در اندیشه نصب و راه‌اندازی اولین نیروگاه برقی در دشت‌های پادوا سخت مشغول کار. آلبرت از کانت می‌خواند و گاه‌گذاری محض انبساط خاطر در کلاس‌های درس دانشگاه پائویا حضور می‌یافت، بدون آنکه رسماً دانشجوی آنجا بوده باشد، بدون ترس از امتحانات پایان ترم. آری، گویا سرشت دانشمندان بزرگ این‌گونه باید باشد.

پس از مدتی انشتین در مؤسسه پلی تکنیک زوریخ ثبت‌نام کرد و بعد از آن، غرق در مطالعه فیزیک شد. چند سال بعد، یعنی در سال ۱۹۰۵ او سه مقاله به یکی از معتبرترین ژورنال‌های علمی آن زمان با نام "سالنامه فیزیک" ارسال کرد، مقاله‌هایی که امروزه هریک از آنها به‌تنهایی مستحق دریافت جایزه نوبل است. نخستین مقاله اثبات می‌کند که اتم‌ها واقعاً وجود دارند. مقاله دوم پایه‌های مکانیک کوانتوم را بنا می‌نهد، که در درس بعدی به شرح آن خواهیم پرداخت. و مقاله سوم نظریه نسبیت انشتین را، که امروزه با نام "نسبیت خاص" شناخته می‌شود، معرفی می‌کند. این نظریه توضیح می‌دهد که چگونه زمان می‌تواند برای هر فردی به‌گونه‌ای متفاوت سپری شود؛ به‌طور مثال اگر دو شخص را که هردو در یک زمان به دنیا آمده‌اند در نظر بگیریم، در صورتی که یکی از آن دو، سرعت‌های بسیار بالا را پیموده باشد دیگر سن آنها باهم برابر



نخواهد بود.

این چنین بود که انشتین ۲۶ ساله یک‌شبه به دانشمندی پرآوازه تبدیل شد و از دانشگاه‌های مختلف پیشنهادهای همکاری بود که به‌سوی او سرازیر می‌شد. اما یک چیز فیزیکدان جوان را آزار می‌داد. نظریه نسبیت او با اینکه از همان ابتدا تحسین همگان را برانگیخته بود، با آنچه که امروزه ما از نیروی گرانش، یعنی نیرویی که موجب سقوط اجسام به سطح می‌شود، میدانیم همخوانی نداشت. انشتین زمانی متوجه این امر شد که مشغول نوشتن مقاله‌ای به‌عنوان خلاصه‌ای از نظریه نسبیت خود بود. او ابتدا به این فکر افتاد که شاید قانون گرانش جهانی که توسط پدر علم فیزیک، آیزاک نیوتن، تدوین شده بود به منظور اینکه با مفهوم جدید نسبیت سازگار شود نیاز به اصلاح و بازبینی داشته باشد. باری این مسئله به شدت ذهن انشتین را به خود مشغول ساخت. حل چنین معمایی برای آلبرت ده سال به طول انجامید؛ ده سال مطالعه بی‌وقفه، ده سال تلاش بی‌ثمر، ده سال آزمون و خطا، ده سال سردرگمی، و اشتباه و یأس و مقالات و ایده‌های اشتباه و ایده‌های هوشمندانه و باز ایده‌های اشتباه.

سرانجام در نوامبر سال ۱۹۱۵ انشتین در پی انتشار مقاله‌ای راه‌حل نهایی این معمای ده‌ساله را به جهانیان عرضه کرد. این مقاله دربردارنده نظریه گرانشی جدید او بود که انشتین آن را "نظریه نسبیت عام" نام نهاد؛ شاهکار انشتین و به گفته لو لاندائو، فیزیکدان برجسته روسی، "زیباترین نظریه".

شاهکارهای تمام عیاری در جهان وجود دارند که هرکدام به نوبه خود روح آدمی را به وجد می‌آورند، رکوئیم مرگ موتسارت، ادیسه هومر، کلیسای سیستین میکل آنژ، شاه لیر شکسپیر و ... .

درک کامل از عیار و ارزش هریک از این آثار اگرچه مستلزم تلاش فراوان است، پاداش آن تجربه‌ی یک زیبایی مطلق خواهد



بود، علاوه بر این، چشمان ما را هم به روی دورنمایی نو از جهان هستی باز می‌کند. نظریهٔ نسبیت عام انشتین، این نگین همواره درخشان در علم فیزیک، نیز بدون شک شاهکاریست از همین دست و از همین جرگه.

شور و هیجانی که برای بار نخست پس از درک تنها گوشه‌ای از این نظریه در من به وجود آمد را همواره به خاطر می‌آورم. فصل تابستان بود و من دانشجوی سال آخر دانشگاه بودم. آن روزها در یکی از سواحل کندفوری واقع در منطقهٔ کالابریا، زیر شعله‌های طلایی‌رنگ آفتاب داغ مدیترانه‌ای مشغول گذراندن تعطیلات تابستانی بودم. از آنجا که به عقیدهٔ من اگر قوانین و باید و نبایدهای دانشگاه از سرآمد کم شود، هرکسی می‌تواند بهترین نوع و کیفیت مطالعه را از خود نشان دهد، لذا آن روز با فراغ خاطر در حال مطالعه کتابی بودم که موش‌ها گوشه‌هایش را حسابی جویده و خورده بودند؛ در نزدیکی محل استراحتگاه من یک لانهٔ موش چند ساله و مخروبه وجود داشت و از شما چه پنهان من شب‌ها از این کتاب برای مسدود کردن دهانه لانهٔ موش‌ها استفاده می‌کردم. حین مطالعه هرزگاهی چشم‌هایم را از کتاب برمی‌داشته و پهنه درخشان دریا را تماشا می‌کردم. آن لحظه چنین به نظر آمد که گویی داشتم به خمیدگی فضا زمان که انشتین متصور شده بود نگاه می‌کردم. انگار جادو شده بودم، مثل این بود که یک صدای آشنا داشت حقیقتی شگفت‌انگیز اما نهفته را در گوشم زمزمه می‌کرد. مثل این بود که ناگهان پرده‌ای از مقابل چشمانم برداشته شد و واقعیت جهان به ترتیبی ساده‌تر و البته ژرف‌تر بر من نمایان گشت.

از زمانی که ما انسان‌ها پی برده‌ایم که زمین گرد است و همچون یک دستگاه نخ‌ریسی شب و روز دیوانه‌وار به دور خود می‌چرخد، از آن زمان بر ما مسلم شده است که واقعیت آن چیزی نیست که در ظاهر می‌نماید، و هر بار که ما یک نظر جلوه‌ای جدید از آن را می‌بینیم صاحب یک تجربه بسیار هیجان‌انگیز می‌شویم و به این ترتیب پرده‌ای دیگر از مقابل چشم‌هایمان برداشته می‌شود.



اما از میان همهٔ پیشرفت‌هایی که ما انسان‌ها از ابتدای تاریخ تا به امروز در جهت تعالی دانش بشری به دست آورده‌ایم سهم انشتین احتمالاً بیش از همه است. چرا؟

نخست به این دلیل که وقتی از نحوهٔ کارکرد نظریهٔ او آگاهی یابید، متوجه خواهید شد که این نظریه تا چه حد بدیهی و قابل فهم است. بنابراین لازم می‌بینم ابتدا خلاصه‌ای از آن را تقدیم نمایم.

نیوتن کوشیده بود تا چرایی سقوط اجسام به سطح زمین و نیز علت چرخش سیاره‌ها را توجیه کند؛ او وجود نوعی نیرو را متصور شده بود که تمام اجسام مادی را به سمت خود می‌کشد و آن را "نیروی گرانش" نامید. اینکه چطور این نیرو میان اجسامی با فاصله‌های بسیار دور از هم اعمال می‌شد، بدون آنکه چیز قابل مشاهده‌ای دال بر وجود آن میان این اجسام وجود داشته باشد هنوز ناشناخته بود. گویا اکنون دیگر زمان آن بود که پدر علم نوین فرضیه‌ای برای حل این معما ارائه دهد. نیوتن همچنین متصور شده بود که اجسام در فضا در حرکتند و اینکه فضا همچون ظرفی بزرگ و توخالی است که ساختاری نه‌ایست عظیم جهان را در خود جای داده است، جهانی که در آن تمامی اجسام به جلو در حرکتند تا زمانی که نیرویی آنها را مجبور به دور زدن از مسیرشان کند. اما اینکه خود فضا از چه ساخته شده است همچون رازی سر به مهر می‌نمود که حتی نیوتن نیز از حل آن عاجز بود. با این حال چند سال پیش از تولد انشتین دو فیزیکدان معروف بریتانیایی به نام‌های "مایکل فارادی" و "جیمز ماکسول" موفق شدند به جهان سرد و ناقص نیوتن یک جزء حیاتی دیگر بیفزایند؛ میدان الکترومغناطیسی.

میدان الکترومغناطیسی یک موجودیت واقعیست که در همه جای فضا پراکنده می‌باشد، این میدان حامل امواج رادیویی بوده و فضا را از خود پر کرده است. میدان الکترومغناطیسی همچنین قادر است همانند سطح آب رودخانه به نوسان درآید



و به این طریق نیروی الکتریکی را حمل و منتقل کند. انشتین از همان دروان نوجوانیش شیفته و محسور این کشف بزرگ بود، از طرفی این دستاورد موجب تحول عظیمی در گردنده‌های نیروگاه برقی پدرش نیز شده بود. باری دیری نپایید که انشتین جوان به این نکته پی برد که برای نیروی گرانش نیز، همانند نیروی الکتریسیته، باید یک نوع میدان خصوصی وجود داشته باشد که این نیرو را در فضا به حرکت درآورد؛ یک نوع "میدان گرانشی" شبیه به میدان مغناطیسی باید وجود داشته باشد. این شد که او عزم خود را جزم نمود تا از نحوه کارکرد میدان گرانشی و اینکه چگونه می‌توان از طریق معادلات آن را توجیه کرد سردر بیاورد. در همین زمان بود که ناگهان یک ایده شگفت‌انگیز همچون جرقه‌ای به ذهن نابغه انشتین خطور کرد؛ میدان گرانشی در فضا پراکنده نیست، بلکه میدان گرانشی خود فضا است. ایده شگرفی که امروزه آن را با نام "نظریه نسبیت عام انشتین" می‌شناسیم.

فضایی که نیوتن متصور شده بود، فضایی که اجسام درون آن در حرکتند، و ایده میدان گرانشی در حقیقت دو نام متفاوت برای یک ماهیت واحد هستند. و اینک بی‌تردید همان زمان روشنگریست، همان بزنگاه مهم که جهان رها از ابهام می‌شود. فضا، دیگر چیزی جدای از ماده نیست بلکه خود این فضا نیز اکنون یکی از اجزای سازنده جهان به شمار می‌آید. فضایی که به نوسان درمی‌آید، خم می‌شود، می‌پیچد و تاب می‌خورد. در واقع آن شالوده‌ای که سرتاسر عالم هستی را احاطه کرده است نه یک ساختار سخت و طبقه‌بندی شده بلکه ماهیتیست رام، آرام و به غایت انعطاف‌پذیر.

خورشید فضای اطراف خود را خم می‌کند، اما اینکه چرا زمین به دور این فضای منحنی می‌چرخد بی‌شک به خاطر وجود نیرویی اسرارآمیز نیست بلکه زمین در حال طی کردن مسیر مستقیم خود در یک فضای منحنی است، دقیقاً مانند تپله‌ای که داخل یک قیف به حرکت درمی‌آید. برای به حرکت درآمدن تپله هیچ نیروی جادویی در مرکز قیف تولید نمی‌شود بلکه این خاصیت منحنی شکل دیواره‌هاست که موجب چرخش تپله در فضای داخل قیف می‌گردد؛ سیاره‌ها به دور خورشید



می‌چرخند و اجسام به سطح زمین سقوط می‌کنند، تنها به این دلیل که فضا منحنی است.

اما چگونه می‌توان منحنی بودن فضا (خمش فضا) را توضیح داد؟ کارل فردریش گاوس، برجسته‌ترین ریاضیدان قرن نوزدهم که به او لقب "شاهزاده ریاضیات" نیز داده‌اند، با ابداع چند فرمول ریاضی سعی بر آن داشت تا سطوح دو بعدی موجی شکل مانند سطح تپه را توضیح ریاضی دهد. بعدها گاوس از یکی از شاگردان مستعد خود بنام برنهارد ریمان خواست تا نظریه او را به گونه‌ای تعمیم و گسترش دهد که فضاهای دارای سه بعد و حتی بیشتر را نیز شامل شود. اما آنچه ریمان با عنوان توصیف فضاهای چندبعدی ارائه داد به نظر ضایع و بی‌فایده می‌نمود. چنانچه از نتایج این فرضیه برآمد، ویژگی‌های یک فضای منحنی در سلطه معادله‌ای ریاضی قرار دارد که امروزه آن را با نام "انحنای ریمان" می‌شناسیم و با حرف  $\mathcal{R}$  نمایش داده می‌شود. سپس انشتین معادله‌ای نوشت و در آن ابراز داشت که  $\mathcal{R}$  برابر با انرژی ماده است، بدین معنا که هر جا ماده باشد فضا نیز خم می‌شود. به همین سادگی!

فرمول کامل این معادله کوتاه را می‌توان در یک نصف خط نوشت، و دیگر بیشتر از این چیزی نیست.

باری این تصور که فضا خم می‌شود اکنون به یک معادله ریاضی تبدیل شده بود. اما در چنین معادله کوتاهی بی‌شک جهانی عظیم نهفته است، و اینجاست که غنای شگفت‌آور این نظریه یک سلسله حدسیات درهم‌آمیخته‌ای را به دنبال می‌آورد که در ابتدا همچون هذیان‌گویی‌های فرد دیوانه‌ای می‌نماید، اما به ناگاه چنین هویدا می‌شود که همگی صحیح و موثق بوده‌اند.

ابتدائاً این معادله توضیح می‌دهد که چگونه فضا در اطراف یک ستاره (خورشید) خم می‌شود، و از قبل همین خمش است که نه تنها سیاره‌ها به دور خورشید می‌چرخند بلکه نور نیز چون به این انحنا برسد از مسیر مستقیم خود منحرف می‌شود.





انشتین این‌گونه پیش‌بینی کرده بود که خورشید عامل چنین خمشی در مسیر نور است. در سال ۱۹۱۹ این خمش نور اندازه‌گیری شد و به تبع آن پیش‌گویی انشتین نیز به حقیقت پیوست. اما پدیده خمش تنها محدود به فضا نیست، بلکه زمان نیز خم می‌شود.

براساس پیش‌بینی‌های انشتین، زمان در نواحی مرتفع به نسبت سریع‌تر از نواحی نزدیک به سطح زمین درگذر است. این دیگر پیش‌گویی او نیز پس از انجام محاسبات لازمه موثق و درست از کار درآمد. بنابراین اگر فردی در سطحی نزدیک به سطح دریا زندگی کند و پس از مدتی برادر دوقلوی خود را که در ارتفاعات کوهستان زندگی می‌کرده ملاقات کند متوجه خواهد شد که سن برادر کوه‌نشین او اندکی بیشتر است، چرا که زمان در ارتفاعات نسبت به سطح زمین، اندکی کندتر سپری می‌شود. اما این تازه شروع کار این معادله است؛ وقتی یک ستاره بزرگ تمام ماده سوختنی خود را، که هیدروژن باشد، به مصرف برساند عمر ستاره به پایان می‌رسد، زیرا چیزی که از آن باقی‌مانده دیگر توسط گرمای حاصل از احتراق قابل حمل نیست و ستاره در نتیجه وزنش متلاشی می‌شود، این تلاشی آن‌قدر ادامه می‌یابد تا لاشه ستاره فضا را تا جایی خم کند که تشکیل یک چاله واقعی را بدهد، و این‌ها همان "سیاه‌چاله‌های" معروف هستند. زمانی که در دانشگاه بودم سیاه‌چاله‌ها را چیزی جز پیش‌گویی‌های عجیب یک نظریه مبهم نمی‌پنداشتند، اما امروزه صدها مورد از آنها در آسمان مشاهده شده‌اند که جزئیاتشان توسط ستاره‌شناسان به دقت در دست مطالعه است. لیکن این پایان ماجرا نیست؛ تمامی فضا قابلیت منبسط و منقبض شدن دارد، بعلاوه معادله انشتین نیز ثابت می‌کند که فضا نمی‌تواند ساکن بماند و باید مدام در حال انبساط و گسترش باشد. و در سال ۱۹۳۰ بود که انبساط جهان به عینه مشاهده شد. بر طبق همین معادله پیش‌بینی می‌شود که این انبساط باید توسط انفجار یک جهان نورسته، بسیار کوچک اما بسیار داغ ایجاد شده باشد. انفجاری که امروزه با نام "مهبانگ" شناخته می‌شود.



یک بار دیگر می‌گوییم؛ در ابتدا هیچ کس باورش هم نمی‌شد. تا اینکه نشانه‌ی صدق این پیش‌گویی در افق نمایان گشت و تابش پرتویی اندک از چشم‌انداز کیهانی در آسمان مشاهده شد. اشاعه‌ی نور خیره‌کننده‌ای که برجای مانده از گرمای انفجار بزرگ بود. این شد که تمامی پیش‌گویی‌های برخاسته از معادله‌ی انشتین به حقیقت پیوست. و هنوز هم این معادله مدعیست که فضا همانند سطح دریا پیوسته در حرکت است، چراکه تأثیرات امواج گرانشی را می‌توان، دقیقاً مطابق با آنچه در معادله ذکر شده، در آسمان و بر روی ستاره‌های دوتایی مشاهده کرد. هم این خود دلیلی بر این مدعاست که صحت و دقت بی‌نظیر معادله‌ی انشتین حقیقتی ست انکارناپذیر.

در مجموع، این نظریه‌ی خارق‌العاده‌ی علمی پر جنب و جوش و حیرت‌انگیز را تصویر می‌کند که جهان‌هایش مدام در حال منفجر و تکه‌تکه شدن هستند و فضایش پیوسته در حال فروریزی و تشکیل چاله‌های عمیق فضاییست. عالمی به غایت مرموز که در آن حتی مفهوم زمان نیز از گوشه‌ای به گوشه دیگر متفاوت است و فضاها بی‌کران میان ستاره‌هایش همچون سطح دریا پیوسته در نوسان و در حرکتند. و همه این‌ها، همه این افسانه‌ی گونه‌های اسرارآمیزی که من کلمه به کلمه از همان کتاب جویده شده و پاره‌ام می‌خواندم هرچه بود بی‌شک نتیجه‌ی خیال‌بافی‌ها و توهمات یک دیوانه و یا هذیان بینی‌های خودم در زیر آفتاب داغ و مقابل دریای محسور کننده‌ی آن روز نبود. واقعیت بود؛ آری؛ واقعیت، یا بهتر است بگوییم پرتویی از واقعیت؛ چیزی که دست کم از آنچه ما هر روز مقابل چشمان خود می‌بینیم دقیق‌تر و موشکافانه‌تر است. واقعیتی شگرف که گویی از جنس همان رؤیابافی‌ها و خیال‌پردازی‌های ما انسان‌هاست. لیکن واقعیت بود و رؤیا و خیال نبود.

همه‌ی آنچه که نقل کردم نتیجه‌ی یک شهود ساده بود؛ اینکه فضا و میدان گرانشی یک ماهیت واحد است، و نیز نتیجه‌ی آشنایی با یک معادله‌ی ساده که هرچه کردم نتوانستم خود را از ذکر آن در این مقاله باز دارم؛



$$R_{ab} - \frac{1}{2} R g_{ab} = T_{ab}$$

این هم از این.

اگرچه اغلب مردم از حل و فصل آن عاجزند اما هر بیننده‌ای در همان نگاه اول به سادگی و صراحت حیرت‌انگیز آن معترف است. به منظور آشنایی با نحوه خوانش و به‌کارگیری این معادله لازم است خواننده ابتدا ریاضیات ریمان را مطالعه و هضم نماید، که این خود مستلزم اندکی تلاش و قبول زحمت از جانب ایشان است. اگرچه تلاشی که برای فهم این معادله ساده مورد نیاز است قطعاً کمتر از زحمت درک یک قطعه موسیقی بتهوون به نظر می‌رسد، لیکن ثمره چنین قبول زحمتی نیز، همان‌گونه که قبل‌تر اشاره شد، تجربه یک زیبایی مطلق و برخورداری از نحوه نگرشی نو به عالم هستی خواهد بود.

## درس ۲: کوانتوم‌ها

پایه‌های علم فیزیک در قرن بیستم، یعنی نظریه نسبیت عام، که در درس پیش به صحبت گذاشته شد و مکانیک کوانتوم، که موضوع مورد بحث درس حاضر است، چندان متفاوت از هم نیستند؛ هر دو نظریه به ما می‌آموزند که ساختار شگرف جهان هستی بسیار ظریف‌تر و هوشمندانه‌تر از آن چیزی است که در ظاهر می‌نماید. با این حال نظریه نسبیت عام همچون جواهریست یکدست که به ذهن یک نابغه بنام آلبرت اینشتین خطور کرد. این نظریه مکاشفه‌ای منسجم و مبرهن از نیروی گرانش، فضا و زمان است. مکانیک کوانتوم یا نظریه کوانتوم اما، در مقایسه با نسبیت عام، توفیقی باورنکردنی در حوزه تجربی به دست آورد که موجب پیدایش تجهیزات بسیاری (از جمله رایانه‌ای که اکنون پیش روی من قرار دارد) گردید و به این ترتیب زندگی روزمره بشر را به کلی دگرگون ساخت. با این وجود، اکنون پس از گذشت بیش از یک قرن از کشف مکانیک کوانتوم، این علم همچنان در هاله‌ای از ابهام و نامفهومی قرار دارد. گفته می‌شود تاریخ دقیق پیدایش این شاخه از علم فیزیک سال ۱۹۰۰ میلادی بوده است. یعنی درست زمانی که جهان بیشترین متفکران را در خود می‌پروراند.

در همین سال بود که ماکس پلانک فیزیکدان آلمانی و برنده جایزه نوبل ۱۹۱۸ دست به انجام آزمایشی زد تا بدین واسطه میدان الکتریکی در حالت تعادل را درون یک جعبه داغ محاسبه کند. پلانک به منظور پیشبرد آزمایش خود ترفندی را به کار بست؛ او چنین متصور شد که انرژی میدان الکتریکی به صورت کوانتا، یعنی تکه‌ها و بسته‌هایی کوچک در فضا پراکنده می‌شود و برای اطمینان خاطر، آزمایش خود را چندین بار دیگر تکرار نمود. اگرچه نتایج و یافته‌های آزمایش او کاملاً موثق و قابل اطمینان به نظر می‌رسید، با اصول و قوانین رایج آن زمان به هیچ وجه همخوانی نداشت.



تا آن زمان چنین تصور می‌شد که انرژی ماهیتی پیوسته در حال تغییر و نوسان است و به همین دلیل محتمل نبود که برای آن عنصر سازنده‌ای متصور شد؛ حتی خود پلانک نیز از اهمیت آنچه کشف کرده بود به‌طور کامل آگاهی نداشت و این ادعای خود را صرفاً یک حقه محاسباتی می‌پنداشت. اما پنج سال بعد، این آلبرت انشتین بود که بار دیگر نبوغ خود را به رخ جهانیان کشید و پی برد که "بسته‌های انرژی" واقعاً وجود دارند. انشتین اثبات کرد که نور از بسته‌ها و ذره‌های نور تشکیل شده است. امروزه این ذرات سازنده نور با نام "فوتون" شناخته می‌شوند. او در مقدمه مقاله خود می‌نویسد:

"چنین به نظرم می‌رسد که یافته‌های مربوط به تابش جسم سیاه، فلئورسانس، تولید اشعه‌های کاتود به وسیله نور فرابنفش و دیگر پدیده‌های مرتبط با انتشار و انتقال نور قابل فهم‌تر خواهند بود اگر چنین تصور کنیم که انرژی نور به‌صورت ناپیوسته در فضا پراکنده می‌شود. با فرض صدق چنین تصویری، انرژی پرتو نور که از یک چشمه نور ساطع می‌گردد در یک فضای در حال گسترش به‌صورت پیوسته و لاینقطع پخش نمی‌شود. بلکه این پرتو نور متشکل از تعداد محدودی بسته‌های انرژی است که در نقاط خاصی از فضا قرار دارند و بدون آنکه به واحدهای کوچک‌تری تقسیم شوند و تنها به شکل بسته‌هایی با اندازه‌های مشخص قابل انتقال، تولید و یا جذب هستند."

این جملات ساده و بی‌تکلف از زبان انشتین در حقیقت نقطه شروع تحولی عظیم با عنوان "نظریه کوانتوم" بود. جمله آغازین این رساله "چنین به نظرم می‌رسد که..." یادآور مقدمه نظریه تکامل گونه‌هاست، آنجا که داروین در دفترچه کوچک خود نوشت "این گونه فکر می‌کنم که..."؛ ترید و تأملی از جنس آنچه که در کلام مایکل فارادی بزرگ نیز، زمانی که نخستین بار ایده ناب میدان مغناطیسی خود را به جهان معرفی کرد، می‌توان جست. همه این‌ها گویای این حقیقت است که "نوابغ تأمل می‌کنند". آری، گویا به راستی سرشت دانشمندان بزرگ این گونه باید باشد.



در بادی امر یافته‌های انشتین جوان در نظر هم‌قطارهایش چیزی جز یاوه بافی‌های بچگانه‌ی یک ذهن کنجکاو نمی‌نمود، حال آنکه همین ایده به ظاهر مهمل بعدها چنان مهم و معتبر شد که توانست برای وی جایزه نوبل را به ارمغان بیاورد. اگرچه ایده اولیه مکانیک کوانتوم را ماکس پلاک آلمانی ارائه کرد، اما بدون شک پردازنده و پرورش‌دهنده آن، ذهن نابغه انشتین بود.

با این حال، همچون دیگر نتایج به دست آمده، این نظریه نیز چنان پیش رفت که حتی توسط خود انشتین نیز ناشناخته ماند.

در سال ۱۹۱۳ نیلز بور، فیزیکدان دانمارکی آغازگر شکوفایی و تکوینی بنیادین در نظریه مکانیک کوانتوم شد. بور چنین نتیجه گرفت که انرژی الکترون‌ها در اتم، همانند انرژی نور که پیش‌تر مورد بحث واقع شد، در مقادیر کوانتایی مشخصی قرار می‌گیرد و مهم‌تر اینکه این الکترون‌ها تنها قادرند با انرژی‌های ثابتی و از طریق جذب یا نشر فوتون‌هایی با بسامدهای مشخص بین مدارهای اتمی جهش کنند؛ و این‌ها همان "جهش‌های کوانتومی" معروف هستند.

باری در پی این یافته‌های نوین، گروهی از خبره‌ترین نوابغ قرن در مؤسسه نیلز بور در کپنهاگ دانمارک گرد هم آمدند تا با مطالعه و بررسی رفتار اتم و نیز یافتن نظم و ترتیبی برای جنبه‌های آشفته آن به خلق یک نظریه روشن و منسجم در این خصوص نایل آیند.

سرانجام در سال ۱۹۲۵ معادله‌ای برای نظریه مکانیک کوانتوم نگاشته شد که به نوعی جایگزینی برای تمامی مکانیک نیوتونی محسوب می‌شد.



تصور دستاوردی بالاتر از این ممکن نبود. تنها با کمک یک معادله ساده همه چیز منطقی به نظر می‌رسد و می‌توان هر چیزی را محاسبه کرد. به عنوان مثال جدول تناوبی عناصر که توسط مندلیف اختراع شد را به خاطر بیاورید. این جدول دربردارنده تمام مواد بنیادین سازنده جهان، از هیدروژن تا اورانیوم، می‌باشد که امروزه تقریباً بر دیوار تمامی کلاس‌های درس در سرتاسر جهان آویزان شده است. اینکه چرا دقیقاً چنین عناصری با چنین ویژگی‌های مشخصی در جدول تناوبی مندلیف گنجانده شده‌اند و نیز چرا این جدول دارای چنین ساختاری با چنین تناوب‌های بخصوصی می‌باشد، همگی به این دلیل است که هر عنصر در این جدول به نحو خاصی با یکی از راه‌حل‌های معادله اصلی مکانیک کوانتوم مطابقت و همخوانی دارد. باری تمامی دانش شیمی برخاسته از یک معادله فیزیک بوده است.

اولین کسی که معادله‌های نظریه جدید را براساس ایده‌های آشفته موجود در آن زمان به نگارش درآورد ورنر هایزنبرگ، فیزیکدان جوان و نابغه آلمانی بود. او چنین متصور شده بود که الکترون‌ها وجود ندارند مگر زمانی که کسی یا چیزی نظاره‌گر آنها باشد، یا به عبارتی، زمانی که در کنش و فعل و انفعال با چیز دیگری باشند. به عقیده هایزنبرگ الکترون‌ها در یک مکان، تنها زمانی، با یک احتمال قابل محاسبه، ظهور می‌یابند که در برخورد با چیز دیگری قرار گیرند. در واقع جهش‌های کوانتومی از یک مدار به مدار دیگر تنها چیزی است که به الکترون‌ها ماهیت واقعی بودن را می‌دهد، چرا که الکترون یعنی مجموعه‌ای از همین جهش‌ها از یک واکنش متقابل به واکنش متقابل دیگر.

مادامی که الکترون با چیزی در برخورد و تعامل نباشد، مشاهده مکان دقیق آن در مدار ممکن نخواهد بود و به سخن دیگر، الکترون را اصلاً در هیچ مکانی یافت نمی‌توان کرد.

گویی خداوند هیچ‌گاه مرزی مشخص برای حقیقت ترسیم ننموده و تنها با تسلیم طرحی کلی و رمزآلود از آن، ذهن کنجکاو



بشر را همواره به کشف قطعه‌های گمشده این معمای بزرگ فرمان داده است. در مکانیک کوانتوم هیچ چیز دارای جایگاهی قطعی و مشخص نیست تا زمانی که بدون پیروی از الگویی خاص با چیز دیگری برخورد و تصادف داشته باشد. به منظور توصیف چنین فرآیندی بین دو واکنش متقابل، ما از یک فرمول انتزاعی ریاضی که نه در فضای حقیقی بلکه تنها در فضای انتزاعی ریاضیات موجودیت دارد بهره می‌گیریم. با این حال قضیه پیچیده‌تر از این حرف‌هاست! زیرا این جهش‌های برهم‌کنشی که هر جسمی به واسطه آنها از یک مکان به مکانی دیگر به حرکت درمی‌آید طبق الگویی مشخص و قابل پیش‌بینی به وقوع نمی‌پیوندند بلکه اغلب به صورت تصادفی رخ می‌دهند. بنابراین غیرممکن است بتوان به‌طور قطعی پیش‌بینی کرد که یک الکترون کجا ممکن است مجدداً ظهور یابد، لیکن احتمال وقوع این پدیده را می‌توان محاسبه نمود.

این چنین بود که مسئله عدم قطعیت در بطن علم فیزیک رسوخ کرد و همه آنچه که از منظر این علم به واسطه قوانینی مستحکم، جهانی و لایتغیر سامان داده شده بودند را به چالش کشاند.

آیا گفته‌های هایزنبرگ در خصوص اصل عدم قطعیت مضحک و نامعقول به نظر می‌رسد؟ انشتین چنین تصویری داشت؛ او از یک طرف هایزنبرگ را مستحق دریافت جایزه نوبل می‌دانست چراکه معتقد بود این فیزیکدان جوان به مسئله‌ای بنیادین در مورد جهان هستی پی برده است، و از طرف دیگر پیوسته نسبت به اینکه یافته‌های وی خلاف عقل و منطق هستند شکایت می‌کرد.

باری شیرهای جوان گروه کپنهاگ مضطرب و نگران بودند؛ چطور ممکن است انشتین چنین تصویری داشته باشد؟ مردی که وجودش مایه دلگرمی افراد گروه بود و همواره با شجاعت تمام به غیرممکن‌ها می‌اندیشید اکنون گویی عقب‌نشینی





کرده و از این خیزش جدید به‌سوی دنیای ناشناخته‌ها که خود او آغازگرش بوده می‌هراسد. آری، همان نابغه‌ای که به جهان ثابت کرد زمان ماهیتی متغیر است و فضا خم می‌شود حالا چنین می‌گوید که جهان هستی نمی‌تواند تا این اندازه که هایزنبرگ ادعا می‌کند غریب و شگفت باشد.

نیلز بور صبورانه ایده‌های جدید را به انشتین توضیح می‌داد، اما انشتین زیر بار نمی‌رفت. سپس او آزمایش‌هایی ذهنی ابداع کرد تا بدین‌وسیله نشان دهد که این ایده‌های نوظهور با یکدیگر در تناقضند؛ "یک جعبه پر از نور را تصور کنید، برای لحظه‌ای ما به یک تک فوتون اجازه می‌دهیم که از این جعبه نور خارج شود..." به این ترتیب یکی از معروف‌ترین الگوهای انشتین با نام "آزمایش ذهنی جعبه نور" پدید آمد. از آن پس نیلز بور همواره در پی یافتن پاسخی برای این مسئله بود تا از این طریق ناصحیح بودن مخالفت‌های انشتین را به او اثبات کند.

برای سال‌های متمادی گفتگو و تبادل نظر میان این دو دانشمند به شیوه‌های مختلف از جمله ایراد سخنانی‌ها، نامه‌نگاری‌ها و ارائه مقالات ادامه یافت.

در نهایت لازم بود هر دو طرف از ادعاهای خود دست برداشته و اندیشه‌های خود را تغییر دهند؛ انشتین باید می‌پذیرفت که در واقع هیچ‌گونه تناقضی میان ایده‌های جدید وجود ندارد، از طرفی نیلز بور نیز می‌بایست اعتراف می‌کرد که مسائل به سادگی آنچه او در ابتدا تصورش را می‌کرد نیستند. با این حال انشتین گویی به هیچ قیمتی حاضر نبود عقیده خود را در مورد آنچه به‌عنوان موضوع محوری شناخته بود تغییر دهد؛ اینکه هیچ حقیقت عینی که مستقل از طرف‌های تعامل کننده آن باشد وجود ندارد. همچنین بور نیز صحت و اعتبار نظریه جدید را که شیوه کاملاً نوینی در مفهوم‌سازی واقعیت ارائه می‌داد کاملاً بدیهی و موثق می‌دانست.



سرانجام انشتین پذیرفت که نظریهٔ مکانیک کوانتوم گامی بزرگ در جهت شناخت انسان از عالم هستی بوده است اما همچنان مصر بود که جهان تا این اندازه که این نظریه پیشنهاد می‌کند عجیب نیست و اینکه در پس چنین نظریه‌ای توضیح و توجیهی منطقی‌تر باید وجود داشته باشد.

و امروز پس از گذشت یک قرن، ما هنوز در همین مرحله از شناخت نسبت به مکانیک کوانتوم قرار داریم.

معادلهٔ مکانیک کوانتوم و تأثیرات آن همه روزه در حوزه‌ها و رشته‌های مختلف توسط فیزیکدانان، مهندسان، شیمی‌دانان و زیست‌شناسان به‌طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد. این نظریه همچنین در جنبه‌های مختلف فناوری نوین امروز دارای کاربردهای بی‌شمار است. بدون مکانیک کوانتوم ترانزیستورها نیز وجود نمی‌داشتند. با این حال نظریه مذکور همچنان اسرارآمیز باقی‌مانده است. چرا که این نظریه نه آنچه که برای یک سازگان فیزیکی اتفاق می‌افتد بلکه تنها قادر است نحوهٔ تأثیر آنها بر یکدیگر را توضیح دهد.

معنای این گفته‌ها چیست؟ اینکه ذات و اصالت واقعیت در یک سازگان چیست غیرقابل توضیح به چه معناست؟ آیا می‌توان چنین ادعا کرد که ما تنها یک قطعهٔ گمشده از این پازل را کم داریم. و یا، آن‌گونه که به نظر من نیز می‌رسد، ما باید بپذیریم که واقعیت صرفاً زادهٔ تأثیر و تعامل متقابل می‌باشد؟ دانش بشری هر لحظه در حال پیشرفت است و این به ما امکان می‌دهد تا دست به انجام کارهایی بزنیم که قبلاً حتی تصورش هم در خیالمان نمی‌گنجید.

اما همین پیشرفت به نوبهٔ خود موجب خلق موضوعات و نیز معماهای جدید شده است. اگر چه افرادی که در آزمایشگاه‌های مختلف در سرتاسر جهان همه روزه از معادله‌های نظریهٔ کوانتوم بهره می‌گیرند، هیچ یک به جنبه‌های ناشناختهٔ آن اعتنایی ندارند، اما در مقالات و همایش‌هایی که در سال‌های اخیر تعدادشان نیز بسیار زیاد بوده است،





فیزیکدان‌ها و فلاسفه همچنان به تحقیق در این باره مشغول بوده و هستند. آنها در پی یافتن پاسخ برای سؤالاتی می‌باشند که سال‌هاست بی‌جواب مانده‌اند، از جمله اینکه مکانیک کوانتوم، که اکنون بیش از صدسال از عمرش می‌گذرد، واقعاً چیست؟ یک خیزش بلند به‌سوی عالم واقعیت؟ یک اشتباه بزرگ که برحسب اتفاق کارگر افتاده است؟ قطعه‌ای از یک پازل نیمه تمام؟ و یا یک سرنخ به‌سوی حقیقتی ژرف و عظیم در مورد جهان، که ما هنوز به‌خوبی آن را درک و هضم نکرده‌ایم؟

پس از مرگ انشتین، جدی‌ترین رقیب او، نیلز بور، در خطابه‌ای به تحسین و تمجید از این دانشمند بزرگ پرداخت. و چند سال بعد، زمانی که بور نیز درگذشت، تصویری از اتاق مطالعه او منتشر شد که بر روی تخته سیاهش یک نقاشی کشیده شده بود؛ طرحی از جعبه نور انشتین...!

باری تا آخرین لحظه همواره عطش مبارزه و کسب هرچه بیشتر دانش، و تا آخرین لحظه همچنان مردد.

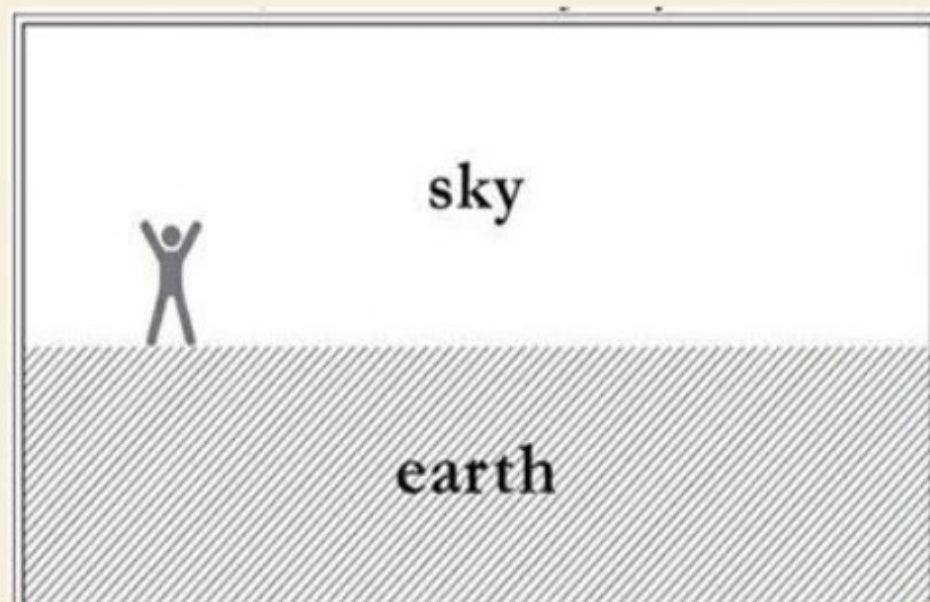


## درس ۳: معماری کائنات

در نیمهٔ نخست قرن بیستم، درحالی که انشتین نحوه‌های کارکرد تئوری فضا-زمان را شرح می‌داد، نیلز بور و شاگردان جوان او تمام توجه خود را معطوف به معادله‌های مکانیک کوانتوم و مسئلهٔ شگفت‌انگیز ماهیت کوانتومی مواد کرده بودند. در نیمه دوم همین قرن (قرن بیستم) فیزیکدانان با بکار بستن این دو نظریهٔ جدید در حوزه‌های مختلف جهان هستی، از ساختار ذره‌بینی آن گرفته تا ج هان کوچک ذرات بنیادی، اقدام به بسط و گسترش این نظریات پایه نمودند. در این درس به بحث در خصوص ساختار ذره‌بینی جهان می‌پردازیم و در درس بعدی جهان کوچک ذرات بنیادی را بررسی خواهیم کرد.

درس حاضر بیشتر از طرح‌ها و تصاویر ساده تشکیل شده است، صرفاً به این دلیل که دانش، بیش از آنکه مربوط به آزمایشات، اندازه‌گیری‌ها، ریاضیات و استنباط‌های بسیار دقیق باشد، در مورد مکاشفات و بینش‌های جدید است. چرا که علم و دانش زاده همین بینش‌های نو می‌باشد. و همچنین منبع تغذیه تفکر علمی نیز توانایی دیدن جهان از زاویه‌ای جدید و متفاوت از دیدگاه‌های پیشین است. در اینجا مایلم خلاصه‌ای از یک سفر کوتاه و مختصر به میان بینش‌های گوناگون را تقدیم نمایم.

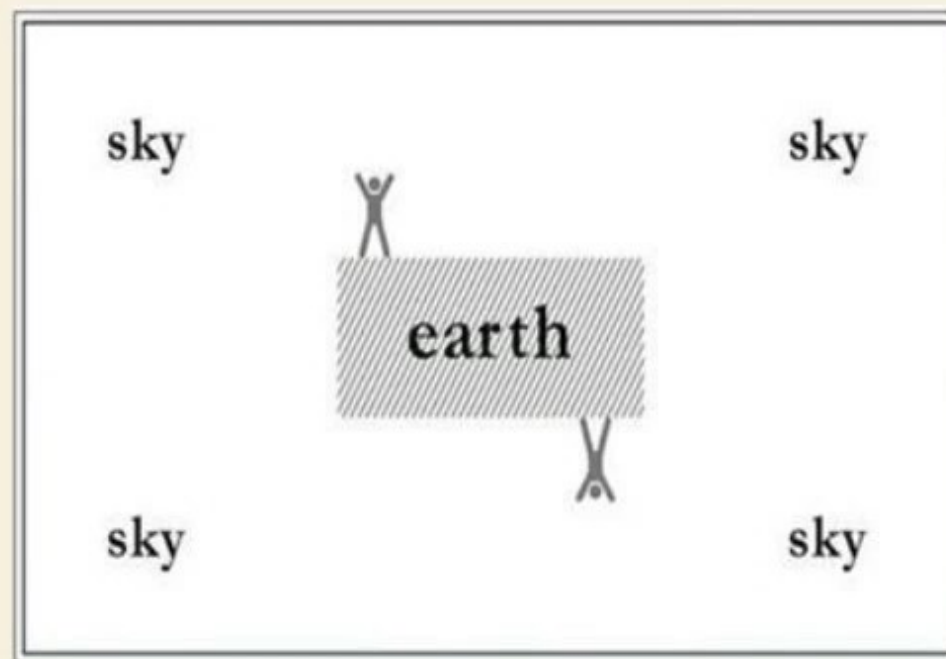




### شکل شماره ۱

شکل شماره ۱ نشان‌دهنده‌ی تصویری ست که انسان برای میلیون‌ها سال از ساختار جهان هستی داشته است؛ زمین در زیر پا و آسمان در بالای سر. نخستین انقلاب علمی مهم در این حوزه حدود بیست‌وشش قرن پیش توسط فردی بنام آناکسی ماندرا به انجام رسید؛ زمانی که وی در تلاش بود تا بفهمد چگونه ممکن است خورشید، ماه و ستارگان به دور ما بچرخند؟ یافته‌های وی موجب جایگزینی شکل شماره یک با شکل شماره ۲ گردید؛





شکل شماره ۲

حالا دیگر آسمان نه فقط در بالای زمین، بلکه در سرتاسر آن گسترده است، و زمین همچون سنگی ست بزرگ که در فضا معلق می‌باشد، بدون آنکه سقوط کند.

اندکی بعد، شخص دیگری (احتمالاً پارمنیدس یا فیثاغورس) پی برد که شکل کروی موجه‌ترین شکل برای این جسم معلق است، جسمی که تمامی جهات‌ها برای آن یکسان می‌نماید. پس از آن ارسطو با خلق استدلالی علمی و متقاعدکننده

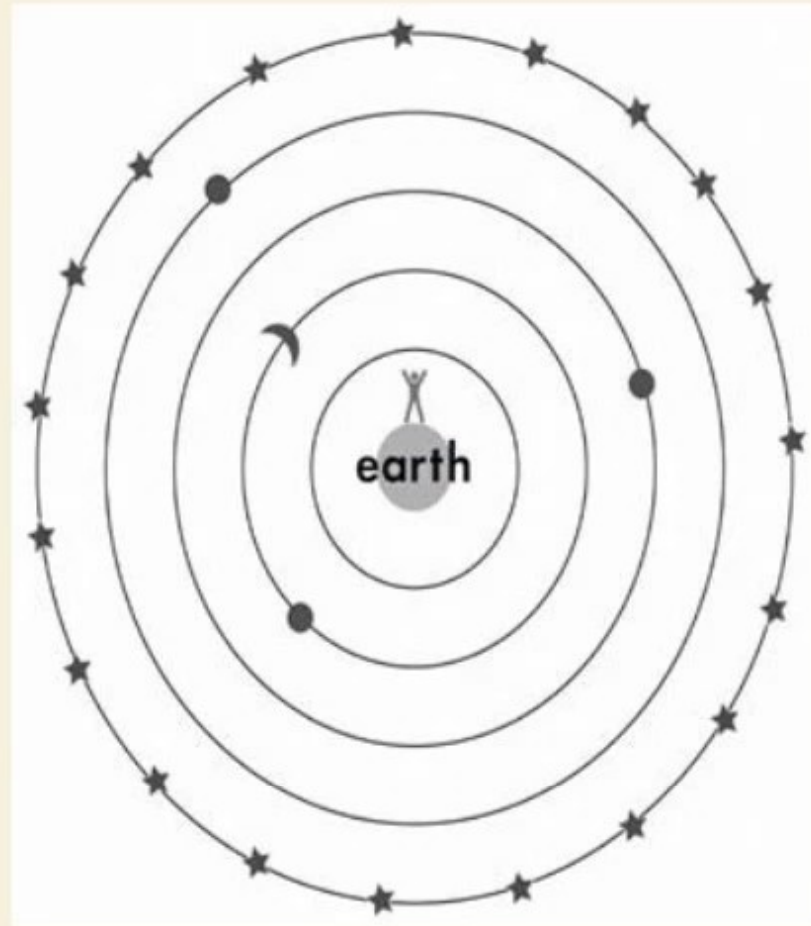




چنین تأیید کرد که زمین و آسمان‌های دربردارنده‌ی آن اشیائی ملکوتی هستند که به شکل مشخصی مسیر خود را می‌پیمایند. شکل شماره ۳ تصویر حاصله از یافته‌های ارسطو از ساختار جهان است.







شکل شماره ۳



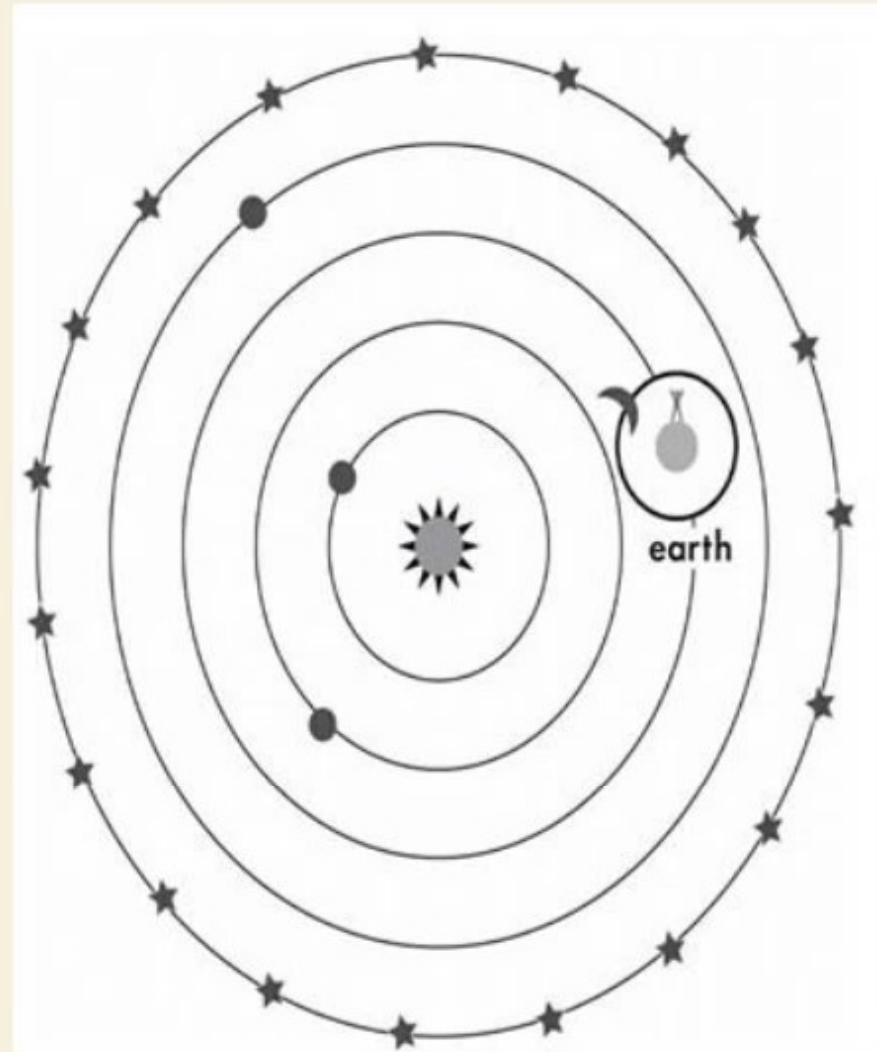


عالمی که ارسطو در اثر خود با عنوان "درباره‌ی آسمان" ترسیم کرده بود نمایانگر تصویر جهانی ست که تا پایان قرون وسطی به عنوان مشخصه‌ی اولیه تمدن مدیترانه‌ای باقی ماند، تصویری که به بزرگانی همچون دانته و شکسپیر در مورد شمایل جهان هستی در مدارس آموزش داده می‌شد.

انقلاب بعدی در این حوزه توسط کوپرنیک به انجام رسید، شخصی که می‌توان او را آغازگر آنچه اصطلاحاً "انقلاب علمی بزرگ" خوانده می‌شود نامید. برای کوپرنیک جهان خیلی متفاوت از آنچه ارسطو می‌پنداشت نبود.









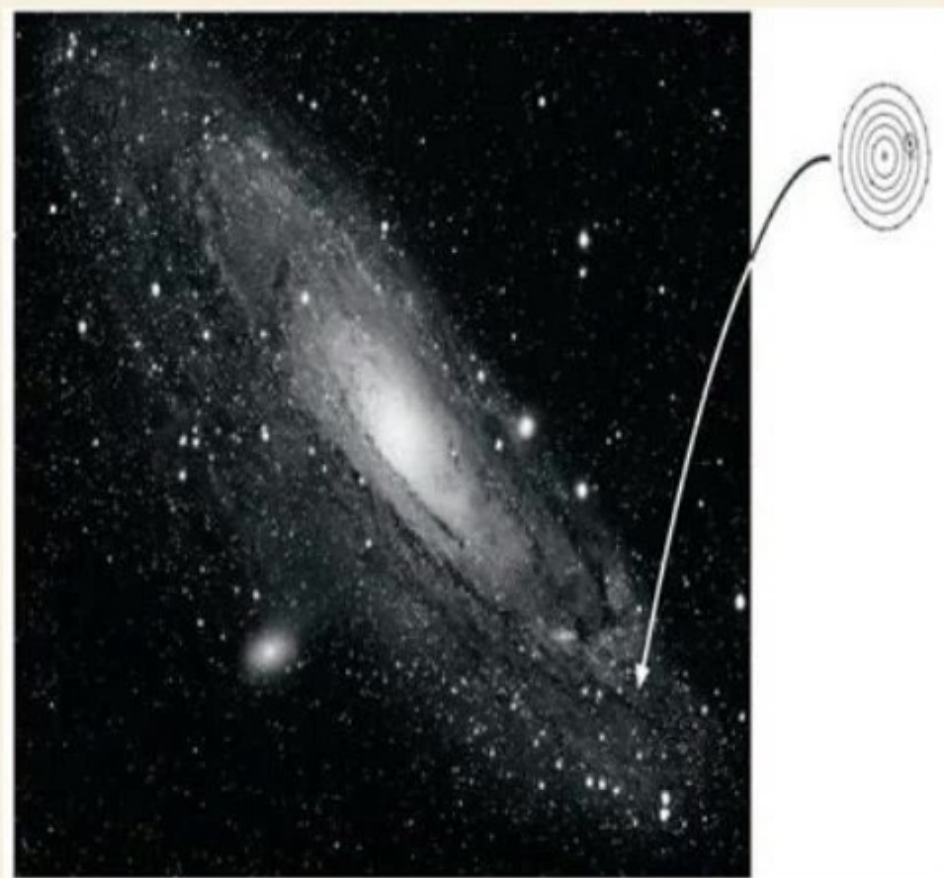
## شکل شماره ۴

با این حال یک تفاوت اساسی وجود داشت کوپرنیک با الهام گرفتن از ایده‌ای متعلق به دوران باستان، پی برد و اثبات کرد که نه زمین بلکه خورشید مرکز عالم است و زمین تنها یکی از سیاراتی ست که با سرعت زیاد به دور خود و به دور خورشید می‌چرخند.

پیشرفت دانش و آگاهی ما همچنان ادامه یافت، تا آنجا که به وسیله تجهیزات توسعه‌یافته به‌زودی معلوم گردید که منظومه شمسی نیز خود جزئی از یک نظام بزرگ‌تر است، و خورشید، ستاره‌ای همانند دیگر ستاره‌های موجود در این منظومه می‌باشد؛ یک ذره بسیار کوچک در میان ابری از میلیاردها ستاره‌ای که کهکشان راه شیری را تشکیل می‌دهند.







### شکل شماره ۵

با این وجود در دهه ۱۹۳۰، اندازه‌گیری‌های دقیق توسط ستاره شناسان سحابی-ابرهای کوچک و سفید رنگ موجود در



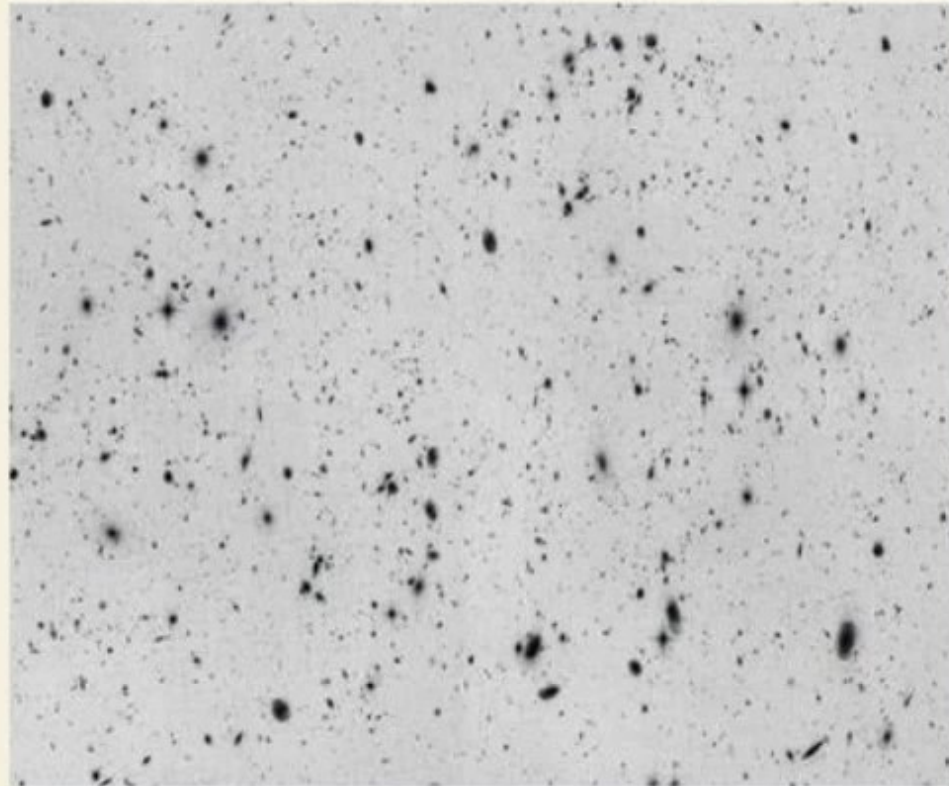
میان ستاره‌ها\_ نشان داد که کهکشان راه شیری نیز خود همچون ذره غباریست در میان ابری بسیار پهناور از کهکشان‌های دیگر، ابری که تا چشم کار می‌کند گسترش یافته و حتی قوی‌ترین تلسکوپ‌ها نیز تاکنون قادر به یافتن حدودی برای آن نبوده‌اند. باری جهان اکنون گستره ایست یکدست و بی‌کران.

تصویری که در صفحه بعد مشاهده می‌کنید (شکل شماره ۶) یک نقاشی نیست، بلکه عکسی است که توسط تلسکوپ فضایی هابل در مدار گرفته شده. این عکس ژرف‌تر و دقیق‌تر از هر تصویری می‌باشد که تاکنون به وسیله قوی‌ترین تلسکوپ‌ها گرفته شده است. آنچه از این عکس با چشم غیر مسلح نمایان می‌شود تنها تاریکی مطلق آسمان خواهد بود، اما از دریچه تلسکوپ هابل توده‌ای از نقطه‌های سیاه که با فاصله‌های بسیار دور از هم قرار دارند آشکار می‌گردد. هر نقطه سیاه در این عکس، کهکشانی حاوی صدها میلیارد ستاره شبيه به خورشید سیاره زمین است، در چند سال گذشته مشاهده شده که اطراف بیشتر این خورشیدها سیاراتی در حال گردشند. با این حساب، در عالم بیش از میلیاردها میلیارد سیاره مانند سیاره زمین وجود دارد، و از هر سویی که بنگریم این چیزی ست که نمایان می‌گردد.

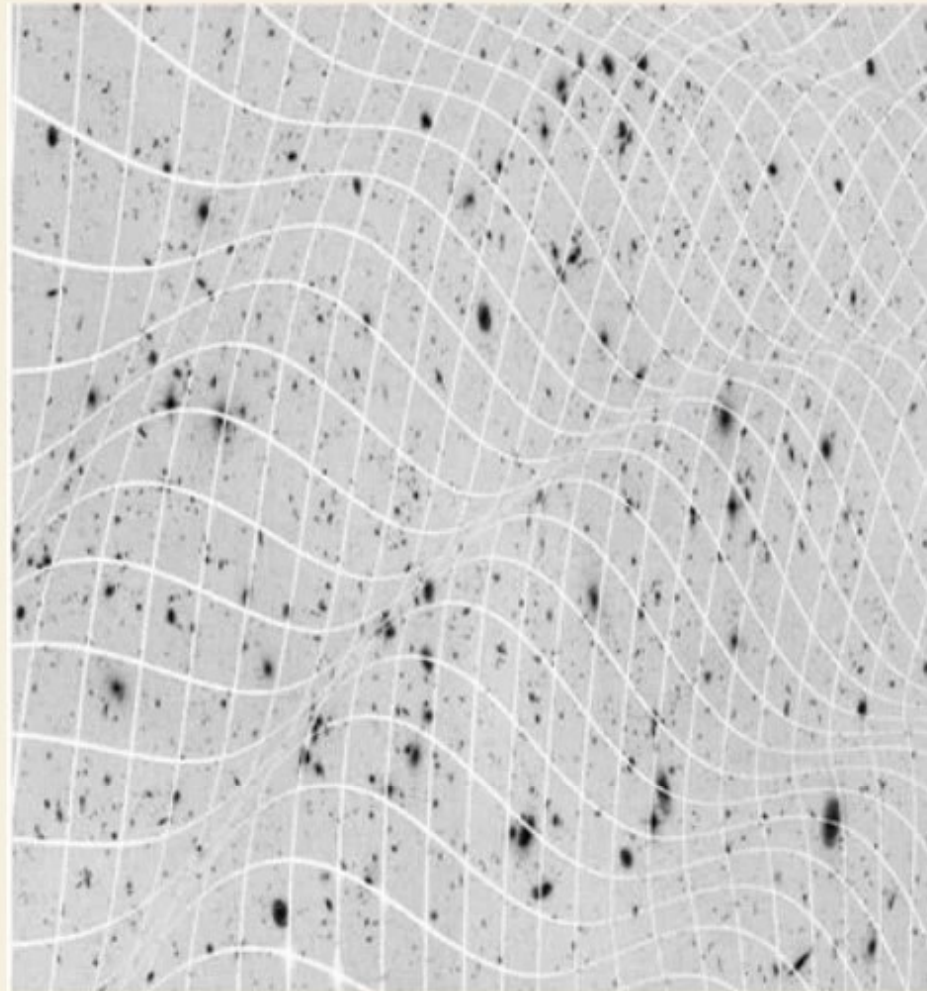
اما این یکپارچگی بی‌کران که جهان نام دارد آن چیزی نیست که در ظاهر می‌نماید؛ همان‌گونه که در درس اول توضیح دادم فضا یک ماهیت منحنی ست، بنابراین ما باید حالت و بافت فضا، با میلیاردها کهکشانی که در آن وجود دارد، را همچون دریایی در نظر بگیریم که توسط امواجی به‌طور پیوسته در حرکت و نوسان است. امواجی که گاه آن‌چنان آشفته و درهم می‌شوند که حتی ممکن است موجب ایجاد حفره‌هایی عمیق (سیاه‌چاله‌ها) در فضا گردند.

حال اجازه دهید تصویری رسم کنیم تا بدین واسطه جهان هستی را که توسط امواجی عظیم همچون صفحه‌ای سینوسی به حالت چین و چروک درآمده است باز بنماییم.





شکل شماره ۶



شکل شماره ۷





و در نهایت، ما اکنون می‌دانیم که این جهان بسیار پهناور و انعطاف‌پذیر که به میلیاردها کهکشان و تاریخچه‌ای به قدمت پانزده میلیارد سال مزین شده، زاده یک ابر کوچک، متراکم و بی‌نهایت داغ بوده است. این بار به‌منظور معرفی چنین بینشی از جهان هستی، نه تصویر خاصی از جهان، بلکه رسم طرحی از تاریخ تکامل آن مورد نیاز است. چیزی شبیه به شکل شماره ۸ که در زیر مشاهده می‌کنید:





شکل شماره ۸

پیدایش جهان از یک گوی کوچک آغاز و سپس طی انفجاری عظیم (مهبانگ) به اندازه‌ای که امروزه از آن می‌شناسیم تبدیل شده است. شکل شماره پنج آخرین تصویر ما از جهان می‌باشد که در بزرگ‌ترین مقیاس ممکن ترسیم شده است.





آیا چیز دیگری باقی مانده؟ چیزی که از قبل مانده باشد و ما هنوز نشناخته باشیم؟ به احتمال زیاد پاسخ «بله» است. در درس‌های بعدی بیشتر به این موضوع خواهیم پرداخت. و در آخر، اینکه آیا جهان‌های دیگر مشابه یا متفاوت از جهان ما باز هم وجود دارد، سؤالی است که پاسخ به آن همچنان غیرممکن می‌نماید.



## درس ۴: ذرات

در جهانی که در درس قبل شرح داده شد نور و اشیاء ماهیت‌هایی متحرک هستند. نور، بر طبق مشاهدات انشتین، از ذرات سازنده‌ای به نام "فوتون" تشکیل شده است. همچنین تمامی اجسامی که در جهان می‌بینیم از اتم ساخته شده‌اند. هر اتم متشکل از یک هسته و تعدادی الکترون است که اطراف هسته را احاطه کرده‌اند، و هسته اتم خود توده ایست به هم فشرده از پروتون‌ها و نوترون‌ها. هر دوی این واحدهای سازنده هسته نیز از ذره‌های کوچک‌تری به نام "کوارک" ساخته شده‌اند. کوارک نامی است که موری گل مان، فیزیکدان آمریکایی و برنده جایزه نوبل هزار و نهصد و شصت و نه، از یک کلمه به ظاهر بی‌معنی در یک عبارت بی‌معنی از رمان شب‌زنده‌داری فینگن ها، اثر معروف جیمز جویس الهام گرفته است، "سه تا کوارک برای آق مارک!"

بنابراین می‌توان گفت در جهان همه چیز از الکترون‌ها و کوارک‌ها ساخته شده است. نیرویی که کوارک‌ها را درون پروتون‌ها و نوترون‌ها اصطلاحاً به هم می‌چسباند توسط ذره‌هایی ایجاد می‌شود که فیزیکدانان با نام "گلوئون" می‌شناسند. نتیجه آنکه الکترون‌ها، کوارک‌ها، فوتون‌ها و گلوئون‌ها اجزای سازنده هر چیزی هستند که در فضای اطراف ما در حرکت و نوسان است. و این ذره‌های نام برده شده همان ذرات بنیادی می‌باشند که در فیزیک ذرات مطالعه می‌شوند.

البته چند ذره دیگر را نیز باید به این مجموعه اضافه کرد، از جمله نوترینوها که در سرتاسر عالم هستی پراکنده و در نوسان هستند، اگرچه این ذرات برهم‌کنش تقریباً ناچیزی با ما دارند. و نیز بوزون‌های هیگز که به تازگی (در سال دو هزار و سیزده) در برخورددهنده هادرونی بزرگ، مستقر در سازمان تحقیقاتی سرن کشف و شناسایی شده‌اند (برخورددهنده



هادرونی بزرگ یا به اختصار ال اچ سی، یک شتاب‌دهندهٔ ذره‌ای و برخورددهنده است که در سازمان تحقیقاتی سرن مستقر در ژنو سوئیس واقع شده است).

تعداد این ذره‌ها اما زیاد نیست و کمتر از ده نوع از آنها وجود دارد، با این حال اگر جهان را همچون لگویی عظیم در نظر بگیریم، همین تعداد انگشت‌شمار از این اجزای بنیادی نقش آجرهای این لگو را دارند که تمامی آنچه ما در اطراف خود به‌عنوان اشیاء واقعی و مجسم در جهان می‌شناسیم از آنها ساخته شده‌اند.

ماهیت ذره‌های مذکور و چگونگی حرکت آنها به وسیلهٔ مکانیک کوانتوم تعریف و توصیف می‌شود. همان‌گونه که فوتون‌ها واحدهای بنیادی در میدان الکترومغناطیسی می‌باشند، این ذرات نیز اگرچه واقعیت‌هایی شفاف و قابل رویت نیستند، اما به‌عنوان کوچک‌ترین ذره‌های سازنده در میدان‌های مشابه به شمار می‌روند. به عبارتی آنها ارتعاشات پایه و اولیه در یک شالوده متحرک، مشابه با میدان فارادی و ماکسول هستند؛ ریزموج‌هایی متحرک با ارتعاشاتی بسیار خفیف.

رفتار آنها نیز، مطابق قوانین عجیب مکانیک کوانتوم، به نحوی است که پیوسته ناپدید شده و مجدداً پدیدار می‌گردند، قوانینی که براساس آنها هیچ چیز وجودی پایدار نداشته و تنها جهشی از یک واکنش متقابل به واکنش متقابل دیگر است.

ماهیت وجودی این ذرات به گونه ایست که حتی اگر ما ناحیه‌ای کوچک از فضا را خالی ببینیم، بدین معنا که در آن ناحیه هیچ اتمی نباشد، باز هم مقداری خیلی جزئی از این ذرات مرتعش را می‌توان در آنجا یافت. بنابراین در جهان چیزی با عنوان خلا واقعی، یعنی فضایی که خالی از ذرات بنیادی باشد، وجود ندارد. درست مانند دریایی که حتی در آرام‌ترین لحظات نیز، اگر با دقت به آن بنگریم، قادر خواهیم بود لرزش‌ها و نوسانات سطح آن را، هرچند بسیار خفیف و نامحسوس، مشاهده کنیم.



به این ترتیب میدان‌های سازنده جهان ما نیز همواره در معرض لرزش‌ها و نوسانات خفیف هستند و از این رو، تصور اینکه ذرات سازنده و بنیادی این جهان نیز، که عمری کوتاه و گذرا دارند، به وسیله چنین حرکاتی پیوسته در حال تشکیل شدن و سپس از بین رفتن باشند کاملاً محتمل به نظر می‌رسد.

و این سیمای جهانی ست که مکانیک کوانتوم و نظریه ذرات به تصویر می‌کشند، اکنون ما دیگر از دنیای مکانیکی نیوتون و لاپلاس فاصله بسیاری گرفته‌ایم، جایی که در آن سنگ‌ها با دمای اندکی پایین طی مسیرهای طولانی و مشخص درون فضایی که از نظر شکل هندسی ثابت و لایتغیر می‌نمود بی‌وقفه در حرکت بودند. اکنون دیگر مکانیک کوانتوم و آزمایش‌های مربوط به ذرات به ما آموخته‌اند که جهان یک هجمه مستمر و متلاطم از چیزهایی ست که در آن واقع شده‌اند؛ نمایش بی‌وقفه‌ای از پدیدار گشتن و سپس از میان رفتن موجودیت‌هایی بی‌دوام و زودگذر و مجموعه‌ای از نوسانات در عالم هستی. انقلابی شبیه به جنبش اجتماعی هیپی که در دهه ۱۹۶۰ به وقوع پیوست و موجب تغییری شگرف در عادات و سنت‌های زمانه خود گشت. باری این جهان، جهان رخدادها و آمدن و رفتن‌هاست، نه جهان اشیاء، و نه جهان سکون.

جزئیات نظریه ذرات به تدریج در دهه‌های ۶۰، ۵۰ و ۷۰ توسط برخی از برجسته‌ترین فیزیکدان‌های قرن، از جمله ریچارد فاینمن و موری گل مان پی‌ریزی شد. طرح چنین جزئیاتی منجر به ایجاد یک نظریه پیچیده گشت؛ نظریه‌ای بر مبنای مکانیک کوانتوم که با عنوان نه چندان خیال‌انگیز "مدل استاندارد ذرات بنیادی" نام‌گذاری شد. مدل استاندارد در سال ۱۹۷۰ و پس از یک مجموعه طولانی از آزمایشات که تمامی پیش‌بینی‌های این نظریه را تأیید و تصدیق می‌نمود تکمیل شد. و تأیید نهایی آن در سال ۲۰۱۳ بعد از کشف بوزون‌های هیگز به انجام رسید. اما علی‌رغم پشت سر نهادن چنین مجموعه آزمایش‌های زمان‌بر و البته موفق، این مدل هیچ‌گاه توسط فیزیکدان‌ها جدی گرفته نشد؛ مدل استاندارد ذرات بنیادی نظریه ایست که دست کم در نگاه اول همچون تکه‌هایی جدا از هم می‌نماید که به هم وصله شده باشند، بدین معنا که



نظریه‌ی مذکور از یک مجموعه بخش‌ها و معادله‌های مختلف که بدون هیچ ترتیبی سرهم شده‌اند تشکیل شده است؛ تعداد مشخصی از میدان‌ها که با نیروهای مشخص شده توسط مقادیر ثابت معینی با همدیگر کنش متقابل دارند توازن و تقارن‌های مشخصی را نشان می‌دهند. اما سؤال اینجاست که چرا مشخصاً این میدان‌ها و نیروها و مقادارها و تقارن‌ها؟

باری در اینجا دیگر از سادگی و شفافیتی که در نظریه‌های نسبیت عام و مکانیک کوانتوم وجود داشت خبری نیست.

شیوه‌ای که به واسطه‌ی آن معادله‌های مدل استاندارد پیش‌بینی‌هایی را در مورد جهان هستی به دست می‌دهند نیز به طرز نامعقولی پیچیده می‌باشد؛ این معادله‌ها را اگر مستقیماً بکار ببریم منجر به پیش‌بینی‌هایی غیرمعقول و مهمل می‌شوند، به گونه‌ای که هر کمیت محاسبه شده در نهایت عددی بی‌اندازه بزرگ خواهد بود. لذا به منظور کسب نتایجی گویا و معنادار لازم است چنین تصور کنیم که پارامترهای وارد شده به این معادلات نیز خود اندازه‌هایی بی‌نهایت بزرگ هستند. به این طریق است که می‌توان میان این نتایج غیرمعقول موازنه برقرار کرد و آنها را توجیه نمود. "باز به هنجارسازی" نام اصطلاح تخصصی است که برای این روش پیچیده و نامنظم بکار برده می‌شود، روشی که اگر چه در عمل کارآمد است اما هرگز به مذاق فردی که به دنبال ساده‌سازی جهان هستی باشد خوش نخواهد آمد.

پل دیراک، معمار بزرگ مکانیک کوانتوم، نویسنده‌ی نخستین و مهم‌ترین معادله‌های مدل استاندارد و شاخص‌ترین دانشمند قرن بیستم بعد از انشتین، در آخرین سال‌های حیاتش پیوسته نارضایتی خود را از این وضعیت موجود ابراز می‌کرد و بالاخره این گونه نتیجه گرفت که "ما هنوز مسئله را حل نکرده‌ایم".

بعلاوه طی سال‌های اخیر ضعف‌ها و نارسایی‌های قابل ملاحظه‌ای در مدل استاندارد پدیدار شده است؛ در اطراف هر کهکشانی، ستاره شناسان ابری بزرگ از موادی را مشاهده می‌کنند که وجود کهکشان را از طریق کشش گرانشی که بر



روی ستاره‌ها اعمال می‌دارد و نیز انحرافی که در مسیر نور ایجاد می‌کند آشکار می‌سازد. اما این ابر بسیار پهناور که ما تنها قادر به مشاهده تأثیرات گرانشی آن هستیم، به‌طور مستقیم با استفاده از تلسکوپ قابل رؤیت نیست و به همین دلیل نمی‌توان اجزای سازنده آن را مشخص نمود.

فرضیه‌های متعددی در این باره ارائه شده‌اند، اما هیچ‌کدام به نظر کارآمد نمی‌آید. در مجموع واضح است که چیزی آن بالا جریان دارد که ما از آن بی‌خبریم، چیزی فراتر از اتم‌ها، نوترینوها یا فوتون‌ها، چیزی که امروزه با نام "ماده تاریک" شناخته می‌شود.

از شواهد چنان برمی‌آید که ماده تاریک در نظریه مدل استاندارد تعریف نشده است و گرنه ما قادر به ملاحظه آن می‌بودیم.

بازی خواننده عزیز این حقیقت مبرهن را بداند که شمار اشیاء و ماهیت‌های موجود در عالم هستی بیش‌تر از آن چیزیست که توسط فلسفه و یا فیزیک حتی متصور می‌شود. تا چند دهه اخیر ما روحمان نیز از وجود امواج رادیویی و نوترینوها که با چنان وسعتی در سرتاسر جهان پراکنده می‌باشند مطلع نبود. بنابراین امروز زمانی که سخن از جهان اشیاء به میان می‌آید، مدل استاندارد همچنان بهترین گزینه پیش‌روست. چراکه تمامی پیش‌گویی‌های این نظریه، به‌جز ماده تاریک و گرانش، آن‌گونه که در نظریه نسبیت عام در خصوص خمیدگی فضا-زمان تبیین شده است، به تأیید رسیده و همه جنبه‌های جهان حاضر را به‌خوبی توصیف می‌کند.

نظریه‌های جایگزین متعددی تاکنون در این خصوص پیشنهاد شده‌اند، اما صحت و سقم هیچ‌کدام توسط آزمایش‌های لازمه به تأیید نرسیده است. مثلاً در دهه ۱۹۷۰ نظریه‌ای دقیق با نام تخصصی "SU۵" ارائه شد تا با بهره‌مندی از ساختاری بسیار ساده‌تر، موزون‌تر و دقیق‌تر به نحوی جایگزین معادله‌های آشفته مدل استاندارد باشد. بر طبق پیش‌بینی‌های نظریه



جدید، پروتون قادر است با احتمالی مشخص متلاشی شده و به الکترون‌ها و کوارک‌ها تغییر ماهیت دهد. (از آنجا که تلاشی پروتون بسیار زمان بر است، امکان مشاهده این فرآیند در یک پروتون واحد تقریباً صفر است. در عوض می‌توان با نصب آشکارسازهایی دقیق و حساس در اطراف حجم عظیمی از چندین تن آب، تنها تأثیرات تلاشی پروتون‌ها را رؤیت نمود.) دستگاه‌های بزرگ بسیاری به‌منظور مشاهده این فرآیند ساخته شدند و فیزیکدانان زیادی عمر خود را وقف جستجو برای یافتن پدیده تلاشی قابل رؤیتی از پروتون‌ها کردند. اما افسوس که هرگز هیچ تلاشی پروتونی مشاهده نشد و به این ترتیب نظریه زیبای اس یو فایو، علی‌رغم ظرافت شایان توجهش، به دلایلی که گفته شد، راه به جایی نبرد.

اکنون گویی ماجرا در مسیر تکرار دوباره خود قرار گرفته است و گروهی از نظریه‌ها بانام "ابر متقارن"، وجود دست‌های جدید از ذرات را پیش‌بینی می‌کنند. در طول زندگی کاریم به همکارانی گوش فراداده‌ام که با اطمینان کامل منتظر ظهور قریب‌الوقوع این ذرات بوده‌اند. روزها، ماه‌ها، سال‌ها و حتی دهه‌ها سپری می‌شوند اما ذره‌های ابرتقارن هنوز خود را نشان نداده‌اند. باری تاریخ فیزیک فقط گواه موفقیت‌ها در این رشته نیست.

بنابراین عجالتاً همچنان باید به نظریه مدل استاندارد پایبند باشیم، نظریه‌ای که اگرچه چندان ظریف و متوازن به نظر نمی‌رسد، اما در توصیف جهان پیرامون ما بسیار کارآمد بوده است. و کسی چه می‌داند؟ شاید در بررسی‌های دقیق‌تر، نظریه مذکور آن‌چنان هم آشفته و ناموزون نباشد. شاید این ما هستیم که هنوز نحوه نگرش صحیح به آن را نیاموخته‌ایم، نگرشی که شاید بتواند سادگی پنهان این نظریه را برایمان هویدا سازد. فی الحال این همه آن چیز است که ما از ماده می‌دانیم، گونه‌های انگشت‌شماری از ذرات بنیادی که پیوسته میان پدیدار شدن‌ها و از میان رفتن‌ها در لرزش و نوسانند، و ازدحامی عظیم از آنها همواره در فضا پراکنده و موج می‌زنند، حتی زمانی که به نظر می‌رسد چیزی در فضا نیست، ذراتی که همچون حروفی از الفبای بی‌پایان کیهانی، تا بی‌نهایت‌ها با یکدیگر ترکیب می‌شوند تا بازگوی تاریخ ژرف کهکشان‌ها،



ستارگان بی‌شمار، پرتو زرنگار آفتاب، کوهساران، بیشه‌زاران، کشتزارها، و در نهایت، سیماهای متبسم جوانان در ضیافت‌ها و در زیر سقف آسمان شب که به اختران تابناک مزین شده است، باشند.





## درس ۵: دانه‌های فضا

علی‌رغم ابهامات و پیچیدگی‌های آشکار، نارضایتی‌ها، و سؤالاتی که همچنان بی‌پاسخ مانده‌اند، فیزیکی که من تا به اینجا شرح داده‌ام تعریفی بهتر از آنچه ما پیش‌تر از جهان هستی داشتیم فراهم می‌آورد. بنابراین چنین به نظر می‌رسد که ما باید از این پیشرفت خرسند باشیم، حال آنکه چنین نیست. زیرا در بطن دانسته‌های ما از جهان مادی یک تناقض وجود دارد؛ نظریه نسبیت عام و مکانیک کوانتوم، آن‌چنان که در درس‌های قبل در موردشان سخن گفته شد، همچون دو گوهر گران‌بها هستند که قرن بیستم به ما ارزانی داشته است. از قبل نظریه نسبیت عام دانش‌هایی از جمله کیهان‌شناسی و اخت‌فیزیک، که به مطالعه امواج گرانشی، سیاه‌چاله‌ها، و بسیاری اجرام دیگر گفته می‌شود به وجود آمدند. مکانیک کوانتوم نیز پایه‌های فیزیک اتمی، فیزیک هسته‌ای، فیزیک ذرات، فیزیک ماده چگال و بسیاری شاخه‌های دیگر در این علم را بنا نهاد. در مجموع این دو نظریه ارمغان‌های بسیاری برای جهانیان فراهم نموده‌اند که هر یک در فناوری نوین امروزی نقشی حیاتی داشته و شیوه زندگی بشر را به کلی دگرگون ساخته‌اند. با این وجود دو نظریه مذکور باهم در تناقضند، به همین دلیل نمی‌توان هر دوی آنها را، لااقل به شکل امروزی و تا اندازه‌ای که ما از آنها سر درآورده‌ایم، با هم و همزمان درست پنداشت.

با این حساب، یک دانشجو که در نوبت صبح در کلاس‌های نسبیت عام حضور یافته و در نوبت بعدازظهر به او مکانیک کوانتوم تدریس شده است را نباید سرزنش کرد اگر استادهای خود را نادان فرض کند و یا چنین متصور شود که آنها دست کم صدسال است با یکدیگر در مورد این دو نظریه گفتگو یا مطالعه‌ای نداشته‌اند. زیرا که در نوبت صبح جهان برای او به‌عنوان فضای خمیده‌ای تعریف شده که همه چیز در آن پیوسته و لاینقطع می‌نماید، اما در نوبت بعدازظهر همین جهان،



فضای صافیست با ذره‌های سازندهٔ انرژی که در آن در تکاپو و جنب و جوشند.

تناقض میان این دو نظریه در اینجاست که هردو، کارایی بسیار فوق‌العاده‌ای دارند. در این وهله نحوهٔ برخورد جهان هستی با ما همانند آن عالم فرزانه ایست که روزی دو مرد بر وی وارد شدند تا به یاری او در مناقشه‌ای به توافق برسند، عالم فرزانه پس از گوش سپردن به سخنان مرد اولی به او می‌گوید: حق باتوست و تو درست می‌گویی. زمانی که مرد دومی نیز بر شنیده شدن سخنانش اصرار می‌ورزد، عالم به گفته‌های او نیز گوش فرا می‌دهد و سپس چنین می‌گوید که: حق باتوست و تو درست می‌گویی. در همین حال، همسر عالم فرزانه که گویا ناخواسته گفته‌های آنان را از اتاق کناری شنیده است فریاد برمی‌آورد که: ای همسر، اما چگونه هردوی این‌ها می‌توانند همزمان برحق باشند و گفته‌هایشان درست بنماید؟ در این لحظه عالم سری به نشانه تصدیق سخنان همسر تکان داده و به وی نیز چنین می‌گوید که: حق با توست و تو نیز درست می‌گویی.

گروهی از فیزیکدان‌های نظری در نقاط مختلف جهان به‌سختی در تلاشتند تا این مسئله را حل و فصل نمایند. هدف اصلی حوزه مطالعاتی آنها که "گرانش کوانتوم" نام دارد دستیابی به یک نظریه و یا به عبارتی، مجموعه‌ای از معادله‌هاست. اما بیش از هر چیز، گرانش کوانتوم به دنبال یافتن بینشی یکدست و منسجم از جهان است که به وسیله آن سرگردانی موجود در عالم هستی را سروسامان بخشد.

این اولین بار نیست که دانش فیزیک خود را با دو نظریهٔ بسیار موفق اما در ظاهر متناقض روبرو می‌بیند. تاریخ به ما نشان داده که تلاش‌ها در جهت تلفیق و یکی کردن مسائل، اغلب نتیجه‌ای موفقیت‌آمیز در جهت افزایش دانش ما از عالم هستی به دنبال داشته است؛ مثلاً نیوتون گرانش جهانی را به وسیله ترکیب سهمی‌های گالیله با بیضی‌های کپلر کشف نمود، و



ماکسول از طریق تلفیق نظریه‌های الکتریسیته و مغناطیس پی به معادلات الکترومغناطیس برد، انشتین نیز نسبیت را به واسطه حل کردن تعارضی ظاهری که میان الکترومغناطیس و مکانیک وجود داشت کشف کرد.

باری یک فیزیکدان تنها زمانی به وجد می‌آید که تناقضی از این نوع را میان دو نظریه موفقیت‌آمیز کشف کرده باشد، بنابراین چنین شرایطی برای وی فرصتی طلایی به شمار می‌رود.

آیا ما می‌توانیم به منظور تفکر درباره جهان‌ی متناسب با آنچه این دو نظریه تاکنون به ما شناسانده‌اند یک چارچوب ذهنی بسازیم؟

اینجا، در ونگارد، آن سوی مرزهای دانش، مفهوم علم حتی زیباتر می‌شود، آن زمان که همچون شعله‌ای فروزان کارگاه ایده‌های نوظهور را، شهودات و تلاش‌های بی‌وقفه را، راه‌های رفته و سپس رها شده را و علاقه‌ها و اشتیاق‌ها را نور و روشنایی می‌بخشد، آن زمان که در تلاش برای تصور چیزهاییست که هنوز متصور نشده‌اند.

بیست سال پیش ابهامات و سردرگمی‌ها در دنیای علم بسیار بود، اما امروز مسیرها روشن‌تر به نظر می‌رسند، که این خود باعث ایجاد اشتیاق و خوش‌بینی قابل ملاحظه‌ای شده است. با این وجود، مسئله تناقض میان این دو نظریه همچنان لاینحل می‌نماید. اگرچه کثرت و چندگانگی مجادله رارو به بار خواهد آورد، اما در این مورد بخصوص تا زمانی که ابهامات به‌طور کامل برطرف نشده‌اند، انتقادهای متضاد مفید خواهد بود.

یکی از تلاش‌های عمده در جهت حل مسئله موردنظر، مسیری از تحقیقات با عنوان "گرانش کوانتومی حلقوی" است. این تحقیقات توسط تیمی پرجمعیت از پژوهشگران که در کشورهای متعددی مشغول به فعالیت هستند دنبال می‌شود.



گرانش کوانتومی حلقوی کوششی است در راستای ترکیب نظریه نسبیت عام با مکانیک کوانتوم. البته کوششی محتاطانه، چرا که این تحقیقات فقط از فرضیه‌هایی استفاده می‌کند که از قبل در دو نظریه مذکور وجود داشته باشند و سپس با بازنویسی فرضیه‌ها به شکلی مناسب، در پی برقراری توازن میان آنهاست. اما این تحقیقات پیامدهای بسیار افراطی را به دنبال داشته است؛ از جمله تغییری اساسی در نحوه نگرش ما به مفهوم ساختار واقعیت.

قضیه ساده است، ما از نظریه نسبیت عام چنین آموخته‌ایم که فضا نه جعبه‌ای ساکن و بی‌روح، بلکه ماهیتی ست پویا و بی‌کران که همچون پوسته متحرک حلزون ما را در خود جای داده است، فضایی که قابلیت متراکم شدن و پیچ‌وتاب خوردن دارد. از طرفی مکانیک کوانتوم به ما یاد داده که فضا و هر میدانی از این نوع، از کوانتا یا همان ذراتی سازنده تشکیل شده است. و دارای ساختاری ظریف و دانه‌دانه می‌باشد. در نتیجه بی‌درنگ می‌توان پی برد که فضای فیزیکی نیز از کوانتا ساخته شده باشد.

نتیجه اصلی گرانش کوانتومی حلقوی درواقع این است که فضا ماهیتی پیوسته نیست و نمی‌تواند تا بی‌نهایت قابل تقسیم باشد، بلکه از ذره‌ها یا "اتم‌های فضا" ساخته شده است، ذراتی دانه‌دانه که بسیار ریز هستند؛ یعنی حدود یک میلیارد میلیارد بار کوچک‌تر از کوچک‌ترین هسته اتمی. نظریه مذکور این اتم‌های فضا را به‌صورت ریاضی توصیف کرده و معادله‌هایی را فراهم می‌آورد که حرکات تکاملی آنها را محاسبه می‌کنند.

این ذرات "حلقه‌ها" نام گرفته‌اند، به این دلیل که به یکدیگر متصل هستند و با تشکیل شبکه‌ای از ارتباطات، همچون حلقه‌های زرهی که با ظرافت به هم وصل شده باشند، ساختار و بافت فضا را پدید می‌آورند. اما این ذره سازنده فضا کجا هستند؟ هیچ جا! این ذرات، فضا را نمی‌سازند، بلکه آنها خود فضا هستند و پیدایش فضا نتیجه اتصال یک‌به‌یک این





ذره‌های گرانشی به همدیگر است. در اینجا لازم می‌بینیم یک بار دیگر تأکید کنم که جهان پیش از آنکه در مورد اشیاء موجود در آن باشد، در خصوص روابط و کنش‌های متقابل است.

اما این دومین پیامد افراطی گرانش کوانتوم حلقوی می‌باشد، درست همان‌گونه که در پیامد نخست، ایده وجود فضایی پیوسته که محتوی اشیاء گوناگون است منسوخ می‌شود، تصور اینکه زمان ماهیتی بنیادی و اولیه باشد که بدون توجه به اشیاء پیرامون در گذر است نیز به واسطه پیامد دوم در دست فراموشی است.

معادله‌هایی که ذرات فضا و ماده را توصیف می‌کنند دیگر شامل متغیر "زمان" نیستند، البته این بدان معنا نیست که همه چیز ثابت و لایتغیر باشد، برعکس، اینکه تغییر در همه جا وجود دارد. اما فرایندهای بنیادی به‌گونه‌ای هستند که نمی‌توان آنها را در مقاطع معمول و رایج "زمانی" دسته‌بندی و مرتب نمود.

در مقیاس بسیار کوچک از ذرات فضا، وضعیت این‌گونه است که رقص اجزای جهان تنها به پیروی از ریتم و آهنگ یک رهبر ارکست و فقط در یک گام مشخص اجرا نمی‌شود، بلکه هر فرایند گویی به ساز خود می‌رقصد. و در مورد گذر زمان نیز باید گفت فرآیندی درونی و منحصر به جهان است، در حقیقت زمان زاده خود جهان است که از قبل رابطه با وقایع کوانتومی موجودیت یافته، وقایعی که جهان را به وجود آورده‌اند و در نتیجه، خود، سرچشمه وجودی ماهیت زمانند.

به این ترتیب، جهانی که توسط گرانش کوانتومی حلقوی تعریف شده است، بسیار متفاوت از آن چیزیست که ما تاکنون شناخته‌ایم، در این تعریف جدید دیگر صحبت از فضای پیوسته‌ای که جهان را در بر گرفته باشد نیست، و زمان، آن‌گونه که در آن، وقایع جهان اتفاق بیفتند دیگر وجود ندارد، بلکه تنها سخن از فرایندهای بنیادی است که طی آنها ذرات دانه‌دانه فضا و ماده پیوسته در حال واکنش متقابل با یکدیگرند. این توهم که فضا و زمان ماهیت‌هایی پیوسته باشند نیز در حقیقت



یک بینش مبهم از همین مجموعه فرآیندهای بنیادی است.

همچون دریاچه‌ای آرام و زلال در میان کوهساران که برخلاف ظاهر ساکنش و در عالم واقع مجموعه ایست از جنب‌وجوش‌ها و تحرکات پرشتاب میلیاردها ملکول کوچک آب.

در شکل شماره ۹، تصویری که زیر ذره‌بین قرار دارد ساختار دانه‌دانه‌ای فضا را برای ما نمایان می‌کند. این تصویر از دریچه یک ذره‌بین فوق قوی در فاصله‌ای بسیار نزدیک از فضا به دست آمده است.







### شکل شماره ۹

آیا می‌توان نظریهٔ گرانش کوانتومی حلقوی را به‌صورت تجربی اثبات کرد؟ اگرچه اقدامات مختلفی تاکنون در این زمینه به انجام رسیده، اما علی‌رغم تلاش‌ها و بررسی‌های ما، هنوز هیچ شیوهٔ تأیید تجربی برای این نظریه یافت نشده است. یکی از این اقدامات، حاصل مطالعه بر روی سیاه‌چاله‌هاست. امروزه ما می‌توانیم در آسمان سیاه‌چاله‌ها را که نتیجهٔ مرگ ستاره‌ها

می‌باشند مشاهده کنیم. ستاره‌هایی که در نتیجه نیروی گرانی - نیروی وزن خود - متلاشی شده و سپس مواد سازنده آنها نابود می‌گردد، و به این ترتیب، یک ستاره از بین می‌رود و یا به اصطلاح می‌میرد. اما ذرات ستاره پس از نابود شدن کجا می‌روند؟

دلیل طرح چنین سؤالی این است که اگر نظریه گرانش کوانتومی حلقوی درست باشد، ماده نمی‌تواند تا یک مقدار بی‌نهایت کوچکی متلاشی شود، چرا که پس از ذره‌های متناهی فضا، اصلاً دیگر مقدارهای بی‌نهایت کوچکی وجود ندارد. اگر قرار باشد ماده‌ای بر اثر فشار وزن خود متلاشی گردد، باید آن ماده به‌طور فزاینده‌ای چگال شود، تا آنجا که مکانیک کوانتوم فشاری مخالف و در جهت تعادل بر آن وارد کند.

این بخش فرضی از آخرین مرحله زندگی یک ستاره، جایی که نوسانات کوانتومی فضا-زمان باعث ایجاد تعادل با وزن ماده می‌گردند، با نام "ستاره پلانک" شناخته می‌شود. اگر ماده سوختنی ستاره‌ای مانند خورشید به پایان برسد، پس از مرگ که به سیاه‌چاله تبدیل شود، شعاع آن به حدود یک و نیم کیلومتر می‌رسد. درون این سیاه‌چاله مواد سازنده خورشید همچنان به متلاشی شدن ادامه می‌دهند تا اینکه در نهایت سیاه‌چاله مذکور به ستاره پلانک تبدیل گردد. با این حساب، اندازه ستاره پلانک مشابه با اندازه یک اتم خواهد بود، و این چنین است که تمام ماده سازنده یک ستاره به اندازه یک اتم فشرده شده و در نتیجه ستاره پلانک به وجود می‌آید. (سیاه‌چاله‌ها تا ابد باقی نمی‌مانند. در نتیجه نوسانات کوانتومی در نزدیکی افق رویداد یک سیاه‌چاله، سیاه‌چاله تابش هاوکینگ خود را منتشر کرده و به تدریج جرم خود را از دست می‌دهد، به این ترتیب سیاه‌چاله به ستاره پلانک تبدیل می‌شود)

ستاره پلانک پایدار نیست، یعنی زمانی که تا حد ماکزیمم فشرده شد، دوباره به حالت قبل خود بازگشته و منبسط می‌شود.



و این، انفجار در سیاه‌چاله را به دنبال دارد.

چنین فرآیندی، آن‌گونه که توسط مشاهده‌گر فرضی نصب شده بر روی ستاره پلانک دیده شده است، بازگشتی به حالت اولیه با سرعت زمان بسیار بالا می‌باشد. اما نکته اینجاست که زمان برای ستاره پلانک، در مقایسه با آنچه که خارج از سیاه‌چاله قرار دارد یکسان گذر نمی‌کند. و این دقیقاً به همان دلیلی است که در نقاط مرتفع کوهستان، نسبت به مناطق نزدیک به سطح دریا، زمان اندکی سریع‌تر سپری می‌شود. با این اختلاف که برای ستاره پلانک، به خاطر شرایط حداکثری، تفاوت زمانی ذکر شده بسیار کلان‌تر است. لذا آنچه برای مشاهده‌گر مستقر بر روی ستاره، بازگشتی بسیار سریع به حالت اولیه می‌نماید، خارج از سیاه‌چاله به صورت فرآیندی بسیار طولانی و کند جلوه می‌کند. به همین دلیل است که ما سیاه‌چاله‌ای را برای مدتی بسیار طولانی به یک شکل می‌بینیم. در واقع سیاه‌چاله ستاره ایست که از دید ما با سرعتی فوق‌العاده پایین در حال برگشت به وضعیت اولیه خود است.

این امکان وجود دارد که سیاه‌چاله‌ها در نخستین لحظه‌های آتشفشان‌های که منجر به پیدایش جهان هستی گردید تشکیل شده باشند، و اینکه شاید تعدادی از این چاله‌ها اکنون نیز در حال منفجر شدن هستند. اگر چنین تصویری درست می‌بود، شاید ما می‌توانستیم نشانه‌هایی از انتشار را از این چاله‌ها حین انفجار مشاهده کنیم. انتشارهایی به شکل پرتوهای کیهانی پرانرژی که از آسمان نشأت می‌گرفتند و در نتیجه به ما این امکان را می‌دادند تا تأثیر مستقیم پدیده‌ای که به وسیله گرانش کوانتوم کنترل می‌شود را مشاهده و اندازه‌گیری کنیم.

این یک ایده جسورانه است، چرا که به‌طور مثال اگر در لحظه‌های آغازین پیدایش جهان، تعداد کافی از سیاه‌چاله‌ها تشکیل نمی‌شد که امروز به ما امکان کشف و شناسایی انفجارهای آنها را بدهد، ممکن بود ایده مذکور کارآمد واقع نشود. با این



حال، همان‌گونه که در ادامه خواهیم دید، جستجو برای یافتن نشانه‌ها آغاز شده است.

از دیگر پیامدهای نظریهٔ گرانش کوانتومی حلقوی، که یکی از خارق‌العاده‌ترین آنها نیز می‌باشد، مربوط به منشأ پیدایش جهان است. اگرچه ما می‌دانیم چطور تاریخ سیاره خود را تا دوره‌ای اولیه، یعنی زمانی که زمین بسیار کوچک‌تر از اندازه کنونی بوده بازسازی کنیم، اما تاریخ قبل از آن را چطور؟ خب، معادله‌های نظریه حلقوی به ما این امکان را می‌دهند که در بازسازی تاریخ زمین به دوره‌هایی بسیار قبل‌تر برگردیم.

آنچه ما از بازسازی تاریخی جدید متوجه می‌شویم این است که وقتی جهان به شدت متراکم شد، نظریهٔ کوانتوم در عوض، یک نیروی رانشی تولید نمود. از این فرآیند نتیجه می‌شود که انفجار بزرگ یا "مهبانگ" در حقیقت ممکن است یک "بازگشت به حالا اولیه بزرگ" بوده باشد. در واقع محتمل است که جهان ما به وسیله یک جهان قبل‌تر از خود متولد شده باشد، به این صورت که جهان قبل‌تر به خاطر نیروی وزنش منقبض شده است تا آنجا که در یک فضای بسیار کوچک فشرده شود، و سپس طی فرآیند بازگشت به حالت اولیه خود، پس جهیده و شروع به منبسط شدن مجدد کرده تا در نهایت تبدیل به جهان رو به گسترشی شود که ما اکنون در اطراف خود مشاهده می‌کنیم.

لحظهٔ وقوع چنین پس جهیدنی، آن زمان که جهان به اندازهٔ فندق منقبض شد عرصهٔ واقعی گرانش کوانتوم است. عرصه‌ای که در آن، زمان و فضا به کلی ناپدید شده‌اند و جهان درون توده‌ای مبهم از احتمال که البته هنوز با کمک معادلات قابل توصیف می‌باشد محو گشته است. به این ترتیب شکل شماره ۸ از درس قبل به گونه‌ای که در تصویر زیر مشاهده می‌کنید تغییر می‌یابد.





شکل شماره ۱۰

جهان ما ممکن است با عبور از مرحله‌ای میانجی که در آنجا فضا و زمان وجود نداشته‌اند، و در نتیجه یک بازگشت به مرحله‌ای قبل‌تر پدید آمده باشد.



دانش فیزیک درهایی را به روی ما می‌گشاید که از منظر آنها می‌توان افق‌های دورتری را مشاهده نمود، و بعد از آن هرچه می‌بینیم موجب شگفتی ما خواهد شد. ما درمی‌یابیم که اسیر پیش‌داوری‌های خود بوده‌ایم و اینکه تصویر شهودی ما از حقیقت جهان هستی، ناقص، کوتاه‌بینانه و ناکافی بوده است، اینکه زمین سیاره‌ای مسطح و ایستا نیست. و جهان همزمان که به تدریج گسترده‌تر و شفاف‌تر می‌گردد، در مقابل چشمان ما به تغییر خود ادامه می‌دهد. اگر ما آنچه را که تاکنون در قرن بیستم از جهان مادی آموخته‌ایم کنار هم بگذاریم، نشانه‌های حاصله به‌سوی چیزی کاملاً متفاوت از شناخت اولیه ما از ماده، فضا و زمان اشاره خواهند داشت. باری گرانش کوانتومی حلقوی کوششی است در جهت کشف این نشانه‌ها، و نگاهی عمیق‌تر به افق‌هایی دوردست‌تر.







## درس ۶: احتمال، زمان، و گرمای سیاه‌چاله‌ها

در کنار نظریه‌های مهمی که تاکنون مطرح نموده‌ام، نظریه‌هایی که اجزاء سازنده جهان را توصیف می‌کنند، دژ مستحکم و بزرگ دیگری در علم فیزیک وجود دارد که به نحوی متفاوت از بقیه است. آنچه موجب ظهور غیرمنتظره این مبحث شد یک سؤال ساده بود؛ گرما چیست؟

تا میانه‌های قرن نوزدهم فیزیکدان‌ها در تلاش بودند تا به منظور اطلاع از ماهیت گرما، آن را به‌عنوان نوعی سیال در نظر بگیرند که با نام "کالریک" یا دو سیال، یکی گرم و یکی سرد شناخته می‌شد. اما ایده مذکور غلط از آب درآمد؛ چیزی که درنهایت جیمز ماکسول و یک فیزیکدان اتریشی بنام لودویگ بولتزمن پی به آن بردند. یافته‌های این دو فیزیکدان در این خصوص بسیار زیبا، عجیب و گسترده است و ما را به حوزه‌هایی می‌برد که هنوز تا حد زیادی کشف نشده مانده‌اند. آنها متوجه شدند که داغ بودن یک ماده به خاطر وجود سیال کالریک در آن نیست، بلکه ماده داغ، ماده ایست که اتم‌های آن با سرعت بالاتری حرکت می‌کنند. ملکول‌ها، که دسته‌های کوچک از اتم‌های به هم پیوسته می‌باشند، و نیز خود اتم‌ها، همواره به اشکال مختلفی مانند چرخش، ارتعاش، بالا و پایین جهیدن و غیره در حال حرکت هستند. به این ترتیب هوای سرد، هواییست که اتم‌ها، یا بهتر است بگوییم مولکول‌ها در آن با سرعت پایین‌تری حرکت می‌کنند، و هوای گرم، هواییست که مولکول‌ها در آن با سرعت بالاتری حرکت می‌کنند. به همین سادگی! اما ماجرا به اینجا ختم نمی‌شود.

گرما، آن‌چنان که می‌دانیم، همیشه از اجسام گرم به اجسام سرد منتقل می‌شود. مثلاً یک قاشق چای‌خوری را وقتی داخل یک فنجان چای داغ می‌کنیم، قاشق نیز داغ می‌شود. همچنین اگر در یک روز سرد زمستانی لباس کافی نپوشیم، به سرعت



گرمای بدن خود را از دست داده و سردمان می‌شود. حال چرا گرما از اجسام گرم به اجسام سرد منتقل می‌شود، و چرا برعکس این حالت اتفاق نمی‌افتد؟

این یک سؤال بسیار مهم است، چرا که به ماهیت زمان مربوط می‌شود.

هر جا که انتقال گرما اتفاق نمی‌افتد و یا انتقال بسیار ناچیز است، می‌بینیم که آینده دقیقاً همچون گذشته رفتار می‌نماید، به‌طور مثال در چنین شرایطی، برای حرکت سیاره‌ها در منظومه شمسی، گرما تبدیل به ماهیتی تقریباً نامربوط می‌شود و در حقیقت همان حرکت در جهت مخالف نیز می‌تواند اتفاق بیفتد، بدون آنکه هیچ یک از قوانین فیزیک نقض شوند. اما به محض اینکه صحبت از گرما به میان می‌آید آینده متفاوت از گذشته می‌شود. مثلاً یک آونگ، در صورتی که اصطکاک برای آن صفر باشد، قادر است تا ابد به تاب خوردن ادامه دهد. حال اگر ما از تاب خوردن آونگ فیلم بگیریم و آن را از آخر به اول و به‌صورت برعکس پخش کنیم، می‌بینیم که هیچ تغییری در حرکات آونگ رخ نداده است. اما اگر اصطکاک وجود داشته باشد، آونگ در حین حرکت پایه‌های خود را اندکی داغ می‌کند و در نتیجه از دست دادن انرژی خود، سرعت تاب خوردنش کم می‌شود.

آری، اصطکاک موجب تولید گرما می‌شود. و خیلی زود ما قادر خواهیم بود آینده را (که آونگ در جهت آن کند می‌شود) از گذشته تمایز داده و باز بشناسیم.

یک آونگ هیچ‌گاه از حالت سکون شروع به تاب خوردن نمی‌کند، و یا آغازگر حرکت آن انرژی به دست آمده به وسیله جذب گرما از گیره‌های آونگ نیست.





تفاوت میان گذشته و آینده تنها با وجود گرما است که معنا می‌یابد، و پدیده‌ی اساسی که این تمایز را ایجاد می‌کند همان حقیقتی است که پیش‌تر ذکر شد، اینکه گرما از اجسام داغ‌تر به اجسام سردتر منتقل می‌شود. بنابراین یک بار دیگر، همگام با گذر زمان از خود می‌پرسیم که چرا گرما از اجسام داغ به اجسام سرد منتقل می‌شود و چرا برعکس این حالت اتفاق نمی‌افتد؟

بولتزمن دلیل این وضعیت را کشف کرد، دلیلی بسیار ساده و کاملاً برحسب تصادف. ایده‌ی او هوشمندانه است، به‌طوری که مبحث احتمال را نیز وارد بازی می‌کند؛ گرما در نتیجه‌ی قانونی مطلق از اجسام داغ به اجسام سرد منتقل نمی‌شود، بلکه تنها به علت بالا بودن احتمال وقوع این فرآیند است، زیرا از نظر آماری این وضعیت محتمل‌تر است که یک اتم از ماده‌ی داغ که با سرعت بالا در حرکت است با اتمی از ماده‌ی سرد برخورد کند و مقدار اندکی از انرژی خود را برای اتم ماده‌ی سرد بجا بگذارد تا وضعیت برعکس آن.

انرژی در برخوردها حفظ می‌شود، اما زمانی که تعداد برخوردها زیاد باشد انرژی تمایل به پراکنده شدن در تکه‌هایی کمابیش برابر را دارد. به این ترتیب دمای اجسام در تماس با هم تمایل به برابر شدن دارد. بنا بر آنچه گفته شد، برای یک جسم داغ غیرممکن نیست که در تماس با یک جسم سرد، داغ‌تر شود، بلکه تنها احتمال آن بسیار پایین است. آوردن احتمالات به بطن دانش فیزیک و استفاده از آن به منظور توضیح پایه‌های دینامیک گرما، در بادی امر مضحک و مهمل در نظر گرفته می‌شد. بنابراین طبق معمول کسی بولتزمن را جدی نگرفت. و در تاریخ پنج سپتامبر ۱۹۰۶ بود که او در شهر دوینو در نزدیکی تریسه ایتالیا خود را به دار آویخت تا هرگز قادر به مشاهده بازشناخت‌ها و تصدیق‌های جهانی، از درستی و اعتبار ایده‌های خود نباشد.





در درس دوم توضیح دادم که چگونه مکانیک کوانتوم پیش‌بینی می‌کند که حرکت چیزهای بسیار کوچک بر حسب تصادف اتفاق می‌افتد. و این خود، مبحث احتمال را بار دیگر وارد بازی می‌کند. اما نوع احتمالی که بولتزمن در نظر داشت، یعنی احتمال موجود در اساس گرما، دارای ماهیتی متفاوت است و مستقل از مکانیک کوانتوم می‌باشد. احتمالی که در مبحث گرما جریان دارد تا حد زیادی با نادانسته‌های ما گره خورده است.

من شاید با قطعیت از بعضی چیزها مطلع نباشم، اما می‌توانم به آنها درجه‌ای کم یا زیاد از احتمال را نسبت بدهم. به عنوان مثال من نمی‌دانم که آیا فردا اینجا در ماریس باران خواهد بارید یا نه، هوا آفتابی خواهد بود یا نه، برف خواهد بارید یا نه. با این حال احتمال اینکه در این ماه از سال، یعنی در آگوست، هوای فردای ماریس برفی باشد پایین است. به طور مشابه، در خصوص بسیاری از اجسام فیزیکی، ما برخی چیزها را در مورد وضعیت آنها می‌دانیم، اما نه همه چیز را، لذا ما تنها می‌توانیم براساس احتمالات اقدام به پیش‌بینی کنیم.

بادکنکی پر از هوا را در نظر بگیرید، من می‌توانم چیزهایی از این بادکنک از جمله شکل، حجم، فشار و دمای آن را اندازه‌گیری کنم. اما از آنجا که ملکول‌های هوای موجود در درون بادکنک به سرعت در حال حرکت و جابجایی هستند، از مکان دقیق هر مولکول درون بادکنک مطلع نیستم. و این باعث می‌شود نتوانم رفتار بادکنک را دقیقاً پیش‌بینی کنم. اگر من گره این بادکنک را باز کرده و آن را در فضا رها کنم، هوای داخل آن با سروصدای فراوان خالی و بادکنک با شتاب زیادی و به نحوی که من قادر به پیش‌بینی آن نباشم، به این سو و آن سو پرتاب خواهد شد. غیرممکن بودن پیش‌بینی حرکات بادکنک، در حین خالی شدن هوای داخلش به این دلیل است که من فقط از شکل، حجم، فشار و دمای آن اطلاع دارم، نه بیشتر. این پرتاب شدن‌ها به این سو و آن سو بستگی به جزئیات مکانی ملکول‌های هوای داخل بادکنک دارد، چیزی که من از آن آگاهی ندارم. تا به اینجا، من حتی اگر قادر نباشم به طور قطع همه چیز را پیش‌بینی کنم، لااقل احتمال





وقوع آنها را می‌توانم پیش‌بینی نمایم. مثلاً این احتمال که بادکنک مورد بحث ما بعد از رها شدن، از پنجره‌ی اتاق بیرون رفته و پس از یک دور چرخیدن به دور فانوس دریایی بیرون از خانه دوباره میان دست‌های من، جایی که از آنجا رها شد، فرود بیاید بسیار کم است، باری امکان وقوع برخی از رفتارها بیشتر و برخی دیگر کمتر می‌باشد.

به‌طور مشابه، احتمال انتقال گرما از اجسام داغ‌تر به اجسام سردتر در هنگام برخورد ملکول‌ها با همدیگر را نیز می‌توان محاسبه کرد که بر طبق نتیجه به دست آمده از این محاسبه، این احتمال بسیار بیشتر از احتمال انتقال یافتن گرما در مسیر برعکس، یعنی از جسم سرد به جسم داغ است.

آن شاخه از علم که به شفاف‌سازی این مسائل می‌پردازد "فیزیک استاتیک" نام دارد، و یکی از توفیقات آن، که آغازگرش بولتزمن اتریشی بود، شناخت ماهیت احتمالی گرما و دما بوده است، چیزی که ترمودینامیک نامیده می‌شود. این ایده که عدم آگاهی‌های ما حتماً به معنای وجود چیزی ناشناخته در خصوص رفتار جهان است در نگاه اول غیرمنطقی به نظر می‌رسد؛ قاشق چای‌خوری سرد در فرو رفتن به داخل فنجان چای داغ، داغ می‌شود و بادبادک پس از رها شدن به پرواز درمی‌آید، هر دو بدون توجه به آگاهی‌ها یا عدم آگاهی‌های ما.

آیا دانسته‌ها یا نادانسته‌های ما از عالم هستی ارتباطی با قوانین حاکم بر جهان دارند؟ سؤال مطرح شده منطقی و پاسخ به آن هوشمندانه است.

قاشق چای‌خوری و بادکنک آن‌گونه که باید و بر طبق قوانین فیزیک رفتار می‌کنند، یعنی کاملاً مستقل از آنچه ما در مورد آنها می‌دانیم یا نمی‌دانیم. قابل پیش‌بینی بودن یا نبودن رفتار آنها ارتباطی با شرایط خاص آنها ندارد، بلکه به مجموعه محدودی از ویژگی‌هایی مربوط می‌شود که ما با آنها در ارتباط متقابل هستیم. و این مجموعه ویژگی‌ها خود بستگی به



شیوه خاصی دارند که بر طبق آن ما با قاشق و بادکنک مورد بحث در ارتباط متقابل هستیم.

مبحث احتمال، نه اشاره به تکامل و گسترش ماده در درون خود، بلکه مربوط به گسترش آن کمیت‌های بخصوصی می‌شود که در تعامل متقابل با ما می‌باشند، و به این ترتیب، ماهیت عمیقاً ارتباطی آن دسته از مفاهیم که ما، به منظور سامان بخشیدن به جهان، از آنها بهره می‌گیریم بار دیگر ظهور می‌یابند. قاشق سرد درون فنجان چای داغ، داغ می‌شود، به این دلیل که چای و قاشق موردنظر از طریق تعداد معدودی متغیرها با ما در تعامل متقابلند، معدود متغیرهایی از میان شمار زیادی متغیر که معرف و مشخصه ریز حالت‌های خود می‌باشند. مقدار این متغیرها آن قدر کافی نیست که بتوان با آنها دقیقاً رفتارهای بعدی را پیش‌بینی کرد (همانند مثال بادکنک)، اما برای پیش‌بینی حد مطلوبی از این احتمال که قاشق داغ خواهد شد کفایت می‌کند.

امیدوارم توجه خواننده به خاطر بیان چنین تمایزات ظریفی، از موضوع پرت نشده باشد. اکنون در جریان قرن بیستم، دامنه مباحثی مانند ترمودینامیک (دانش مربوط به گرما) و مکانیک آماری (دانش مربوط به احتمال حرکت‌های مختلف) به دیگر شاخه‌های علم از جمله الکترومغناطیس و پدیده‌های کوانتومی گسترش پیدا کرده است، البته این گسترش به میدان گرانشی مشکل آفرین بوده، زیرا چگونگی رفتار میدان گرانشی پس از اینکه به آن گرما داده شود هنوز مسئله‌ای حل نشده است.

ما می‌دانیم برای یک میدان الکترومغناطیسی که به آن گرما داده شده چه اتفاقی می‌افتد، به‌عنوان مثال درون یک فر، تابش الکترومغناطیسی داغی وجود دارد که موجب پخته شدن کیک درون فر می‌شود. و ما می‌دانیم چگونه این را توصیف کنیم؛ امواج الکترومغناطیسی پس از گرم شدن مرتعش می‌شوند و انرژی را به‌طور تصادفی به اشتراک می‌گذارند، و باز ما





قادریم این همه را همچون گازی از فوتون تصور کنیم که نحوه حرکتشان مانند حرکت مولکول‌های درون یک بادکنک داغ است. اما میدان گرانشی داغ چیست؟





میدان گرانشی، همان‌گونه که در درس اول خواندیم، خود فضا یا در واقع خود فضا\_زمان می‌باشد. بنابراین وقتی گرما به میدان گرانشی انتشار می‌یابد، زمان و فضا هستند که باید به ارتعاش درآیند. البته ما هنوز نمی‌دانیم چگونه این وضعیت را به‌خوبی توصیف کنیم، زیرا معادله‌های لازم جهت توضیح ارتعاشات حرارتی در یک فضا\_زمان داغ را در اختیار نداریم.

اما زمان مرتعش چیست؟ موضوعاتی از این قبیل ما را به عمق مسائل مربوط به زمان می‌کشانند؛ گذر زمان دقیقاً چیست؟ این مسئله قبلاً در فیزیک کلاسیک مطرح بود و در قرن‌های نوزده و بیست توسط فلاسفه تأکید زیادی بر آن شد، اما در فیزیک نوین اهمیت آن بسیار بیشتر شده است. دانش فیزیک جهان را به وسیله فرمول‌هایی توصیف می‌کند که نحوه متفاوت بودن اشیاء از همدیگر را به‌عنوان تابعی از "زمان" بر ما بازگو می‌کنند، اما ما می‌توانیم فرمول‌هایی را نیز بنویسیم که نحوه متفاوت بودن اشیاء از هم را در ارتباط با "مکان" آنها برای ما نمایان کنند، یا اینکه مثلاً چگونه مژه یک پولوی ایتالیایی براساس "مقادیر متفاوت کره بکار رفته شده" می‌تواند متفاوت از بقیه پولوها باشد. زمان ماهیتی در جریان به نظر می‌رسد، در حالی که مقدار کره یا موقعیت مکانی در فضا این‌گونه نیستند. اما این تفاوت‌ها از کجا سرچشمه می‌گیرند؟

شیوه دیگر مطرح نمودن این مسئله این است که از خود بپرسیم، "اکنون" چیست؟ ما چنین می‌گوییم که فقط چیزهای مربوط به اکنون موجودیت دارند و گذشته دیگر نیست، آینده هم هنوز به وجود نیامده است. اما در فیزیک چیزی که مطابق با مفهوم اکنون باشد وجود ندارد. "اکنون" را با "اینجا"، مقایسه کنید، "اینجا" مکانی را مشخص می‌کند که گوینده در آن قرار دارد، بنابراین برای دو فرد متفاوت، "اینجا"، به دو مکان متفاوت اشاره خواهد داشت. در نتیجه "اینجا"، واژه ایست که معنای آن به مکانی که گوینده در آن واقع است بستگی دارد. اصطلاح تخصصی برای این‌گونه گفتارها "نمایه‌ای" می‌باشد. "اکنون" همچنین اشاره به لحظه‌ای دارد که این واژه بیان شده است و به همین دلیل به نمایه‌ای‌ها نزدیک است. اما هیچ کس خیال این را هم ندارد که بگوید چیزهایی که در "اینجا" هست، وجود دارند، در حالی که آنچه





در "اینجا"، نیست وجود ندارد. اما پس چرا می‌گوییم چیزهایی که "اکنون" هستند، وجود دارند و هر چه "اکنون" نیست، وجود ندارد. آیا زمان حال یک چیز انتزاعی در جهان است؟ چیزی که در جریان باشد و به اشیاء، یکی پس از دیگری، موجودیت بدهد؟ یا اینکه مانند "اینجا" تنها یک مفهوم عینی است؟

این وضعیت به یک بیماری ذهنی پیچیده می‌ماند. اما فیزیک نوین آن را به بحثی داغ مبدل کرده است، زیرا نظریه نسبیت خاص نشان داده که مفهوم "اکنون" نیز دارای ماهیتی عینی می‌باشد. فیزیکدان‌ها و فلاسفه به این نتیجه رسیده‌اند که ایده "زمان حال"ی که برای تمام جهان یکسان باشد خیالی واهی بیش نیست و اینکه گذر جهانی زمان یک تعمیم‌پذیری ناکارآمد است.

وقتی که بهترین دوست ایتالیایی انشتین، یعنی میشل بسو، از دنیا رفت، انشتین طی نام‌های تأثرانگیز به خواهر وی نوشت: میشل این جهان غریب را اندکی زودتر از من ترک کرد. این البته گفته‌ای بی‌معناست؛ آدم‌هایی شبیه به ما که به فیزیک باور دارند می‌دانند که تمایز قائل شدن میان گذشته، حال و آینده چیزی جز یک توهم سمج و لجوجانه نیست.

چه توهم باشد چه نباشد، اکنون می‌خواهیم بدانیم چه چیزی این حقیقت که زمان برای ما در گذر است را می‌تواند توضیح دهد؟ گذر زمان برای همه ما کاملاً واضح و مبرهن است، افکار و گفته‌های ما در زمان موجودیت می‌یابند، یعنی ساختار زبان نیازمند زمان است، و یک چیز یا هست، یا بوده و یا خواهد بود. تصور جهانی بدون رنگ، بدون ماده یا حتی جهانی بدون فضا امکان‌پذیر است، اما جهان بدون "زمان" حتی به‌سختی متصور می‌شود.

مارتین هایدگر، فیلسوف آلمانی، بر "اقامت ما در زمان" تأکید داشت. حال آیا جریان زمان، آن‌گونه که هایدگر از آن به‌عنوان ماهیت بنیادی یاد می‌کرد، از توصیفات ما درباره جهان غایب می‌باشد؟





برخی فلاسفه، از جمله مخلص‌ترین پیروان هایدگر، چنین نتیجه می‌گیرند که دانش فیزیک در توصیف بنیادی‌ترین جنبه‌های واقعیت ناتوان است، و فیزیک را به‌عنوان شکل تحریف‌شده‌ای از دانش رد می‌کنند. اما در گذشته بارها پی برده‌ایم که این شهودات آنی ما هستند که شفافیت و دقت کافی را ندارند، حال اگر ما صرفاً به همین شهودات مبهم بسنده می‌کردیم هنوز بر این باور می‌بودیم که زمین سیاره‌ای مسطح است و اینکه خورشید به دور زمین می‌چرخد. شهودات ما بر پایه تجربه محدودی که در اختیار داریم گسترش یافته‌اند. وقتی اندکی به دورتر نگاه می‌کنیم، درمی‌یابیم که جهان آن چیزی که در ظاهر می‌نماید نیست، زمینش گرد است و به دور خود و خورشید می‌چرخد.

"اعتماد به شهودات آنی به جای بررسی‌های جمعی که هوشمندانه، محتاطانه و منطقی می‌باشند خیلی با عقل جور در نمی‌آید."

باری این فرضیات یک پیرمرد است که نمی‌خواهد باور کند جهان وسیع بیرون از دهکده او هیچ تفاوتی با آنچه او همیشه می‌شناخته است ندارد.

چنانکه به نظر واضح می‌رسد، تجربه ما از گذر زمان نیازی به منعکس نمودن جنبه‌ای بنیادی از واقعیت ندارد. اما اگر گذر زمان ماهیتی بنیادی نیست پس از کجا آمده؟ به عقیده من پاسخ به این سؤال در رابطه پیچیده میان زمان و گرما نهفته است؛ لذا میان گذشته و آینده، تنها زمانی که صحبت از گرما در میان باشد، یک تمایز قابل تشخیص وجود دارد. گرما به احتمال مرتبط است و احتمال نیز، به نوبه خود، با این حقیقت که تعامل متقابل ما با بقیه جهان بیانگر جزئیات دقیقی از واقعیت نیست، در ارتباط می‌باشد.

بنابراین جریان زمان از فیزیک سرچشمه می‌گیرد، نه از زمینه یک توصیف دقیق از اشیاء، آن‌گونه که هستند. بلکه این





جریان از زمینه‌آمار و ارقام و ترمودینامیک است که برمی‌خیزد. چنین پنداشتی ممکن است کلید حل معمای زمان باشد.

هرچقدر که "اینجا" مفهومی عینی ست، زمان حال یا "اکنون" به صورت یک مفهوم عینی وجود ندارد. اما تأثیرات متقابل در جهان هستی در مقیاس میکروسکوپی موجب ظهور پدیده‌هایی "زمانی" در یک سازگان (مثل خود ما) می‌شوند، سازگانی که فقط از طریق مجموعه‌ای از هزاران متغیر خود در کنش‌ها شرکت دارد.

حافظه و آگاهی ما بر مبنای این پدیده‌های آماری شکل گرفته است. برای یک موجود فرضی که فوق‌العاده باهوش و دانا باشد، چیزی بانام گذر زمان وجود نخواهد داشت و جهان یک قطعه واحد از گذشته، حال و آینده خواهد بود. اما به خاطر محدودیت آگاهی‌های انسان، ما تنها یک تصور مبهم از جهان خود داشته و در نتیجه، در زمان زندگی می‌کنیم. همان‌گونه که ویراستار ایتالیایی من همیشه می‌گوید: "وسعت نادیده‌ها بسیار بیشتر از دیده‌هاست."

باری از دریچه تنگ و تاریک دانش بشری، ما برداشت خود از گذر زمان را دریافت می‌کنیم. همه چیز واضح و قابل فهم بود؟ نه! نبود. زیرا هنوز ناشناخته‌های بسیاری برای فهمیدن وجود دارد.

زمان در رأس تمامی آن مسائلی قرار دارد که برخاسته از فصل مشترک میان گرانش کوانتوم، مکانیک کوانتوم و ترمودینامیک می‌باشند، مسائلی که باعث ماندن ما در تاریکی ناآگاهی‌ها شده‌اند. لذا اگر مطلبی در مورد گرانش کوانتوم باشد که احتمالاً ما در نقطه آغاز فهمیدن آن باشیم، چیزی که شامل دو بخش از این سه قسمت گمشده پازل ما (مکانیک کوانتوم، گرانش کوانتوم، و ترمودینامیک) باشد، باز ما نظریه‌ای که قادر به ترسیم تمامی این سه قطعه از دانش بنیادی ما از جهان هستی باشد را هنوز در اختیار نداریم.





یک سرخ کوچک در جهت حل این معما از محاسبه‌ای می‌آید که توسط استیون هاوکینگ کامل شده است. هاوکینگ فیزیکدان انگلیسی است که به خاطر خلق مستمر آثار ممتاز در علم فیزیک، باوجود شرایط جسمی خاصش، مشهور است. زندگی این فیزیکدان نابغه محدود به یک ویلچر است و وی حتی توانایی صحبت کردن بدون کمک دستگاه را نیز ندارد.

هاوکینگ با بهره‌گیری از مکانیک کوانتوم به طرز موفقیت‌آمیزی اثبات کرده که سیاه‌چاله‌ها همواره داغ هستند، آنها مانند یک اجاق از خود گرما بیرون می‌دهند. به این ترتیب، این اولین نشانه مشخص در مورد ماهیت فضای داغ است. هیچ کس تاکنون این گرما را مشاهده نکرده، زیرا مقدار آن در سیاه‌چاله‌هایی که تا به امروز مطالعه شده‌اند ضعیف و نامحسوس می‌باشد. اما محاسبه هاوکینگ در این زمینه گیرا و قانع‌کننده است و تاکنون به شیوه‌های مختلف نیز تکرار شده، بنابراین واقعیت وجود گرما در سیاه‌چاله‌ها به‌طور کلی تأیید شده است.

گرمای سیاه‌چاله‌ها، که ذاتاً ماهیتی گرانشی دارند، نتیجه تأثیری کوانتومی بر روی یک جسم (سیاه‌چاله) است. گرمایی که ذره بنیادی جداگانه‌ای از فضا است و مولکول‌های مرتعش آن موجب داغ شدن سطح سیاه‌چاله شده و به عبارتی گرمای سیاه‌چاله را تولید می‌کنند.

این فرآیند دربردارنده هر سه جنبه مسئله، یعنی مکانیک کوانتوم، نسبیت عام و دانش مربوط به گرما می‌باشد. باری گرمای سیاه‌چاله‌ها همچون سنگ‌نوشته علم فیزیک است که از ترکیب سه زبان مختلف نوشته شده باشد؛ زبان کوانتوم، زبان گرانشی، و زبان ترمودینامیک، سنگ‌نوشته‌ای که همچنان در انتظار رمزگشایی است تا ماهیت واقعی زمان را آشکار سازد.



## درس ۷: خودمان

بعد از سفری که تاکنون داشته‌ایم؛ از ساختار فضای ژرفناک تا کرانه‌های جهان تاکنون شناخته شده، مایلم پیش از به پایان رساندن این مجموعه درس‌ها به بحث در مورد خودمان بازگردم. نقش ما به‌عنوان انسان‌هایی که می‌بینیم، تصمیم می‌گیریم، می‌خندیم و گریه می‌کنیم در نگاره بزرگ این جهان که توسط فیزیکدان‌های معاصر به تصویر کشیده شده چیست؟

اگر عالم هستی فوجی از ذره‌های بنیادی ناپایدار فضا و ماده است، اگر پازل جورچین بزرگی از فضا و ذرات بنیادیست، پس ما چه هستیم؟ آیا ما نیز از صرفاً کوانتا و ذرات تشکیل شده‌ایم؟ اگر چنین است پس آن حس منحصر به فرد وجود داشتن و فردیت بی‌همتایی که همه ما گواه بر وجودش در خودمان هستیم را از کجا به دست آورده‌ایم؟ و سپس اینکه ارزش‌های ما کدامند؟ رؤیاها، احساسات و دانش فردی ما چه هستند؟ اصلاً در این جهان بیکران و پر تبوتاب ما چه هستیم؟

من حتی تصور اینکه واقعاً بخواهم در این چند صفحه ساده پاسخی برای سؤال‌های بالا بیابم را نمی‌توانم بکنم چراکه سؤالات، سؤالات دشواری هستند. در نگاره عظیم علم معاصر چیزهای زیادی وجود دارند که ما آنها را نمی‌فهمیم، و یکی از آنها که بسیار کم در موردش می‌دانیم خودمان است.

اما اجتناب از این سؤال یا نادیده گرفتن آن، به عقیده من، به منزله چشم‌پوشی از یک موضوع بنیادیست. زیرا هدف من از ابتدا این بوده که نشان دهم این جهان، در پرتو علم چگونه به نظر می‌رسد، جهانی که خود ما نیز بخشی از آن هستیم.



ما انسان‌ها نخستین و مهم‌ترین سوژه‌هایی هستیم که به مشاهده‌ی این جهان می‌پردازیم؛ گردآورندگان تکه‌های تصویر واقعیت، واقعیتی که من تاکنون تلاش کرده‌ام به آن بپردازم. ما به مثابه حلقه‌های سازنده شبکه‌ای از مبادلات هستیم (که کتاب پیش رو مثالی از آنهاست)، شبکه‌ای که از طریق آن تصاویر، ابزارها، اطلاعات و دانش را ردوبدل می‌کنیم. اما ما همچنین جزء لازمی از جهانی که می‌بینیم را نیز تشکیل می‌دهیم، یعنی ما ناظران بیرونی به جهان نیستیم بلکه در داخل آن قرار داریم و نگاه ما به جهان از مرکز به آن است. ما انسان‌ها از همان اتم‌ها و سیگنال‌های نوری ساخته شده‌ایم که بین اشیاء، از درخت کاج واقع در کوهستان گرفته تا ستاره‌های موجود در کهکشان‌ها، در تبادل هستند. همچنان که دانش ما افزایش یافته است، پی برده‌ایم که بودن و موجودیت ما تنها بخش کوچکی از جهان به شمار می‌رود.

این موضوع چندین قرن است که در حال روشن‌تر شدن می‌باشد، خاصه در طی قرن گذشته. در گذشته ما چنین باور داشتیم که بر روی سیاره‌ای واقع در مرکز عالم هستیم، حال آنکه واقعاً نبودیم. تصور می‌کردیم که به‌عنوان موجوداتی منحصر به فرد و نژادی جدای از خانواده حیوانات و گیاهان وجود داریم، اما بعدها کشف کردیم که همانند سایر موجودات زنده اطرافمان، ما نیز نوادگان همان اجداد هستیم. ما اجدادی مشترک با پروانه‌ها و کاج‌های فرنگی داریم، ما شبیه تنها بچه‌ای هستیم که همچنان که بزرگ می‌شود پی می‌برد که، برخلاف آنچه در کودکی فکر می‌کرده، جهان تنها به دور او نمی‌چرخد، لذا او باید بیاموزد که عضوی در میان دیگران باشد.. باری به واسطه همین دیگر موجودات و دیگر چیزهاست که ما اکنون می‌دانیم چه هستیم.

در دوران پرشکوه ایدئالیسم آلمانی، شلینگ متصور بود که انسانیت نمایانگر نقطه‌ی اوج جهان است، یعنی بالاترین درجه، جایی که واقعیت به خود آگاه می‌گردد. امروز اما، بر اساس دیدگاهی که دانش اخیر ما از جهان طبیعی برایمان فراهم آورده، این تصور شلینگ تنها باعث خنده ما می‌شود. اگر ما خاص هستیم، این خاص بودن به همان اندازه و به همان



شکلی ست که هرکسی درون خود احساس خاص بودن می‌کند. همان‌گونه که هر مادری برای بچه‌ی خود خاص است و مسلماً برای بقیه طبیعت نیست.

در میان اقیانوس عظیمی از کهکشان‌ها و ستارگان، ما در گوشه‌ای دور افتاده و در میان نگارخانه‌ای از صورت‌های نامتناهی که تشکیل‌دهنده واقعیت هستند، تنها، جلوه‌ای در میان تعداد بی‌شماری جلوه‌های این‌چنینی هستیم.

شمایلی که ما از جهان هستی ساخته‌ایم، درون ما و در فضای تفکرات ما اقامت دارند. در میان این شمایل، میان آنچه ما توانایی بازسازی و کسب دانش از طریق ابزارهای محدود خود را داریم، و میان واقعیتی که ما جزئی از آن هستیم پالوده‌های بی‌شماری قرار گرفته‌اند، از جمله ناآگاهی‌های ما، و محدود بودن ادراکات، احساسات و هوشمندی ما. دقیقاً همین شرایط مشابه را طبیعت ما، به‌عنوان یک سوژه خاص در جهان، به تجارب ما نیز تحمیل می‌کند.

با این حال چنین شرایطی، همان‌طور که کانت متصور شده بود، همگانی و جهان‌شمول نیستند، زیرا از نظر کانت (البته کاملاً به اشتباه)، در صورت صدق کلی بودن این شرایط، ماهیت فضای اقلیدسی و یا حتی مکانیک نیوتونی را نیز باید از پیش کاملاً درست فرض کرد. آنها پس از تکامل ذهنی که ما از گونه‌های خود به دست آوردیم بوده‌اند و همواره در حال تکامل هستند. ما نه تنها می‌آموزیم، بلکه یاد می‌گیریم که چگونه چارچوب ذهنی خود را به تدریج تغییر داده و آن را با آموخته‌های خود وفق دهیم. و آنچه نیز که در حال یادگیری به‌منظور دستیابی به شناخت هستیم، هرچند آرام و با درنگ، ماهیت جهانی واقعی ست که بخشی از آن خود ما می‌باشیم.

شمایلی که ما از جهان هستی می‌سازیم ممکن است درون خود ما باشند، در فضای ذهنی ما، اما آنها کمابیش جهان واقعی که ما به آن تعلق داریم را نیز توصیف می‌کنند. باری به منظور تعریف بهتری از جهان، ما همچنان سرنخ‌ها را دنبال



می‌کنیم.

وقتی در مورد انفجار بزرگ (مهبانگ) یا ساختار فضا صحبت می‌کنیم، آنچه می‌گوییم ادامه‌ی داستان‌های شبانه‌ی ساختگی و خیالی که آدم‌ها برای صدها و هزاران سال دور آتش تعریف می‌کرده‌اند نیست، بلکه دنباله‌ی چیزهای دیگر است، از جمله نگاه خیره‌همین آدم‌ها در هنگام طلوع اولین پرتوهای روشنایی روز و مشاهده‌ی ردپای شکارهایشان در میان دشتزارها و بعد بررسی و نتیجه‌گرفتن از جزئیات تکه‌های واقعیت به منظور تعقیب کردن چیزی که اگرچه مستقیماً نمی‌بینیم، اما نشانه‌هایش را می‌توانیم دنبال کنیم.

با آگاهی به اینکه امکان به اشتباه رفتن همیشه وجود دارد، ما باید برای تغییر مسیر در هر لحظه‌ای که راه جدیدی نمایان شود آماده باشیم. اما همچنین باید بدانیم که اگر به اندازه کافی خوب باشیم تکلیف روشن است و آنچه به دنبالش هستیم را خواهیم یافت، و این ماهیت علم است.

آشفته‌گی میان این دو کار متفاوت بشری، یعنی خلق داستان‌های خیالی و دنبال کردن نشانه‌ها برای یافتن یک چیز، منشأ عدم فهم‌ها و بدگمانی‌ها به علم، آن‌چنان که توسط بخش مهمی از فرهنگ امروزی ما نشان داده می‌شود، می‌باشد. این مفارقت بسیار ظریف و موشکافانه است؛ گوزنی که آدمیان در صبح گاه شکار می‌کردند هیچ متفاوت از گوزن خیالی که در داستان‌های شبانه تعریف می‌شد نیست.

باری مرز میان این دو متخلخل است، اسطوره علم را می‌پروراند و علم اسطوره را پروبال می‌بخشد. اما ارزش دانش بجای خود باقیست؛ و تنها در صورتی که گوزن را بیابیم می‌توانیم آن را شکار کنیم. در نتیجه دانش ما بازتابی از جهان ماست، اگرچه نه خیلی خوب و کامل اما دانش ما بازتابی از جهانی است که ما در آن ساکنیم. این ارتباط میان ما و جهان هستی



تمایزدهنده‌ی ما از بقیه‌ی عالم نیست، بلکه در عالم همه چیز در تعامل متقابل با یکدیگرند، و در طی این فرآیند، هر چیزی دربردارنده‌ی نشانه‌هایی از این تعاملات است، و از این منظر همه چیز در جهان پیوسته در حال تبادل اطلاعات در مورد همدیگر هستند.

اطلاعاتی که یک سازگان فیزیکی درباره‌ی دیگری دارد شامل هیچ چیز ذهنی و یا عینی نیست، بلکه این اطلاعات تنها محتوی ارتباطی است که دانش فیزیک میان وضعیت یک چیز با وضعیت دیگری مشخص می‌نماید؛ یک قطره باران حاوی اطلاعاتی درباره‌ی وجود یک ابر در آسمان است، یک پرتو نور دربردارنده‌ی اطلاعاتی در خصوص رنگ ماده‌ای می‌باشد که سرچشمه‌ی آن نور است، یک ساعت دیواری دارای اطلاعاتی درباره‌ی زمان در طول روز است، یک تندباد اطلاعاتی در مورد طوفانی قریب‌الوقوع را به دست می‌دهد، یک ویروس سرماخوردگی اطلاعاتی در مورد آسیب‌پذیر بودن بدن به همراه خود دارد، دی‌ان‌ای سلول‌های ما محتوی همه‌ی اطلاعات درباره‌ی کد ژنتیکی ماست (درباره‌ی آنچه باعث می‌شود شبیه والدین خود باشیم)، و یا مغز ما مملو از اطلاعاتی است که در نتیجه تجربه‌های ما شکل گرفته‌اند.

ماده‌ی اولیه‌ی تفکرات ما انبوه بسیار عظیمی از اطلاعاتی است که انباشته شده، مبادله می‌شود و پیوسته در حال گسترش می‌باشد. حتی ترموستات موجود در سیستم حرارتی مرکزی خانه‌ی من محدوده‌ی گرمای خانه را حس می‌کند و می‌داند، یعنی اطلاعاتی درباره‌ی آن دارد و زمانی که هوای خانه به اندازه کافی گرم باشد خاموش می‌شود. پس بنابراین چه تفاوتی میان نوع احساس و دانش یک ترموستات با احساس و دانش من، به عنوان یک انسان، وجود دارد که با احساس کردن گرمای کافی، آزادانه تصمیم می‌گیرم بخاری را خاموش کنم، یا اینکه می‌دانم که وجود دارم؟ چگونه تبادل پیوسته‌ی اطلاعات در جهان می‌تواند ما و تفکرات ما را به وجود آورده باشد؟



این مسئله، باوجود ارائه‌ی راه‌حل‌های دقیق بسیاری که هم اکنون در دست گفتگو قرار دارند، حل نشده و هنوز جای بحث دارد. این، به باور من، یکی از جالب‌ترین کشفیات اخیر در علم است که پیشرفت‌های عمده‌ای نیز در آن در شرف وقوع می‌باشند. امروزه ابزارهای جدید بما این امکان را می‌دهند که فعالیت‌های مغز را در حین کار مشاهده و مطالعه کنیم و نقشه شبکه‌های پیچیده آن را با دقت قابل ملاحظه‌ای ترسیم نماییم. به تازگی در سال ۲۰۱۴ اخباری منتشر شد که طی آن اولین نقشه کامل و جامع (میان نگر) از ساختار مغز یک پستاندار به دست آمده است.

ایده‌های بخصوصی در مورد اینکه چگونه شکل ریاضی این ساختارها می‌تواند باتجربه‌های عینی از قوه آگاهی ما مطابقت داشته باشد در حال حاضر توسط فلاسفه و نیز عصب شناسان در دست بحث و بررسی هستند. یکی از این ایده‌های جالب توجه، به‌طور مثال، نظریه‌ای ریاضی می‌باشد که به وسیله خولیو تونونی، دانشمند ایتالیایی مقیم آمریکا، شکل گرفته است. نظریه مذکور که بانام "نظریه اطلاعات هماهنگ" شناخته می‌شود تلاشی است در جهت توصیف کمی ساختاری که یک سازگان، برای اینکه سازگانی هوشیار در نظر گرفته شود، باید داشته باشد. یا مثلاً شیوه‌ای برای توصیف اینکه چه چیزهایی در سطح فیزیکی میان زمان بیداری ما (زمانی که هوشیار هستیم) با زمانی که خواب هستیم اما رؤیا نمی‌بینیم (، زمانی که بی‌هوش هستیم) تغییر می‌کنند. ما هنوز راه‌حلی قانع‌کننده و اثبات شده برای این مسئله که بیهوشی ما چگونه به وجود می‌آید در اختیار نداریم، اما چنین به نظر می‌رسد که سردرگمی‌ها در این زمینه در حال برطرف شدن هستند.

خاصه یک موضوع در ارتباط با خودمان وجود دارد که اغلب اوقات ما را متحیر و سردرگم می‌سازد؛ برخورداری ما از اراده تصمیم‌گیری آزادانه چه معنایی می‌دهد اگر در رفتار، کاری برخلاف پیروی از قوانین از پیش تعیین شده جهان انجام ندهیم؟ آیا احتمالاً تناقضی میان احساس آزادی اراده ما با نظم و ترتیب جهان‌شمولی که امروزه ما آن را درک کرده‌ایم و به واسطه آن اشیاء موجود در جهان فعالیت و عمل می‌کنند وجود ندارد؟ آیا چیزی در وجود ما هست که از این قاعده و نظم



جهان، گریزان باشد؟ چیزی که به ما این اجازه را بدهد تا از طریق قدرت اختیارمان در اندیشیدن، از قواعد جهان سرباز زده و آنها را دور بزنیم؟

خب، پاسخ به این سؤالات نه است، هیچ چیز در مورد ما وجود ندارد که به واسطه‌ی آن بتوانیم از قواعد و ضابطه‌های جهان بگریزیم، زیرا اگر چیزی در وجود ما می‌توانست از این قوانین تخطی کند، تاکنون آن را کشف کرده بودیم. بنابراین چیزی که در سرشت ما برخلاف رفتار طبیعی اشیاء و ماهیت‌های جهان باشد موجودیت ندارد. و تمامی علم مدرن، از فیزیک گرفته تا شیمی و از زیست‌شناسی تا علوم اعصاب شناسی، همگی این یافته‌ها را تأیید می‌کنند.

راه‌حل چنین سردرگمی در جای دیگری نهفته است، وقتی می‌گوییم آزاد هستیم، و به‌درستی که ما می‌توانیم آزاد باشیم، این بدان معناست که چگونگی رفتار ما به وسیله‌ی آنچه درون ما، درون مغز ما رخ می‌دهد مشخص می‌شود نه توسط عامل‌های بیرونی. آزاد بودن به این معنا نیست که رفتار ما به وسیله‌ی قوانین جهان معین نشده باشد، بلکه این قوانین در مغز ما وجود دارند و آنجا در حال عمل کردن هستند تا رفتار ما را مشخص می‌نمایند.

تصمیمات آزادانه‌ی ما در نتیجه‌ی تعاملات متقابل سرشار و ناپایدار میلیاردها نورونی است که در مغز ما وجود دارند. این تصمیمات تا اندازه‌ای آزاد هستند که تعاملات میان نوروها اجازه دهد و تعیین کند. آیا این یعنی وقتی من تصمیمی می‌گیرم، این "من" هستم که این کار را انجام می‌دهم؟ بله، البته که این چنین است، زیرا عاقلانه نیست که از خود بپرسیم آیا من می‌توانم چیزی متفاوت از آنچه مجموعه میلیاردها نورون مغز من تصمیم گرفته‌اند انجام بدهم؟ و این هردو چیز، همان‌گونه که باروخ اسپینوزا، فیلسوف هلندی در قرن هفدهم با هوشیاری حیرت‌انگیزی پی به آن برد، درواقع یک چیز واحد هستند. بنابراین یک "من" و یک "نورون‌های موجود در مغز من" وجود ندارد، بلکه هردو، یک چیز واحدند. هر



شخصی یک فرآیند است، پیچیده و بشدت هماهنگ و نظام یافته.

وقتی می‌گوییم رفتار انسان غیرقابل پیش‌بینی است، درست گفته‌ایم، چرا که رفتار آدمی بسیار پیچیده‌تر از آن است که بتوان آن را پیش‌بینی نمود، خاصه اینکه خودمان بخواهیم این کار را انجام دهیم. آزادی باطنی که ما به شدت در خود احساس می‌کنیم، همان‌طور که اسپینوزا مشاهده کرده بود، از این حقیقت سرچشمه می‌گیرد که تصورات ذهنی ما از خودمان بسیار ناقص‌تر و دست و پا شکسته‌تر از پیچیدگی مفصل آنچه درون ما در حال وقوع است می‌باشد. باری ما سرچشمه شگفتی از دیدگاه خود هستیم.





در مغز ما، ده‌ها میلیارد نورون وجود دارد، به تعداد ستاره‌های موجود در یک کهکشان. حتی با تعداد بیشتری از پیوندها و ترکیب‌شدگی‌های بالقوه که از طریق آنها، نورون‌ها قادر به تعامل متقابل با یکدیگرند. ما به همه این‌ها آگاهی نداریم، اما ما جریانی هستیم که توسط تمامی این پیچیدگی پدید آمده است، نه فقط آن بخشی که به آن آگاهیم.

آن "من"ی که تصمیم می‌گیرد همان "من"ی است که از طریق تفکرات ما درباره خود (البته به شیوه‌ای که هنوز برای ما کاملاً روشن نشده اما به‌طور اجمالی به آن واقفیم) پدید آمده است؛ از طریق بازنمایی خود در جهان، از طریق فهمیدن خود به‌عنوان دیدگاهی متغیر که ما در خصوص جهان هستی داریم، و از طریق ساختار حیرت‌انگیز مغز خود که اطلاعات را پردازش می‌کند و بازنمایی‌ها را به وجود می‌آورد. وقتی ما به این احساس می‌رسیم که آنچه تصمیم می‌گیرد "من" هستم، درست‌تر از این نمی‌تواند باشد، باری چه کسی غیر از خودمان؟ من، همان‌گونه که اسپینوزا معتقد بود، بدن خود و آنچه در مغز و قلب بسیار پیچیده‌ام اتفاق می‌افتد هستم.

تصویر علمی از جهان که من طی این صفحات شرح دادم با احساسی که ما از خود داریم، با افکار ما در حیطه‌های اخلاقی و روان‌شناختی، و نیز با عواطف و احساسات ما به هیچ وجه مغایر نیست. جهان پیچیده است، و ما این پیچیدگی را به زبان‌های مختلفی مدنظر قرار می‌دهیم، زبان‌هایی که هرکدام مناسب فرآیند نیست که ما در حال توصیف آن هستیم. هر فرآیند پیچیده‌ای می‌تواند به زبان‌های مختلف و در سطوح مختلف مخاطب واقع شده و فهمیده شود، این زبان‌های گوناگون، درست مانند خود فرآیندها، همدیگر را قطع می‌کنند، درهم می‌پیچند و به‌صورت متقابل یکدیگر را گسترش می‌دهند. لذا بررسی خصوصیات روحی ما، با اطلاع از بیوشیمی مغز پیچیده‌تر می‌شود.

باری مطالعه فیزیک نظری به یمن شوق و اشتیاق و احساساتی که زندگی‌های ما را روح تازه‌ای دمیده‌اند پرورانده می‌شود.



ارزش‌های اخلاقی ما، احساسات ما، و دلبستگی‌های ما واقعی هستند به واسطه‌ی اینکه جزئی از جهانند، با دنیای حیوانات اشتراکاتی دارند و توسط تحولی که گونه‌ی ما میلیون‌ها سال پیش متحمل شد تعیین شده‌اند. بلکه این چیزها در نتیجه این جمله که "این‌ها خود واقعی هستند"، ارزشمندتر می‌نمایند. آری این‌ها واقعیت پیچیده‌ای هستند که ما را به وجود می‌آورند. و واقعیت ما اشک‌ها و لبخندهای ماست، قدرشناسی‌ها و نوع‌دوستی‌های ما، وفاداری‌ها و خیانت‌های ماست، گذشته‌ایست که ما را مدام به خود مشغول می‌دارد و درنهایت آرامش ماست. واقعیت ما توسط جامعه‌ی ما شکل می‌گیرد، توسط احساسی که با شنیدن یک موسیقی به ما الهام می‌شود، و توسط شبکه‌های باشکوه و درهم‌تنیده‌ای از معلومات عمومی که ما انسان‌ها باهم ساخته‌ایم. و این، همه بخشی از جهانی است که ما در حال توصیفش هستیم. ما انسان‌ها جزئی لاینفک از جهانیم، ما خود جهان هستیم در یک جلوه از جلوه‌های بیشمار و هر بار متفاوتش.

این چیز است که ما از دانش روزافزون خود به اشیاء و ماهیت‌های جهان آموخته‌ایم. آن چیزی که مشخصاً ما را انسان می‌کند دلالت بر جدا بودن ما از جهان ندارد، بلکه خود بخشی از این جهان است؛ قالبی است که عالم، اینجا، در سیاره‌ی ما، در میان نمایش بی‌انتهایی از ترکیب شدن‌ها که حاصل تأثیرات متقابل و مبادله‌ی ارتباطات و اطلاعات میان اجزایش می‌باشد، به خود گرفته است.

چه کسی می‌داند در فضای بیکران عالم هستی چه تعداد و چه نوع پیچیدگی‌های شگفت‌انگیز دیگری وجود دارد؟ به شکل‌هایی که شاید تصورش هم برای ما ممکن نباشد. بالای سرمان آن قدر فضا گسترده است که به نظر ناپختگی می‌آید اگر تصور کنیم در گوشه پرتی از یک کهکشان معمولی چیزی باید وجود داشته باشد (انسان) که به‌طور منحصربه‌فردی خاص است. حیات بر روی زمین تنها یک تجربه کوچک از آن چیز است که در عالم هستی می‌تواند اتفاق بیفتد، و سرشت ما نیز، خود مثالی جزئی از این دست می‌باشد. ما گونه‌ای هستیم که ذاتاً متأثر از حس کنجکاوی خود است، تنها گونه



بجای مانده از مجموعه دوازده گونه‌ی دیگر (انسان خردمند) که همگی به یک اندازه کنجکاو بودند. گونه‌های دیگر این دسته همگی منقرض شدند، و برخی از آنها مانند انسان‌های نخستین به تازگی یعنی حدود سی هزار سال پیش از بین رفتند. این دسته از گونه‌ها در آفریقا تکامل یافته‌اند؛ شبیه شامپانزه‌های شرور و سلسله مراتبی، یا حتی شبیه‌تر به بونوبو‌ها (شامپانزه‌های کوتوله)، نوعی کوچک، آرام، به‌طور خوش‌بینانه‌ای مساوات طلب و بی‌قیدوبند از شامپانزه‌ها. دست‌های از گونه‌ها که به‌طور پیوسته از آفریقا دور شدند تا جهان‌های جدید را کشف کنند، و آنها دور شدند و دور شدند، و تا پاتاگونیا پیش رفتند و سرانجام آن‌قدر دور شدند که سر از ماه درآوردند. (اشاره به سفر آزمایشی میمون‌ها به فضا). باری کنجکاوی چیزی مغایر با جهان هستی نیست، و کنجکاو بودن در سرشت ماست.

صد هزار سال پیش، گونه‌ی ما آفریقا را ترک نمود و احتمالاً از روی همین حس کنجکاوی، آموخت که به افق‌های هرچه دورتر بنگرد.

شی‌ی که بر فراز آفریقا در حال پرواز بودم با خود فکر می‌کردم که شاید یکی از این اجداد دور، که فضای وسیع بالای سرش کنجکاوی او را برانگیخته است به آسمان خیره شده و چنین متصور شده باشد که روزی یکی از نوادگان دور او بر فراز همین آسمان به پرواز در خواهد آمد و از روی همین احساس کنجکاوی مشترک در مورد ماهیت اشیاء تفکر خواهد نمود.

من معتقدم گونه‌ی ما برای مدت زیادی باقی نخواهد ماند، زیرا به نظر نمی‌رسد ما از ماده‌ای تشکیل شده باشیم که به ما این امکان را بدهد تا مثلاً مانند لاک‌پشت برای صدها میلیون سال، یعنی صدها بار طولانی‌تر از تاریخ پیدایش ما، با تغییراتی کم یا زیاد همچنان به حیات خود ادامه دهد.

ما انسان‌ها به خانواده‌ای از گونه‌ها با بازه‌ی زندگی کوتاه تعلق داریم، خویشاوندان ما همگی منقرض شده‌اند، و بیشتر اینکه،



ما آسیب می‌زنیم! شرایط اقلیمی خشن و تغییرات محیطی که ما باعث شده‌ایم به نظر نمی‌رسد که بخواهند به ما رحمی کنند، برای زمین این تغییرات شاید خرد و کم‌اهمیت باشند، اما گمان نمی‌کنم ما انسان‌ها بتوانیم بدون گزند از آنها جان سالم بدر ببریم، مخصوصاً از زمانی که افکار عمومی و سیاسی بشر ترجیح می‌دهند خطراتی که خود در حال ایجاد آنها هستند را نادیده بگیرند و به اصطلاح سرخود را همچون کبک زیر برف کنند.

ما شاید تنها گونه بر روی زمین هستیم که به حتمی بودن میرش خود آگاه و واقف است، اما ترس من از این است که به‌زودی ما همچنین تبدیل به تنها گونه‌ای بشویم که دانسته باید ناظر و شاهد نابودی دسته‌جمعی انواع خود، یا دست کم نابودی تمدن خود باشد. البته همان‌گونه که کمابیش می‌دانیم چگونه با فناپذیر بودن خود کنار بیاییم، با نابودی تمدن خود نیز به همین شکل کنار خواهیم آمد، چه این دو آن‌چنان متفاوت از یکدیگر نیستند.

یقیناً این بار اولی نیست که مسئله‌ای از این دست پیش می‌آید و تاکنون تمدن‌های مایا و کریتان، از میان بسیاری دیگر از تمدن‌ها، چنین وضعیتی را تجربه کرده‌اند. ما انسان‌ها به دنیا می‌آییم و می‌میریم، گاه به‌صورت فردی و گاه دسته‌جمعی، درست همان‌گونه که ستاره‌ها متولد شده و سپس از بین می‌روند. و این واقعیت ماست، زندگی از آنجا که موهبتی گذرا می‌باشد، برای ما باارزش است. آن‌گونه که لوکرتیوس نوشت: "میل و اشتیاق ما به زندگی سیری‌ناپذیر و عطش ما به آن ارضاناشدنی ست." (در طبیعت اشیاء، جلد سوم، صفحه هزار و هشتادوچهار)

اما به لطف غوطه‌ور بودن در این جهانی که ما را پدید آورده و رهنمون می‌کند، ما موجوداتی بی‌خانمان نیستیم که میان دو جهان معلق و سرگردان باشند، لذا این‌چنین نیست که تنها بخشی از ما وابسته به جهان باشد و خود در حسرت و آرزوی چیز دیگری باشیم، بلکه ما در خانه خود هستیم.



آری، جهان خانه‌ی ماست و در آن ما احساس امنیت می‌کنیم.

این عالم غریب، هزار رنگ و شگفت‌انگیز که ما انسان‌ها کشف کرده‌ایم، عالمی که فضایش دانه‌دانه است، عالمی که اشیاء درونش را به واقع هیچ جای آن نمی‌توان جست، چیزی نیست که باعث شود ما نسبت به وجود راستین خود احساس غرابت و شگفتی کنیم، زیرا این‌ها خود واقعیت‌هایی هستند که کنجکاوی ذاتی ما درباره‌ی جایی که در آن زندگی می‌کنیم و چیزی که خود از آن پدید آمده‌ایم برایمان آشکار می‌سازد.

ما آدمیان از همان گرد جادویی ساخته شده‌ایم که دیگر چیزهای این جهان از آن پدید آمده‌اند، و زمانی که غرق در رنج و سختی هستیم، یا آن هنگام که شادی عمیقی را تجربه می‌کنیم، چیزی جز آنچه باید باشیم، یعنی بخشی از جهان هستی، نمی‌توانیم بودن.

لوکرتیوس این پنداشت را به شکل حیرت‌انگیزی بیان می‌کند:

"ما همه زادگان یک جور بذر الهی یکسان هستیم، همگی پدری مشترک داریم که از قبل او مادر ما، یعنی زمینی که ما را تغذیه می‌کند، قطرات زلال آب باران را گرفته و به لطف آن، دانه‌های طلایی گندم را از دل خود می‌رویاند، و درختان سترگ را، و نسل بشر را، و گونه‌های مختلف حیوانات دیگر را از دل خود می‌رویاند و برای تمامی این فرزندان خود غذایشان را پیشکش نموده تا بدین‌وسیله حیاتی شیرین را در پیش گیرند و به زادوولد نوع خود پردازند."

این جزئی از فطرت ماست که عشق بورزیم و صداقت پیشه کنیم، این جزئی از سرشت ماست که به بیشتر دانستن حریص باشیم، و این جزئی از ذات انسانی ماست که به آموختن ادامه دهیم.



دانش ما به جهان همواره در حال افزایش است، یافته‌های جدیدی هستند که ما در حال آموختن آنهایم، باری اشتیاق ما به کسب دانش هر لحظه شعله می‌کشد. جهان، در ماهیت زمان، در پدیده سیاه‌چاله‌ها، و در نحوه کارکرد تفکرات خود ما، همواره در جریان می‌باشد. و اینجا، در مرز بین دانسته‌های ما از عالم هستی که به اقیانوس نادانسته‌های ما از آن گره خورده، جلوه اسرار و زیبایی عالم است که می‌درخشد و این خیره‌کننده است.

**پایان.**

