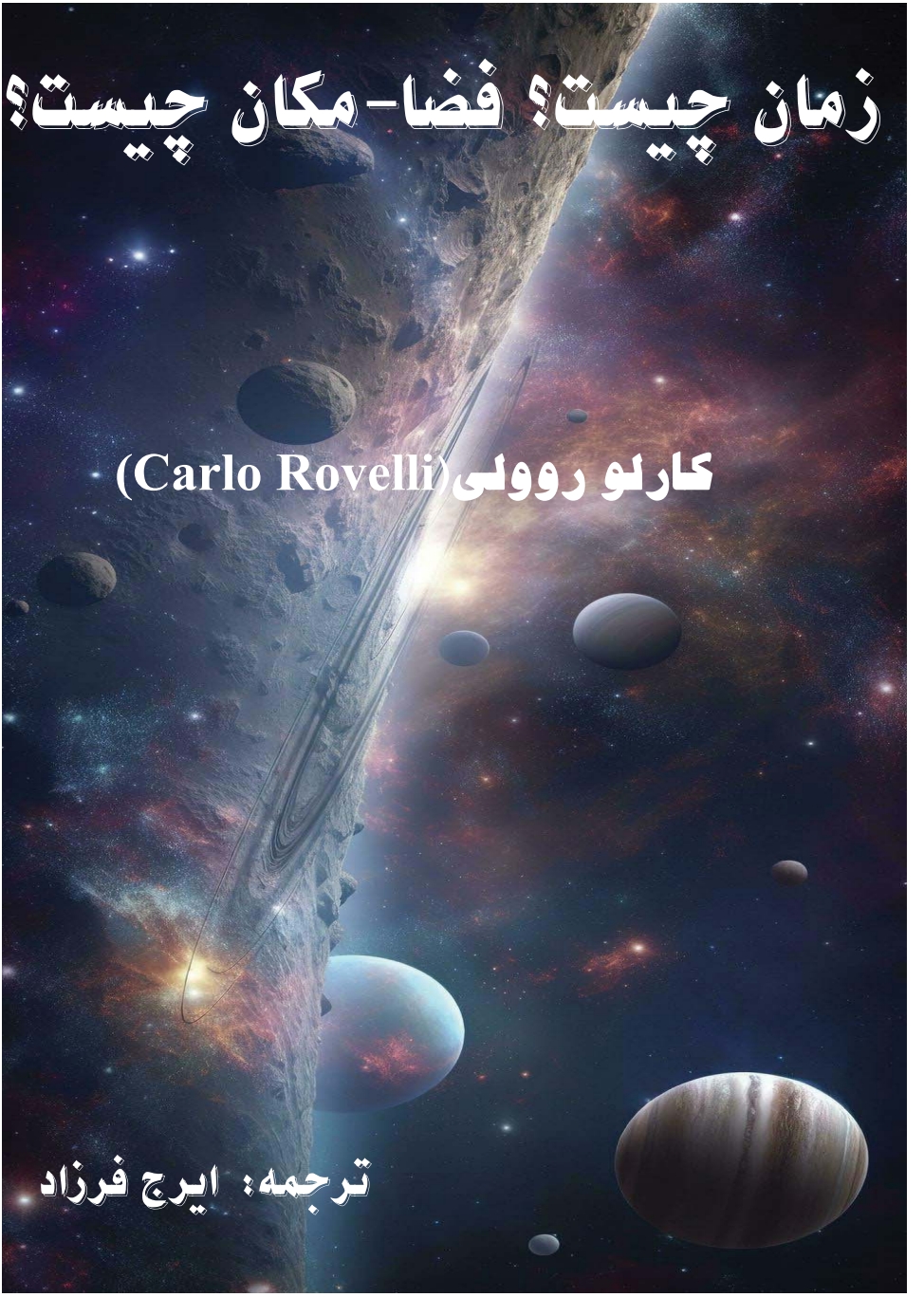

زمان چیست؟ فضا-مکان چیست؟
کارلو روولی(Carlo Rovelli)
ترجمه: ایرج فرزاد

نویسنده

کارلو روولی(Carlo Rovelli) پرفسور فیزیک نظری در دانشگاه مدیترانه در مارسی- فرانسه- است. عضور موسسه داشگاهی فرانسه و معاون پرفسور درتاریخ و فلسفه علم در دانشگاه پیتسبورگ(Pittsburgh)- ایالات متحده آمریکا. در سال ۱۹۹۶ جایزه بین المللی زانتاپولُس(Xanthopoulos) به او، بخاطر نقش او در کشف گرانش(جاذبه) کوانتومی حلقه ای(gravity quantum loop) و برای تحقیقات او در زمینه در پایه های مکان- فضا(space) و زمان. او یکی از نتایج تحقیقاتش را در مورد زمان و مکان در کتاب " آناکسیماندر و تولد علم": (Anaximander and the Birth of Science). در سال ۲۰۰۹ منتشر کرده است. آناکسیماندر، نام یک فیلسوف و منجم یونانی است که حدودا در فاصله ۶۱۰ و ۵۴۷ سال قبل از سال میلادی زندگی کرده است.

متن مبناء من، ترجمه از ایتالیائی به انگلیسی توسط Cees Jan van den Berg است که فرمت پی دی اف آن قابل دسترسی بود.

من همه جا سعی کرده ام که اسامی و برخی کلمات و اصطلاحات را به زبان لاتین نیز وارد کنم. در باره کلمه "مکان"، معادل فارسی، یعنی فضا را همراه با اصل کلمه در زبان انگلیسی وارد کرده ام. در مورد اصطلاحات و کلمات علمی نیز، علاوه بر اینکه نزدیکترین ترجمه به فارسی را انتخاب کرده ام، اصل کلمات و جملات را به زبان اصلی وارد کرده ام. زیرنویسها همه جا از من است.

هم محتوای کتاب و هم کاراکتر و خصوصیات اخلاقی و سیاسی و شخصی نویسنده، بسیار جذاب، الهام بخش و آموزنده اند. ترجیح دادم این احساس خود را با خوانندگان بسیاری شریک کنم. یک ترجمه به زبان فارسی از همین کتاب را در ایران دیده ام. ترجمه از: "آوین تهمتن" و از "انتشارات سبزان". امیدوارم این ترجمه من، تشویقی باشد برای خوانندگان که با تهیه کتاب چاپی کتابخانه خود را غنی سازند. ایرج فرزاد نوامبر ۲۰۲۴

فهرست

معرفی

کشف یک مسئله: گرانش(جاذبه) کوانتومی
فضا و میدان

نسبیت عام

مکانیک کوانتومی

گرانش کوانتومی

تئوری حلقه

لندن و سیراکوز

ییل

رم

فیلسوف ها

موجودیت و جسم یا رابطه؟

دانه های فضا و طیف –لایه ها-ی مساحت

کاربردهای نظری

زمان وجود ندارد

نسبیت خاص

معنی زمان

بازگشت به اروپا

زمان محصول ناتوانی و سهل انگاری ما است

آمریکا

حلقه ها و تار - رشته ها

نظریه های تثبیت شده در مقابل فرضیه های نظری

چرا مکان و زمان را مطالعه کنیم؟

معرفی

من بخش زیادی از زندگی خود را وقف تحقیقات علمی کرده ام. اما این علاقه نسبتاً دیر در من بیدارشده بود. به عنوان یک مرد جوان، به تمام جهان علاقه مند بودم نه الزاما دلبستگی به طور مشخص به علم. من در ورونا در خانواده ای آرام به دنیا آمدم و بزرگ شدم. پدرم، مردی با هوش استثنائی، مهندس بود که یک شغل کوچک را اداره می کرد. من از او لذت تلاش برای درک جهان به روشی هوشمندانه یاد گرفتم. مادرم، یک مادر واقعی ایتالیایی سرشار از عشق بیش از حد به تنها فرزندش، من را با "تحقیقاتی" که برای دوران دبستان انجام دادم، کمک کرد و مُحّرک کنجکاویهای من برای کشف و یادگیری بود.

من به "مکتب" کلاسیک در ورونا(Verona) وارد شدم. در آنجا بیشتر یونانی و لاتین خواندیم تا ریاضیات. مدرسه ما مشوق های فرهنگی غنی ارائه می کرد، اما آنها بیشتر تظاهر بودند و محلی، به نوعی تلاشهائی بودند در جهت دفاع از قشر ممتاز بورژوازی کوچک محلی. تعداد زیادی از معلمان قبل از جنگ، فاشیست های سرسخت بودند و به همان شکل در رازهای قلبی شان باقی مانده بودند. این زمان دهه‌های شصت و هفتاد، بودند، دهه تضاد بین نسل ها. جهان به سرعت تغییر کرد و بیشتر بزرگسالان در پذیرش تغییرات مشکل داشتند.

آنها خودشان را در محدوده دفاعی و منزه طلبانه خویش محبوس ساختند. من به دنیای بزرگترها اعتماد کمی داشتم و حتی به معلمان هم کمتر. من اغلب با آنها و با همه چهره های قدرت درگیر می شدم. دوران بلوغ و نوجوانی من به یک دوره طغیان و شورشی تبدیل شد. من ارزش هائی را که در دنیای پیرامون خود میدیدم، تشخیص نمیدادم. آن دوره نیز یک دوره ابهامات بزگ بود که در آن سردرگمی دیگر هیچ چیز قطعی به نظر نمی رسید. تنها چیزی چیزی که به نظرم واضح بود این بود که دنیایی که دیدم خیلی متفاوت بود از آن چیزی که به نظر من درست و عادلانه بود. من می خواستم تبدیل به یک ولگرد ریشو بشوم، تا از دنیایی که دوستش نداشتم، دوری کنم.. اما من هم با ولع می خواندم و کتاب ها از دنیاهای دیگر و ایده های مختلف به من می گفتند. من احساس میکردم که درهر کتاب که هنوز نخوانده بودم، گنجینه های شگفت انگیزی نهفته است.

در طول سالهای دانشگاه در بولونیا(Bologna)، سردرگمی خودم ودرگیری با دنیای بزرگسالان باعث ایجاد تماس با مسیر مشترک نسلی شد نکه من به آن تعلق دارم. این زمانی بود که همه ما می خواستیم جهان را تغییر دهیم. جهان را به مکانی آرامتر و کمتر ناعادلانه. تغییر بدهیم. اشتیاق برای امتحان اشکال جدید زندگی و یافتن راههای جدید عشق ورژیدن ودوست داشتن. ما شیوه های جدید زندگی مشترک را تجربه کردیم. ما می خواستیم همه چیز را امتحان کنیم. ما در جاده ها سفر کردیم، با ذهن و با رویاهایمان بی وقفه صحبت میکردیم و بی پایان عاشق شدیم. ما می خواستیم یاد بگیریم که چیزها را با چشم های متفاوت ببینیم. گاهی با یاس و نا امیدی های

بزرگ مواجه میشدیم و گاهی نیز طیعه یک دنیای جدید و فوق العاده رااحساس می کردیم. ما با آرزوهایمان زندگی کردیم.. ما در جستجوی دوستان جدید و ایده های چدید، زیاد سفر کردیم. در بیست سالگی تصمیم گرفتم خودم به تنهائی به یک سفر طولانی بروم و در اطراف جهان پرسه بزنم، به خود گفتم می خواهم به دنبال ماجراجویی باشم و به جستجوی حقیقت سپردازم.. این روزها که به پنجاه سالگی نزدیک شده ام، فکر می کنم آن شیوه، انتخاب خوبی بود. بدیهی است که من به ساده دلی آن سالها لبخند بزنم، اما احساس می کنم که من هنوز هم دنبال یک ماجرا هستم که در آن روزها آغاز شد. مسیر راه من همیشه آسان نبوده است، اما امیدهای ساده لوحانه و رویاهای شور و شر مرا فریب نداده اند: آنها برای یافتن شجاعت در من برای دنبال کردن آن رویاها و آرزوها کافی بودند.

با گروهی از دوستان یکی از رادیوهای "آزاد" آن روزها- رادیو آلیس(Alice Radio) در بولونیا(Bologna) را راه اندازی کردیم..این رادیو یک تریبون باز بروی همه بود که تجارب و آرزوها رد و بدل شوند. با دو نفر از اون دوستان ما کتابی نوشتیم که داستان این شورش ایتالیایی. راه اندازی رادیو آزاد- در پایان قرن بیستم را روایت می کرد. در دهه هفتاد اما رویاهای انقلاب به سرعت برباد رفتند و نظم و "قانون" دست بالا را گرفت. معلوم شد که آدم به این راحتی دنیا را تغییر نمی دهد. به این ترتیب در نیمه‌ی سال‌های دانشگاه، خودم را بیشتر سردرگم یافتم، و غمگین از حس رنگ باختن رویاهای مشترک خود با نیمی از هم عصران کره زمین. توام با اینکه هیچ چشم اندازی که زندگی آینده ام چگونه خواهد بود، نداشتم. ایده هائی برای پیوستن به مسابقه در بالا رفتن ازنردبان اجتماعی، برای مثال شغل، کسب درآمد بیشتر و گرفتن کمی قدرت برای من خیلی مایوسانه به نظر می رسید و من در تان خود نمیدیدم. اما هنوز دنیایی برای کاوش و و جستجو وجود داشت و من پشت تپه ها افق های وسیع و بی کران را تصور می کردم. تحقیقات علمی در این مرحله برای من به عنوان یک فضای نامحدود و آزاد بود فضائی برای یک ماجراجویی های خارق العاده، قدیمی و جدید. من مطالعه کردم چون باید امتحان می دادم و خدمت سربازی اجباری ایتالیا را به تاخیر انداختم (در پایان من کارت سربازی ام را سوزاندم). اما چیزهایی که مطالعه کردم کنجکاوی من را بیشتر و بیشتر برانگیخت و من را بیش از پیش مجذوب خود کرد. در سال سوم برنامه فیزیک در مقطع کارشناسی، انسان با فیزیک "جدید" قرن بیستم آشنا می شود: مکانیک کوانتومی و نظریه نسبیت انیشتین. اینها انقلاب های مفهومی خارق العاده ای هستند که در آنها نگاه به جهان عمیقاً تغییر می کند. ایده های قدیمی، حتی معتبرترین و مورد احترام ترین آنها، به چالش کشیده می شوند. آدم متوجه می شود که دنیا اصلاً همان نیست که فکر می‌کرد.آدم یاد می‌گیرد که چیزها را با نگاه های متفاوت ببیند. برای من این ها یک سفر طولانی افکار بودند. من تقریبا بدون اینکه متوجه باشم از یک انقلاب فرهنگی به انقلاب در افکار ُسرّ خوردم. من نوعی تفکر را کشف کردم، یعنی تفکر علمی، که قوانینی برای درک جهان، و سپس تغییر جهان را بدست میدهند آزادی، این مسیر آزاد برای جستجوی علم و دانش، مرا مجذوب خود کرد. آین فقط کنجکاوی و یا شاید چیزی باشد که فدریکو سزی(Cesi Federico)، دوست گالیله، که دیگاه مدرن علمی داشت، آن را "اشتیاق طبیعی به

دانستن" می نامید. سیری که باعث شد خودم را، تقریباً بدون اینکه خود متوجه باشم، در مسائل فیزیک نظری غرق کنم.

بنابراین علاقه به فیزیک بیشتر بر اثر تصادف و کنجکاوی به وجود آمد تا با انتخاب آگاهانه. به عنوان یک دانشجوی جوان در فیزیک و ریاضیات خوب بودم، اما من خیلی بیشتر به فلسفه علاقه داشتم. در دانشگاه من در فیزیک ثبت نام کرده بودم و نه در فلسفه عمدتاً به این دلیل که بی اعتمادی معصومانه ام به نهادها و سنت های حاکم، فلسفه را زیادی "جدی و مهم" می دانستم که بخواهیم در مدرسه درباره آنها بحث کنیم. وقتی رویای ساختن دنیایی جدید در برابر واقعیت موجود قرار گرفت، من عاشق علم شدم، جایی که دنیاهای جدید زیادی وجود دارند که هنوز باید کشف شوند، و جایی که به نظر می رسید امکان دنبال کردن یک مسیر آزاد و درخشان برای جستجو در دنیائی که ما را احاطه کرده است، وجود دارد.. بنابراین علم برای من یک توافق بود: که از میل به تغییر و ماجراجویی، در این راه دست برندارم، آزادی اندیشیدن را حفظ کنم و همانب بمانم که هستم، بدون اینکه با دنیای پیرامون وارد کشمکش شوم. برعکس، کاری انجام بدهم که دنیا از آن قدردانی کند. من معتقدم که بسیاری از کارهای فکری یا هنری انسان ها، از این کشمکش زاییده می شود: نوعی پناهگاه در مواجهه با رابطه بالقوه غیر متجانس و غیر منطقی بین پدیده ها. با این حال، جامعه به این نوع انسانها نیاز دارد. جامعه ما در یک حالت تعادل زندگی کرده است.. از یک طرف نیروهایی وجود دارند که ثبات و تداوم این تعادل را پاسداری می کنند و از بی نظمی و خراب کردن آنچه حاصل شده است جلوگیری می کنند.. از سوی دیگر اراده های خستگی ناپذیر برای تغییر و عدالت وجود دارد که تمایل دارند، وضع فعلی را جایگزین کنند، و محرک پیشرفت و تکامل جامعه شوند. بدون این اراده برای تغییر، تمدن بشری رشد نمی کرد و به آن نقطه که اکنون در آن قرار دارد نمی رسید و ما هنوز هم فرعون ها را می پرستیدیم. من فکر می کنم که آرزوی تغییر برای نسل جوان، که ممکن است گاهی این امید رنگ ببازد، اما همیشه با سرزندگی باز میگردد، ستون اصلی تکامل جامعه است.

اگر از یک طرف جامعه به افرادی نیاز داشته است که از ثبات و نظم محافظت کنند اما در عین حال بر تاریخ نیز حکمرانی کنند؛ از سوی دیگر به افرادی نیاز دارد که با آرزوهایشان زندگی میکنند و در مسیر کشف دنیاهای جدید و افکار جدید و شیوه های جدید نگاه و درک به جهان حرکت میکنند. در گذشته مردمانی بوده اند که به دنبال آرزوهایشان رفتند و توانسند فکر کنند و دنیای ما را بسازند. از معدود رویا ها و آرزوهای جدید است که جهان آینده متولد میشود.

کشف یک مساله:

جاذبه کوانتوم

در سال چهارم دانشگاه بولونیا، رساله ای، نوشته شده توسط یک فیزیکدان انگلیسی، کریس ایشام(Isham Chris)، به دستم افتاد، که نویسنده در آن از "جاذبه(گرانش) کوانتومی" سخن به میان آورده بود. این مقاله توضیح داد که اساسا در فیزیک معاصر یک مشکل بنیادی حل نشده است. فیزیک باید زمان و مکان یا فضا(space) و ساختمان اساسی جهان را توضیح بدهد. صورت مساله به قرار زیز است:

انقلاب علمی بزرگ قرن بیستم از دو بخش تشکیل شده است. از یک طرف مکانیک کوانتومی، و از طرف دیگر نسبیت عام اینشتین است. مکانیک کوانتومی، که اجسام میکروسکوپی را به خوبی توصیف می کند، آنچه را ما که در مورد ماده می دانیم عمیقاً تغییر داده است. نسبیت عام، که نظریه ای است که نیروی گرانش (جاذبه) را توضیح می دهد، آنچه را ما در مورد مکان و زمان میدانیم، عمیقاً دگرگون کرده است. هر دو نظریه در بهترین شکل تأیید شده اند، و هر دو بنیاد بسیاری از تکنولوژی های های معاصر هستند. با این حال، به نظر می رسد که این دو نظریه با یکدیگر ناسازگار اند. آنها در توصیف جهان، به دو نتیجه تماما متفاوت منتهی میشوند. مکانیک کوانتومی، در فرمول فعلی خود، از مفاهیم قدیمی فضا و زمان استفاده می کند که آن مفاهیم، با نسبیت عام در تناقض اند. نسبیت عام، به نوبه خود، با استفاده از مفاهیم قدیمی ماده و انرژی، که با مفاهیم آنها در مکانیک کوانتوم در تضاد است، فرموله میشود. ما نمی دانیم چگونه این دو را در یک چهارچوب یک تصویر واحد و منسجم، ادغام کنیم.

امروزه درحقیقت، دیگر به خوبی نمی دانیم فضا چیست، زمان چیست و ماده چیست. مشکلی که در برابر وحدت و همسوئی این دو بینش در تعریف از جهان، قرار دارد، معضل گرانش(جاذبه) کوانتومی است. این مهمترین مشکل پایه ای در فیزیک معاصر است، و گروه های زیادی از محققان و دانشمندان در جهان به دنبال حل این مشکل هستند.

واضح است که مشکل سختی است. اما با شجاعت عجولانه ای که فقط فردی در سن بیست سالگی دارد، من فورا تصمیم گرفتم که این مشکلی است که من باید با آن دست و پنجه نرم کنم.

من مجذوب ایده بررسی و مطالعه مفاهیم زمان و مکان- فضا(space) شده بودم، اما با این واقعیت هم روبرو بودم که اوضاع و شرایط موجود، بسیار گیج کننده بودند. در ایتالیا تقریباً هیچ کس روی این مشکل کار نمی کرد. پرفسور های من شدیداً و متفق القول من را از رفتن به این مسیر منع میکردند.

آنها به من گفتند: "تو هرگز شغلی پیدا نخواهی کرد" (نکته ای که من اکنون به جوانانی که می

خواهند این موضوعات راا مطالعه کنند، می گویم)؛ یا،: "شما باید به یک گروه قوی که فی الحال وجود دارد و تثبیت شده است، ملحق شوی" و از این قبیل. خوشبختانه برای جوانان، تنها نتیجه توصیه های محافظه کارانه بزرگسالان اغلب این است که فقط سرسختی لذت بخش آنها را تقویت می کند.

فضا(Space) و میدان ها(fields)

دادن یک تصویر از فیزیک نظری برای کس که به طور کامل در آن غوطه ور نیست، آسان نیست. اما من سعی خواهم کرد توضیح دهم که مشکل گرانش(جاذبه) کوانتومی چگونه به وجود می آید و چه ارتباطی با ساختار فضا و زمان دارد.

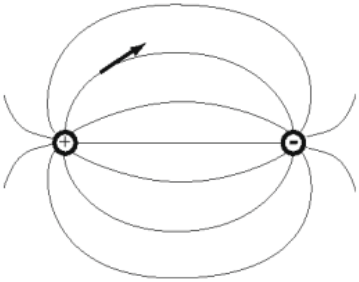
بگذارید با مکان- فضا(space) شروع کنم. تصویر معمولی ما از فضا به نیوتن(Newton) برمی گردد. می‌توانیم فضا را مانند میزی تصور کنیم که تمام رویدادهای جهان روی آن اتفاق می‌افتد، یا ظرف بزرگی که همه چیز درون آن اتفاق می‌افتد.

به عنوان مثال، ذرات، تحت فشار، روی این "میز- فضا" حرکت می کنند.

تصویر نیوتنی از جهان، تصویر این میز- فضا است، جایی که ذرات روی آن، به اطراف می چرخند، توسط نیروها جذب و یا دفع می شوند.

در پایان قرن نوزدهم، ماکسول(Maxwell) و فارادی(Faraday) با وارد کردن یک عنصر جدید، این دیدگاه از جهان را کمی تغییر دادند. این عنصر جدید، میدان (field)الکترومغناطیسی است. میدان الکترومغناطیسی واحد و سیستمی است که نیروهای الکتریکی و مغناطیسی را تولید می کند. این پدیده ای است گسترده و همه فضا را پر می کند. فارادی میدان الکترومغناطیسی را مجموعه‌ای از خطوط توصیف کرد که از بارهای الکتریکی مثبت منشا می‌گیرند و به بارهای الکتریکی منفی ختم می‌شوند و همه جا فضا را اشغال می‌کنند. در هر نقطه از فضا یکی از این خطوط عبور می کند.

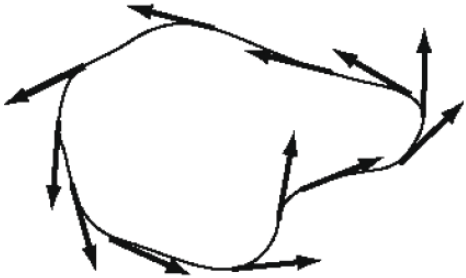
جهت خط در نقطه بردار (یک فلش کوچک) مماس بر خط است. اگر در این نقطه بار وجود داشته باشد، بار در جهت این بردار نیرویی را احساس می کند. شکل ۱ را ببینید.



شکل ۱: میدان الکتریکی در اطراف دو نقطه با بار مثبت و منفی. این میدان از خطوط تشکیل شده است(خطوط فارادی). جهت میدان در یک نقطه با فلش نشان داده می شود.

کشف بزرگ فارادی و ماکسول این است که این "خطوط فارادی" در غیاب نقاط دارای بار الکتریکی، نیز وجود دارند. اگر هیچ بار الکتریکی در شروع یا پایان خطوط وجود نداشته باشد، خطوط فارادی، منحنی های بسته را در فضا تشکیل می دهند. اینها حلقه نامیده می شوند.

یکی از آن حلقه ها یا خطوط بسته فارادی در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲: یک خط فارادی بسته، یعنی یک حلقه. فلش ها نشان دهنده میدان الکتریکی هستند، که همه جا مماس با خط فارادی است. این خطوط تمام فضا و میدان الکترومغناطیسی را تشکیل می دهند.

خطوط فارادی، مانند امواج دریا، تحت تأثیر بارها وتاثیر آنها یکدیگر حرکت می کنند. ماکسول معادله حاکم بر این حرکت خطوط فارادی را فرموله کرده است. نبوغ ماکسول این است که فهمیده است که نور چیزی جز حرکت مواج و سریع آن خطوط نیست. در واقع، مردم اغلب می گویند که میدان ها(fields) "نامرئی" هستند: هیچ چیز نادرست تر از این تصور نیست، زیرا ما چیزی جز میدان ها نمی بینیم!

در واقع، ما نور منعکس شده توسط اشیاء را می بینیم، نه خود اجسام را: آنچه می بینیم میدان و نوسان های آن است. کشف این میدان ها توسط فارادی و ماکسول، درها را به روی تکنولوری

های مدرن مانند رادیو، تلویزیون و الکترونیک باز کرده است که زندگی ما را تغییر داده اند. اما تغییر تصویر نیوتنی از جهان چندان مهم نبوده است، چرا که: هنوز "میز- فضا"یی وجود دارد که چیزها روی آن حرکت می کنند. آنچه که تازگی دارد و تصورها را از درک نیونونی از جهان فراتر برده است، این است که علاوه بر ذرات، "میدان"هائی نیز وجود دارند.

نسبیت عام

انقلاب واقعی در تصویر جهان در سال ۱۹۱۵ و با انیشتین اتفاق می افتد.

انیشتین اول آن را درک میکند، به این معنی که او نیروی جاذبه یا گرانش را شبیه به میدان الکترومغناتیسی میفهمید. نیروی جاذبه که ما را پائین میکشد و زمین را در مجاورت خورشید و ماه را در مجاورت زمین قرار میدهد، شباهت به عملکرد الترومغناطیسی دارد.

بنابراین علاوه بر خطوط فارادی(Faraday) میدان الکترومغناطیسی، خطوط فارادی میدان جاذبه وجود دارند.

اما کشف بزرگ انیشتین چیز دیگری است: او کشف کرد که این میدان گرانشی و "میز- فضا"ی (space-table) نیوتن، یکی هستند.

فضا- مکان(space)، که نیوتن آن را به عنوان یک میز ثابت توصیف کرده بود، در واقعیت وجود ندارد.

آنچه که وجود دارد میدان جاذبه و میدان گرانشی است: یک جسم فیزیکی که می تواند حرکت کند و مانند امواج دریا موج می زند. نیروی جاذبه و گرانش در نتیجه اثر این میدان موج دار یا این فضای موج دار بر هر جسمی که در آن غوطه ور شود، بوجود می آید. فضا و میدان گرانشی و جاذبه یک واحد اند:

از آن به بعد وقتی می گویند فضا به معنای میدان گرانشی هم هست و وقتی یکی میگوید میدان گرانشی منظورش فضا هم هست. این یک کشف غیر منتظره و فوق العاده ای است از این رو، جهان از ذرات و میدان هایی که در فضا وجود دارند ساخته نشده است، بلکه ذرات و میدان ها، هستند. و این تمام مساله است. ذرات و میدان ها در فضا وجود ندارند، آنها در یک میدان دیگر وجود دارند ، یعنی میدان ها به اصطلاح در بالای همدیگر وجود دارند.

ما در میدان گرانشی یا در درون میدان گرانشی زندگی می کنیم، نه روی یک میز- فضا (space-table).

تصور کنید به جزیره ای در اقیانوس نگاه می کنید. در بالای آن جزیره حیوانات بسیاری وجود

دارد و مامی گوییم "حیوانات در جزیره" را دیده ایم. سپس یک جوان زیست شناس دریایی به نام Einstanium این موضوع را با دقت بیشتری بررسی می کند و متوجه می شود که جزیره یک جزیره نیست: در واقع یک نهنگ بزرگ است.

به این ترتیب حیوانات در یک جزیره زندگی نمیکنند، بلکه روی دیگر حیوانات زندگی میکنند.

کشف اینکه جزیره در واقع یک نهنگ است، به ما نشان میدهد که حیوانات مثل بقیه یک واحد اند و نه دو نوع جزیره و حیوان. حیواناتی که بالای یکدیگر وجود دارند و نیازی به زمین خشک برای قرار دادن پاهای خود بر آن نیست. به همان شیوه انشتین فهمید که لازم نیست میدان ها در یک فضا- مکان ثابت وجود داشه باشند، این میدانها میتوانند بر بالای یکدیگر وجود داشته باشند. بعد از کشف انشتین دیگر کسی به "میدان در فضا- مکان"، فکر نمیکند، بلکه به "میدان ها روی میدان ها" فکر میکند.

دنیای نیوتون شبیه به جزیره ای است با حیوانات روی آن. جزیره ای که شبیه به یک "میز- فضا" است، که ثابت و ایستا است و یک پایه غیر متحرک است. تماما متفاوت با میدان ها و ذراتی که به اطراف حرکت میکنند. انشتین کشف کرد که نیوتون یک اشتباه مرتکب شد: "میز- فضا" اصلا چیزی جز میدان ها و ذراتی که بر بالای همیدیگر قرار دارند و حرکت میکنند، نیست.

برعکس، خود همان میز- فضا، یک میدان است، درست مثل بقیه. ممکن است حرکت کند، مواج و یا فشرده، شوند. این حرکات تابع معادلاتی است (که امروزه معادلات اینشتین نامیده می شوند)، درست مانند میدان الکترومغناطیسی.

این نظریه انیشتین است که نسبیت عام نامیده می شود. "نسبیت" به این دلیل که یک موقعیت و حالت مطلق عناصر فیزیکی در "فضا- مکان وجود ندارد، بلکه حالت و موقعیت این عناصر در رابطه با یکدیگر معنی دارد. یعنی "نسبی" به یکدیگر.

به آن تئوری "عمومی" می گویند زیرا اگرچه این نظریه تنها به عنوان نظریه نیروی گرانش متولد شده است، و بنابراین برای توضیح اینکه چرا و چگونه چیزها سقوط می کنند، اهمیت آن در "عام" بودن آن است. به این دلیل که این نظریه مفهوم فضا و در نتیجه اساس درک ما را از دنیای فیزیکی زیر و رو کرده است.

این نظریه بسیار زیباست. مطالعه آسان نیست زیرا ریاضیات پیچیده ای برای فرمول بندی دقیق آن ضروری است: ریاضیات باید میدان هائی را که روی همیدگر وجود دارند، و نه "میز- مکان" نیوتونی را توصیف کنند. اما وقتی کسی آن را خوب درک کند، فقط می تواند مجذوب سادگی و شفافیت مفهومی آن بشود.

مفاهیمی مثل مکان- فضا، نیروی جاذبه، و میدان ها که که تماما بی ارتباط با یکدیگر بودند، به جوانب مختلف یک واحد ساده، یعنی میدان جاذبه و گرانش تبدیل شدند.

تا ده یا بیست سال پیش نسبیت عام یک نظریه عجیب و غریب تلقی میشد که کاربردهای کمی دارد و و در تجربه درستی خود را ثابت نکرده است. با این حال، در سال های اخیر، در اثبات این تئوری و کاربرد عملی نسبیت عام، انفجار روی داده است. کاربرد این تئوری در عرصه های مختلف از فیزیک فضائی و کیهان شناسی تا آزمایشاتی که امواج جاذبه و گرانش را نشان داده اند و ارتعاش خطوط فارادی (Faraday) در میدان مغناطیسی را در تئوری نیز ثابت کرده اند، به اثبات رسیده است.

از بسیاری پیش بینی ها که نسبیت عام طرح کرده است، بگذارید به عنوان تایید یک کشف خارق العاده به "حفره" های سیاه یا "سیاهچاله"ها اشاره کنم، که تاکنون تعدادی از آنها در جهان- یونیورس(universe) کشف شده اند. از برنامه ها و "اپ"ها، فقط به GPS (سیستم موقعیت یاب جهانی) اشاره میکنم. دستگاهی که در یک فروشگاه لوازم ورزشی قابل خریداری است و میتوان بر هر خود رو سوار کرد. یافتن مکان دقیق بر روی کره زمین با این دستگاه کوچک، بدون در نظر گرفتن نظریه نسبیت عام انشتین، غیر ممکن بود.

مکانیک کوانتومی

انقلاب بزرگ دیگری که در فیزیک قرن بیستم رخ داده است مکانیک کوانتومی بود که که شیوه نگرش ما به ماده را تغییر داد.

مکانیک کوانتومی که من به طور خلاصه به آن اشاره می کنم، اساساً دو چیز را به ما می گوید:

اول اینکه: بسیاری از کمیت های فیزیکی دارای ساختار دانه ای و شن ریزه مانند یا، به تعبیری دیگر، "کوانتیزه"(quantized)- کمّیت یافته- هستند. میدان الکترومغناطیسی به عنوان مثال، اگر در مقیاس کوچک در نظر گرفته شود، از دانه ها و شن ریزه ها یا "کوانتایی"ها ساخته شده است که فوتون نامیده می شوند. به همین ترتیب برخی از کمیت ها، به عنوان مثال انرژی یک اتم، فقط می تواند حامل مقادیر خاصی باشد که از روی تئوری قابل محاسبه است. انگار انرژی در یک اتم نیز دانه ای است.

دوم: دینامیسم قطعی نیست، بلکه احتمالی است. این یعنی که نحوه حرکت اشیا توسط قوانین احتمالی تعیین می شود: اا‌ز اینجاست که پیش بینی دینامیسم آینده با قطعیت غیرممکن است، اما ما می توانیم به دقت احتمال وقوع چیزی را، محاسبه کنیم. یعنی اگر تعداد یک موقعیت معین فیزیکی را بارها تکرار کنیم، این محاسبه ممکن است. به عنوان مثال، یک ذره با موقعیتش

توصیف نمی شود، بلکه در یک "ابر" از احتمالات تعیین می شود. که در حقیقت بیان کننده احتمالی است که موقعیت یک ذره پیدا میکند. احتمالی که نشان دهنده احتمال هر موقعیتی است که در ذره ممکن است پیدا شود. بنابراین، مکانیک کوانتومی کشفی است که طبق آن دنیا(world) در مقیاس کوچک، دانه ای و شن ریزه مانند، و نه مُتعیّن و قطعی است.

با وجود این جنبه عجیب و غریب، مکانیک کوانتومی بسیار ساده است. این تئوری، اساس بخش بزرگی از تکنولوژی مدرن است. برای مثال، سخت افزار کامپیوترها بطور روتین با استفاده از کوانتوم ساخته شده اند.

جاذبه (گرانش) کوانتومی

در نهایت می توانم به مشکلی که قصد توضیح آن را داشتم برسم، یعنی مشکل ترکیب آنچه که از نسبیت عام آموخته ایم با آنچه که از مکانیک کوانتومی آموخته ایم. اگر اکنون ما ایده های اساسی نسبیت عام و مکانیک کوانتومی را با هم ترکیب کنیم ، بلافاصله نتیجه می گیریم که از آنجایی که فضا یک میدان است (میدانِ جاذبه- گرانشی)، فضا – مکان(space)، باید مانند میدان الکترو مغناطیسی، ساختاری دانه ای و شن ریزه مانند داشته باشد. کمیت ها(quanta)ی های میدان الکترومغناطیسی از فوتون ها تشکیل شده اند.کمیت های میدان جاذبه- گرانشی باید خوشه هائی از شن ریزه ها و دانه های" فضا- مکان" باشد. زیرا میدان جاذبه – گرانشی، فضا- مکان فیزیکی است. مکانیسم این خوشه ها باید احتمالی باشند. از این رو، فضا- مکان (یعنی میدان جاذبه و گرانشی) باید به عنوان احتمالاتی از "ابرهای خوشه هائی از دانه های فضا" توصیف شود. اما منظور از "خوشه های فضا" چیست؟ چگونه می توانیم آنها رل توصیف کنیم ؟ با چه ریاضیاتی؟ معادلات ریاضی آن چیست؟ وقتی گفته میشود: "ابرهای احتمالی دانه های فضا" به چه معنی است؟ چه نتایجی برای آنچه که می توانیم مشاهده و اندازه گیری کنیم خاصل میشوند؟ چگونه می توانیم جهانی را که به عنوان ابرهای احتمالی دانه های فضا تعریف کرده ایم، تفسیر و قابل فهم کنیم ؟ مسئله جاذبه و گرانش کوانتومی این است که چگونه یک تئوری ریاضی بسازیم که مطابق آن این ابرهای احتمالی از دانه های فضا را توصیف کند، و معنی آن را قابل فهم کند. با این حال، مشکل به اینجا ختم نمی شود. همانطور که متعاقبا در جزئیات توضیح خواهم داد، کشف بزرگ دیگری از انیشتین، که در سال ۱۹۰۵ یعنی ده سال قبل از نظریه نسبیت عام او، این بود که فضا و زمان را فقط در ارتباط با همدیگر میتوان توضیح داد. آنها، یعنی فضا- مکان و زمان یک کلیت غیر قابل تفکیک به نام فضا-زمان را تشکیل می دهند. از این رو، این فضا- زمان است که محتمل و دانه ای و شن ریزه مانند اند و نه فقط فضا.- مکان. بنابراین لازم است یک طرح مفهومی جدید ساخته شود که به ما این امکان را می دهد که زمان نیز یک فاکتور و متغیر نیست که ، بطور در خود جریان دارد، بلکه بخشی از احتمالات "خوشه های فضا- زمان" است.

این مشکل فوق العاده و باز است که وجود آن را من در سال چهارم دانشگاه کشف کردم. یعنی در حالی که از یک طرف من مشغول نوشتن کتاب خود در باره شورش دانشجویان بودم، که به مذاق پلیس خوش نیامد و من به این دلیل در مقر پلیس ورونا(Verona) کتک مفصلی خوردم، چون در بازجوئی از من میخواستند که اسم "دوستان کمونیست" خود را بگویم. از طرف دیگر بیش از پیش در مطالعات خود پیرامون فضا و زمان؛ و اسرار جاذبه کوانتومی غرق شده بودم.

من با مشکلاتی که کم هم نبودند، موفق به ورود به دوره دکتری در پادووا(Padova) شدم عنوان استاد راهنما، یک پرفسور را انتخاب کردم که که به من اجازه داد آنچه را که مورد علاقه ام بود ادامه بدهم. من سالهای پایان نامه و تز دکترای خود را بطور سیستماتیک وقف هر آنچه در مورد مسئله جاذبه کوانتوم انجام شده بود وتمام تلاش های انجام شده در آن رابطه کردم. دیگر دانشجویان فارغ التحصیل اولین تزهای خود را منتشر کرده بودند. من سالهای فراغ التحصیل را بدون انتشار حتی یک تز از سر گذراندم.. چیزی که مورد علاقه من بود تحقیقات بود برای درک بهتر جهان، و نه یک شغل و کاریر برای آینده. بیست سال پیش، راه حل های بسیار کمی، حتی در شکل جنینی، در این مورد وجود داشت. مسیری که امیدوارکننده‌تر به نظر می‌رسید توسط یک شخصیت بزرگ باز شده بود: جان ویلر(John Wheeler). جان ویلر در جوانی یکی از همکاران نیلز بور(Niels Boh)، یکی از غول های اولیه فیزیک در قرن بیستم بود. با او در تولد مکانیک کوانتومی سهیم بود و بعدها خود را با فیزیک هسته ای مشغول ساخت. او یکی از خالقان مدل های اولیه بمب اتم بود. در طول جنگ او در ایالات متحده بود و در آنجا بود نقش محوری در حوادث تلخ و تراژیک ناشی از بکار بردن بمب اتم اتمی ایفا کرد. در جریان بحثی که در دفتر خود او انجام شد، تصمیم گرفته شد به روزولت(Roosevelt) نامه بنویسد که می توان و باید بمب اتم ساخت زیرا می ترسید که آلمانی ها زودتر آن را بسازند، که بعداً معلوم شد بی اساس بوده است.

پس از آن ویلر روی جاذبه کار می کرد و همکار اصلی انیشتین شده بود. او بود که اصطلاح معروف"سیاه چاله" را باب کرد. ریچارد بود فاینمن(Richard Feynman)، شاید بزرگترین فیزیکدان نیمه دوم قرن بیستم قرن، از شاگردان او بود. به طور خلاصه، او در رده بالاترین مبتکران فیزیک در قرن بیستم است.

ویلر یک سری ایده و ادراک های بسیار مهم داشته است که اساس تحقیقات در باره جاذبه کوانتومی را تشکیل میدهند. نظر او در باره فضازمان این بود که در کوچکترین مقیاس، فضا-زمان، یک نوع "کف" در نوسان است(کَفِ فضا-زمان). ویلر همراه با برایس دیویت(Bryce DeWitt)، دیگر دانشمند بزرگ آمریکایی، فرمول معادله‌ای را تعریف کرد که باید مبنای جاذبه گرانش کوانتومی باشد. با این حال این فرمول که معادله ویلر-دیویت نامیده می شود، مشکلات زیادی را به همراه داشت:

ریاضیاتی که معادله بر آن استوار بود به خوبی تعریف نشده بود و اهمیت فیزیکی آن بسیار

مبهم بود. این وضعیت گیج کننده ای بود که در سال های فارغ التحصیلیمن با آن مواجه شدم. این روزها، بعد از بیست سال، اوضاع فرق کرده است. برخی راه‌حل‌های ممکن مسئله گرانش کوانتومی شناخته شده‌اند، هرچند ما هنوز نمیدانیم کدامیک از این راه حل ها، درست ترین است. شانس آورده ام که من در موقعیتی قرار بگیرم که در تدوین یکی از این راه حل های محتمل سهم داشته باشم: جاذبه کوانتومی حلقوی(gravity quantum loop).

تئوری حلقه

قدم بعدی من این بود که دوباره مانند زمانی که پسر جوانی بودم، سفر دوباره ای را شروع کنم. سفری در جستجوی افکار جدید و دوستان جدید. اما این با یک هدف دقیق داشتم: کسانی را ملاقات کنم که به جاذبه کوانتومی و مسائل و معضلات مربوط به زمان و مکان علاقمند بودند. من برای دیدار و گفتگو با بزرگترین چهره های جهان جاذبه کوانتومی، راه افتادم. هزینه این سفر از چند منبع تهیه شد.برخی امکانات مالی بود که دولت به فارغ التصیل ها برای تحصیل در خارج ارائه میداد. بخشی یک بورس تحصیلی خصوصی بود که از طریق بنیاد ریچیا (Riccia) در دسترس بودند و من فقط در یک اطلاعیه در دپارتمان فیزیک در ترنتو (Trento) به وجود آن پی بردم. بقیه هزینه را هم از پس انداز خود فراهم کردم. از طریق نامه(آنوقتها هنوز ای میل وجود نداشت) حضور خود را اعلام کردم و برای ملاقات آنان، راه افتادم..

لندن و سیراکیوز

کریس ایشام(Isham Chris)، نویسنده مقاله ای که اشتیاق من را نسبت به مساله برانگیخته بود ، اولین نفر بود که رفتم ببینم. من دو ماه را با او در کالج سلطنتی لندن گذراندم.. در کالج مذکور، من برای اولین بار با دنیای پر نقش و نگار و بین المللی فیزیکدانان نظری ملاقات کردم: دانشمندان جوان با کراوات و کت و شلوار که به طبیعی ترین حالت با هم ترکیب شده بودند، دیگرانی با با پاهای برهنه، موهای بلند و نوارهایی روی پیشانی خود. انواع زبان ها و چهره ها که همه به کندو کاو و تعمق و تفکر احترام می گذارند. آنجا نوع متفاوتی از شادی پنهانی وجود داشت. همان نوع روحیه شادی بخشی که من با دیدن جوامع هیپی در دوره قبل احساس کرده بودم.

کریس رهبر روحی جاذبه کوانتومی بود. او همه چیز را که به جاذبه کوانتموی مربوط بود را میدانست. او همچنین روانکاوی یونگی[1]، الهیات و همه چیز دیگررا می دانست که او به طور طبیعی در گفتگوی خود در هم می آمیخت. او داشت یک جذابیت لطیف و ملایم داشت.

1 **کارل گوستاو یونگ**: Carl Gustav Jungزاده ۲۶ ژوئیه ۱۸۷۵ – درگذشته ۶ ژوئن ۱۹۶۱) فیلسوف و روان‌پزشک اهل سوئیس بود که با فعالیتش در روان‌شناسی و ارائهٔ نظریاتی تحت عنوان روان‌شناسی تحلیلی شناخته می‌شود. م

از یک سو عاقل مردی نیمه پیر بود که با توانائی به هر یک از ما رهنمود میداد و از سوی دیگر یک پسر نیمه ابدی، همیشه در شگفتی از عجایب از جهان. اولین ایده های مغشوش خود را برایش توضیح دادم و به او گوش دادم. من در طول پیاده روی های طولانی در باغ کنزینگتون(Kensington)، یعنی باغ جادوئی پیتر پَن[۲](Pan Peter)، درست در نزدیکی کالج سلطنتی به سخنان او، فکر کردم. من هر چیزی را که در کالج در رابطه با موضوع بود فتوکپی کردم و بسیار زیاد مطالعه کردم.

یک روز کریس در مورد یک دانشمند جوان هندی در آمریکا به نام "ابهای اشتکار"(Abhay Ashtekar) با من حرف زد. اشتکار توانسته بود نظریه نسبیت عام اینشتین را به شکل کمی متفاوت بازنویسی کند و مشکل را ساده ترکرده بود. به گفته کریس، برای نزدیک شدن به بحث جاذبه و گرانش کوانتومی بر مبنای فرمول جدید اشتکار ممکن است تحقیق آسان تر شود. بنابراین به دانشگاه سیراکیوز(Syracuse) ، جایی که ابهای اشتکار در آنجا کار می کرد، رفتم. این سیراکوز نیویورک، در ایالات متحده آمریکا بود، نه سیراکیوز در سیسیل ایتالیا. با این حال، رفتن به شهری همنام با یکی از بزرگترین دانشمندان همه ادوار- ارشمیدس-، سیراکیوز برای من نوید بخش بود. من دو ماه آنجا ماندم تا فرمول جدید اشتکار را در مورد نسبیت عام، که هنوز منتشر نشده بود، را مطالعه کنم. ابهای سرشار از انرژی بود. او فی الحال گروه کوچکی از دانشمندان جوان را در اطراف خود داشت، که او با جذبه شخصیت خود، دقیق و در عین حال شجاع آنان را هدایت میکرد. همه در یک اتاق همدیگر را ملاقات کردیم و او تخته سیاه را با نوشته های ریز و دقیقش پر کرد. که بارها و بارها "نکته مورد بحث" و "فهرست مسائل باز" را توضیح میداد. طرز تفکر او تحلیلی بود: او بارها و بارها به همان استدلال برمی‌گشت تا آن را اصلاح ، تصحیح، و دوباره فرموله کند. تا زمانی که صدای ترک خوردن و یک شکاف کوچک، تا آن زمان نامرئی، شروع به ظاهر شدن کرد، و یک جهت و مسیر بدیع، تا کنون پنهان، رونمایی شد. او در تفکرش اشتباه و خطا و یا محدوده در سایه را نمی پذیرفت. به نظر می رسید که او به نوعی نماینده یک قدرت جادوئی در تعادل بین شرق و غرب است، قدرتی که زمانی حاصل می شود که تمدن های مختلف شهامت آن را داشته باشند در یکدیگر ادغام شوند. من مشتاقانه در این جلسات، برای آموزش و یادگیری شرکت کردم. در همین حین اولین رساله

2 **پیتر پن** : Peter Pan یک شخصیت تخیلی است که توسط رمان‌نویس و نمایشنامه‌نویس اسکاتلندی جی.ام. بری خلق شده‌است. یک پسر جوان سرزنده و شیطان که می‌تواند پرواز کند و نمی خواهد هرگز بزرگ شود. پیتر پن دوران کودکی بی‌پایان خود را با ماجراجویی در جزیره افسانه‌ای هرگزآباد (Neverland) به‌عنوان رهبر پسران گمشده سپری می‌کند و با پری، دزدان دریایی، پری‌های دریایی، و بومیان آمریکایی در تعامل است.

پیتر پن به نمادی فرهنگی تبدیل شده‌است که نماد معصومیت و گریز گرایی جوانی است

نه چندان جالب خود را در مورد فیزیک نوشتم، و من بدون اینکه دعوت شوم و به ابتکارخودبه کنفرانس هائی رفتم که در آن موضوع، مورد بحث قرار میگرفت. در یکی از آن کنفرانس ها، در سانتا باربارا(Santa Barbara)، کالیفرنیا، من از وجود یک دانشمند جوان آمریکایی مطلع شدم: لی سمولین(Lee Smolin). او از فرمول جدید اشتکار استفاده کرده و با همکاری یکی از دوستانش به نام تد جاکوبسون(Ted Jacobson) موفق به پیدا کردن چند راه حل عجیب برای معادله ویلر-دیویت شده بود. بنابراین من برای دیدن لی به دانشگاه ییل(Yale) رفتمکه بدانم کنید این راه حل ها چگونه بودند. این سرآغاز یک دوستی بزرگ بود.

ییل(Yale)

روز قبل از رفتنم به ییل، نامزد من درآن روزها، مرا ترک کرد. این من را به تاریک ترین نا امیدی انداخت. روحیه خوبی برای رفتن به ییل و صحبت کردن در مورد فیزیک نداشتم و تقریباً تصمیم گرفتم که به سمت ییل حرکت نکنم. اما نتوانستم بیشتر از این، سفرم را به تعویق بیاندازم و به هر حال رفتم. وقتی به دفتر لی(Lee) رسیدم، خجولانه در باره مطالعاتم سخن گفتم. اما نتوانستم از فکر کردن به عشق شکست خورده ام اجتناب کنم و اشک از چشمانم سرازیر شد. لی مبهوت شد، اما وقتی من با عذرخواهی از رفتار نامتعارف خود توضیح دادم، او از نامزد خویش که تازگی او را ترک کرده بود، نام برد و از من دعوت کرد تا با او به قایقرانی برویم. ما فیزیک را فراموش کردیم و بعدازظهر را با قایقرانی گذراندیم و در مورد عشق، زندگی و رویاهایمان صحبت کردیم. در روزهای بعد، لی شروع به گفتن از سردرگمی خویش در تلاش‌هایش برای درک راه‌حل‌های جدید معادله ویلر- دیویت کرد که توسط جاکوبسون (Jacobson)ارائه شده بود. طرز تفکر لی برعکس ابهای(Abhay) بود: لی هر گز به عقب نگاه نمیکرد، نگاه او فقط به جلو بود. او سعی میکرد تا ابهام چیزی را که ما نمی دانیم، ببیند. یعنی تلاش برای حدس زدن آنچه می تواند پشت پرده جهل عظیم ما وجود داشته باشد. او مطلقاً هیچ ترسی از گفتن چیزهای احمقانه نداشت: به نظر می رسید او فکر می کرد که یک درک درست ارزش صد اشتباه را دارد. لی آدمی بود دارای دیدگاه و بینش: بیننده، نوعی جووردانو برونو(Giordano Bruno)، متفکر دوره رنسانس که برای اولین بار فضایی بینهایت پر از جهان های بی نهایت را تصور کرد؛ یا نوعی کپلر(Kepler)، اولین کسی که سیارات را از محدوده کریستالی آنها رها کرد و آنها را آزاد گذاشت تا حرکت آنها در فضا(space)، طبق معادلات خطوط ریاضی دنبال شوند. یعنی انسانهائی که توانسته‌اند راه‌های جدیدی برای درک واقعیت ببینند.

عجیب بودن راه حل های یافت شده توسط لی و تد در این بود که هر راه حلی به یک منحنی بسته در فضا: یک حلقه(loop)، بستگی داشت. این حلقه ها چه معنایی داشتند؟ در طول یک پیاده روی طولانی شبانه در محوطه دانشگاه ییل، در حالی که بارها و بارها درباره مشکل بحث می کردیم، راه حلی محتمل را دیدیم.

این حلقه ها، خطوط جداگانه میدان گرانشی فارادی هستند. این حلقه ها، به جای پیوستگی کلاسیک خطوط فارادی، خطوط منفرد هستند، زیرا اینجا بحث از مکانیک کوانتومی است، که طبق آن پیوستگی و تداوم با ساختارهای جداگانه و گسسته، جایگزین می شود. اما از آنجایی که فضا- مکان، میدان جاذبه و گرانشی است، نباید فکر کنیم که آنها حلقه هایی هستند که در فضا- مکان غوطه ور شده اند: آنها خودشان فضا- مکان هستند! این خود فضا است که از این حلقه ها تشکیل می شود. این چیزی بود که معادلات به ما می گفتند.

از آن گفتگوها، ایده جدیدی متولد شد که امروزه به نظریه ای منجر می شود که گرانش و جاذبه کوانتومی حلقه ای نامیده می شود و یکی از راه حل های مشکل گرانش و جاذبه کوانتومی در نظر گرفته می شود. چندین هفته دیوانه‌وار کار کردیم و کل نظریه ویلر - دی‌ویت را بر اساس نظریه حلقه‌ای مان بازتعریف کردیم. ما موفق به بدست آوردن معادله ای شدیم که بهتر از معادله اصلی ویلر- دیویت تعریف شده بود، راه حل های زیادی پیدا کردیم و شروع به درک معنای آنها کردیم. راه حلی که توسط نظریه حلقه در باره یک حلقه معین ارائه شد، نشان می دهد که جهان(universe) فقط از یک حلقه نازک فضا- مکان تشکیل شده است و نه چیز دیگری. به عبارت دیگر، فضای بدون این "حلقه های گرانش و جاذبه" وجود ندارد، زیرا خود حلقه ها و روابط آنها است که فضا – مکان را تشکیل می دهند. وجود این جهان‌های در برگیرنده یک حلقه ، اولین دلالت مشخص بر دانه ها و شن ریزه مانند های کوانتومی فضا – مکان بود. زمان شگفت انگیزی بود. در هفته‌های بعد ما به سیراکوزبه سوی ابهای اشتکار، سپس به لندن به سوی کریس ایشام و سپس به یک کنفرانس بزرگ فیزیک در گوا(Goa) درهند، پرواز کردیم تا دستاوردهای خود را اعلام کنیم. ما مورد توجه و واکنش های مثبت بخش خوبی از جامعه علمی قرار گرفتیم.

رُم

سالهای بعد به توسعه این نظریه اختصاص یافت. من تز دکترای خود را تمام کرده بودم. من یک بورسیه تحصیلی از INFN ایتالیا یعنی انستیتو ملی فیزیک اتمی (Nucleare Fisica di Nazionale Istituto) گرفته بودم. از آنجایی که من به هیچ گروه تحقیقاتی متصل نبودم، می توانستم از این بورسیه تحصیلی در هر جایی که می خواستم استفاده کنم. تصمیم گرفتم به دانشگاه رم، و "دانشگاه حکمت" (La Sapienza) بروم، که به نظر من از نظر علمی، غیر از نام آن که بسیار جاذبه داشت، جالب ترین مکان ایتالیا است. در رم بود که فیزیکدانان نظری بزرگ ایتالیایی مانند جیانی جونا-لاسینیو(Gianni JonaLasinio)، جورجیو پاریسی (Giorgio Parisi)، نیکولا کابیبو(Nicola Cabibbo)، لوچیانو مایانی (Luciano Maiani) و بسیاری دیگر مشغول به کار بودند. از مدیر دپارتمان، میزی را در زیرزمینی به دست آوردم، جایی که چند سالی را در توسعه نظریه جدید، که توسط همه همکاران نادیده گرفته شد، گذراندم . وقتی پول بورسیه تمام شد، موفق به دریافت هیچ حمایت مالی دیگری

نشدم. نیکولا کابیبو، مدیر وقت INFN، در مورد دستاوردهای من در ایالات متحده شنیده بود و سعی کرد از طریق INFN قراردادی ترتیب دهد، اما مدت کوتاهی پس از آن، موازنه سیاسی در INFN تغییر کرد و چیزی حاصل نشد. همه چیز را پس انداز کردم تا بتوانم زندگی کنم و از پدرم کمک خواستم. پدرم، برخلاف همه روندهای منفی، به علائق علمی من باور داشت، به من کمک کرد و من برای همیشه از او سپاسگزارم. دوران کارآموزی سختی بود: من امیدوار بودم که به عنوان یک فیزیکدان رشد کنم، اما به نظر می رسید زندگی حرفه ای من بدون چشم انداز متوقف شده است. امکان کار در دانشگاه به نظر بعید بود، به خصوص به این دلیل که من روی موضوعی کار می کردم که در ایتالیا تقریباً هیچ کس به آن علاقه مند نبود. لحظات مایوس کننده ای بود

سپس یک روز تلفن زنگ زد و مدیر گروه فیزیک یکی از دانشگاه های آمریکا از من پرسید که آیا به پستی به عنوان استاد و پروفسور در آنجا علاقه مندم؟ پست پیشنهادی در دانشگاه پیتسبورگ(Pittsburgh) بود، جایی که تد نیومن(Ted Newman)، یکی از بزرگترین دانشمندان نسبیت عام، در آنجا کار می کرد. در ابتدا، ایده زندگی در یک شهر بزرگ و خسته کننده آمریکایی مانند پیتسبورگ مرا به هیجان نیاورد. اولین جواب تلفنی من این بود: نه ممنون. نیاز به مداخله انزو ماریناری(Enzo Marinari)، دوست عزیزی کاملاً عاقل تر از من و فیزیکدانی در رم، بود تا چشمانم را باز کند و به من بفهماند که نباید ترجیح بدهم در ایتالیا بیکار باشم تا پروفسور در آمریکا. اگر می خواستم در تحقیقات و مطالعاتم آزادی داشته باشم، آن پیشنهاد، این فرصت بود.

در پیتسبورگ، با تد و بسیاری از همکاران دیگر ده سال کار کردم، و خودم را وقف بسیاری از مسائل مختلف کردم، اما مهمتر از همه، تلاش خود را وقف توسعه "تئوری حلقه" کردم.

فیلسوفان

یکی از بهترین سورپرایزهایی که در پیتسبورگ یافتم، شاید مهمترین مرکز برای فلسفه علم در ایالات متحده، یعنی "مرکز تاریخ و فلسفه علم" بود. موسسه فوق العاده ای که در آن همه نوع بازدید کننده هنگام عبور در آنجا با انواع ایده ها مواجه میشود. من که همیشه کنجکاو و شیفته فلسفه بودم، در سمینارها و کنفرانس های مرکز شرکت کردم. در آنجا توانستم به فیلسوفان برجسته‌ای که شدیداً به علم علاقه دارند ، مانند آدولف گرونبام(Adolf Grünbaum) و جان ارمن(John Earman)، نزدیک شوم. آنان به مسائل فضا-زمان علاقه مند و مشتاق بودند در این مورد با یک فیزیکدان بحث کنند. برای من این دیدار و بحث ها، به گسترش قابل توجهی از افق و دیدگاهم کمک کرد، و به علایق دوران جوانی ام، پیوند خورد. دیالوگ سازنده ای در گرفت که به من ایده ها و دیدگاه هایی را آموخت که برای کار من به عنوان یک فیزیکدان اساسی بودند.

موجودیت فیزیکی، یا رابطه و نسبیت؟

یک مسئله تیپیک که امروزه یک فیزیکدان نظری از منظر فلسفی به آن توجه دارد، مسئله ماهیت مکان – فضا(space) است. در سنت فلسفی غرب ایده نیوتن که فضا یک موجودیت بسیار ویژه ای است، که حتی زمانی که هیچ چیز دیگری وجود نداشته باشد، موجودیت دارد، نقطه نظر غالب نیست. مکان فضا از زمان سقراط تا دکارت اغلب به عنوان یک رابطه و نه به عنوان یک موجودیت فیزیکی توصیف شده است. این به این معنی است اگر هیچ جسم و ماده فیزیکی وجود نداشته باشند، فضا نیز وجود ندارد. فضا رابطه بین اشیاء متحرک و دینامیک است، مانند ازدواج، که رابطه بین دو فرد است:

بدون دو فرد، ازدواجی وجود ندارد. به طور دقیق تر، فضا رابطه مجاورت و نزدیکی، یعنی در تماس بودن، بین اجسام است. نیوتن فضا را یک وجود عینی تعریف کرد که "در آن"، اشیا وجود دارند، زیرا این برای نظریه دینامیکی او ضروری بود. او توانست نشان دهد که این دیدگاه در مورد فضا برای علم بسیار مؤثر است. اما بحث فلسفی درباره مفهوم فضا به عنوان یک موجودیت فیزیکی و یا فضا به عنوان یک رابطه، در طول قرن ها تداوم یافته و توسط دانشمندانی مانند نیوتن و انیشتین با انگیزه ها و ایده های جدید و الهام بخش پیگیری شده است. من بر این باور هستم که امروز لازم است دوباره روی این نوع مسائل خم شد تا به درک خواص کوانتومی گرانش و جاذبه دست یافت.

من فکر می کنم که یک نظریه کامل گرانش کوانتومی تنها از طریق کنار گذاشتن ایده نیوتنی در باره فضا به عنوان یک موجودیت فیزیکی، و تعبیر فضا طبق تئوری نسبیت عام ممکن است.

مکان- فضا یک موجودیت فیزیکی نیست که اجسام در آن قرار گرفته اند. فضا-مکان وجود ندارد. آنچه وجود دارد میدان جاذبه و گرانشی است همراه با دیگر میدانهای مغناطیسی. در گرانش و جاذبه کوانتومی حلقه، حلقه ها کمیت میدان جاذبه هستند و این روابط بین این کمیت ها هستند که مکان- فضا را تشکیل می دهد.

علی العموم ، من بیشترمتقاعد شده ام که امروز دیالوگ بین علم و فلسفه حیاتی است. در گذشته، این گفت و گو مهم ترین نقش را در توسعه علم داشته است، به ویژه در مقاطع تکامل مفهومی تئوری. برای مثال نمونه های مهم و شاخص: گالیله و نیوتن، فارادی و ماکسول، بور(Bohr)، هایزنبرگ(Heisenberg)، دیراک (Dirac) و انیشتین، از فلسفه تغذیه کردند و آنان هرگز نمیتوانستند آن گامهای بلند در عرصه مفاهیم و اندیشه را بدون آموزش فلسفی بردارند. این در نوشته ها و آثار آنان آشکار است. در آن آثار و نوشته ها، مسائل واقعی مفهومی و فلسفی، نقش اساسی دارند: دیدگاه فلسفی و مفهومی، سوالاتی را طرح میکنند و افق های جدیدی ترسیم میکنند. در طول نیمه دوم قرن بیستم، فیزیک بنیادی تا حد زیادی از این دیالوگ با فلسفه، فاصله گرفته است. دلیل بیش از همه در این واقعیت نهفته است که مشکلات پیش رو در طول این

دهه‌ها، بیشتر جنبه فنی داشت تا مفهومی.

مکانیک کوانتومی و نظریه نسبیت دنیاهای جدیدی را باز کرده بودند. بنابراین اولویت این بود که به بررسی پیامدها و کاربردهای احتمالی آنها و دنیای جدیدی که توسط آنها باز شده بود، بپردازیم: فیزیک اتمی، فیزیک هسته ای، فیزیک ذرات، فیزیک ماده فشرده، فیزیک نجومی و کیهان شناسی. همه این علوم جدید را می توان بر مبنای پایه های مفهومی فی احال موجود مکانیک کوانتومی و نسبیت عام توسعه داد.

از سوی دیگر، امروزه در پی تلفیق این نظریه های پایه ای، مبانی مفهومی آنها باید یک بار دیگر مورد توجه قرار گیرد. فیزیک یک بار با مشکلات اساسی مواجه است و در نتیجه هشیاری فلسفی بار دیگر به امری حیاتی تبدیل شده است. این از منظر متودولوژی نیز صادق است: یک دانشمند تحقیقات خود را بر اساس ایده های معرفتی پیش میبرد. او ممکن است کم و بیش از آن ایده های معرفتی آگاه باشد. اغلب اوقات بهتر است که انسان به ادراک خود متکی شود تا اینکه توسط پیشداوریهای متدولوژیک ناشناخته هدایت شود.

من هم به شیوه ای دیگر فکر می کنم که فلسفه نباید خودش از خط مقدم تحقیقات نظری در علم، بسیار دور نگهدارد. تفکر علمی یک مسیر "داغ" از تفکر و در تکامل مداوم است، ومشکلات اساسی مطرح میکند. فلسفه" آنگلوساکسون"[3] توجه بیشتری دارد به علم معاصر دارد تا "فلسفه قاره ای". از طریق تحصیلاتم در ایتالیا با برخی از فلسفه قاره ای نسبت به همتای آنگلوساکسون خود، احساس نزدیکی بیشتری دارم. و از زمانی هم که برای زندگی به اروپا برگشتم، اغلب سعی کردم دوباره آن دیالوگهائی را که در ایالات متحده با فیلسوفان مختلف علم داشتم، پیدا کنم. در اینجا، اروپا، چنین دیالوگهائی غیرممکن نیست. به عنوان مثال، من گفتگوهای بسیار پرباری را در مورد مکانیک کوانتومی با فیلسوفانی مانند میشل بیتبول(Michel Bitbol) از مدرسه پلی‌تکنیک پاریس و فدریکو لائودیسا(Federico Laudisa) در میلان باز کرده‌ام. اما بیشتر فیلسوفان اروپایی به علم با تردید می نگرند.

سوء ظن متقابل بین فیلسوفان و دانشمندان، شکاف فرهنگی بین علوم انسانی و علوم را کاملاً باز نگه می دارد. من فکر می کنم این یک کوته نگری است: فرهنگ یک تمدن، از جمله تمدن ما، مجموعه دانش و ایده های آن است. همه این تمدن ها و ایده ها و فلسفه ها میتوانند محرک پیشرفت دانش و علم باشند.

---

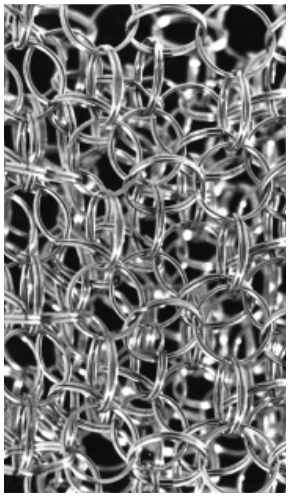
3 بطور فشرده فلسفه انگلو ساکسون که به عنوان «فلسفه تحلیلی» شناخته شده است، فلسفه ای است که در کشورهای آمریکای شمالی، انگلستان و استرالیا رایج است. «فلسفه قاره ای»، فلسفه ای است که پیدایی و رواج آن در کشورهای آلمان و فرانسه و در وهله بعدی ایتالیا و اسپانیاست.

دانه- شن ریزه های فضا و طیف مساحت

در طول سال‌هایی که در ایالات متحده زندگی می‌کردم، هر تابستان به ایتالیا برمی‌گشتم. اغلب ابهای اشتکار(Abhay Ashtekar) و لی اسمولین(Lee Smolin) من را همراهی می کردند. آنها دوستان و همکاران اصلی من شده بودند. ما در ایتالیا با هم کار کردیم و برای آنها یک تعطیلات نیز بود. در ایتالیا بود، در یکی از این ایام بود، که ما متوجه شدیم که برای توصیف جهان ماکروسکوپی، کافی است که تعداد زیادی راه حل که هر کدام از آنها راه حل منحصر به خود را در شکل حلقوی داشت، بر یکدیگر قرار بدهیم. ما فهمیدیم که چگونه تعداد زیادی از حلقه ها را به یکدیگر ببافیم و یک فضای ماکروسکوپی کلاسیک را با این حلقه ها، تولید کنیم. درست به همان روشی که می توان یک نخ را به یک تی شرت صاف بافت.

شکل ۳ یک مدل شماتیک از این ساختار ظریف فضا را نشان می دهد: یک درهم تنیدگی حلقه ها. در آن سالها من این مدل را ساختم تا خود ایده را نشان بدهم. به تمام آهن فروشی های ورونا(Verona) برای خریدن همه حلقه های کلید، که در دسترس بودند، مراجعه کردم.

شکل ۳



شکل ۳: اولین تصویر از فضا که توسط نظریه حلقه پیشنهاد شده است در کوچکترین مقیاس، فضا مجموعه ای از حلقه های کوچک است.

گام مهم دیگری در توسعه نظریه ما نیز در اواسط دهه نود، در جریان دیدار لی(Lee)، در ایتالیا پیموده شد. یک جنبه فنی این نظریه وجود داشت که ما هنوز نتوانستیم آن را درک کنیم:

از نظر ریاضی ممکن بود که این حلقه ها فضا- مکان را تشکیل بدهند، متقاطع باشند، و در نقاط معین از یکدیگر عبور کنند.

این نقاط تقاطع، چه معنایی داشتند؟

هنگامی که با این نقاط تقاطع مواجه شدیم و در پی محاسبه آنها برآمدیم، ما با یک محاسبه مکانیکی کوانتومی نسبتاً استاندارد سر و کار داشتیم. در مکانیک کوانتومی بسیاری از کمیت ها "کوانتیزه"(quantized) هستند. این یعنی که کمیت ها فقط می توانند مقادیر و ارزش خاصی داشته باشند و نه هر ارزش دیگری. برای مثال انرژی یک اتم ، نمی تواند مقادیر دلخواه و تصادفی داشته باشد، بلکه فقط مقادیر ویژه خاصی است که سطح انرژی اتم نامیده می شود.

برای محاسبه ارزشی که یک کمیت ممکن است داشته باشد، از یک تکنیک ریاضی استفاده میشود که به آن "محاسبه طیف یک اپراتور" می گویند. من و لی به یک کمیت فیزیکی خاص علاقمند شدیم: حجم.

حجم چیست؟ این معیار اندازه گیری فضا- مکان موجود است. حجم یک اتاق، مقدار فضایی است که در اتاق وجود دارد. از آنجایی که فضا میدان جاذبه و گرانشی است، حجم، میدان گرانشی را اندازه گیری می کند. از آنجا که که ما با یک نظریه کوانتومی سر و کار داشتیم، این احتمال وجود داشت که حجم مقادیر جداگانه داشته باشد. معلوم شد که محاسبه پیچیده است.

ما گیج شدیم، اما در نهایت موفق شدیم آن را به کمک یک ریاضیدان بزرگ انگلیسی، راجر پنروز(Penrose Roger)، حل کنیم. هنگامی که ما در بیشترین گیجی و سرگردانی گرفتار بودم، با راجرز مشورت کردیم. متوجه شدیم که عناصر معینی از یک معادله ریاضی او، که سالها قبل به عنوان: "شبکه های چرخان" (
network spin)، تدوین کرده بود، در محاسبات ما ظاهر شده بودند.

نتیجه محاسبه نشان داد که حجم واقعا یک متغیر پیوسته نیست؛ بلکه مجزا وگسسته است. و از این رو آن فضا- مکان از کمیتهائی از حجم تشکیل شده است، یا به عبارتی دیگر کمیت هائی از مکان- فضا. اما فقط این نبود: ما همچنین متوجه شدیم که این کمیت(quanta) های حجم، دقیقاً در تقاطع حلقه ها قرار دارند. به عبارت دیگر، حجم از مقادیر مشخصی از خوشه های دانه ای فضا- مکان تشکیل شده اند و تقاطع حلقه ها(loops)، دقیقا این مقدار از خوشه های دانه ای فضا- مکان را نشان میدهند. آنها خوشه دانه های فضا – مکان بودند که ما از ابتدا به دنبال آن بودیم. این نتایج تصویر اولیه ما از فضای کوانتومی را تا حدودی تغییر داد.

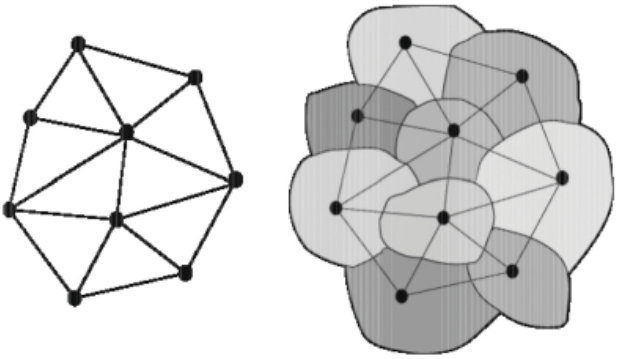
برای ما این نقاط تقاطع، مهمتر از خود خطوط شدند.

ما دیگر از مجموعه ای از حلقه ها که در نقاط مشخص یکدیگر را قطع میکنند، بحث نمیکردم، بلکه بیشتر از مجموعه ای از نقاط که با خطوط به همدیگر متصل بودند، یعنی یک شبکه و تور صحبت میکردیم. از آنجا که این شبکه ها از نظر ریاضی با نصف اعداد صحیح، یا چرخش هائی در رابطه با خطوط قابل محاسبه بودند، آنها، "شبکه های چرخشی" نامیده شدند.

در واقع، "شبکه چرخشی" نامی بود که راجر پنروز (Penrose Roger) به این نوع شبکه های ویژه داده بود. پنروز قبلاً، صرفا از فهم خویش در بررسی فضای کوانتومی به این فرمول رسیده بود.

تصویر حاصل از فضای کوانتومی قابل توجه است: نقاط یک شبکه چرخشی، کمیت های مکان- فضا هستند. خطوطی که نقاط را به یکدیگر متصل میکنند، ربطه فضایی را نشان میدهند. یعنی اینکه نشان میدهند که کدام دانه ها، به چه دانه های های دیگر نزدیک است. این در شکل ۴ نمایش داده شده است.

شکل ۴



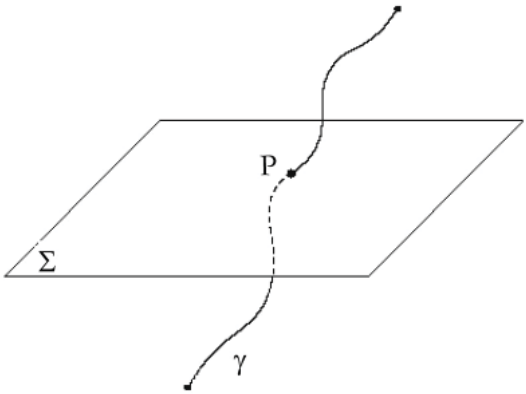
شکل ۴: یک "شبکه چرخشی" (سمت چپ) از خطوط کوانتومی میدان مغناطیسی فارادی تشکیل شده است. نقاط تقاطع، که با نقاط سیاه نشان داده شده اند، "گره"های شبکه هستند. این نقاط نشان دهنده "خوشه های مکان-فضا" هستند(سمت راست). اجزاء شبکه نشان دهنده رابطه همسایگی بین خوشه- دانه های فضا- مکان است.

وقتی می گوییم حجم یک اتاق مثلاً ۱۰۰متر مکعب است ، در واقع ما در حال شمارش تعداد رشته- دانه های فضا هستیم، یا بهتر است بگوییم " چه مقدار از میدانهای مغناطیسی" در اتاق وجود دارد. روشن است که این کمیت ها و کوانتا ها بسیار کوچک هستند. در یک اتاق صد متر مکعبی، تعداد آنها عددی است در حدود یک عدد صد رقمی. با محاسبه حجم طیف این شبکه ها،

کل حجم یک محدوده معین به دست می آید.

Figuraهمین محاسبه را می توان برای مساحت نیز انجام داد. یعنی میتوان ، "طیف مساحت" را محاسبه کرد. تئوری حلقه، پیش بینی می کند که اگرما یک مساحت را به طور دقیق اندازه گیری کنیم، ما به هیچ عدد دلخواه و تصادفی نمی رسیم، بلکه در میان لیست اعداد، فقط به رقمی میرسیم که آن را محاسبه کرده ایم. وقتی می گوییم مساحت یک صفحه از این کتاب، برای مثال دویست سانتی متر مربع است، ما در واقع تعداد خطوط شبکه، یعنی حلقه ها، را که از صفحه عبور میکنند، محاسبه میکنیم. دریک صفحه از این کتاب، تعداد این خطوط شبکه یا حلقه ها، حدودا یک عدد هفتاد رقمی است. این در شکل ۵ نشان داده شده است

شکل ۵



شکل ۵: از سطح Σ یک حلقه در نقطه P عبور می کند. مساحت سطح با تعداد حلقه هایی که از آن عبور می کنند، تعیین می شود. یک صفحه از این کتاب حدود ۱۰۷۰ حلقه عبور کرده است. یعنی از حلقه هائی که تعداد آنها ۷۰ رقمی است.

نظریه. بنابراین، مجموعه ای از اعداد را با دقت پیش بینی می کند که نشان دهنده نتایج ممکن مساحت و حجم بسیار دقیق است. متأسفانه، با تکنولوژی امروزی هنوز نمی توان این تخمین ها را ثابت کرد. اما این بسیار مهم است که یک نظریه تخمین های دقیقی بدست میدهند که دستکم در اصل قابل تایید است. اگر نه، هنوز نمیتواند یک نظریه علمی باشد. تا به امروز، نظریه حلقه تنها نظریه جاذبه و گرانش کوانتومی است که مجموعه ای از پیش بینی های بدون ابهام و پیوسته را ارائه می دهد که در اساس قابل تأیید هستند. شبکه‌های چرخشی، توصیف ریاضی دقیق از ساختار کوانتومی فضا- مکان ارائه می‌دهند.

ساختار کوانتومی فضا

به طور دقیق تر، از آنجا که ما با مکانیک کوانتومی سر و کار داریم – و از این رو با احتمالات- ، نظریه بر اساس احتمالات مرتبط با این شبکه های چرخشی، فرموله شده است. آدم باید این را تصور کند این شبکه‌های چرخشی که جهان را تشکیل می‌دهند در حال نوسان، ارتعاش و درهم برهم اند، مثل نقاط سیاه و سفید یک تلویزیون قدیمی بدون آنتن. ریاضیات نظریه، این ازدحام شبکه های چرخشی را توصیف می کند.

این تحقق دقیق ریاضی از ایده جان ویلر(John Wheeler) است که طبق آن، فضا – مکان در مقیاس کوچک، دیگر پیوسته نیست.

روزی پراحساسی را بیاد دارم که جان ویلر، این پیر بزرگ جاذبه کوانتومی، یادداشتی پر از محبت در مورد دستاوردهای ما برای من فرستاد و در آن من را به پرینستون(Princeton) دعوت کرد تا تئوری مان را توضیح بدهم. در پرینستون، او صبح زود به هتلی با تبلیغ "تختخواب و صبحانه" که من آنرا یافته و اقامت داشتم، به دیدن من آمد. صبحانه را با هم خوردیم و بعد مرا برای یک پیاده روی طولانی برد. من نتایج محاسباتمان را به او گفتم، در حالی که او داستان های باورنکردنی را در مورد: بور(Bohr)، انیشتین، بمب اتمی...برایم تعریف میکرد. او ادامه داد: " کارلو! روزی که اینشتین از اروپا از دست نازی ها به ایالات متحده فرار کرد، من او را برای همین پیاده روی در همین محوطه، همراهی کردم.....

چرا نزدیکی به کسانی که قوی ترین تاثیرات را بر ما به جا گذاشته اند، باعث ایجاد چنین احساسی در ما می شود؟ قطعا آنان مردات و زنانی هستند مثل ما، با همان ضعف ها و همان محدودیت ها. با این حال، جذابیت ایده های آنها هاله ای به آنها می دهد که ما را مسحور خود میکند. آنان راه هایی را باز کرده اند که ما این امتیاز را داریم که بتوانیم آن مسیرها دنبال کنیم، و این در ما تحسین، قدردانی و محبت نسبت به آنان بر میانگیزد.

جان با لحن ملایمی صحبت میکرد. پیر و ضعیف بود، اما انرژی باطن اش به همان اندازه دست نخورده بود. او به طرز وحشتناکی از مشارکت های خود در ماجراجویی بمب اتمی در برابر مخالفت های رادیکال و صلح طلبانه من، دفاع کرد. وقتی که من تصویرم از ساختار فضا را به او نشان دادم (شکل ۴ را ببینید)، او مثل یک پسر کوچک لبخند زد و رفت و تصویری بسیار مشابه را که او سال‌ها قبل رسم کرده بود، آورد که یکی از کتاب‌های اوست...

کاربردهای نظری

امروزه نظریه حلقه توسط بسیاری از گروه های تحقیقاتی در سراسر مورد مطالعه قرار می گیرد، آن را در جهات مختلفی توسعه داده اند، که برخی از آنها را من دیگر دنبال نمیکنم. این

نظریه در زمینه های مختلف کاربرد دارد، برای مثال در مطالعه خواص سیاه چاله ها، به ویژه خواص حرارتی، و در کیهان شناسی، برای مطالعه انفجار بزرگ(Big Bang) – برای بررسی نخستین لحظات زندگی کیهان(Universe).

aکاربرد تئوری حلقه در مورد سیاهچاله ها موضوع کشف شگفتی آوری است که در دهه هفتاد توسط استیون هاوکینگ (Stephen Hawking) انجام شد. فیزیکدان نظری که به این دلیل معروف شد که توانسته بود علیرغم یک بیماری وحشتناک چون عنوان یک دانشمند کار کند. کسی که روی صندلی چرخدار، و فقط از طریق کار با انگشتانش روی کامپیوتر، می توانست با دیگران ارتباط برقرار کند.

استفن کشف کرد که سیاهچاله ها "گرم" هستند، یعنی آنها دقیقاً مانند اجسام داغ رفتار می کنند: آنها تشعشعات حرارتی را در یک دمای مشخص از خود ساطع میکنند.ما می دانیم که به طور کلی اجسام به این دلیل گرم هستند که اجزای میکروسکوپی شان در اطراف حرکت می کنند. یک تکه آهن داغ، تکه ای آهن است که در آن اتم های آهن به سرعت در اطراف موقعیت های تعادل خود، ارتعاش می کنند.

اگریک سیاهچاله داغ است، "اتم‌های" ارتعاشی اولیه آن کدامند؟ نظریه حلقه، پاسخ دقیقی به این سوال ارائه می دهد. "اتم های" اولیه یک سیاهچاله و حفره سیاه، که ارتعاش دارند و حامل دمای آن هستند، دقیقاً حلقه های تکی هستند که روی سطح سیاهچاله نشسته اند. با استفاده از نظریه حلقه، انسان میتواند نتیجه گیری هاوکینگ را با در نظر داشتن "ارتعاشات" میکروسکوپی حلقه ها، و در نتیجه محاسبه دقیق دمای پیش بینی شده توسط هاوکینگ، درک کند. کاربرد جاذبه و گرانش حلقه ای در کیهان شناسی(cosmology) پیچیده تر است. نزدیک به انفجار بزرگ، جهان بسیار کوچک بود. به نوعی فقط ساخته شده از چند خوشه دانه مکان- فضا بود. در چنین صورتی نمی توان تکامل آن را از طریق یک مکان- فضای پیوسته تخمین زد، تخمینی که برای یک جهان بزرگ ممکن است. باید ریزه دانه ها را به دقت به حساب آورد و بنابراین از معادلات نظریه حلقه استفاده کرد. به این ترتیب انسان به توصیف اتفاقات بلافاصله پس از بیگ بنگ و حتی خود بیگ بنگ میرسد.

قابل توجه است، که متوجه میشویم معادلات گرانش و جاذبه کوانتومی حلقه در این نقطه درستی خود را از دست نمیدهند، در حالی که معادلات اینشتین در این مورد صدق نمیکنند. بنابراین، معادلات جاذبه کوانتومی حلقه، قادر به توصیف خود انفجار بزرگ هستند.

معادلات مذکورچه چیزی را نشان می دهد؟ "قبل از" بیگ بنگ چه اتفاقی می افتد؟ از نظر من بی معنی است که بپرسیم "قبل" از بیگ بنگ چه اتفاقی افتاده است: مثل این میماند که بپرسیم روی سطح زمین در آن سوی قطب شمال چه چیزی هست. همانطور که در بخش بعدی بحث خواهم کرد، "زمان" مفهومی است که فقط از نظر ماکروسکوپی معنی دارد. زمان معنای خود

را درموقعیت های بسیار شدید، مانند نزدیکی بیگ بنگ از دست میدهد. ما باید یاد بگیریم که چگونه در باره جهان(world) بدون فکر کردن در زمان تعمق کنیم. اگر این را یاد بگیریم، مشکل چه چیزی "قبل از بیگ بنگ" اتفاق افتاد، دود میشود و به هوا میرود.

تعدادی دیگر از کاربردهای آزمایشی گرانش و جاذبه حلقه، به فیزیک نجومی پرداخته اند. به عنوان مثال، انتشار نور بر فضای دانه ای که در تئوری حلقه پیش بینی شده بود، مورد مطالعه قرار گرفته است. برخی از نشانه ها که این انتشار نور ممکن است تحت تأثیر این ساختارهای کوچک(فضا-مکان دانه ای) باشند، یافت شده است. برای درک چگونگی این مساله، دقت کنید که وقتی نور در یک کریستال شکسته، و با طول موجهای مختلف حرکت میکند، رنگها در واقع با سرعت های اندکی متفاوت در حرکت اند. ساختار میکروسکوپی مکان- فضا، ممکن است به همین شیوه بر انتشار نور تاثر داشته باشد. اگر چنین است، ما باید نتیجه بگیریم اجزاء مختلف (با رنگ های مختلف) از نور ستاره های دور را با تاخیرهای زمانی کوچک نسبت به یکدیگر، دریافت میکنیم. آزمایش این ممکن است و تحقیقات در این زمینه در جریان است. مشکل این است که محاسبه این نتیجه در تئوری دشوار است، و بنابراین کاملاً روشن نیست که نظریه واقعاً چه محاسبه ای را پیش بینی می کند. در حال حاضر برنامه های دیگری در حال تدوین هستند که من با همه آنها آپ تو دیت و به روز نیستم. با این حال، مهم است که بگوییم که تا کنون هیچ یک موارد کاربردهای این تئوری پیش بینی دقیقی را که عملا آزمایش شده باشد، بدست نداده است. این در مورد تمام نظریه های آزمایشی جاذبه و گرانش کوانتومی صادق است بنابراین نظریه حلقه، علیرغم این نتایج زیبا و با وجود علاقه ای که این نظریه برمی انگیزد، در حال حاضر فقط یک تئوری فرضیه است. نظریه حلقه، یک راه حل ممکن برای مساله است، اما تا زمانی که نتوانیم برآوردهای آن را در اندازه گیری های کمّی به اثبات برسانیم، ما نمی دانیم که آیا این راه حل درست مساله است. با تاکید بر این تمایز، متأسفانه اغلب دانشمندانی که به نوشتن آثار مورد علاقه مردم مشغول اند، این تفاوت را نادیده میگیرند. چه بسا بیشتر توسط دانشمندانی که در برنامه های تلویزیونی شرکت می کنند. یک جنبه دشوار اثری مانند من این است که از یک طرف؛ اشتیاق برای تدوین یک نظریه جدید بوجود میآورد: ممکن است انسان در مسیر درستی برای درک جنبه جدیدی از جهان قرار گرفته باشد، اما از سوی دیگر؛ یاس و نا امیدی از خطر کار کردن یک عمر بر روی نظریه هایی که در نهایت ممکن است اشتباه از آب در آیند.

زمان وجود ندارد

من تاکنون در باره مکان- فضا سخن گفته ام. فرصت پرداختن به زمان فرا رسیده است.

نسبیت خاص

حدود ده سال قبل از کشف نظریه نسبیت عام، انیشتین فی الحال متوجه شده بود که فضا و زمان پدیده های مجزا نیستند، بلکه دو جنبه از یک موجودیت واحد هستند. این کشف نسبیت خاص نامیده می شود. به طور دقیق تر کشف انیشتین به شرح زیر است:

ما عادت داریم فکر کنیم که دو اتفاق (برای مثال ورود کریستف کلمب به آمریکا و مرگ جان لنون) همیشه زمان بندی شده اند، یعنی یکی قبل و دیگری بعداً اتفاق می افتد. ما عادت داریم فکر کنیم که زمان چیزی جهانی است، و بنابراین منطقی به نظر برسد که بپرسیم دقیقاً اکنون در بخشی از جهان چه اتفاقی می افتد. انیشتین متوجه شد که این روشی نیست که طبیعت مطابق با آن کار می کند.

قابل مشاهده ترین راه برای نشان دادن نسبیت زمان، نتایج حاصل از "پارادوکس(تناقض) دوقلو" است. دو دوقلو با شتاب بسیار زیاد از یکدیگر دور می شوند و زمانی که دوباره به یکدیگر نزدیک میشوند، سن متفاوتی دارند. یکی مُسن تر است و دیگری جوانتر. به این می گویند تناقض و پارادوکس، اما این پارادوکس نیست؛ این به سادگی پیامد نحوه ساخته شدن جهان است. تنها جنبه متناقض وضعیت این است که ما به مشاهده این پدیده ها عادت نداریم. بنابراین آنها برای ما عجیب به نظر می رسند. اما حقیقت دارد: آزمایش‌های بسیار دقیقی انجام شده است (نه با دوقلوها، بلکه با ساعت‌های یکسان و بسیار دقیق که در هواپیماهای تندرو نصب شده است) که بارها و بارها تأیید شده است: نشان میدهند که جهان درست همانطور که انیشتین فهمیده بود ساخته شده است؛ دو ساعت یکسان زمانی که دوباره به هم می رسند، زمان های متفاوتی را نشان می دهند.

نکته این است که وقتی دو رویداد در موقعیت های به اندازه کافی دور از یکدیگر اتفاق می افتد، معنی ندارد که بگوییم کدام یک از این دو رویداد اول اتفاق می افتد. بی معنی است که بپرسیم دقیقاً در حال حاضر چه اتفاقی مثلاً در کهکشان آندرومدا(Andromeda) روی میدهد. زمان در همه جا یکسان جریان ندارد. ما زمان خود را داریم و کهکشان آندرومدا زمان خاص خود را دارد و به طور کلی این دو زمان فقط ارتباط ضعیفی با هم دارند.

تنها کاری که می توان انجام داد تبادل سیگنال و علائم است. اما سیگنال ها به شش میلیون سال زمان نیاز دارند تا رفت و برگشت بین ما و آندرومدا را به انجام برسانند.

تصور کنید که از یک منطقه در محدوده از آندرومدا، در یک روز خاص، اولین روز سال ۱,۰۰۰,۰۰۰ در تقویم آندرومدا برای ما سیگنال و علائمی ارسال می شود. ما امروز این سیگنال را دریافت می کنیم و بلافاصله پاسخ می دهیم. آن منطقه معین در کهکشان آندرومدا پاسخ ما را در روز معینی دریافت خواهد کرد، مثلاً آخرین روز سال ۷,۰۰۰,۰۰۰ در تقویم آندرومدا.

می توان گفت روزی که از کهکشان آندرومدا سیگنال خود را ارسال کرده است(۱۰۰۰۰۰۰ او) ما امروز دریافت میکنیم و فورا پاسخ میدهیم. اما بین این دو تاریخ، شش میلیون سال فاصله است. تاریخ امروز در آندرومدا کدام است؟

هیچ پاسخی وجود ندارد. در آندرومدا روز خاصی که مطابق با "دقیقا امروز" باشد وجود ندارد.

همه اینها بدان معنی است که ما نباید به زمان طوری فکر کنیم که انگار یک "ساعت کیهانی" وجود دارد که زندگی جهان(یونیورس) را مشخص می کند. ما باید زمان را به عنوان چیزی محلی و لوکال در نظر بگیریم: هر جسم در جهان، جریان زمانی خاص خود را دارد. روشی که در آن زمان همه اجسام هنگام ملاقات با همدیگر و یا تبادل سیگنال ها با یکدیگر؛ کنار هم قرار می گیرد، می تواند دقیقاً توصیف شود و توسط انیشتین توصیف شده است.

برای به این منظور، در توصیف و تشریح جهان، از "مکان" و "زمان" صحبت نمی شود، بلکه از اتحاد این دو به نام "فضا- زمان" صحبت می شود.

همه اینها بیش از یک قرن است که شناخته شده است (کار انیشتین که او همه اینها را روشن کرده است،در سال ۱۹۰۵ منتشر شد)؛ چگونه است که به طور وسیع شناخته شده نیست؟ نباید تعجب آور باشد که چیزی که ما یک قرن است می شناسیم هنوز برای همه مردم عادی نشده است.

همین اتفاق برای بسیاری از انقلاب های مفهومی بزرگ، مانند انقلاب کوپرنیک رخ داده است. حتی مدت ها پس از کشف کوپرنیک، بسیاری از مردم هنوز متقاعد شده بودند که خورشید به دور زمین می چرخد و نه برعکس. در زمان گالیله، تقریباً یک قرن پس از کتاب کوپرنیک، بسیاری از مردم، از جمله افراد نسبتاً قدرتمند، هنوز کاملاً از این حقیقت غیرقابل انکار مطمئن بودند که زمین مرکز جهان است...تحقیقات به پیش میروند و متوقف نخواهد شد ، تا زمانی که همه در هر مرحله دنباله رو خواهند بود.

معنی زمان

من در بالا توضیح دادم که چگونه فضا- مکان دیگر در گرانش و جاذبه کوانتومی وجود ندارد: فقط میدان گرانشی و مغناطیسی وجود دارد که از احتمالات کوانتوم های اولیه و یا شن- دانه هایی ساخته شده است که در شبکه ها به هم متصل شده اند. "فضا- مکان" فقط شبکه ای از این شن- دانه هاست. به این ترییب اگر زمان و مکان یک موجود واحد را تشکیل دهند، عدم وجود مکان- فضا بر عدم وجود زمان نیز دلالت دارد.

زمان وجود ندارد: لازم است یاد بگیریم که در مورد جهان در شرایط غیر زمانی فکر کنیم. این

دشوار است، زیرا ما عادت کرده‌ایم به زمان به عنوان چیزی در خود فکر کنیم که در حال جریان است. اما این که زمان وجود ندارد به چه معناست؟

در بیشتر معادلات فیزیک کلاسیک، زمان عمل میکند. یک متغیر است که با حرف "t" مشخص شده است. معادلات به ما می گویند که چگونه چیزها "در زمان تغییر می کنند" و به ما اجازه می دهند پیش بینی کنیم که در زمان آینده چه اتفاقی خواهد افتاد اگر بدانیم در گذشته چه اتفاقی افتاده است. به طور دقیق تر، ما متغیرها را اندازه گیری می کنیم، به عنوان مثال موقعیت A برای یک جسم، دامنه و فشردگیB برای یک آونگ نوسانی، دمای C برای یک جسم و غیره. معادلات به ما می گویند که این متغیرهای B،A وC در زمان چگونه تغییر می کنند. یعنی معادلات توابع (t)A، (t)B،(t)C و غیره را تعیین می کنند که تغییر این متغیرها را در زمان "t" توصیف می کنند.

گالیله اولین کسی بود که درک کرد که حرکت اجسام روی زمین را می توان با معادلاتی برای توابع وابسته به زمان (t)A، (t)B، (t)C توصیف کرد و او اولین معادلات را که این توابع انجام می دهند یادداشت کرد. اولین قانون فیزیک زمینی که توسط گالیله کشف شد، توضیح داد که چگونه یک جسم هنگام حرکت به سمت پایین یک صفحه شیب دار سقوط می کند.

برای کشف و سپس تایید این قانون، گالیله به دو اندازه گیری نیاز داشت. او باید موقعیت جسم را در امتداد صفحه شیبدار و زمان t اندازه گیری می کرد. بنابراین او به ابزاری برای اندازه گیری زمان نیاز داشت، یعنی به یک ساعت نیاز داشت. در دوره‌ای که گالیله می‌زیست، ساعت‌های دقیقی وجود نداشت، اما خود گالیله در سنین پایین راهی برای ساخت ساعت‌های دقیق پیدا کرده بود. او کشف کرده بود که نوسانات یک آونگ، همگی مدت زمان یکسانی دارند. بنابراین می توان زمان را به سادگی با شمارش نوسانات یک آونگ، اندازه گرفت. این ایده بدیهی به نظر می رسید، اما برای یافتن آن به یک گالیله نیاز بود. قبل از او کسی به آن فکر نکرده بود. علم اینگونه است.

اما واقعاً همه چیز به این سادگی نیست. روایات افسانه ای می گویند که گالیله هنگامی که در کلیسای باشکوه پیزا(Pisa) داشت نوسانات آهسته یک چهلچراغ غول پیکر را مشاهده می کرد، به آن نتیجه رسانده بود. چهلچراغی که هنوز در آن کلیسا آویزان است(داستان نادرست است، زیرا چهلچراغ مذکور سال ها پس از کشف گالیله در آنجا آویزان بود، اما بهر حال داستانِ جالبی است). گالیله در جریان یک مراسم مذهبی نوسانات لوستر را مشاهده کرد که ظاهراً چندان برای او جالب نبود و ضربان نبض خود را اندازه گرفت. او با هیجان متوجه شد که در هر نوسان، تعداد ضربان یکسان وجود دارند. او نتیجه گرفت که تمام نوسانات، مدت زمان یکسانی داشتند.

داستان زیبا به نظر می رسد، اما با تعمق کمی دقیق تر، انسان را با یک گیج سری مواجه میکند.

و این گیجی هسته اصلی مشکل زمان را تشکیل می دهد. سوال از این قرار است: گالیله از کجا می‌دانست که ضربان‌های نبض او مدت زمان یکسانی دارند؟

چند سال پس از گالیله، پزشکان با استفاده از یک ساعت شروع به اندازه گیری نبض بیماران خود کردند، ساعتی که اساسا چیزی جز یک آونگ نیست.

بنابراین، انسان از نبض خود برای اطمینان از منظم بودن یک آونگ استفاده می کند و سپس از پاندول برای اطمینان از منظم بودن نبض استفاده می کند. آیا این یک دور باطل نیست؟ به چه معناست؟

این بدان معناست که ما هرگز خود زمان را اندازه نمی گیریم. ما همیشه متغیرهای فیزیکی A، B،... C (یعنینوسانات، ضربان‌ها و بسیاری موارد دیگر) را اندازه می‌گیریم و همیشه یک متغیر را با متغیر دیگری مقایسه می‌کنیم. از این رو توابع A(B)، B(C)،... C(A) و غیره را اندازه گیری می کنیم.

متغیر "t"، یا "زمان واقعی" وجود دارد که ما هرگز نمی‌توانیم آن را مستقیماً اندازه‌گیری کنیم، اما در زیر همه چیز قرار دارد. ما تمام معادلات را برای متغیرهای فیزیکی با توجه به این "t" غیر قابل مشاهده می نویسیم. این معادلات به ما می گویند که چگونه چیزها در "t" تغییر می کنند (یک نوسان چقدر زمان نیاز دارد و هر ضربان قلب چقدر زمان می برد). از این طریق می‌توانیم محاسبه کنیم که چگونه متغیرها نسبت به یکدیگر تغییر می‌کنند (چند ضربان در یک نوسان است). می‌توانیم این پیش‌بینی‌ها را برای هر مورد که در جهان مشاهده می کنیم با یک متغیر مقایسه کنیم. اگر پیش‌بینی‌ها درست باشند، نتیجه می‌گیریم که کل طرح پیچیده خوب است، و به ویژه اینکه استفاده از متغیر "t" مفید است، حتی اگر هرگز نتوانیم آن را مستقیماً اندازه‌گیری کنیم. به عبارت دیگر، وجود متغیر زمان یک فرض ذهنی است، نه نتیجه یک مشاهده.(تصویر شماره ۶ را نگاه کنید)

شکل ۶: گالیله کشف می کند ربانهای نبض خود در طول نوسانات آهسته لوستر مذکور در کلیسای پیزا، همه به یک اندازه هستند.

این نیوتن بود که همه اینها را روشن کرد و این طرح را تنظیم کرد. نیوتن در بخش اول کتاب بزرگ خود، اصول(Principia)، صریحاً ادعا می‌کند که نمی‌توانیم زمان "واقعی" "t" را اندازه‌گیری کنیم، اما اگر فرض کنیم وجود دارد، این امکان را به ما می‌دهد که طرحی بسیار کارآمد برای درک و توصیف طبیعت بسازیم.

بنابراین، اکنون به امروز ، به گرانش و جاذبه کوانتومی و اهمیت این حکم که: "زمان وجود ندارد" برمیگردیم. معنای این ادعا به سادگی این است که وقتی با چیزهای بسیار کوچک‌تری سروکار داریم، طرح نیوتنی دیگر عمل نمی‌کند. این طرح خوبی بود، اما فقط برای پدیده های ماکروسکوپی.

اگر بخواهیم جهان را به معنای وسیع تری بفهمیم، اگر بخواهیم همچنین در محدوده هائی که برای ما کمتر آشنا هستند، باید از این طرح دست بکشیم زیرا دیگر کارایی ندارد. به‌ویژه اینکه ایده زمان "t" که به خودی خود جریان دارد، و در رابطه با آن فرض ذهنی همه چیز دیگر تکامل می یابند، دیگر ایده مؤثری نیست. جهان را نمی توان با معادلات تکامل در زمان "t" توصیف کرد. وقتی یک دانشجوی فیزیک برای اولین بار با این ایده روبرو می شود، معمولاً پانیک می کند. چگونه می توانیم جهان را بدون معادلاتی توصیف کنیم که در آن متغیر زمانی "t" ظاهر نمی شود؟

پاسخ این است که در واقعیت، متغیر زمان واقعاً برای توصیف آنچه می‌بینیم ضروری نیست. در واقع، متغیر زمانی "t" یک "ترفند" است که توسط نیوتن کُدگذاری شده است تا چیز دیگری را توصیف کند. کاری که برای اجتناب از استفاده از "t" باید انجام دهیم، صرفاً محدود کردن خود به فهرست کردن متغیرهای A، B، C است که خیلی واضح موثر مشاهده می کنیم و بعد

روابط بین این متغیرها برقرار می کنیم. ما باید برای توابع A(B)، B(C)، C(A) ...که مشاهده می کنیم، معادلاتی بنویسیم. و نه برای توابع A(t)، B(t)، C(t)، که مشاهده نمی کنیم. در مثال ذکر شده، ما حرکت آونگی لوستر و نبض را نخواهیم داشت که هر دو در زمان تکامل می‌یابند، بلکه فقط معادلاتی داریم که به ما می‌گویند چگونه یکی به نسبت دیگری تکامل می یابد. یعنی: نه "چند ضربان در ثانیه و چند نوسان در ثانیه"؛ بلکه فقط "چند ضربان در هر نوسان".

ما در اینجا با یک تغییر زبان ساده برای توصیف جهان سروکار داریم، اما از منظر مفهومی این یک جهش عظیم است. ما باید یاد بگیریم که در مورد جهان نه به عنوان چیزی که در زمان تغییر می کند، بلکه به گونه ای دیگر فکر کنیم. در پایه ای ترین سطح، زمان وجود ندارد. این تصور از "جریان زمان" که همه ما داریم، صرفا یک تخمین تقریبی است که فقط برای مقیاس‌های ماکروسکوپی ما ارزشمند است، و تنها از این واقعیت ناشی می‌شود که ما جهان را فقط به روشی بسیار زمخت و زبر مشاهده می‌کنیم. ساختار اولیه واقعیت فیزیکی، بی زمان است.

تصویری نوین و بی بدیل از جهان در حال شکل گیری است: جهانی بدون مکان و بدون زمان. فضا- مکانی که جهان در آن "سکونت دارد" و زمان که "همراه با آن" پدیده ها تکامل می یابند ممکن است به زودی از توصیف بنیادی ما از جهان فیزیکی ناپدید شوند. به همان شیوه ای که مفاهیمی مانند "مرکز جهان" در گذشته ناپدید شده اند.

آیا واقعاً می توان جهان را به روشی کاملاً غیر روحانی و غیر ایده آلیستی فهمید؟ آیا واقعاً می‌توانیم به دنیا بدون زمان فکر کنیم و به این عادت کنیم؟ من فکر می کنم که پاسخ مثبت است، اما این یک تغییر اساسی در ساختار تفکر ما است.شاید به اندازه رویاها و تخیلات ناشی از استفاده من از ماری جوانا در دوران نوجوانی رادیکال باشد. فقط آینده به ما خواهد گفت که آیا این مسیر درستی است که باید برویم، تا دنیای شگفت‌انگیز و رنگارنگ را که در اطراف ماست بهتر درک کنیم.

بازگشت به اروپا

بخش مهمی از کار من مطالعه مشکلات تکنیکی و مفهومی در ارتباط با یک نظریه فاقد زمان بوده است. یکی از این مشکلات این است که: اگر زمان در سطح بنیادی وجود نداشته باشد، در مورد زمانی که ما آن را در جریان میدانیم چه می‌شود و چه میتواند باشد؟

در اواخر دهه نود ایده ای را برای راه حل ممکن در مورد این مشکل مطالعه کردم، ایده ای که تأثیر مهمی در زندگی من داشت و مرا به اروپا بازگرداند.

زمان محصول سهل انگاری ماست

جهان پیچیده است: میلیاردها ذره و حتی بیشتر و تعدادی بی شمار متغیر هائی وجود دارند

که میدان های مغناطیسی را توصیف می کنند. ما به ندرت بر همه متغیرهای یک مشکل کنترل کامل داریم. وقتی این کار را انجام میدهیم، می‌توان بررسی کنیم که سیستم توسط معادلات دینامیکی اداره می‌شود که در سطح بنیادی، همانطور که اشاره کردم، زمان ظاهر نمی‌شود. با این حال، بیشتر اوقات ما تنها بخش کوچکی از متغیرهای بیشماری را که مشخصه سیستم هستند اندازه گیری می کنیم. به عنوان مثال، اگر یک قطعه فلز را در دمای معینی مطالعه کنیم، می توانیم درجه حرارت، طول، موقعیت آن و سرعت حرکت قطعه آهن را اندازه گیری کنیم، اما نمیتوانیم حرکات میکروسکوپی هر یک از اتم های قطعه آهن را که-همانطور که میدانیم- عامل و تعیین کننده درجه حرارت آن هستند، اندازه گیری کنیم.

در این موارد ما نه تنها از معادلات دینامیک برای توصیف فیزیک جسم استفاده می کنیم، بلکه از معادلات مکانیک استاتیک و ترمودینامیک نیز استفاده می کنیم. این تئوری ها به ما اجازه می دهند برخی پیش بینی ها و تخمین ها را انجام بدهیم، بدون اینکه حرکت دقیق همه متغیرهای میکروسکپی را بشناسیم.

حال، اجازه دهید به جنبه ماکروسکوپی زمان بازگردم: ایده این است که زمان فقط در این زمینه استاتیک یا ترمودینامیکی ظاهر می شود. یعنی زمان محصول ناآگاهی ما از جزئیات دنیاست. اگر ما از تمام جزئیات جهان آگاهی کامل داشتیم، جریان زمان را احساس نمیکردیم.

من روی این ایده و کنکرت و معین کردن آن، به صورت فرم دادن به آن به شکل ریاضی بسیار کار کرده ام. نکته این است که نشان دهیم چگونه پدیده‌های تیپیک مربوط به جریان زمان می‌توانند از یک جهان موقتی بیرون بیایند، وقتی که با حالت استاتیک مواجهیم. من از نتایج خود بسیار خوشحال بودم، اما واکنش جامعه علمی با حیرت همراه بود.

یک روز در کمبریج، انگلستان، در موسسه نیوتن بودم،که یکی از آن مؤسسات فوق‌العاده‌ای است که در آن از دانشمندان سراسر جهان دعوت می‌شود تا فرصتی برای ملاقات با همکاران و تبادل نظر با یکدیگرداشته باشند. فضای کمی متظاهر کمبریج، که اخبار مبنی بر اینکه بریتانیا امپراتوری خود را از دست داده هنوز بدانجا نرسیده بود، برای من چندان خوشایند نبود، و به نظر میرسید زمانی را که در مؤسسه می گذراندم بعضا تلف شده است. اما آن شب اتفاقاً پشت میز ناهارخوری کنار یک شخصیت خارق العاده نشسته بودم: آلن کونس(Alain Connes).

آلن به عنوان یکی از بزرگترین ریاضیدانان درخشان، مهمترین جوایز بین المللی را در رشته خود دریافت کرده است. اما وقتی شروع به صحبت کردیم، او چون پسری با احساس و پرشور،

با شوق نوجوانی آمیخته با هوشی شگفت انگیز، آتشفشانی از ایده ها، بود. نه تنها در زمینه ریاضی، بلکه در فیزیک، که در آن نتایج شگفت انگیزی به دست آورده است. در مورد مسائل متفرقه صحبت کردیم و چند لیوان شراب نوشیدیم. در نقطه‌ای به موضوع زمان پرداختیم و آلن این جمله را گفت: "من تصوری درباره چگونگی ظهور زمان دارم، اما هیچکس مرا جدی نگرفته است". گوش هایم را تیز کردم و جزئیات را جویا شدم. من مجبور بودم اصرار کنم، زیرا آلن خیلی مایل نبود وارد جزئیات فنی شود، اما در پایان شروع به توضیح ایده خود کرد و با چنگال خود روی رومیزی نمودارها را ترسیم کرد و خرده نان ها را به عنوان توضیح به هوا پرتاب کرد.

بعد از کمی شگفت زدگی، متوجه شدم ایده ای که او به تصویر می کشد دقیقاً همان ایده ای است که من روی آن کار کرده بودم. وارد دفترم در طبقه بالا شدم و با دو کتاب منتشر شده ام در این زمینه به میز شام برگشتم. هر دو نفر ما از ریاضیات بسیار متفاوتی استفاده کرده بودیم، اما آلن به سرعت متوجه شد که فرمولهای من شکل ویژه ای از تبیین مساله است.

زمانی که یک دانشمند ایده ای را فرموله می کند، معمولاً به این باور می رسد که ایده اش درست است. اگر هیچ یک از دیگران موافق نباشند، دانشمند اغلب به این باور ادامه می‌دهد که حق با اوست و این دیگران هستند که اشتباه می‌کنند - اما او تردیدهایی خواهد داشت. اگر متوجه شود که شخص دیگری مستقلاً همین ایده را مطرح کرده است، به این وسوسه دچار میشود که "ما دو نفر" درست می گوییم و بقیه "نمی فهمند".

من و آلن مقاله‌ای منتشر کردیم که این ایده را نشان میدهند و جنبه‌هایی را که او و من با آنها توافق داشتیم، کنار هم گذاشتیم. و من در آلن یک دوست جدید و قدرتمند با هوش و اشتیاق فکری منحصر به فرد پیدا کردم. (آلن هنگام دریافت مدال طلای خود در CNRS[4] چنین گفت:

کار یک ریاضیدان زمانی شروع می شود که او متوجه می شود موضوعی که در حال مطالعه است به روش درست ارائه نشده است: شروع کار او یک اقدام شورشی است ...)

پس از ده سال زندگی در ایالات متحده، به اندازه کافی از آن لذت بردم و همانطور که اغلب می گفتم واقعاً می خواستم به اروپا برگردم. همکاری با آلن انگار یک مشیت و خوش شانسی بود. دنیای علم تا حدودی شبیه دربار پادشاه خورشید است: کافی است یک لحظه نزدیک شاه باشید تا همه درها برویتان باز شوند. در فرانسه، آلن یک پادشاه عجیب و آنارشیست است،

اما با این وجود یک پادشاه است. چند ماه پس از انتشار کارمشترک مان، از مرکز فیزیک نظری

4 مدال طلای CNRS بالاترین جایزه تحقیقات علمی در فرانسه است. این مدال سالانه توسط مرکز ملی تحقیقات علمی فرانسه (CNRS) داده می شود. م

لومینی(Luminy) در مارسی تماس تلفنی دریافت کردم: آیا علاقه مند هستم که بروم و آنجا کار کنم؟

این بار من نسبت به ده سال قبل که به آمریکا رفتم تردیدهای بسیار کمتری داشتم.

آمریکا

ترک ایالات متحده، کشوری بدون نام مناسب(چون "آمریکا" نام یک قاره تمام است)، برای من ساده نبود: بیش از هر چیز دیگری، دلم برای مناسبات روزانه با همکارانم در پیتسبورگ، تنگ شد. به ویژه تد برای نیومن(Ted Newman)، یک شخصیت خارق‌العاده، دانشمندی بزرگ (او کسی است که کامل ترین توصیف را از سیاهچاله‌ها به دست داده است). اما، حتی بیشتر، فردی به شدت انسان، به شدت منصف، و قادر به دیدن و درک عمیق دیگران و لبخند هایش در هر شرایط. وقتی از رفتار کسی ناراحت یا عصبانی میشدم، تد وارد دفتر من می شد، خود را روی صندلی پرت میکرد (او بدن و رفتار یک خرس بزرگ را دارد) و لبخند بسیار شیرین و طنز آلودش موجب می شد، که تمام خشم من با لبخند ناپدید شود. تد برای من نمونه ای بود که می خواستم از آن پیروی کنم، یک لنگر احساس امنیت، یک منبع مرجع. من بزرگترین نوستالژی را برای جلسه فیزیکمان دارم، که هر دو پرشور و فریاد زنان، در تناقض آشکار با سبک آرام دیگر اعضاء دپارتمان فیزیک، مقابل تخته سیاه می ایستادیم.

بعلاوه، از دست دادن تماس پر ثمر با مرکز تاریخ و علم برای من دشوار بود.

و بالاخره، سخت بود که سادگی و سر راست بودن آمریکایی، اعتماد در مردم، و باور به اراده انجام کارها، که آمریکا را بزرگ می کند، ترک کرد. فضائی برخلاف اروپا که بغرنج سازی و موانع تراشی همه چیز را کند و دشوار می کند.

در ایالات متحده برای یک اروپائی چیزهای زیادی برای یادگیری وجود دارد که یادگیری همان ها در اروپا بسیار دشوار است. مخصوصاً برای جوانان آینده، در آمریکا پل های طلایی وجود دارد که در اروپا همه به آنها می گویند صبورانه منتظر نوبت خود باشند. احتمالاً بدون فرصت‌هایی که آمریکا برایم فراهم کرد، موفق به ماندن در مسیر علم نمی‌شدم.

اما برای یک اروپایی هم، ماندن در ایالات متحده نیز دشوار است. ارزش ها متفاوت است، روابط انسانی متفاوت است. بسیاری از جنبه‌های فرهنگ آمریکایی برای یک اروپایی غیرقابل تحمل است: خشونت شهری، تنش‌های نژادی، مجازات اعدام، فقدان کمک پزشکی برای همه و بیمه اجتماعی، رها کردن ضعیف‌ترین‌ها و فقرا به به حال خود، تکّبُر پول و قدرت. از خود مفهوم "عدالت اجتماعی"، در دو سوی اقیانوس اطلس، تقریبا به شیوه‌های تماما متضاد درک می‌شود. در ایالات متحده، عدالت اجتماعی به این معناست که هر کسی، از هر جا که آمده باشد

اگر دارای ظرفیت باشد می تواند به اوج برسد. در اروپا، برعکس، عدالت اجتماعی مستلزم دفاع از ضعیف‌ترین‌ها و به‌ویژه دفاع از کسانی که ظرفیت‌های لازم را ندارند. راه حل مشخص اروپایی برای یک منطقه محروم، گذاشتن پول در مدرسه محلی است. راه حل مشخصه آمریکایی ها این است که به بهترین بچه های مدرسه مناطق محروم پول بدهید و آنها را از آن مدرسه بیرون بیاورید. اروپایی می پرسد: خوب، پس دیگران چه؟

سپس سیاست خارجی تهاجمی آمریکا است که برای بسیاری از اروپایی ها غیرقابل تحمل است. در آمریکای امروزی، اروپا شاهد بازتاب و انعکاس و تداوم وحشت جنایات استعماری خود است. تعبیر منفی اروپائی، حسادت آنها ها و دلتنگی و نوستالژی قدرت از دست رفته خود است.

تعبیر مثبت این است که فاجعه جنگ جهانی اخیر کمی خِرَد در روح اروپا باقی گذاشته است و این آگاهی که همکاری بهتر از تخاصم و رویارویی است. اما در هر صورت، دوروئی سیاسی که در آن از آزادی و دموکراسی چون پرده استتار و توجیه یک سیاست خارجی وحشیانه و منفعت طلبانه استفاده می شود، از چشم اروپا بسیار آشکارست. و اطمینان آمریکا از برتری روانی خود برای بسیاری از اروپایی‌ها مضحک به نظر می‌رسد (به‌ویژه اگر آن‌ها چندان به یقین خود نسبت به برتری روحی و روانی خود فکر نکنند). اکثریت اروپایی‌هایی که در ایالات متحده زندگی می‌کنند، شاید پس از یک دوره شور و شوق اولیه، به شدت احساس نوستالژی برای یک اروپای تا حدودی خواب‌آلود و ملایم‌تر دارند.

بعلاوه، اوضاع شروع به تغییر کرد و فی الحال نشانه هایی از فضای ترس، تیرگی و نوعی تعصب و فاناتیسم چون یک شنل سیاه برخی از جنبه های زندگی مدنی در ایالات متحده را می پوشاند. زمان ترک دوباره آمریکا، فرا رسیده بود.

در اولین سفرم به مارسی(فرانسه)، نور، خورشید، رنگ سبز کریستالی دریا، فضای جذاب مدیترانه ای، قدیمی و بی انتها، آن ترکیب خارق العاده مردم در این شهر قدیمی فرانسه، مرا مجذوب خود کرد و من بلافاصله عاشق آن شدم. مرکز فیزیک نظری در لومینی(Luminy)، بخشی از دانشگاه مدیترانه، جایی که من امروز در آن کار می کنم، درست در خارج از شهر، نزدیک به دریا، در یک محیط طبیعی و باشکوه قرار دارد.

اینجا مکانی ایده آل برای مطالعه است. من نزدیک دریا زندگی می کنم، یک قایق ماهیگیری چوبی صد ساله را تعمیر کرده ام، با بادبان لاتین قدیمی اش، بادبان قایق های ون گوگ (van Gogh). وقتی کار نمی کنم، زیر صخره های سفید و وحشی، جایی که مرغ های دریایی پرواز می کنند، می روم.

حلقه ها و رشته- ریسمان ها

امروزه گرانش- جاذبه حلقه ای به یک نظریه که به طور گسترده مورد مطالعه قرار گرفته است و توسط ده ها گروه تحقیقاتی در سراسر جهان در حال توسعه است. اما نظریه جاذبه حلقه ای تنها رقیب در برابر نظریه گرانش و جاذبه کوانتومی نیست.

نظریه های فرضی دیگری نیز وجود دارد که به دنبال حلی برای مشکل جاذبه کوانتومی هستند.

یک از آلترناتیوهائی که مورد بیشترین مطالعه قرار گرفته است "نظریه رشته- ریسمان" است. این نظریه ای است که فرض می کند ذرات بنیادی، در واقع ذرات نیستند، بلکه تارها یا نخ های کوچکی هستند که در واقع "رشته" و یا ریسمان نامیده می شوند.

علیرغم شباهت ظاهری بین رشته ها و حلقه ها، تفاوت بین آنها اساسی است: ریسمان ها تارهای کوچکی هستند که در داخل فضا حرکت می کنند، بر خلاف حلقه ها که خود، فضا-مکان هستند.

مزیت تئوری حلقه این است که آنچه را که نسبیت عام در مورد جهان به ما آموخته است به شکلی اساسی در بر می گیرد، یعنی این واقعیت که میز- فضای نیوتن، که ذرات روی آن حرکت می کنند، وجود ندارد. از سوی دیگر، مزیت نظریه ریسمان این است که جاه طلبی آن بزرگتر است، زیرا سعی می کند توصیفی واحد و یکپارچه از همه روابط متقابل و عمل و عکس العمل ها ارائه دهد: فرمولی واحد که باید تمام طبیعت را تفسیر کند.

دلایل مختلفی برای من وجود دارند که نظریه ریسمان را دوست نداشته باشم.اول این که این تئوری مقدار زیادی از عوامل و پارامترهائی را پیش‌بینی می‌کند که هیچ مدرکی برای آن وجود ندارد، مثلا: بسیاری از ابعاد اضافی، ذرات مافوق و سوپرمتقارن، انواع جدید ذرات عجیب و غریب. آزمایشهای تجربی برای همه اینها انجام شده است، اما بدون هیچ نتیجه مثبت.

دوم، به باور من، نظریه ریسمان نمی تواند کشف واقعی نسبیت عام را در خود بگنجاند: یعنی این واقعیت که فضا- زمان، فقط یک میدان است. در نظریه ریسمان، پیش فرض این است که فضا- زمان ثابت و داده است، که رشته هایی در آن قرار می گیرند. امروزه تلاش هایی نیز برای فرموله کردن نظریه ریسمان با صرفنظر کردن از این "بک گراوند" و پس زمینه، یعنی فضا- زمان به چشم میخورد. اما هنگامی که این کار انجام می شود، نظریه ریسمان به طرز خطرناکی شبیه به نظریه حلقه ای میشود؛ و با مسائل مشابهی که نظریه حلقه ای با آن مواجه است، روبرو می شود.

و بالاخره، من این تصور را دارم که مجموعه ای که مدافع نظریه ریسمان اند، مسیری تحقیقاتی را دنبال می‌کند که آنها را از آنچه در مورد واقعیت می‌دانیم بسیار دور کرده است، بدون اینکه به این زحمت را به خود بدهند که از خود بپرسند آیا آن مسیر درست است یا نه.

تفاوت بین نظریه ریسمان و نظریه حلقه ای، فقط در شکل و فرم فرضیه های متفاوت آنها نیست. بعلاوه این دو نظریه محصول دو جامعه علمی متفاوت هستند که مشکل گرانش و جاذبه کوانتومی را تا حدودی متفاوت می بینند. نظریه ریسمان از جامعه فیزیکدانان پرانرژی که ذرات بنیادی را مورد مطالعه قرار دادند، پدید آمده است. این جامعه در طول قرن بیستم به موفقیت های علمی خیره کننده ای دست یافته است و به همین دلیل به روش های خاص خود، به ویژه نظریه میدان کوانتومی افتخار می کند. این جامعه مایل است که نسبیت عام را نه به عنوان یک انقلاب بزرگ دردرک ما از مکان و زمان، بلکه به عنوان یک نظریه شوخ و قدری عجیب که باید به همان شیوه دیگر نظریه ها "رام" و عادی شود، در نظر میگیرند.

از سوی دیگر، نظریه حلقه ای از سوی جامعه نسبیت گرایان، یعنی متخصصان نسبیت عام، بیشتر رشد کرده است. این جامعه ای است که از یک سو بسیار از معنای فیزیکی نسبیت عام آگاه تر است و از سوی دیگر، کمتر تحت تاثیر تکنیک های نظریه میدان کوانتومی است. بنابراین، برای یک نسبیت گرا، گرانش و جاذبه کوانتومی بیشتر تلفیق نظریه میدان کوانتومی در انقلاب مفهومی نسبیت عام است، تا رام کردن و تابع کردن نسبیت عام به نظریه میدان کوانتومی مرسوم.

نظراتی مطرح شده است که این دو نظریه می توانند مکمل همدیگر، و در نهایت با هم ادغام شوند. این یک پیشنهاد خوب است، حتی اگر در حال حاضر، با بسیاری از دلایل محکم اثبات نشده باشد.

چندین راه حل دیگر نیز وجود دارند که در حال بررسی هستند، برای مثال هندسه غیر قابل جابه‌جایی[5](non - commutative) آلن کونز(Alain Connes)، که به‌ویژه برایم جالب بوده و مدتی روی آن‌ها کار کرده‌ام، و یا نظریه نوسانگرهای[6] کوانتومی راجر پنروز

5 شاخه‌ای از ریاضیات است که به بیان هندسی برای جبر ناجابجایی میپردازد. و این کار را با ساختن فضاهایی انجام می‌دهد که به‌طور موضعی توسط جبرهای ناجابجایی نمایش یافته‌اند. یک جبر ناجابجایی جبری است که در آن عمل ضرب جابجایی نیست، یعنی در آن **xy** لزوماً برابر با **yx** نیست. م

6 نموداری که در کلیک بر لینک زیر میبینید شکلی ریاضی از نوسانگرد و یا گرداننده کوانتومی است. م

https://en.wikipedia.org/wiki/File:StationaryStatesAnimation.gif

(Penrose Roger). من جدا کتاب سخت اما بسیار محبوب او"جاده به سوی واقعیت" را توصیه می کنم. به دلائل بسیار و از جمله اینکه چون یک نقاشی دیواری، تصویری روشن درباره همه چیزهایی است که در مورد دنیای فیزیکی می‌دانیم، به ما میدهد.

در حال حاضر کسی نمی داند که کدامیک از این تئوری ها درست است و یا اینکه در نهایت ممکن است کسی بتواند آنها را درهم ادغام کند. آینده به ما خواهد گفت.

نظریه های تثبیت شده در مقابل نظریه های فرضی

چگونه بفهمیم کدام نظریه خوب است؟ در نهایت، آزمایشات خواهند گفت. با اینحال هیچ یک از تئوری های موجود در مورد گرانش و جاذبه کوانتومی کامل نیست و هیچ یک از آنها نشان نداده اند که از یک پیوستگی برخوردارانند. همه آنها سوراخ دارند و جوانب زیادی دارند که هنوز مشخص نشده اند. بنابراین، حتی قبل از آزمایش‌ها، برخی از نظریه‌ها ممکن است در درون پیوستگی نداشته باشند، یا با آنچه ما از پیش در مورد جهان می‌دانیم ناسازگار باشند.

اما در نهایت، تنها زمانی به یک نظریه خاص اعتماد خواهیم کرد که در پیش‌بینی چیزی جدید، زمانی که آن را در آزمایشگاه یا با مشاهدات نجومی آزمایش کرده باشیم، درستی خود را ثابت کرده باشد.

من تلاش کرده ام که روشن کنم که گرانش کوانتومی حلقه ای نظریه ای است که ما هنوز نمی دانیم درست است یا نه.

متأسفانه، این کار همیشه در نوشته های علمی رایج انجام نمی شود. حتی کمتر در تلویزیون. اغلب دانشمندان، نظریه‌های فرضی را به مردم زیادی چنان معرفی میکنند که انگار که نظریه‌های تثبیت شده هستند. من اغلب دیده ام که این کار، به عنوان مثال، با نظریه ریسمان انجام می شود. من فکر می کنم این یک اشتباه بزرگ است، زیرا خودِ اعتبار علم را زیر سوال می برد. ما دانشمندان با پول جامعه زندگی می کنیم و وظیفه ما این است که در گزارش آنچه می دانیم و آنچه نمی دانیم کاملاً صادق باشیم. ما برای رویاها و آرزوهای خود پول می گیریم، اما نباید رویاهایمان را به جای واقعیت های جا افتاده بفروشیم

تمایز بین نظریه های تثبیت شده و نظریه های فرضی همیشه کاملاً واضح نیست، اما این بدان معنا نیست که ما می توانیم با آن ناروشنی در تفاوت ها، بازی کنیم. آنچه امروز ما در مورد دنیای فیزیکی می دانیم مربوط اند به معادلات ماکسول، مکانیک نیوتن، مکانیک کوانتومی، به اصطلاح "مدل استاندارد ذرات بنیادی" و نسبیت عام. اینها اساسی ترین نظریه ها هستند که تثبیت شده اند و در حوزه خود بسیار خوب عمل می کنند. می توان به این نظریه ها اعتماد کرد: اگر ما ماشینی را بر اساس این نظریه ها بسازیم، می توانیم اطمینان کافی داشته باشیم که این

نظریه ها درست خواهند بود.

هر چیزی که فراتر از این مجموعه تئوری مورد اشاره، مانند جاذبه و گرانش حلقه، ریسمان، ابر تقارن، پدیده هائی با ابعاد اضافی، جهان‌ها و یونیورسهای متعدد، اصل هولوگرافیک(دیسکهای ذخیره)، و بسیاری ایده‌های دیگر که از دانشمندان در رسانه‌ها می‌شنویم، همه اینها در حال حاضر، فقط حدس و گمان است. البته ممکن م هست درست باشد: تئوری های تثبیت شده امروزی در گذشته گمانه زنی بودند. اما ممکن است اشتباه هم باشند: در گذشته اغلب اتفاق افتاده است که تعداد زیادی از فیزیکدانان با اشتیاق یک نظریه گمانه‌زنی را پذیرفته‌اند که بعداً مشخص شد جهت‌گیری اشتباه بوده است.

حدس و گمان یک ضرورت است: این تنها راه برای یافتن چیز جدید است.

اما کور شدن با حدس و گمان های خود، ساده لوحی است. میترسم امروز بسیاری از همکارانم به طور خطرناکی به مرز این ساده لوحی نزدیک شده باشند.

امروزه علم بنیادی در یک حالت سردرگمی است. ایده های زیبایی روی میز وجود دارند، اما هنوز تایید نشده است. شاید یکی از اینها درست باشد و ما فقط باید آن را به صورت آزمایشی تأیید کنیم. یا شاید چیزی کم است و ما به یک ایده جدید نیاز داریم. ایده جدیدی که برخی از دانشمندان جوان که شاید مانند انیشتین حتی نمی توانند در حال حاضر شغلی پیدا کنند، خلق خواهند کرد. یا شاید توسط یک زن یا مرد جوان که هنوز وارد کار تحقیقاتی نشده است. شاید شما، خواننده عزیز؟

چرا مکان و زمان را مطالعه کنیم؟

چندین نوع علم وجود دارد. فیزیک از معادلات ساخته شده است. بخشی از فیزیک به کاربرد این معادلات برای درک این یا آن پدیده می پردازد. با این حال، بخش دیگری به دنبال این معادلات اساسی است: این فیزیک بنیادی نامیده می شود.

انگیزه علم بنیادی تقریباً بطور منحصر به فرد از کنجکاوی و "اشتیاق به دانستن" سرچشمه میگیرد.

بدون علوم بنیادی، کل علم وجود نخواهد داشت. بدون گالیله و نیوتن، که پی گیر علم بنیادین بودند، ما نمی توانستیم محاسباتی برای ساختن پل ها و کاخ های بزرگ انجام دهیم. ماکسول می خواست ماهیت نور را بداند. بدون او و فارادی(Faraday)، رادیو و تلویزیون وجود نداشت.

شرودینگر(Schrödinger) می خواست دلائل عمیق تر جدول تناوبی عناصر را باز کند. بدون

او و هایزنبرگ(Heisenberg) کامپیوتر و بخشی از تکنولوژی مدرن وجود نداشت. در زمانی که این دانشمندان نظریه های خود را توسعه دادند، کاربردهای آینده آنها غیرقابل تصور بود. انگیزه آنان کار برد تئوری های شان نبود ، بلکه میل طبیعی به دانستن آنها بود. تمدن ما محصول کنجکاوی است.

اما ارزش علوم بنیادی، به نظر من، حتی بیشتر است. فراتر از کاربردهای احتمالی آنان - چه اکنون یا در آینده – و یا مزایای مادی عظیمی که به جهان داده اند.

علم روشی از تفکر است که ظرفیت تغییر در ایده هایی در مورد واقعیت را دارد؛ روشی است در عدم اعتماد به ایده های دریافت شده؛ در بحث مداوم در مورد طرح های خود. علم پایه حتی بیش از آنکه کاوشی در جهان باشد، کاوشی در خود اندیشه است. علم پایه، کاوش در شیوه های ممکن تفکر است.

چیزی که من را در علم بیش از همه مجذوب می‌کند، امکان بازنگری مداوم درباره خود و طرز تفکرمان است. ما نمی توانیم از تفکر خود خارج شویم، اما می توانیم آن را از درون اصلاح کنیم. همه چیز قابل بحث است، حتی ابتدایی ترین تصورات ما مانند ایده های ما در مورد مکان و زمان. ما به طور مداوم جهان را دوباره طراحی می کنیم. شبیه رویای جوانی من است: ادامه تحقیقات در مورد دنیای ناشناخته. فراتر از واقعیت، واقعیت های بیشتری برای کشف وجود دارند.

قرن نوزدهم تصویری از علم ایجاد کرد که امروزه نمی توان از آن دفاع کرد: این ایده که علم مجموعه ای از "فکت های واقعی" است که ما یک بار برای همیشه کشف کرده ایم. قرن بیستم به ما آموخت که مساله پیچیده تر از این است. ما متوجه شده ایم که دانش علمی مدام در حال تغییر است. حتی آنچه احتمالاً بزرگترین و موفق ترین نظریه علمی تاکنون است، یعنی نظریه نیوتن، به معنای بسیار دقیق، به شدت اشتباه است. نظریه نیوتن البته در حوزه‌های خاص و در محدوده هائی تقریبی اعتبار خود را حفظ میکند: ما هر روز از آن برای ساختن پل یا طراحی یک هواپیما استفاده می‌کنیم. اما ما متوجه شده ایم تصویری که توسط نظریه نیوتن از جهان ارائه شده است، ناتمام است. این نظریه اجازه نمی دهد که ما جهان را در مقیاس وسیعتری درک کنیم. انتظار نمی رود که یک نظریه "قطعاً درست" باشد، حتی اگر توسط آزمایش ها به خوبی تأیید شود. امروزه دانشمندان عمیقاً از این خصلت موقت دانش علمی آگاه هستند(نه همه آنها، متأسفانه برخی همیشه فکر می کنند که آخرین مقاله آنها نظریه نهایی در باره همه چیز خواهد بود، گاهی حتی قبل از اینکه در هر گونه تجربه ای تایید شوند!)

اما اگر علم تا این حد نامطمئن است، آیا قابل اعتماد است؟ چگونه می توانیم به آن اعتماد کنیم، اگر بدانیم که حتی بهترین تئوری ها ممکن است گاهی اوقات در آینده اشتباه تشخیص داده شوند؟ من فکر می‌کنم که پاسخ به این سؤال خیلی مهم است، زیرا علم و به طور کلی تفکر منطقی

امروزه از جهات مختلف مورد حمله قرار گرفته است.

اعتبار علم در این نیست که مطلقا درست است. بلکه به این خاطر که در مورد تعداد زیادی از مسائل و مشکلات، پاسخ های علمی بهترین پاسخی است که تاکنون پیدا کرده ایم. این دقیقاً تغییر دانش علمی است که آن را بسیار قوی می کند. علم بر اساس شک بنا شده است و این برخلاف اکثر تفکرات غیر علمی است. شک و تردید است که باعث پیشرفت دانش ما می شود، زیرا آنچه ما را از درک باز می دارد، اغلب اوقات، ایده های اشتباهی است که ما داریم. برای درک این که زمین گرد است، باید آماده میشدیم که تصویر مقدس از جهانی را که قبلاً به آن باور داشتیم، یعنی اینکه زمین مسطح است، کنار بگذاریم. برای درک اینکه زمین به دور خورشید حرکت می کند، باید آماده میشدیم تا از یک چیز عزیز دست برداریم: اینکه زمین مرکز جهان است.

برای درک این موضوع که زمان وجود ندارد، باید آماده باشیم که تصویر دُکم از جهان را که در زمان تکامل می یابد، که اکنون از باورهای ماست، کنار بگذاریم. این یک روند مداوم است که به دنبال کاهش آهسته جهل عظیمی است که در آن غوطه ور هستیم. برای اینکه بتوانیم دانش خود را افزایش دهیم، چیزهای بیشتری بیاموزیم، باید بیش از حد آماده باشیم که بپذیریم چیزی که معتقدیم درست است در واقع درست نیست. به همین دلیل است که شک، عدم قطعیت، ریشه خود دانش و آگاهی است.

و این نیز دلیلی است که بدترین دشمن علم، یقین است.

بدترین دشمنان دانش کسانی هستند که یقین دارند که فی الحال حقیقت را می دانند. کسانی که هرگز نمی‌پذیرند یقین‌های آنان را زیر علامت سوال ببرند. کسانی که فکر می کنند همه چیزهای اساسی که باید شناخته شوند، آنها از قبل می دانند. این افراد متأسفانه در دانشگاه ها، دولت ها و کلیساها زیاد هستند. من هرگز نفهمیدم که چگونه بسیاری از مردم می توانند اینقدر از ایده های آیا آنها نمی بینند که همسایه آنها به همان اندازه به چیز متفاوتی مطمئن است؟ چگونه بسیاری از مردم می توانند این غرور و حماقت را داشته باشند که باور کنند کلید دار حقیقت هستند؟

که خدا با آنها صحبت کرده و با دیگران نه؟

نگرش علم، متضاد این روش است. زیر سوال بردن تصورات قشری و آمادگی برای دیدن جهان با چشمان جدید. درک اینکه آنچه می دانیم ممکن است نادرست باشد. برای تغییر باز باشید.

این بدان معنا نیست که ما هرگز نمی توانیم چیزی بدانیم. برعکس، علم خود فرآیندی است که از طریق آن می‌توانیم درک خود از جهان را بهبود بخشیم، با مطالعه، تلاش، و به‌ویژه با دیالوگ.

تفکر منطقی این است که اگر به دیدگاه‌های متفاوت از خود، با احترام برخورد کنیم، می‌توانیم درباره این نظرات مختلف بحث کنیم، آن‌ها را تحلیل کنیم، به نقد بکشیم، آنها را با عقاید خود به تضاد بکشانیم، تا مساله روشن شود وبه توافق برسیم. آنچه بسیار قابل توجه است این است که ممکن است زمان ببرد، اما علم منجر به توافق می شود. دیگر آن بحث در مورد اینکه آیا زمین مرکز جهان است یا خیر وجود ندارد. زمانی بحث بزرگی بود، الان حل شده است. نکته کلیدی بحث انتقادی و جدلی درباره ایده ها، حقایق، نظریه ها و آزمایش ها است. در پایان چنین پروسه ای، یک روش تفکر، یک تئوری به عنوان بهترین نظریه ظاهر می شود. این نظریه نهایی جهان نخواهد بود، اما بهترین توصیفی از جهان خواهد بود که در مرحله کنونی دانش و آگاهی خود می توانیم ارائه دهیم. باز بودن برای تغییر مداوم نقطه ضعف علم نیست، بلکه نقطه قوت آن است.

اطمینان به امکان کشف پدیده های جدید، به تغییرو تحول، و ساختن چیزهای جدید، به خود تمدن اجازه داده است که شکل بگیرد. این به انسان این امکان را داده است که از ترس اسلاف و پیشینان خود خلاص شود، از برخی از تعصبات دست بردارد، ساختارهای گذشته را رها کند، دنیایی تا حدودی عادلانه‌تر بسازد، و بخواهد قبل از قضاوت و تصمیم‌گیری، یاد بگیرد و بفهمد. علم زمانی متولد می شود که یقین ها، اسطوره ها و افسانه ها و ارزش های قدیمی زیر علامت سوال و مورد بحث قرار گیرند. انسان با چشمانی جدید به دنیا نگاه می کند، مانند کودکی که همه چیز هنوز به رویش باز است.

من فکر می کنم این چیزی است که جهان به خصوص در حال حاضر به آن نیاز دارد. به نظر من امروز دنیا در خطر تبدیل شدن به قربانی و طعمه ترس و تکّبُر است: ترس از اینکه افراد متفاوت با ما وجود دارند و تکبر ناشی از اینکه حقیقت نزد ماست. از یک سو، ترس توسط افراد فرومایه در جکشورهای فقیر و توسط دولت ها در جهان ثروتمند، بطور یکسان مورد استفاده قرار می گیرد. هر دو به دنبال تقویت موقعیت خویش و مشروعیت بخشیدن به سلطه خود در این ترس هستند. از سوی دیگر، استکبار بنیادگرایی – مسیحی، اسلامی، هندو... – و نیز تکبر دنیای ثروتمندی که به نوع عدالت خود بسیار مطمئن است، در حال رشد است. اما در عین حال چنان به این عدالت ادعائی بی اعتماد است که معتقد است حق دارد دنیا را از ارتش خود پر کند.

قرن هفدهم در اروپا با ویرانگری های جنگ سی ساله به ذهنم میرسد به ذهن من می رسد، که کاتولیک ها و پروتستان ها به نام حقیقت یکدیگر را قتل عام کردند. جنگ های مذهبی، خشونت، فلاکت و وفور، ثروتی که در معرض تهدید فقر است. هر یک از طرفین بر این باور اند که طرف عدالت هستند و یکدیگر را به نام خدا، صلح یا "میهن ما" قتل عام می کنند. یکدیگر را مرتد یا تروریست مینامند. در تمام این موارد، علم تماما بی معنی است. اما شاید در حالی که در حاشیه است، علم بتواند نقشی را که در قرن هفدهم اروپای تراژیک ایفا کرد، بازی کند. نقش دفاع از روش فکری که می داند دیدگاه خودش حقیقت مطلق نیست، یک روش تفکر مبتنی بر عقلانیت

متین، متمایل به گوش دادن به مخالفین به جای تلاش برای تخریب آنها و بر اساس تحمل.

در قرن هفدهم، روشنفکران مرزهای اروپای ویران شده در هم نوردیدند. آنها در پی این بودند تا برداشتی از جهان را که دنیای یونانی معرفی کرده بود، اما قرن ها از دست رفته بود و توسط عقاید دگماتیک له شده بودند، دوباره احیاء کنند. از طریق کتاب ها و تفکر آن گروه از دانشمندان، دنیای مدرن شکل گرفت.

امروزه نیز مردان و زنان علم بی وقفه به سرتاسر جهان سفر می کنند، اگرچه مشکلات دریافت ویزا و عبور از مرزها در حال افزایش است. همه آنها احساس می کنند که شهروندان یک سیاره کوچک هستند.

سانته دی رنزو(Renzo Di Sante)، که مبتکر تهیه این سری از جزوات مصاحبه است، از من پرسید که چه توصیه‌ای به دانشجوی جوانی که با زندگی روبروست می‌کنم. من هیچ توصیه واقعی ندارم، زیرا بیشتر (و نه همه) توصیه هایی را که به خودم شده بودند، نادیده گرفته ام. اما اگر این کتاب کوچک توسط یک دانش آموز جوان خوانده شود، آرزوی من این است که او همچنان به آرزوهای خود - هر چه که میخواهد باشد- باور کند اجازه ندهد هر کسی که ترس را میپرستد، او را مرعوب کند. قطعا فرد باید بداند که چگونه سازش را بپذیرد، اما تنها با باور به رویاهای خود امکان انجام کاری خوب برای خود و برای جهان وجود دارد.

چیزی که من در علم آموخته ام این است که یک دنیای واقعی جامد وجود ندارد که یک بار برای همیشه قبول شده است. جهان همیشه با آنچه ما فکر می کنیم متفاوت است: در برابر چشمان ما تغییر می کند. ما می توانیم دنیاهای جدید را تصویر کنیم، به جستجوی آنها بپردازیم ، و آنها را بیابیم. بینشی که ما از جهان داریم نتیجه شورش پیشینیان ما است، نتیجه تلاش آنها برای تفکر جدید است. واقعیت های ما تحقق رویاهای آنهاست. ما هم می‌توانیم شورش خود را داشته باشیم و جهان را از نو ببینیم. اگر کار کند، ممکن است دانش ما را افزایش دهد یا شاید دنیا را کمی بهتر کند. اگر اینطور هم نباشد، با این وجود راهی فوق العاده برای گذراندن این سال های کوتاهی است که داریم.

کار علمی که تا به حال انجام داده ام ممکن است به جایی نرسد: در نهایت ممکن است همه چیز اشتباه باشد. یا می تواند، همانطور که من بسیار امیدوارم، یک گام کوچک به جلو در درک دنیای رنگارنگ ما باشد. در هر صورت، ساعت‌های بی‌پایانی که در مقابل تخته‌های سیاه پوشیده از فرمول ها سپری شده اند، یا در گفتگو با دوستان، همکاران و دانش‌آموزان بی‌شماری از هر کشوری در جهان، شگفت‌انگیز بوده است، و من بسیار خوشحالم که آن سالها را زندگی کرده‌ام.

امروز من با جوانانی احاطه شده ام که مجذوب تحقیقات بنیادی اند، همانگونه که بیش از بیست

سال پیش من. آنها از سراسر جهان به دیدن من می آیند، همانطور که من هم در بیست سال پیش انجام داده بودم. من با آنها صحبت می کنم، آنچه را که می دانم به آنها می گویم، به این امید که در میان آنان یکی از آنها بتواند از من بهتر باشد، به جایی برسد که ما توانایی رسیدن به آن را نداشتیم. وقتی نظر من را می پرسند، اکیداً به آنها توصیه می کنم که در زمینه فعالیت تحقیقات علمی به دنبال کاریر نباشند، همان توصیه ای که اساتیدم به من کرده بودند. من به آنها در مورد رقابت شدید برای پست و مقام، از دشواری خود مساله، و از خطرات عظیم این حرفه دشوار صحبت میکنم. اما در درون خود من امیدوارم که آنها شور و اشتیاق را داشته باشند و این جرات را داشته باشند که همه این هشدارها را نادیده بگیرند، علائق خود را دنبال کنند و به رویاهایشان اعتماد کنند.