



انتشار این اثر به پیشنهاد
سمیر الله وردی زاده مدیر سایت بیگ بنگ
<http://www.bigbangpage.com>
صورت گرفته است.

دنیای اینشتین

چگونه دیدگاه اینشتین درک ما را
از فضا و زمان تغییر داد

میچیو کاکو

ترجمه‌ی سروش آتشی

زمت‌لانت ماریار

فهرست مطالب

۷ مقدمه

بخش اول

- ۱۱ تصویر اول: مسابقه با باریکه‌ی نور
- ۱۳ ۱. فیزیک قبل از اینشتین
- ۲۳ ۲. سال‌های آغازین
- ۴۳ ۳. نسبیت خاص و سال اعجاز‌انگیز

بخش دوم

- ۶۷ تصویر دوم: فضا و زمان خمیده
- ۶۹ ۴. نسبیت عام و زیباترین فکر زندگی من
- ۸۵ ۵. کوپرنیک جدید
- ۹۹ ۶. مهبانگ و سیاهچاله‌ها

بخش سوم

- ۱۱۱ ایده‌ی ناتمام: نظریه‌ی میدان وحدت‌یافته
- ۱۱۳ ۷. متحدسازی و چالش کوانتومی
- ۱۳۷ ۸. جنگ، صلح و $E = mc^2$
- ۱۵۷ ۹. میراث اینشتین

مقدمه

نگاهی جدید به میراث آلبرت اینشتین

پروفسوری نابغه ولی حواس پرت. پدر نسبیت. چهره‌ی اسرار آمیز آلبرت اینشتین در حالی که یک پلیور بزرگتر از اندازه پوشیده، جوراب به پا ندارد، به پیمایش پُک می‌زند، و نسبت به اطرافش بی‌تفاوت است در ذهن همه‌ی ما حک شده است. چهره‌ای که به اندازه‌ی الویس پرسلی یا مرلین مونرو معروف است و به طرز مرموزی به عکس‌های خود که روی مجلات، تی‌شرت‌ها و کارت پستال‌ها چاپ شده است نگاه می‌کند. او به قدری معروف است که حتی یکبار یک مغازه در بورلی هیلز لس‌آنجلس از عکس‌اش در تبلیغات تلویزیونی خود استفاده کرد ولی تاریخ‌دانی به نام دنیس برایان می‌گوید: او از همه‌ی این‌ها متنفر بود.

اینشتین یکی از بهترین دانشمندان تاریخ است، چهره‌ای سرآمد که به خاطر خدمت‌هایش به علم همیشه هم رده‌ی آیزاک نیوتون طبقه‌بندی شده پس تعجبی ندارد وقتی روزنامه‌ی تایمز او را به عنوان مرد قرن معرفی می‌کند و بسیاری از مورخان او را در لیست صد انسان تأثیرگذار هزار سال اخیر قرار می‌دهند.

با توجه به نقش‌اش در تاریخ بشر، دلایل زیادی وجود دارد تا نگاهی نو به زندگی او داشته باشیم. در آغاز، نظریه‌های او آنقدر عمیق و ژرف هستند که پیش‌بینی‌هایی که دهه‌ها پیش انجام داده هنوز هم در سرفصل تیتراها و مقاله‌ها می‌درخشند پس این برای ما بسیار ضروری است تا اصول و بنیان نظریه‌هایش را بفهمیم. دانشمندان با استفاده از ابزاری که حتی تصور آن‌ها در دهه‌ی ۱۹۲۰ غیر ممکن بود (مانند لیزرها، نانوتکنولوژی، ابرکامپیوترها، ماهواره‌ها و آشکارسازهای امواج گرانشی) توانسته‌اند از لایه‌های بیرونی کیهان تا لایه‌های درونی اتم را کاوش کنند و با استفاده از پیش‌بینی‌های اینشتین برنده‌ی جایزه نوبل شوند. برای مثال جایزه نوبل فیزیک سال ۱۹۹۳ به دو فیزیکدان تعلق گرفت که توانسته بودند با مطالعه‌ی یک منظومه‌ی دو تایی ستاره‌های نوترونی، وجود امواج گرانشی را که اینشتین در سال ۱۹۱۶ پیش‌بینی کرده بود، به صورت غیر

مستقیم تایید کنند.

همین‌طور جایزه نوبل سال ۲۰۰۳ به سه فیزیکدانی تعلق گرفت که توانسته بودند وجود چگالش بوز-اینشتین^۱ که حالت جدیدی از ماده است که در نزدیکی صفر مطلق به وجود می‌آید را ثابت کنند. اینشتین پیش‌تر در سال ۱۹۲۴ وجود این حالت ماده را پیش‌بینی کرده بود.

بعضی از پیش‌بینی‌های او نیز به تازگی تایید شده و رنگ حقیقت به خود گرفته‌اند. سیاهچاله‌ها که پیش‌تر از آن‌ها به عنوان بخش عجیب و مرموزی از نظریه‌ی نسبیت اینشتین یاد می‌شد، امروزه توسط تلسکوپ هابل و رادیو تلسکوپ عظیم آرای^۲ مشاهده شده‌اند. همچنین نه تنها صحت حلقه‌های اینشتین و لنزهای اینشتین تایید شده، بلکه دانشمندان برای اندازه‌گیری اجسام نامرئی و بسیار دور فضای بیرون از آن‌ها به عنوان ابزاری بسیار مهم استفاده می‌کنند.

حتی از اشتباهات اینشتین نیز به عنوان کمکی بزرگ به دانش ما در باره کیهان یاد می‌شوند؛ در سال ۲۰۰۱ دانشمندان نتایج قانع‌کننده‌ای پیدا کردند که نشان می‌داد ثابت کیهان‌شناسی، که به عنوان بزرگترین اشتباه اینشتین شناخته می‌شد، در واقع بزرگترین منبع انرژی در جهان است و می‌تواند آینده‌ی کیهان را رقم بزند. شواهد نشان داده‌اند که با افزودنی شواهد مبنی بر درست بودن نظریه‌های اینشتین، میراث او دچار یک رنسانس شده است.

در وهله‌ی دوم، فیزیکدانان در تلاشند تا میراث و به خصوص طرز تفکر اینشتین را باز-ارزیابی کنند. در حالی که مورخان زندگی خصوصی اینشتین را برای پیدا کردن شواهدی از منبع نظریه‌هایش به دقت زیر ذره‌بین قرار داده‌اند، فیزیکدانان فهمیده‌اند که نظریه‌های اینشتین اصلاً براساس ریاضیات پیشرفته و دشوار نیستند بلکه بیش‌تر براساس تصورات ساده و زیبای فیزیکی هستند. اینشتین همیشه این نکته را متذکر می‌شد که اگر یک نظریه به حدی ساده نباشد که حتی یک کودک هم بتواند آنرا بفهمد، به احتمال زیاد بی‌ارزش است.

قسمت اول این کتاب درباره‌ی اولین خیال‌پردازی اینشتین در سن ۱۶ سالگی است: یک باریکه نور چگونه به نظر می‌رسید اگر او می‌توانست با آن مسابقه دهد. این تصور به احتمال زیاد با خواندن یک کتاب کودکان به وجود آمده بود. با تجسم کردن اینکه چه می‌شد اگر او می‌توانست با یک باریکه نور مسابقه دهد، اینشتین

1. Bose-Einstein Condensation

2. Very Large Array Radio Telescope

ناسازگاری کلیدی بین دو نظریه‌ی بزرگ آن زمان را از بین می‌برد، نظریه‌ی نیوتون درباره‌ی نیروها و نظریه‌ی مکسول در مورد میدان‌ها و نور. در پروسه‌ی حل کردن این پارادوکس، یکی از آن نظریه‌ها – که بعداً معلوم شد نظریه‌ی نیوتون بوده – باید منسوخ می‌شد. از جهت دیگر، کل نظریه‌ی نسبیت خاص (که در آخر پرده از راز ستاره‌ها و انرژی هسته‌ای بر می‌دارد) در این تجسم گنجانده شده است.

در قسمت دوم، ما با تجسمی دیگر آشنا می‌شویم: اینشتین سیاره‌ها را به صورت تپله‌هایی تصور کرد که بر روی یک سطح خمیده به دور خورشید می‌چرخند. پس از تشریح این ایده، می‌فهمیم که گرانش از خمیدگی فضا و زمان نشأت گرفته. اینشتین یک تصویر کاملاً جدید و انقلابی از گرانش را با قرار دادن یک صفحه‌ی خمیده به جای نیروهای نیوتون ارائه داد. در این چهارچوب جدید، نیروهای نیوتونی توهمی بودند که با خم شدن خود فضا به وجود می‌آمدند. دستاوردهای این فرضیه‌ی جدید اینشتین، سیاهچاله‌ها، بیگ‌بنگ، و سرنوشت پایان‌پذیر جهان بودند.

در قسمت سوم هیچ تجسمی وجود ندارد – این قسمت مربوط به شکست اینشتین در پیدا کردن نظریه میدان یکپارچه است. نظریه‌ای که به اینشتین این امکان را می‌داد تا تمام قوانین و مطالعات درباره‌ی ماده و انرژی را در یک فرمول خلاصه کند. ادراک اینشتین در این‌جا به مشکلی برخورد؛ زیرا در آن زمان تقریباً هیچ چیزی درباره‌ی نیرویی که هسته و ذرات زیراتمی را به حرکت وا می‌دارد کشف نشده بود.

نظریه‌ی میدان وحدت‌یافته ناتمام و تحقیقات سی ساله‌اش درباره‌ی نظریه‌ی همه چیز به معنای واقعی کلمه یک شکست بزرگ بود، اگرچه ما به تازگی به این نتیجه رسیده‌ایم. انسان‌های هم دوره‌اش این را یک تعقیب احمقانه خطاب کرده بودند. فیزیکدان و زندگی‌نامه‌نویس اینشتین، آبراهام پایس اینگونه تاسف خود را بیان می‌کند: او در سی سال باقی مانده‌ی عمرش در زمینه‌ی تحقیقات همچنان فعال بود ولی اگر به ماهی‌گیری می‌پرداخت شهرتش ممکن بود زیادتر نشود ولی این گونه هم لطمه نمی‌خورد. می‌شود اینگونه گفت که اگر فیزیک را به جای سال ۱۹۵۵ در سال ۱۹۲۵ ترک کرده بود میراثش پربارتر می‌بود.

به هر حال در دهه‌ی اخیر با ظهور نظریه جدیدی به نام نظریه‌ی ریسمان یا نظریه M، فیزیکدان‌ها دوباره دارند کارهای آخر اینشتین و میراث‌اش را بررسی می‌کنند زیرا تلاش برای کشف نظریه میدان یکپارچه دوباره در مرکز جهان فیزیک قرار گرفته است. مسابقه برای دست یافتن به نظریه همه چیز، به هدفی دست

نیافتنی برای فیزیکدانان جوان و مشتاق تبدیل شده است. روزی تصور می‌شد که متحد کردن نیروها، آخرین هدفی است که دانشمندان مسن و کهنسال می‌توانند دنبال کنند اما امروزه زمینه غالب تحقیقاتی فیزیکدان‌های جوان شده است.

من آرزو دارم در این کتاب دیدگاهی نو از کارها و تحقیقات پیشتازانه‌ی اینشتین ارائه دهم؛ همچنین قصد دارم تصویری دقیق‌تر از میراث گرانبها و با دوام او از دیدگاهی متناسب با تصورات فیزیکی ساده همانطور که خود اینشتین باور داشت ارائه کنم. بینش‌های او، منبع سوخت‌رسان آزمایش‌های انقلابی نسل حاضر در فضای خارجی و در آزمایشگاه‌های پیشرفته فیزیک است و همچنین انگیزه‌بخش اراده‌ی بشر برای دست یافتن به بلند پروازانه‌ترین رؤیای فیزیکدانان، دست‌یابی به نظریه‌ی همه چیز. نگاهی نو به زندگی و کارهای آلبرت اینشتین که مطمئنم از آن خوششان خواهد آمد.

دوست دارم از مهمان‌پذیری کارکنان کتابخانه دانشگاه پرینستون، جایی که برخی از تحقیقات این کتاب در آنجا انجام شد تشکر ویژه‌ای داشته باشم. این کتابخانه دارای کپی‌ها و دست‌نوشته‌های اصلی اینشتین است. همچنین دوست دارم از پروفیسور نیر و پروفیسور دنیل گرین برگر در دانشگاه نیویورک به خاطر خواندن دست‌نوشته‌ها و نقدهای سازنده‌ی‌شان تشکر ویژه‌ای داشته باشم. همچنین گفتگوهایی که با فرد جرّم داشتم – کسی که فایل‌های بزرگ مربوط به اینشتین را در اف بی‌آی نگه‌داری می‌کرد – بسیار سودمند بودند. همچنین از ادوین باربر برای پشتیبانی و انگیزه دادن به من بسیار متشکرم. نیز بسیار به استوارت کریشووسکی به خاطر تبلیغ کتاب‌های من در مجامع علمی مدیونم.

بخش اول

تصویر اول

مسابقه با باریکه‌ی نور

First Picture: Racing a Light Beam

فیزیک قبل از اینشتین

روزنامه‌نگاری از اینشتین، بزرگترین نابغه‌ی علمی که جهان بعد از نیوتون به خود دیده پرسید: فرمول شما برای موفقیت چیست؟ اندیشمند بزرگ برای مدتی فکر کرد و پاسخ داد: اگر A موفقیت باشد، باید بگوییم فرمول من $A = X + Y + Z$ است که در آن X سخت کوشی و Y شروع کردن بازی است. روزنامه‌نگار پرسید: پس Z چه می‌شود؟ او جواب داد: بسته نگه داشتن دهانتان.

چیزی که همه‌ی شاه‌ها، ملکه‌ها، فیزیکدان‌ها و عموم مردم درباره‌ی او دوست داشتند انسانیت، بخشندگی و نبوغ او بود، فرقی هم نمی‌کرد که در حال حل کردن مسائل صلح جهانی باشد یا کاوش عمیق‌ترین مسائل کیهان.

حتی کودکان نیز دوست داشتند به صورت دسته جمعی مرد پیر فیزیک را که در خیابان پرینستون قدم می‌زد تماشا کنند. اینشتین همیشه دوست داشت با کودک پنج ساله‌ای که همه‌ی مواقع او را در راه قدم زدن به سمت دانشگاه همراهی می‌کرد صحبت کند. روزی در حالی که داشتند همراه یکدیگر قدم می‌زدند، ناگهان اینشتین قهقهه‌ی بلندی سر داد. وقتی مادر آن کودک از اینشتین قضیه را پرسید، کودک جواب داد: من فقط از آقای اینشتین پرسیدم که آیا امروز حمام رفته‌اند یا نه. مادر کودک بسیار شرمزده شد ولی اینشتین جواب داد: من خوشحال می‌شوم اگر کسی سوآلی از من بپرسد که بتوانم جواب بدهم.

همانطور که یکبار جرمی برنشتاین فیزیکدان گفته است: هرکسی که ارتباطی واقعی با اینشتین داشت، با احساس سرخوشی و رضایت از او دور می‌شد و از نجابت و اصالت او تعریف می‌کرد. این عبارتی است که همیشه در مورد شخصیت او تکرار می‌شد و این ویژگی ساده و دوست داشتنی شخصیت او بود.

اینشتین که همیشه به یک اندازه نسبت به گدایان، کودکان و خانواده‌های سلطنتی رثوف و مهربان بود، نسبت به برجستگان پیشین علم نیز متواضع بود. در حالی که اکثر دانشمندان و متفکران به صورت واضح به رقبای‌شان حسودی می‌کنند و در مشاجره‌های بی‌سر و ته شرکت می‌کنند، اینشتین از همه‌ی این‌ها کنار

کشید تا منشأ ایده‌های دانشمندان بزرگ پیشین‌اش مانند آیزاک نیوتون و جیمز کلارک مکسول را پیدا کند؛ دانشمندانی که عکس‌های‌شان به طرزی واضح روی دیوارها و میز دفتر کارش خود نمایی می‌کردند. در حقیقت تحقیقات و نظریه‌های نیوتون در مورد گرانش و نیروها و مکسول بر روی نور و الکترومغناطیس ستون‌های اصلی علم را در قرن بیست شکل می‌دادند و مقدار قابل توجهی از دست‌آوردهای فیزیک، در دست‌آوردهای این دو فیزیکدان خلاصه می‌شد.

این بسیار آسان است که زمان قبل از نیوتون را به کلی فراموش کنیم زیرا دلیل حرکت اجسام بر روی زمین و حرکت خود زمین در آسمان مشخص نبود و این در حالی بود که اکثر مردم باور داشتند سرنوشت ما را شیاطین و اجنه‌ی شرور و نیروهای جادوگری رقم خواهند زد. حتی در بزرگترین جوامع علمی اروپا با هیجان بر سر خرافات و جادوگری بحث می‌شد به صورتی که می‌توانیم بگوییم علم به صورتی که اکنون می‌شناسیم اصلاً وجود نداشت.

فیلسوف و خداشناسی رومی می‌نویسد: اجسام به این علت حرکت می‌کنند که مانند انسان احساسات و امیال دارند. پیروان ارسطو فکر می‌کردند اجسام به این علت پس از مدتی از حرکت می‌ایستند چون خسته می‌شوند و اجسام به خاطر اینکه با زمین اتحادی ابدی دارند همیشه به سمتش سقوط می‌کنند.

مردی که نظم را به این دنیای پر هرج و مرج بخشید در اخلاق و شخصیت کاملاً با اینشتین فرق می‌کرد. در حالی که اینشتین همیشه نسبت به زمانش بخشنده بود و آن را در اختیار همه می‌گذاشت و سعی داشت تا خبرنگاران روزنامه‌نگاران را شاد کند، آیزاک نیوتون به طرز آزاردهنده‌ای گوشه‌گیر و شکاک بود. در حالی که به شدت به دیگران سوء ظن داشت، با دانشمندان نیز همیشه دشمنی داشت و به آن‌ها زخم زبان می‌زد. کم‌گویی او نیز افسانه‌ای بود؛ وقتی در سال‌های (۱۶۹۰-۱۶۸۹) عضو پارلمان انگلیسی بود، تنها سخنی که از او ضبط شده زمانی بوده که باد سردی می‌وزیده و او از نگاهیان خواسته تا پنجره را ببندد. ریچارد وست فال زندگی‌نامه‌نویس می‌گوید: نیوتون یک مرد شکنجه شده با شخصیتی شدیداً عصبی بود.

ولی در دنیای علم، نیوتون و اینشتین هر دو استادهایی قابل با ویژگی‌های مشترک هستند. هر دو هفته‌ها و ماه‌ها تا مرز فرسودگی و خستگی بسیار شدید روی یک موضوع کار می‌کردند و هر دو این توانایی را داشتند تا بزرگترین رازهای کیهان را تصور کنند، در آن غرق شوند و آن را حل کنند.

در سال ۱۶۶۶، زمانی که نیوتون ۲۳ ساله بود با معرفی کردن مکانیکی جدید بر پایه‌ی نیروها، دنیای خرافی ارسطو را ویران کرد. نیوتون سه قانون را ارائه کرد که در آن‌ها اجسام توسط نیرویی که آن‌ها را هل می‌داد یا می‌کشید حرکت می‌کردند و این نیروها را می‌شد به صورت دقیق در معادله‌ها نشان داد. به جای تفکر درباره‌ی احساساتی که اجسام را به حرکت وا می‌داشتند، نیوتون می‌توانست نمودار حرکت هر چیزی را از برگ‌هایی که از درخت می‌افتند، موشک‌ها و گلوله‌های توپ تا ابرهای در حال حرکت را با احتساب نیروهایی که به حرکت وامیدارندشان رسم کند. این کار نیوتون صرفاً از نظر آکادمیکی مهم نبود زیرا به زیربنای انقلاب صنعتی نیز کمک کرد، جایی که موتورهای بخاری که کشتی‌ها و لوکوموتیوها را می‌راندند فرمانروایی جدیدی را بنا نهادند. پل‌ها، سدها و آسمان خراش‌های سر به فلک کشیده به راحتی می‌توانند ساخته بشوند زیرا اکنون فشار وارده به هریک دانه آجر می‌تواند محاسبه شود.

با این اکتشافات، نیوتون در طول دوران زندگی‌اش به شهرتی مثال زدنی رسید؛ الکساندر پوپ درباره‌ی او این چنین گفته است:

طبیعت و قوانین‌اش در تاریکی پنهان شده بودند
خدا گفت: بگذار نیوتون باشد! و آنگاه همه جا روشن شد.

نیوتون با ارائه‌ی نظریه جدیدش گرانش، نیروهایش را در عالم هستی هم اعمال کرد. او همیشه دوست داشت داستان برگشتن به املاک خانوادگی‌اش در وولستروپ در لینکولن شایر را به علت شیوع طاعون سیاه تعریف کند. روزی وقتی یک سیب را دید که از درخت افتاد آن سؤال سرنوشت‌ساز را از خودش پرسید: اگر یک سیب می‌افتاد، پس آیا ماه هم می‌تواند سقوط کند؟ آیا نیروی گرانشی که بر روی زمین باعث افتادن یک سیب می‌شود می‌تواند همان نیرویی باشد که اجسام را در آسمان به حرکت وامیدارد؟ این سؤال کفرآمیز بود زیرا سیارات باید روی مدارهای بی‌نقصی می‌چرخیدند که از قوانین بی‌عیب الهی پیروی می‌کنند و این با قوانین رستگاری و گناه که انسان‌ها را هدایت می‌کردند در تضاد بود.

در یک چشم بر هم زدن نیوتون متوجه شد که می‌تواند قوانین زمینی و سماوی را در یک نظریه با هم متحد کند. نیرویی که یک سیب را بر زمین می‌انداخت همان نیرویی بود که ماه را در مدارش نگه می‌داشت. او تصویری جدیدی از گرانش را نیز ارائه داد. او خودش را روی قله‌ی کوه در حال پرتاب کردن یک سنگ تصور

کرد. او فهمید هرچه سنگ را سریع‌تر و محکم‌تر پرتاب کند، سنگ دورتر و دورتر می‌رود؛ سپس او پرتاب سرنوشت‌ساز را انجام داد، چه می‌شود اگر یک تکه سنگ را آنقدر سریع پرتاب کنید که دیگر هیچگاه بازنگردد؟ او فهمید که سنگ به‌طور پیوسته تحت تأثیر گرانش سقوط می‌کند ولی به زمین نمی‌افتد بلکه به دور آن می‌چرخد و در آخر به نقطه‌ی پرتابش باز می‌گردد و به پشت‌اش برخورد می‌کند. در این ایده‌ی جدید، او به جای تکه سنگ ماه را قرار داد که همیشه داشت سقوط می‌کرد ولی هیچ‌گاه با زمین برخورد نمی‌کرد زیرا مانند تکه سنگ در یک مدار دایره‌ای شکل حرکت می‌کرد. ماه همانطور که کلیسا فکر می‌کرد روی یک کره‌ی الهی نمی‌چرخید بلکه تحت تأثیر نیروی گرانش مانند سیب یا تکه سنگ دائم در حال سقوط آزاد بود. این اولین توضیح برای حرکت اجسام در منظومه‌ی شمسی بود. دو دهه بعد در سال ۱۶۸۲، تمام لندن از حرکت یک شهاب سنگ درخشان در آسمان شب وحشت کرده بودند. نیوتون با دقت مسیر حرکت شهاب سنگ را با تلسکوپ بازتابی خود (یکی از اختراعاتش) دنبال کرد و فهمید اگر حرکتش تحت تأثیر گرانش و در حال سقوط آزاد باشد دقیقاً با فرمول‌هایش همخوانی دارد. با کمک دستیار تازه کارش ادموند هالی، او توانست به دقت زمان بازگشت شهاب سنگ را (که بعدها به شهاب سنگ هالی مشهور شد) اندازه‌گیری کند که اولین اندازه‌گیری حرکت شهاب سنگ‌ها بود. قوانین گرانش‌ای که نیوتون برای اندازه‌گیری حرکت شهاب سنگ هالی استفاده کرد همان‌هایی هستند که امروزه ناسا با دقت نفس‌گیری برای اندازه‌گیری حرکت کاوشگرهایش استفاده می‌کند.

نیوتون باور داشت این قوانین همیشه فوراً عمل می‌کنند. برای مثال نیوتون می‌گوید اگر زمانی خورشید ناگهان ناپدید شود، زمین بلافاصله از مدارش منحرف شده و در فضای تاریک خارج از منظومه‌ی شمسی منجمد می‌شود. همه در جهان خواهند فهمید که خورشید در آن لحظه ناپدید شده پس این ممکن خواهد بود که همه‌ی ساعت‌ها را روی کره‌ی زمین هماهنگ کنیم تا دقیقاً با یک زمان پیش بروند. یک ثانیه روی زمین با یک ثانیه روی ماه و مشتری برابر خواهد بود. فضا هم درست مانند زمان مطلق و مستقل است. یک تکه چوب یک متری نیز در زمین همان اندازه است که در ماه یا مشتری. فرقی نمی‌کند که به کجای این جهان بروید، اندازه‌ی چوب یک متری همیشه یکسان است.

به همین دلیل نیوتون ایده‌هایش را بر مبنای فضا و زمان مطلق بنا نهاده بود. برای نیوتون، فضا و زمان دو کالبد مرجع کاملاً جدا از هم هستند که ما می‌توانیم

حرکت اجسام را در آن‌ها به صورت جداگانه اندازه‌گیری کنیم. برای مثال اگر داریم با یک قطار حرکت می‌کنیم، می‌توانیم بگوییم که قطار در حال حرکت است ولی زمین ثابت است. وقتی از پنجره‌ی قطار به درخت‌ها که می‌گذرند نگاه می‌کنیم، می‌توانیم نتیجه‌گیری کنیم که قطار ثابت است و درخت‌ها دارند از کنار ما رد می‌شوند. درحالی که می‌بینیم همه چیز در قطار بی‌حرکت است، باید این سؤال را از خودمان پرسیم که واقعاً کدام یک دارند حرکت می‌کنند، درخت‌ها یا قطار؟ برای نیوتون، این چهارچوب مرجع مطلق می‌تواند جواب سؤال ما را بدهد. قوانین نیوتون تقریباً به مدت دو قرن چهارچوب‌های اصلی فیزیک بودند. سپس در اواخر قرن نوزدهم، اختراعاتی مانند تلگراف و چراغ تغییرات اساسی در شهرهای بزرگ اروپا به وجود آوردند و مطالعه‌ی الکتریسیته و مغناطیس مفاهیم جدیدی را به دنیای علم وارد کرد. برای توضیح دادن نیروهای اسرارآمیز الکتریسیته و مغناطیس، فیزیکدان اسکاتلندی جیمز کلارک مکسول در دانشگاه کمبریج در دهه‌ی ۱۸۶۰، نظریه جدیدی را نه براساس نیروهای نیوتونی، بلکه براساس مفهومی جدید به نام میدان‌ها ارائه کرد. اینشتین می‌نویسد:

نظریه‌ی میدان‌ها عمیق‌ترین و پرثمرترین نظریه در فیزیک از زمان نیوتون است.

این میدان‌ها را می‌شود با ریختن براده‌های آهن روی کاغذ آشکار کرد. برای اینکار شما باید آهنربایی را زیر کاغذ بگیرید، آن وقت است که براده‌های جادویی به طرز عجیبی به سرعت شکل‌شان را به شکل یک تار عنکبوت تغییر می‌دهند و خط‌هایی را تشکیل می‌دهند که از طرف قطب شمال به طرف قطب جنوب حرکت می‌کنند. اطراف هر آهنربایی، یک میدان مغناطیسی وجود دارد، پیکان‌هایی نامرئی از نیرو که از هر طرف به فضا رخنه می‌کنند. الکتریسیته نیز میدان مغناطیسی مشابهی ایجاد می‌کند.

این میدان‌ها اما کمی با نیروهایی که نیوتون معرفی کرده است فرق می‌کنند. نیروهای نیوتون همیشه بلافاصله عمل می‌کنند پس اگر یک اختلال در بخشی از جهان به وجود بیاید، در همان لحظه و بدون هیچ معطلی در تمام جهان حس می‌شود. پیش‌بینی هوشمندانه‌ی مکسول این بود که اثرات الکتریسیته و مغناطیس مانند نیروهای نیوتون فوری نیستند و برای اثر گذاری زمان می‌برند چون با سرعت محدودی حرکت می‌کنند. مارتین گلدمن زندگی‌نامه‌نویس‌اش می‌نویسد: مکسول نشان داد که مثلاً اگر یک آهنربا را تکان بدهیم، مقداری طول می‌کشد تا براده‌های

آهن نزدیکش نیز حرکت کند.

یک تار عنکبوت که در باد تکان می‌خورد را تصور کنید؛ یک اختلال مانند باد که یک طرف را تکان می‌دهد باعث به وجود آمدن موجی می‌شود که کل تار را تکان می‌دهد. میدان‌ها و تارها بر عکس نیروها با سرعتی خاص حرکت می‌کنند. مکسول سپس تصمیم گرفت سرعت حرکت این میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی را محاسبه کند. در یکی از بزرگترین دستاوردهای قرن نوزدهم، او از این ایده برای اندازه‌گیری سرعت نور استفاده کرد.

مکسول از کارهای پیشین مایکل فارادی و دیگران می‌دانست که هر میدان مغناطیسی در حال حرکت، میدان الکتریکی به وجود می‌آورد و برعکس این قضیه نیز می‌تواند اتفاق بیفتد. ژنراتورها و موتورهایی که برای ما برق تولید می‌کنند مثال‌های بارزی از همین دیالکتیک هستند. (از این اصل برای روشن کردن خانه‌های مان استفاده می‌کنیم. برای مثال در یک سد، جریان پرفشار آب توربین را به گردش در می‌آورد که آن هم آهنربایی را به چرخش وا می‌دارد. آهنربای در حال چرخش، اکترون‌های داخل سیم را به حرکت وادار می‌کند. این الکترون‌ها به سمت یک سیم ولتاژ بالا هدایت می‌شوند و به سمت پریزهای برق خانه‌های ما حرکت می‌کنند. به‌طور مشابه در یک جارو برقی، الکترون‌هایی که از پریز برق خانه سرازیر می‌شوند یک مدار مغناطیسی را به وجود می‌آورند که پره‌های موتور جارو برقی را به چرخش در می‌آورد.)

نوع مکسول این بود که هر دو اثر را با هم ادغام کرد. اگر یک میدان مغناطیسی در حال چرخش میدان الکتریکی به وجود می‌آورد و بر عکس، پس ادغام آن‌ها با هم می‌تواند یک چرخه را به وجود بیاورد که در آن هر دو به‌طور مداوم به یکدیگر تبدیل شوند. مکسول به سرعت فهمید این الگویی چرخشی یک جریان متحرک از میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی به وجود می‌آورد که هماهنگ با هم لرزش می‌کنند و در یک موج بی‌پایان به دیگر تبدیل می‌شوند. سپس او سرعت این موج را محاسبه کرد.

او با کمال تعجب فهمید که با این کارش در واقع سرعت نور را محاسبه کرده است. کمی بعدتر، احتمالاً در انقلابی‌ترین اتفاق قرن نوزدهم، او متوجه شد که آن موج الکترومغناطیس، نور بوده است. مکسول سپس با افتخار به همکارانش گفت: «ما به سختی می‌توانیم این نکته را نادیده بگیریم که نور از نوسانات متقاطع به وجود آمده که عامل پدیده‌های الکتریک و مغناطیس هستند. پس از مدت‌ها

فکر کردن راجع به ماهیت اسرار آمیز نور، دانشمندان بالاخره به عمیق‌ترین رازش دست یافتند. بر خلاف نیروهای نیوتون که بلافاصله عمل می‌کردند، این میدان‌ها با سرعت مشخصی حرکت می‌کردند؛ سرعت نور.»

دست‌آوردهای مکسول در هشت معادله‌ی دشوار (که به معادلات مکسول مشهور هستند) جمع‌بندی شد. در حدود ۱۵۰ سال پیش هر مهندس یا فیزیکدانی مجبور بود تمام این معادلات را به خاطر بسپارد. (امروزه شما می‌توانید یک تی‌شرت بخرید که روی آن تمام هشت معادله با تمام شکوه و جلال‌شان نوشته شده است؛ نوشته‌های تی‌شرت اینگونه آغاز می‌شود: در آغاز خدا گفت... و اینگونه تمام می‌شوند: و آنگاه همه جا روشن شد.)

در اواخر قرن نوزدهم، دست‌آوردهای نیوتون و مکسول آنقدر عظیم و کامل بودند که فیزیکدانان به راحتی پیش‌بینی می‌کردند این دو ستون فیزیک جواب تمام سوالات جهان را داده‌اند. زمانی که مشاور ماکس پلانک (بنیان‌گذار نظریه کوانتوم) از او درباره فیزیکدان شدن پرسید، به او گفت که بهتر است اینکار را نکند زیرا فیزیک به‌طور اساسی و بنیادی تمام شده و چیز خاصی باقی نمانده که او بتواند کشفش کند. این قبیل چیزها بازتاب افکار فیزیکدان بزرگ قرن نوزدهم، لرد کلوین بود، کسی که اعلام کرد فیزیک در اصل دیگر تمام شده و به غیر از چند ابر کوچک در افق که نمی‌توان توضیح‌شان داد چیز دیگری برای اکتشاف باقی نمانده. اما نقص‌های دنیای نیوتونی هر سال بیش‌تر و بیش‌تر نمایان می‌شدند. اکتشافاتی مانند ایزولاسیون رادیم و رادیواکتیو توسط ماری کوری داشتند توجه اذهان عمومی را به خود جذب می‌کردند. حتی چند اونس از این ماده‌ی کمیاب و درخشان می‌توانست یک اتاق را روشن کند. او همچنان نشان داد که از قرار معلوم ما می‌توانیم مقادیر نامحدودی از انرژی را از درون یک اتم به دست بیاوریم که مخالف با قانون بقای انرژی بود که می‌گوید انرژی نمی‌تواند از هیچ‌جا وجود بیاید یا از بین برود. به هر حال این ابرهای کوچک به سرعت بنیان انقلاب‌های دوگانه‌ی قرن بیستم را بنا نهادند؛ نسبت و نظریه‌ی کوانتوم.

ولی چیزی که مایه‌ی شرمساری بود این بود که هرگونه تلاشی برای ادغام مکانیک نیوتونی با نظریه مکسول به شکست می‌انجامید. نظریه‌ی مکسول تایید می‌کند که نور یک موج است ولی این سؤال به وجود می‌آید که خود موج دقیقاً چیست؟ دانشمندان می‌دانستند که نور می‌تواند درون خلا حرکت کند (در حقیقت می‌تواند میلیون‌ها سال نوری از ستاره‌های بسیار دور در فضای بیرون حرکت کند

و به ما برسد) ولی از آنجا که خلاء یعنی هیچ چیز پس این پارادوکس نیز به وجود می‌آید که خود موج هم یعنی هیچ چیز!

فیزیک نیوتونی سعی کرد با فرض کردن اینکه نور از امواجی به وجود آمده است که در اتر (گازی ساکن که کل جهان را پر کرده) لرزش می‌کنند، موج را تعریف کند. اتر قرار بود چهارچوب مرجعی باشد که هر کسی بتواند در آن سرعت اجسام را اندازه بگیرد. یک انسان بدبین ممکن است بگوید از آنجا که زمین به دور خورشید می‌چرخد و خود خورشید هم به دور کهکشان می‌چرخد پس ما چگونه می‌توانیم بگوییم کدام‌شان واقعاً در حال حرکتند؟ فیزیک نیوتونی این سؤال را اینگونه پاسخ داد که منظومه شمسی دارد نسبت به اتر ثابت می‌چرخد پس می‌توانیم بگوییم کدام‌شان واقعاً دارند می‌چرخند.

به هر حال، هر چه زمان می‌گذشت، ماهیت اتر بیش‌تر و بیش‌تر در هاله‌ای از ابهام فرو می‌رفت و اسرار آمیزتر می‌شد. برای مثال فیزیکدانان می‌دانستند که امواج در یک محیط چگال‌تر سریع‌تر حرکت می‌کنند به همین خاطر امواج صوتی در آب سریع‌تر از هوا حرکت می‌کنند. از آنجایی که نور با سرعت باور نکردنی $300,000$ کیلومتر بر ساعت (یا $186,000$ مایل بر ساعت) حرکت می‌کند، باید این حقیقت را به وجود می‌آورد که اتر باید ماده‌ای بسیار چگال باشد تا بتواند نور را با این سرعت انتقال دهد؛ ولی این چگونه ممکن بود در حالی که اتر قرار بود سبک‌تر از هوا باشد. با گذر زمان، اتر به یک ماده‌ی مرموز بدل شد؛ زیرا کاملاً ساکن، بی‌وزن، نامرئی، بدون هیچ چسبندگی بود و از آهن هم سخت‌تر بود در حالی که با هیچ ابزاری قابل مشاهده نبود.

در سال ۱۹۰۰، اشکالات فیزیک نیوتون آنقدر زیاد شده بود که به سختی می‌شد آن را توضیح داد. دنیا اکنون برای یک تحول بزرگ آماده بود، اما چه کسی می‌خواست رهبریش را به عهده بگیرد؟ در حالی که اکثر فیزیکدانان از شکاف‌های نظریه اتر آگاه بودند، سعی داشتند در خفا با همان چهارچوب نیوتون مشکلاتش را بر طرف کنند اما اینشتین که هیچ چیز برای از دست دادن نداشت، می‌توانست تیری را درست به قلب این مشکل بزند. اینکه نظریه‌های نیوتون و مکسول غیر قابل ادغام بودند. یکی از ستون‌های علم باید سقوط می‌کرد. وقتی در آخر یکی از ستون‌ها فرو ریخت، قریب به دو قرن از فیزیک را تغییر داد و نظر ما را نسبت به جهان و خود واقعیت منقلب کرد. اینشتین با مفاهیمی که حتی یک کودک نیز می‌توانست بفهمد، فیزیک نیوتون را واژگون کرد.