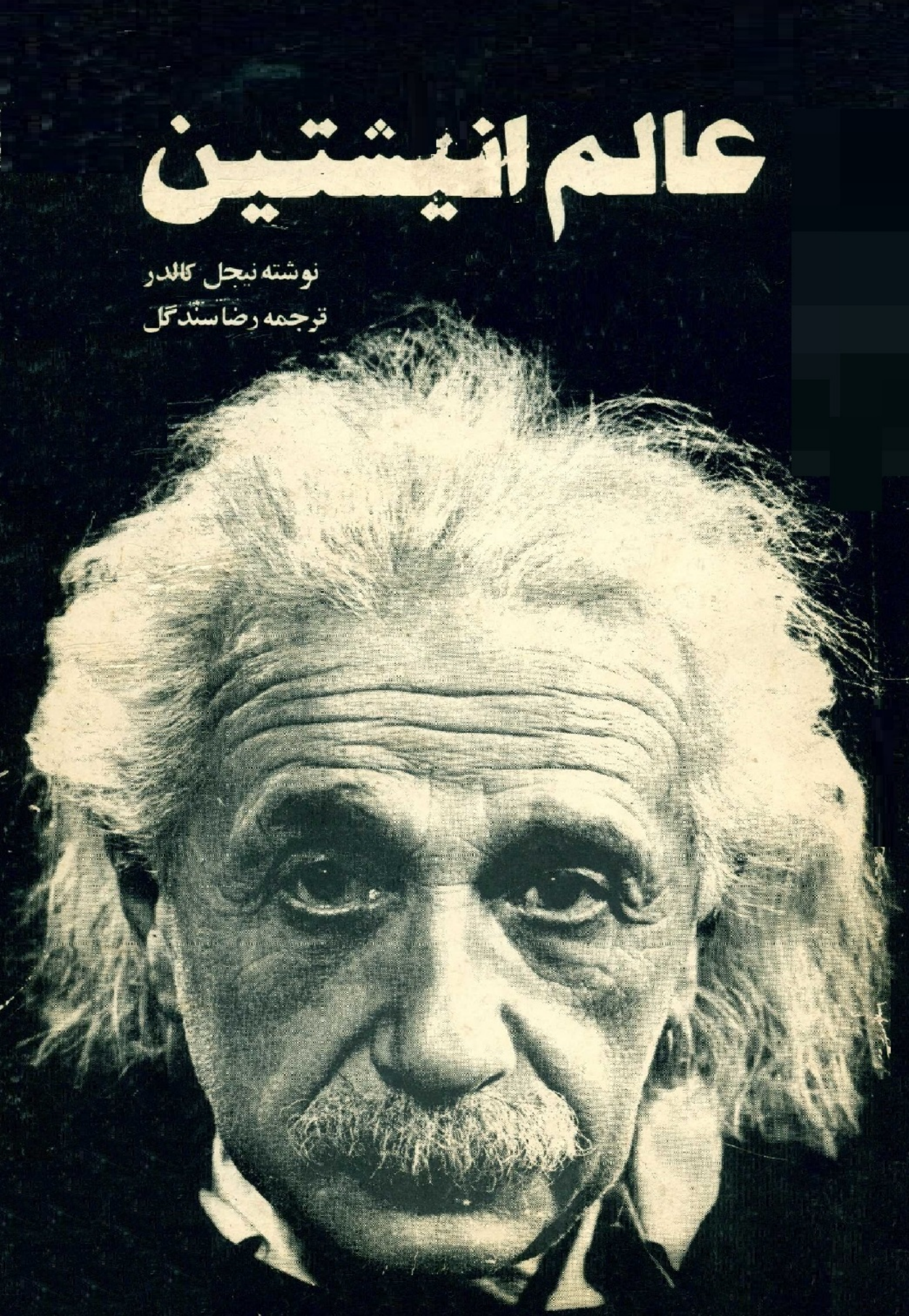
عالم انیشتین

نوشته نیجل کالدر
ترجمه رضا سندگل



عالم اینشتین

مؤسسهٔ خدمات فرهنگی رسا

۱۳۶۷

عالم اینشتین

نیجل کالدر

ترجمه : رضا سند گل

این اثر ترجمه ای است از

EINSTEIN'S UNIVERSE

از این کتاب تعداد ۰۰۰، نسخه در
چاپخانهٔ معراج چاپ و صحافی شده.
چاپ اول ــ ۱۳۶۷
حق چاپ محفوظ و مخصوص ناشر است

به: دخترم، دُرسا

آلبرت اینشتین (۱۸۷۹ ــ ۱۹۵۵)، فیزیکدان آمریکائی متولد آلمان و پرورش‌یافتهٔ آلمان و سویس، معروف‌تر از آن‌است که‌به مقدمه و توضیحی نیاز داشته باشد. پس با چشمهای آقای نیجل کالدر، نویسندهٔ معروف، به دیدار عالم شگفت‌انگیز و دمکراتیک اینشتین برویم.

رضا سندگل

مردادماه ۱۳۶۵ ــ تهران

فهرست مطالب

دربارهٔ مؤلف «عالم اینشتین» ۹
یادداشت مؤلف ۱۱
گردباد کیهانی ۱۳
خورشید میرنده ۲۶
انرژی آفرینش ۳۹
بلندترین آبشار ۵۳
ساعت اینشتین ۶۶
بی‌وزنی ۷۷
پوسته‌های زمان ۸۷
آینده‌های روشن ۱۰۱
ستارگان تغییر مکان‌دهنده ۱۱۶
خطوط قطار در آسمان ... ۱۲۹
امواج ثقل ۱۴۱
معمای گالیله ۱۵۶
متوزلا در کشتی فضائی ۱۷۵
تصحیح عالمگیر ۱۹۲
سرعت نور ۲۰۹
آنجا که زمان می‌گریزد ۲۲۶

عالم ساده ۲۳۸
منتخبی از سرگذشت‌ها ۲۵۷
قضاوت بر سرنوشت ۲۶۶
دیدگاه نامناسب ۲۷۶
خَلَفِ اینشتین ۲۸۵
تصاویر ۲۹۵
مراجع و مآخذ ترجمه و پانویس‌ها ۳۱۹

دربارهٔ مؤلف «عالم اینشتین»

نیجل کالدر[1]، در ۱۹۳۱ در لندن متولد و در مدرسهٔ مرچانت تایلر[2] و دانشگاه کمبریج[3] تحصیل و به اخذ فوق‌لیسانس علوم طبیعی نایل گردید. مدتی به عنوان نویسندهٔ علمی در هیأت تحریریهٔ مجلهٔ نیوساینتیست[4] کارآموزی کرد و از ۱۹۶۲ تا ۱۹۶۶ سردبیر آن بود. در ۱۹۷۲ بخاطر همه‌فهم‌نویسی[5] در علوم برندهٔ جایزهٔ کالینگای یونسکو[6] گردید. در جستجوی آخرین اطلاعات علمی و تفسیر آن برای خوانندگان خود تاکنون پنج بار به اطراف جهان سفر کرده است. کالدر دریانوردی است شیفته و با همسر و پنج فرزند خود در ساسکس[7] انگلستان، در مجاورت ساحل دریا زندگی می‌کند.

1. Nigel Calder
2. Merchant Taylor's School
3. Cambridge University
4. New Scientist
5. Popularization of Science.
6. UNESCO's Kalinga Prize.
7. Sussex

یادداشت مؤلف

وقتی که شبکهٔ تلویزیون بی.بی.سی[1] و انتشارات آمریکائی پنگوئن[2]، این سئوال را مطرح ساختند که «بزرگداشت یکصدمین سالگرد تولد اینشتین چطور باید برگزار گردد؟»، من پاسخی مشخص و آماده داشتم: «بیائید نسبیت را ساده بیان کنیم». برای انجام این امر بخصوص و به روشی جدید، مشاورهٔ مستقیم با تعداد هفتاد نفر فیزیکدان و ستاره‌شناس در سی مؤسسهٔ مختلف واقع در اروپا و آمریکا ضرورت داشت.

مطابق معمول آنها از هیچ گونه کمکی مضایقه ننمودند و باعث تأسف است که در اینجا به ذکر اسامی تعداد کمی از آنها اکتفا می‌شود. کسانی چون: کنت برشر[3]، سیدنی دِرل[4]، راجر پن‌رُز[5]، والاس سارجنت[6]، دنیس سیاما[7]، ایروین شاپیرو[8]، و جان آرچی بالد ویلر[9] در تمام مدت ساختن فیلم کاملاً مساعدت نمودند. و هرگونه ایراد، البتّه متوجه مؤلف خواهد بود و نه آنها اگرچه کتاب به همراه یک فیلم تلویزیونی، تحت همین نام (عالم اینشتین) می باشد، اما این کتاب با برداشتی جداگانه نوشته شده است تا عقاید و تجارب را در قالب کلمات

1. B.B.C
2. PBS
3. Kenneth Brecher
4. Sidney Drell
5. Roger Penrose
6. Wallace Sargent
7. Dennis Sciama
8. Irwin Shapiro
9. John Archibald Wheeler

چاپی و نه تصاویر متحرک منتقل نماید. از بی.بی.سی بخاطر دو بار دعوت به همکاری، وفراهم ساختن امکان مسافرت‌های زیاد و حمایت تزلزل‌ناپذیرشان از این طرح، متشکرم.

مارتین فریث[۱۰] تهیه کنندهٔ برنامه و پیتر کامپ‌بل[۱۱] از انتشارات بی.بی.سی[۱۲] با درخواست و تأکید پیوستهٔ خود در مورد تسهیل نکات کلیدی باعث شدند که بتوانم به عهد خود یعنی «ساده‌سازی نسبیت» وفا کنم.

10. Martin Freeth 11. Peter Campbell 12. B.B.C Publications

۱

گردباد کیهانی

ادراک انسان از جهان متأثر از ثقل[1] (گرانی) و حرکت سریع السیر است.

مبنای نسبیت عام، ثقل است.

مبنای نسبیت خاص، حرکت سریع السیر است.

ظواهر تغییر می‌کند امّا قوانین فیزیک پایدار است.

تحقیق در اثبات وجود سیاه‌چال[2] عملی بودن عقاید اینشتین را نشان می‌دهد.

* * *

کهکشانها، ستارگان، سیّارات و اینک فضاپیماها بر سرتاسر عالم می‌تازند و به سبب تغییر موقعیت اشیاء، گذشت زمان احساس می‌شود. از جمله مشاهدهٔ حرکت روزانهٔ خورشید در آسمان مبین چرخش زمین است. در اثر این تغییر مناظر دور و نزدیک است که عقاید انسان از فضا، زمان و حرکت مفهوم می یابد.

آلبرت اینشتین دیدگاه انسان را نسبت به فضا، زمان و حرکت دگرگون ساخت و در انجام این عمل بسیاری از معمّاهای کیهانی را حل و نظریهٔ ثقل را بازآفرینی نمود.

1. Gravity 2. Black hole

معادلات اینشتین عصر ما را که عصر انرژی هسته‌ای، سفر به فضا، رادار، لیزر و ساعتهای اتمی است پیش‌بینی کرده بود. او به امکاناتی (امکان وجود زمان برتر) اشاره نمود که تاکنون مطرح نشده بود، و بالاخره قوانینی برجای گذاشت که بر تاریخ و سرنوشت تمامی عالم حاکم است.

ژنتیک‌دان معروف جی.بی.اِس هالدین[3] او را «بزرگترین یهودی، بعد از ظهور مسیح» نامیده است. امّا قصد من در اینجا، فقط ذکر این نکته است نه قهرمان‌پرستی. اینشتین اغلب متحیر بود که چرا مورد ستایش مردمی واقع می‌شود که زحمت فهمیدن آنچه را او واقعاً گفته است بخود نمی‌دهند. او می پرسید: «آیا آنها دیوانه‌اند یا من؟».

تصاویر او، اینشتین را مرد پیر پلاسیده‌ای که دارای موهائی شبیه یک سگ گلّهٔ وامانده است نشان می‌دهند. امّا اینشتین واقعی این نیست. این تصویر روحی آرام است که در برلین[4] و پرینستون[5] مأوا گزیده است، و تحقیر شده، محکوم به انقیاد از چرخ عصاری طرح بی‌ثمر (وحدت برق و ثقل)[6] روزگار می‌گذراند، تا مرگش در ۱۹۵۵ فرا برسد.

آن اینشتینی که مورد احترام نسل‌های بعد قرار گرفت، مدتها قبل، هنگامی که در ۱۹۱۹ چهل سالگی را پشت سر می‌گذراند، همراه با کسب شهرت، پس از آن که کار بزرگش تمام شد، دوران او نیز به پایان رسیده بود. در فاصلهٔ سال‌های ۱۹۰٤ــ ۱۹۱۷ یا در فاصلهٔ ۲۵ تا ۳۸ سالگی او جهان را با اندیشهٔ خود بازسازی نمود. شاهکارهای اینشتین شامل نسبیت خاص (۱۹۰۵)، مبتنی بر سرعت زیاد، و نسبیت عام (۱۹۱۵)

3. J.B.S. Haldane
4. Berlin
5. Princeton
6. Electricity and Gravity

بر شالودهٔ ثقل پی ریزی شده‌اند.

ذیلاً با استفاده از این واقعیت که بیش از ۶۰ سال از زمان تکمیل نظریهٔ اینشتین می‌گذرد موضوع را از نظر می‌گذرانیم:

همهٔ تحقیقات بعدی نشان داده است که، در چنان عالمی زندگی می‌کنیم که خیلی شبیه آن چیزی است که او آنرا بیان و تأیید نموده و بسیاری از دیدگاههائی که در معادلاتش عنوان شده اکنون از قوه به فعل درآمده است. لذا قصد بر اینست که عالم اینشتین را بر طبق مد روز طراحی و غیر از چند مورد تاریخی نسبت به آن ایرادی به عمل نیاورم.

بنابر روال متداول بررسی تاریخی، خواننده اغلب مسحور برج عاج **نسبیت خاص** شده و از زرق و برق آن گیج می‌شود و به **زحمت می‌تواند** نگاهی به قوانین برجستهٔ بقاء[7] انرژی و ثقل (گرانی) اینشتینی بنماید. **درک نسبیت عام**، سال‌های متمادی حتی از نظر دانشمندان غیرمتخصص نیز مشکل و مبهم بود، چه رسد به مردم عادی کوچه و خیابان. با نگاهی به گذشته، چنین به نظر می‌رسد که نسلی از «فیزیک ــ ریاضی»[8] دانان، خود نیز درک روشنی از این نظریه نداشته‌اند. اینک همه چیز تغییر یافته است. در عصر ساعتهای اتمی و سیاه‌چال‌های مورد انتظار، شایسته و مقتضی است که سهم بیشتری از این کتاب به نظریهٔ ثقل (گرانی) اینشتین اختصاص یابد.

اغلب گفته می‌شود اینشتین اعتقاد داشته است که «همه چیز نسبی است». امّا او چنین اعتقادی نداشت. «نسبیت» درواقع نام کاملاً بدی برای این نظریه است. اینشتین درنظر داشت که برعکس آنرا «نظریهٔ

7. Rest-energy

8. Mathematical Physicists

پابرجائی[9] (ناوردائی)» بنامد.

علیرغم پیچیدگی ها، خطاها و تناقضات ظاهری که با بیان حرکات نسبی یا عمل ثقل پدیدار شد، آنچه او کشف نمود «مطلق» و معتبر بود. امتیاز برجستهٔ نام «نسبیت» در اینست که همواره به ما یادآوری می‌کند که یک دانشمند به نحوی غیرقابل اجتناب، جزئی از نظام مطالعاتی خویش است. اینشتین به کلمهٔ «ناظر» مفهومی خاص در علوم جدید بخشید.

با توسّل به نسبیت، موقعیت اختران و گردونه‌های خیالی را آن‌چنان طراحی نمود که همچون اشباح، پیرامون گردبادی کیهانی که خود طراح آن نیز بود می‌چرخند. هنگامی که ساعت‌ها به خطا بروند و فاصله‌ها کاهش یابند چگونه می‌توان فضا و زمان را به درستی اندازه گرفت؟ چه چیز واقعی و چه چیز غیرواقعی است؟ وقتی که مقدار انرژی (کارمایه) جسم مربوط می‌شود به شخصی که آنرا می‌نگرد چگونه می‌توان جسم و ثقلی را که آنرا متأثر می‌سازد بیان نمود؟ به‌طور خلاصه، آیا قوانین طبیعت بدون درنظر گرفتن مکان و حرکت برای همه یکسان است؟ شاید، امّا اینشتین در این مورد تردید دارد، گاهی آنرا می پذیرد و گاهی رد می‌کند.

برای یافتن پاسخ صحیح، او به دیدگاهی رسید که این کتاب قصد دارد به مناسبت یکصدمین سالروز تولدش آنرا بیان کند.

ضمن انجام کار به این واقعیت پی بردم که در دههٔ ۱۹۷۰ نسبیت در زمرهٔ «علوم روز»[10] به حساب می‌آید، در حالیکه در ۱۹۶۲، ژرژ گاموف فیزیکدان و همه‌فهم‌نویس معروف علوم[11]، حقاً چنین نوشته

9. Invariance Theory 10. Hot science 11. Populariser of science

بود:

بسیار عجیب است که نظریهٔ ثقل که نیوتن آنرا بنیاد و اینشتین شکوفا ساخت اینک دچار انزوائی شاهانه می باشد، گوئی **تاج‌محل** عالم علوم است که با پیشرفت‌های سریع سایر شاخه‌های فیزیک بی ارتباط گشته و یا رابطهٔ اندکی دارد.

(اینک) آن انزوای مورد اشاره پایان یافته و در شهر پرهیاهوی فیزیک امروز **معبد ثقل** در محاصرهٔ صنایع نوین قرار دارد: جائی دودکش‌های فعال شرکت Relativistic Astrophysics Inc، و جای دیگر چرخ‌های شرکت Penrose Twistor و آنطرف‌تر کوره‌های شرکت Hawking's famous gravitational exploders در جوشش، و در حالیکه همهٔ سازندگان اطراف در تلاش‌اند تا تمامی قلمرو صنعتی را در زیر **گنبد آبَر ثقل**[۱۲]، درآورند. درواقع تحسین کنندگان بنای **تاج‌محل** متقارنِ با شکوهِ اینشتینی ممکن است در تأسف امحاء چشم‌انداز اوّلیهٔ محل بنا باشند.

فیزیکدانان جوان و برجسته، در پی گیری راه اینشتین عقاید او را وسعت بخشیده و با توجه به محدودیت‌های ذهنی و فنّی برای اخذ نتیجه به آزمایش می پردازند تا آنچه مورد هدف است بدست آید. هم‌چنانکه خواننده خود نیز متوجه خواهد شد، اکنون بسیار بعید است که عقاید اینشتین حتی با برداشتی سطحی اشتباه به نظر آید، آزمایشات متوالی صحت آنها را تأیید می‌کنند. استثنائاتی اتّفاقی، ظاهر و باز کنار زده می‌شوند: واقعیات ملموس اغلب غلط‌اند، امّا نظریه[۱۳]های صحیح به ندرت چنین‌اند. ادامه دهندهٔ راه نیوتن و اینشتین باید به نوبهٔ خود دنبال

12. Dome of Supergravity. 13. Theories

شرایط متعددی باشد که معادلات (اینشتین) در آنها صادق نیست و به بررسی دقیق الکترونیک نیمه‌مخفی عالم که در بعضی از اجزاء اصلی (معادلات) نمی‌گنجد دست بزند. و آنگاه بار دیگر ــ هم چنانکه در زمان معاصران اینشتین ــ به نظر خواهد رسید که عالم به لرزه درآمده است.

بنابراین از تلاش برای درک آنچه اینشتین گفت نباید دست کشید، هرچند که با معیاری دیگر اندیشهٔ او کهنه جلوه کند. برعکس، اگر شما هنوز حرکت زمین را در زیر پای خود احساس نمی‌کنید و در عوض عقاید اینشتین را تحقیر می‌نمائید، باید گفت که ضربان قلب زمانه را حس نمی‌کنید. نباید عقاید را در کتب درسی مدفون ساخت تا دانشجویان با مطالعهٔ شتاب‌زده و فشرده در امتحانات پس بدهند. تا آنجا که دانشمندان امروزی عالم را استنباط می‌کنند، نظریه‌های اینشتین اساس استنباط آنان را تشکیل می‌دهد. او کار هنری پایان یافته‌ای ارائه ننموده است تا (فقط) مورد تحسین واقع شده و آیندگان را از لمس آن منع سازد.

او برای پویندگان راه خود چهارچوبی ذهنی و نظریه‌های ویژه‌ای ایجاد کرده تا بطور مستقیم یا غیرمستقیم تقریباً در هر کوشش جدی که در جهت تحکیم و گسترش اندیشهٔ وی اعمال می‌شود، به کار گرفته شود. عالم اینشتین یک چنین چیزی است. یکی از موارد جدید و تماشائی انطباق عقاید اینشتین با عمل، توجیهی است که بر گردبادی متشکل از مجموعه‌ای از اختران مکشوف درکهشکان M87 به کمک عقاید اینشتین می‌شود.

«M» حرف اوّل نام خانوادگی شارل مسیه[۱۴] است که ۲۰۰ سال قبل، از فراز برجی در پاریس در جستجوی اختران دنباله‌دار بود. برای

14. Charles Messier

جلوگیری از اتلاف وقت، او تصمیم گرفت اجسام مبهم قابل رؤیتی را که اختر دنباله‌دار نبودند بر نقشه‌ای ترسیم نماید تا از شر بررسی آنها خلاص شود.

در ۱۷۸٤ مسیه فهرستی منتشر کرد که حاوی موقعیت حدود یکصد مورد از این لکه‌های آزاردهنده بود. امروزه آنها به عنوان جالبترین اجسام سماوی شهرت دارند. مسیه کاملاً بی‌خبر از این واقعیت که آنچه موجب بخاطر سپردن نام او خواهد شد بیشتر همین کاتالوگ بود تا اختران دنباله‌دار، کار اساسی خود را به عنوان یکی از ساکنان سخت کوشِ عالم نیوتن که در آن اختران دنباله‌دار پدیده‌هائی اعجاب‌آور بودند از سر گرفت.

در اواخر دهۀ ۱۹۷۰ در کیت‌پیک[۱۵] آریزونا[۱۶] گروهی از اخترشناسان[۱۷] با استفاده از تلسکوپی ۱۵۰ اینچی به مطالعۀ دقیق مرکز کهکشان M87 ــ یکی از اجسامی که در صورت فلکی سنبله[۱۸] قرار دارد و مورد بی‌توجهی مسیه قرار گرفته بود ــ پرداختند.

آلک باکسنبرگ[۱۹] و کیت شورت‌ریج[۲۰] از لندن[۲۱]، با خود تجهیزات دقیق الکترونیک قادر به شمارش ذرات انفرادی نور که از اعماق فضا جمع‌آوری می‌شوند، آورده بودند. انگلیسی دیگری بنام والاس سارجنت[۲۲] از انستیتوی تکنولوژی کالیفرنیا[۲۳] به آنها ملحق شده بود. یک ستاره‌شناس آمریکائی بنام راجر لیندس[۲۴] که در کیت‌پیک مستقر بود

15. Kitt Peak
16. Arizona
17. Astronomer
18. Virgo
19. Alec Boksenberg
20. Keith Shortridge
21. London
22. Wallace Sargent
23. California Institute Technology.
24. Roger Lynds

همراه با دیوید هارت‌ویک[۲۵] گروه مشاهداتی را تکمیل می‌نمود. آنها تمام از اهالی عالم اینشتین بودند، عالمی که اشیاء اعجاب‌آور آن را به جای اختران دنباله‌دار، سیاه‌چال‌ها تشکیل می‌دادند.

هنگامی که در ۱۹۱۵، اینشتین قانون ثقل خویش را برملا ساخت، از نظر معادلاتی احتمال ظهور سیاه‌چال‌ها ــ تله‌های تاریک فضائی که از آنها هیچ چیز را امکان گریز نیست ــ روشن بود. در آوریل ۱۹۷۸ گروه کیت‌پیک دلایلی اقامه نمود که وجود سیاه‌چال عظیمی را درمرکز کهکشان M87 تأیید می‌نمود؛ جسمی تکان‌دهنده که بیلیون‌ها بار از خورشید بزرگتر بوده و قادر است ستارگان کامل یا خوشه‌های ستاره‌ای را به راحتی ببلعد.

به عنوان یک کهکشان، M87 تجمع گسترده‌ای از ستارگانی شبیه ستارگان راه شیری ــ که خود کهکشانی دیسک مانند و متشکل از بیلیون‌ها ستاره است که خورشید از نوع ستارگان معمولی آن است ــ می‌باشد. امّا M87 حتی بزرگتر (از راه شیری) و بیشتر توپ مانند بوده و عضو برجستهٔ مجموعه‌ای کهکشانی است که بنام سنبله (ویرگو) شهرت دارد و در منطقهٔ پهناوری از آسمان و نسبتاً نزدیک به ما، جولان می‌دهد. با محاسبات فعلی M87 تقریباً ۵۰ میلیون سال نوری از ما فاصله دارد، یعنی نوری که امشب بر تلسکوپ دیده می‌شود و با سرعت ۳۰۰,۰۰۰ کیلومتر در ثانیه طی طریق می‌نماید، سفر خود را ۵۰ میلیون سال قبل، یعنی هنگامی که اجداد ما موجوداتی بدوی و جنگل‌نشین بودند، از کهکشان M87 آغاز نموده است. استفادهٔ اخترشناسان از سفر زمانی[۲۶] نور جهت ارزیابی فواصل، به منظور تسهیل درک ارتباط فضا و زمان است که

25. David Hartwick 26. Travel-time

اینشتین پیشگام این ارتباط بود.

معادلات کیهانی اینشتین که در ۱۹۱۷ انتشار یافت مبیّن این است که کهکشانها با سرعت زیاد از هم دور شده و نهایتاً کل کائنات در حال گسترش می باشند. این موضوع دربارهٔ کهکشان M87 هم صدق می‌کند. این کهکشان با سرعت ۷۰۰ مایل در ثانیه از ما دور می‌شود.

در معدودی از کهکشانها، اخترشناسان دگرگونی هائی عظیم را تشخیص داده‌اند و M87 یکی از نزدیکترین آنها است. وقتی که پس از پایان جنگ جهانی دوّم رادیو آسترونومی[۲۷] پیشرفت نمود، یکی از نخستین اجسامی که به عنوان یک منبع نیرومند امواج رادیوئی کشف شد، M87 بود.

با نگاهی دقیق‌تر، نوراخترشناسان[۲۸] فوارهٔ نور کم رنگ روشنی را یافتند که از این کهکشان بیرون آمده و همچون چوب‌دستی آبی رنگ به طول بیلیون‌ها بیلیون مایل امتداد می یابد. بیست سال بعد که موشک ها و ماهواره‌ها از جو زمین گذشتند، توانستند پرتوهای اشعهٔ مجهول (X) را که از جهات مختلف آسمان می آمدند کشف نمایند. منشأ بسیاری از این اشعه، کهکشان راه شیری بود. امّا M87 به عنوان یکی از شاخص‌ترین منابع ماوراء کهکشان راه شیری که صادرکنندهٔ اشعهٔ مذکور است شناخته شد.

رویهمرفته، M87 کهکشانی پرانرژی[۲۹] می باشد، هنوز هم عضوی نسبتاً متعادل از آن دسته طبقات مخصوص کهکشانی است که به روشنی بیش از آنچه باید انرژی تشعشعی پخش می‌کنند.

مفهوم پخش انرژی بیشتر این است که اختران تشکیل دهندهٔ آن در

27. Radio astronomy 28. Optical astronomers 29. Energetic

حال اشتعال پیوسته به نظر می‌رسند. این کهکشان‌های در حال انفجار مربوط به اخترنما[۳۰]ها ــ که در اوایل ۱۹۶۰ کشف گردیدند ــ می باشند که خود اجسامی دور و بسیار کوچک بوده و انرژی متراکم پخش می‌کنند. چه چیزی است که در فضای دوردست این انفجارهای عظیم راسبب می‌شود؟ برای پاسخ به این سئوال نظریه‌پردازان هرگونه عقیده‌ای را ــ از برخوردهای فاجعه‌آمیز، بین شمار کثیری از اختران گرفته، تا عمل «ضدماده»[۳۱] که می‌تواند مادهٔ معمولی را نابود کند ــ بررسی کردند.

امّا نظریهٔ ثقل اینشتین به نجات نظریه‌پردازان آمد و در دههٔ ۱۹۷۰ عقیدهٔ بسیاری از ستاره‌شناسان این شد که سیاه‌چال ها منشأ انرژی حاصل از انفجار کهکشان ها و اخترنماها می باشند.

عقیده بر این بود که یک اخترخوار[۳۲] عظیم در مرکز کهکشان قرار دارد و هنگامی که ستارگان یا گازها به آن نزدیک می‌شوند به داخل آن کشیده شده و بر سرعت آنها همچون آبی که در جهت گرداب حرکت می‌کند افزوده می‌شود و جسم در حال سقوط تا لحظهٔ نابودی کامل به‌طور فزاینده‌ای انرژی متراکم تشعشعی گسیل می‌دارد.

در اثر این فرایند، بخش هائی از ماده همچون فواره از سیاه‌چال بیرون می جهد.

اخترنماهایی که کوچک به نظر می‌آیند، به مثابه کهکشان های بسیار دور در حال انفجاری تفسیر شدند که در آنها آشوب های درونی آنچنان شدید است که به روشنی قابل رؤیت می باشند، حتی اگر موقعیت اختران آنچنان دور باشد که خود آنها را به سختی بتوان دید.

گروه کیت‌پیک می‌خواست بداند اختران کهکشان M87 با چه

30. Quasars 31. Anti-matter 32. Star-swallower

سرعتی حرکت می‌کند. ستارگان هر کهکشانی بر گرد مرکز آن دور می‌زنند، درست به همان طریق که زمین بر گرد خورشید می‌گردد.

خورشید و همراه آن ما، با سرعت ۱۷۰ مایل در ثانیه بر گرد مرکز کهکشان راه شیری گردش می‌کنیم. اگر توده‌ای عظیم از ماده در هستهٔ مرکزی کهکشان وجود داشته باشد، ستارگان نزدیک به هستهٔ مرکزی با سرعت بیشتری در مدارات خود حرکت خواهند کرد. با کشف سرعت ستارگان نزدیک به هستهٔ مرکزی کهکشان می‌توان نتیجتاً وزن هستهٔ مرکزی را تعیین کرد.

قبل از آنکه باکسنبرگ در ۱۹۷۳ نورشمار الکترونیک[۳۳] خود را تکمیل نماید، این کار مستلزم دقّتی بود که غیرممکن به نظر می‌رسید. دستگاه او فوتون‌شمار[۳۴] (شمارش گر نور پار) نامیده می‌شود.

طرز کار دستگاه چنین است که وقتی فوتون‌ها به صفحه‌ای حساس نسبت به نور برخورد می‌کنند، الکترونهای صفحهٔ حساس جابجا می‌شوند و به این طریق تعداد ذرات انفرادی تشکیل دهندهٔ نور یا فوتون‌ها ثبت می‌گردد. تفسیر اینشتین از این پدیدهٔ فوتوـ الکتریک شالودهٔ جدیدی از طبیعت نور و انرژی حامل آن، بنیاد نهاد. او کاشف فوتون‌هائی بود که باکسنبرگ شمارش نمود.

در کهکشان M87 ستاره‌شناسان در جستجوی بسامد[۳۵]های مزاحم یا ناهماهنگ از نوع انوار ویژه‌ای بودند. با مطالعهٔ طیف نور ستاره که در آن همچون رنگین کمان، رنگ قرمز در یک طرف و رنگ آبی در طرف دیگر است، مشاهده می‌شود که خطوط تیره و روشن در مکان‌های مخصوصی در طول طیف قرار دارند. آنها شبیه ایستگاههائی هستند که بر

33. Electronic Light-detector 34. Photon Counting 35. Frequencies

صفحهٔ انتخاب ایستگاه رادیو، دیده می‌شوند و این خطوط مربوط به نورهائی با بسامدهای مشخص است که به وسیلهٔ اتمهای خاصی در ستارگان جذب یا دفع می‌شوند. امّا در ستارگانی که دارای حرکت سریع هستند ــ شبیه آنچه در اطراف مرکز کهکشان M87 در گردش اند ــ بسامد نور تغییر می‌کند. پیتر یونک[۳۶]، در انستیتوی تکنولوژی کالیفرنیا با استفاده از نتایج بدست آمده توسط گروه کیت‌پیک درصدد ایجاد نقشه‌ای از کهکشان M87 برآمد. بر طبق نقشهٔ یونگ، ستارگان نزدیک به هستهٔ مرکزی کهکشان با سرعت ۲۵۰ مایل در ثانیه بر گرد هسته می چرخند. برای توجیه این سرعت، توده‌ای از ماده که بیش از ۵ بیلیون برابر سنگین‌تر از خورشید باشد لازم است. اگر براساس این مقدار ماده چنین تعداد شگفت‌آوری از ستارگان در مرکز کهکشان وجود داشته باشد، درواقع باید مرکز کهکشان بسیار نورانی باشد. اگر فرض کنیم که غبار مانع از مشاهدهٔ این نور زیاد است، بنابراین باید مرکز کهکشان قرمز باشد، درست شبیه خورشید در هنگام غروب. امّا ستاره‌شناسان در هستهٔ M87 نه توده‌ای خیره کننده از ستارگان و نه غبار قرمز درخشنده‌ای، بلکه تلألوء کم‌سوئی از آبی کم‌رنگ مشاهده نمودند. بطور خلاصه شکل ظاهری هستهٔ M87 با مقدار مادهٔ محاسبه شده برای آن متناقض است، مگر اینکه در مرکز آن یک سیاه‌چال وجود داشته باشد.

با استفاده از مشاهدات گروه کیت‌پیک از M87 معلوم شد که قطر تودهٔ مرکزی آن باید در حدود ۷۰۰ سال نوری باشد، درحالیکه با وجود بیلیون‌ها ستاره که در آن قرار دارد بسیار فشرده می باشد. امّا اگر نظریهٔ سیاه‌چال درست باشد، تمامی تودهٔ مادهٔ هستهٔ مرکزی M87 باید

36. Peter Young

دارای قطری برابر یک روز نوری باشد.

قبل از پایان سال ۱۹۷۸، باکسنبرگ شمارش‌گر الکترونیک خود را به کوه پالومار[۳۷] کالیفرنیا برد تا به کمک تلسکوپ ۲۰۰ اینچی آنجا، M87 را در وضعیتی بسیار نزدیکتر، دقیقاً مورد بررسی قرار دهد. در همین حال سارجنت هم به‌کوشش گسترده‌ای دست زد تا به کمک تعدادی از رادیوتلسکوپ‌ها در اسپانیا و کالیفرنیا، مرکز M87 را مورد بررسی دقیق‌تر قرار دهد. باز هم نظریه‌های اینشتین باعث تداوم الهام و آموزش در جدیدترین کار تحقیقاتی شد.

اگر منشأ انرژی در M87 یا هر جسم قاهر دیگری در عالم، باعث حیرت می‌گردد، باید درنظر داشت که برای آن یک قاعدهٔ کیهانی سرانگشتی وجود دارد و آن قانون برابری ماده و انرژی است و آنطور که توسط اینشتین مشخص شده است مبیّن حداکثر انرژی قابل استحصال از هر مادهٔ متراکم می‌باشد. فرمول $E=mc^2$ اینشتین که هنوز هم خیره‌کننده‌تر و ترسناک‌تر از هنگامی است که در حدود ۷۰ سال قبل نوشته شد، موضوع بحث فصل بعدی را تشکیل می‌دهد.

37. Palomar

۲

خورشید میرنده

حرکت سریع السیر، انرژی ظاهری اشیاء را تغییر می‌دهد.
هر جسم نورانی متحرک انرژی جنبشی پخش می‌کند.
اینشتین متوجّه شد که نور باید دارای وزن باشد.
جرم و انرژی برابرند: $E=mc^2$
ماده انرژی منجمد است.

* * *

نسبیت موجب گسترش هنر «آگاهی از نظرگاه دیگری» به قلمرو فیزیک و اخترشناسی می‌شود. هر شخص با توجه به ویژگی رفتاری خویش متوجّه است که اعمالش به نظر دیگران چگونه تعبیر می‌شود و لذا بخش وسیعی از فعالیت مغزی‌اش درگیر این مطلب می‌باشد. با اتکاء بر آگاهی «خود» و «دیگران» انسان از حوادث رانندگی و دیگر جنجال‌ها پرهیز می‌کند. بر همین منوال در جهان ماده و انرژی مثلاً می‌توان از خود سئوال کرد که به نظر ستاره‌شناسی که در نزدیکی ستاره‌ای با فاصله‌ای بعید از خورشید قرار دارد، این ستاره (خورشید) چگونه بنظر می‌رسد؟ و بلافاصله این نتیجه حاصل می‌شود که: همچون ستاره‌ای نامشخص. نتایج جالب‌تر هنگامی پدیدار می‌شود که آن ستاره‌شناس بیگانه با سرعت زیاد به طرف خورشید سفر نماید. از نظر فیزیکدانان زمینی خورشید سفیدرنگ قاعدتاً به نظر آن ستاره‌شناس بیگانه آبی بنظر خواهد رسید.

به هرحال، بین جهان موجودات اجتماعی و قلمرو مادهٔ بی جان تفاوتی وجود دارد. انسانها و بسیاری از حیوانات، براساس اینکه چه کسی بر آنها نظاره می‌کند ظاهری متناسب اختیار و اعمال مقتضی انجام می‌دهند. مادهٔ بی‌جان اینگونه عمل نمی‌کند و بدون توجّه به اینکه تلسکوپ چه کسی بر آن متمرکز شده است رفتار یکنواخت دارد. چنانچه مشاهده توأم با مداخلهٔ عمده نباشد نمی‌توان انتظار داشت که صرفاً با نگاه کردن بتوان جهان فیزیکی را تغییر داد، امّا آنچه یقیناً قابل تغییر است روشی است که ما برای نظاره بکار می بریم.

اگر فضانوردی با سرعت زیاد از جوّ زمین عبور کند، او خودش را ساکن و زمین را در حال حرکت شدید می بیند و از اینرو نتیجه می‌گیرد که زمین دارای انرژی جنبشی بسیار عظیمی می باشد، درحالیکه همکارانش در زمین چنین احساسی ندارند. بنابراین، صحیح خواهد بود اگر به‌طور همزمان گفته شود که زمین دارای انرژی جنبشی عظیم است و همچنین زمین فاقد انرژی جنبشی است. نظر فضانورد همان‌قدر معتبر است که نظر مردان تحصیل کردهٔ ساکن زمین.

هنگامی که تعاریف سر ناسازگاری پیدا می‌کنند، این خطر بوجود می‌آید که شاید قوانین فیزیکی مبیّن رفتار ماده و انرژی از نظر اشخاصی که با سرعت‌های مختلف مسافرت می‌کنند، متفاوت بنظر می‌رسد. فضانورد می‌تواند شروع به پیش گوئی رفتاری متفاوت برای زمین بنماید، امّا یک چنین طرز تفکّری راجع به ظواهر امر نمی‌تواند رفتار زمین را تغییر بدهد. عقیدهٔ فضانوردان هرچه که باشد، زمین همچنان روی مدار خود و بر گرد خورشید گردش خواهد نمود. دانستنیهای فیزیک ممکن است متزلزل شود امّا جهان واقعی، هرگز، ولی این امکان وجود دارد که قوانین فیزیک طوری نوشته شود که بدون درنظر گرفتن حرکات فیزیکدان

پیش‌بینی‌های قوانین (فیزیک) همواره صحت خود را حفظ کند. در چنین وضعی نه‌تنها همهٔ نظرگاهها به نحوی مساوی دارای اعتبارند بلکه همه کس نسبت به نکات اساسی موجود در وراء ظواهر موافقت دارد.

و این طرح آلبرت اینشتین بود. برای اجراء آن مجبور بود که عذاب شدیدی را در برخورد با عقاید متداول راجع به زمان، چنانچه در فصول بعد مشخص خواهد شد، متحمل گردد. امّا یکی از بزرگترین کشفیاتش یعنی معادلهٔ $E=mc^2$ خیلی باعث زحمت نشد.

برای پی‌گیری کار اینشتین باید علاوه بر اثر داپلر[1] که تغییر رنگ نور را توجیه می‌کند، چیزهای دیگری هم بدانیم.

بنظر لوکرتیوس [2] و نیوتون[3] که پیشگامان اینشتین بودندسواربودن در کشتی و عدم آگاهی از جهت حرکت آن دلیل نسبیت بود. امّا نظرات بنیادی‌تر در مورد تأثیرات عجیب سفر، با ظهور راه‌آهن تکامل یافت. مسافران وقتی در حال حرکت بر روی خط آهن بودند، خیلی زود متوجّه شدند که حتی در سرعت معمولی شصت مایل در ساعت به سبب ناصافی جزئی خطوط تکان‌های جزئی هم محسوس می‌شود، ولی هنگامی که

1. Doppler's effect

2. Lucretius

۲. نام کامل آن Titus Lucretius Carus، شاعر و فیلسوف یونانی که در قرن اوّل قبل از میلاد می‌زیسته است و به خاطر شعر بلندی تحت عنوان «دربارهٔ طبیعت اجسام» (De rerum natura) شهرت یافته است. اطلاعات اندکی از شرح زندگی او در دست است؛ شعر مورد اشارهٔ او مبیّن نظریهٔ اتمی اپیکور است که می‌گوید، روح انسان مادّی است و با جسم او می‌میرد. بنابه عقیدهٔ لوکرتیوس خدایان وجود دارند امّا قدرت تأثیر بر زندگی انسان را ندارند. هنر شاعری او به نحو تحسین‌آمیز دربرگیرندهٔ مسائل فنی، و فلسفی است، و بر آثار ویرژیل (virgil) یکی از معروفترین شعرای رومی قبل از میلاد تأثیر گذاشت. م

3. Newton

قطار به سرعت ثابت می‌رسد جهت حرکت را حس نمی‌کنند. مسافران متوجه شدند که در ایستگاه راه‌آهن در لحظه‌ای زودگذر نمی‌توان تشخیص داد که آیا قطار خودشان حرکت می‌کند یا قطاری که روی خط کناری است. نکات اساسی مورد نظر اصول نسبیت از همین‌جا ناشی شدند ــ یعنی سرعت ثابت در خط مستقیم از جایگاه ساکن غیرقابل تشخیص است و دیگر اینکه هرگاه دو جسم با سرعت ثابت از کنار یکدیگر بگذرند می‌توان گفت جسم A از کنار B می‌گذرد و یا جسم B از کنار A می‌گذرد و این هردو مفهوم یکی است.

به عبارت دقیق‌تر وقتی که مردم به صدای عبور قطار یا سوت آن گوش می‌دهند شدت صدا تغییر می‌کند. صدا مثل صدای الاغ می‌گوید «هی ــ هاو»: وقتی که صدا نزدیک می‌شود می‌گوید «هی» و وقتی که دور می‌شود «هاو». بیشتر ما حتیٰ اگر به نتیجهٔ آن فکر هم کرده باشیم، شانه‌هایمان را بالا می‌اندازیم و به این پدیده اهمیتی بیش از وزش باد و صدای تلق‌تلق راه‌آهن نمی‌دهیم. امّا کریستین داپلر فیزیکدان اهل وین که در اوایل قرن نوزده می‌زیست به مسأله اینطور نگاه نکرد. او با تشریح این موضوع نام خود را جاودان ساخت و آنرا از صوت به نور گسترش داده و بیان نمود که تغییر در شدت یا بسامد می‌تواند برای اندازه‌گیری سرعت جسمی که به ما نزدیک یا دور می‌شود بکار رود ــ حتیٰ در تعیین سرعت ستاره‌ای دوردست ــ و این موضوع مربوط به سال ۱۸۴۲ می‌باشد.

امروزه ما از «رادار داپلر» برای تعیین سرعت غیرمجاز در رانندگی و دستگاههای دزدگیر استفاده می‌کنیم. به کمک دستگاهی به نام «وسعت‌بخش نوری داپلر»[4] می‌توان درجهٔ حرارت را اندازه گرفت زیرا

4. «Doppler broadening» light.

مطالعهٔ نور نشان دهندهٔ فعل و انفعالات گرمائی شدیدی است که از اتمهای منبع نور خارج می‌شود و بدین ترتیب می‌توانیم بگوئیم که کهکشانهای دوردست و اخترنماها از ما دور می‌شوند زیرا براساس پدیدهٔ داپلر بسامد نور آنها تغییر می‌کند. به‌طور خلاصه گرچه داپلر ربع قرن قبل از تولد اینشتین وفات نمود، امّا روشی غیرقابل بحث در اندازه‌گیری حرکت نسبی پیدا نمود.

دلیل اثر «هی ــ هاو»ی داپلر بقدر کافی ساده است. کسی که به سوت قطار گوش می‌دهد به این دلیل آنرا می‌شنود که امـواج آن دارای بسامد مُعیّن با سرعتی ثابت از سوت به گوش شخص حرکت می‌کند. اگر قطار به طرف شخص حرکت کند سرعت صوت در هوا تغییر نمی‌کند امّا هر موج بعدی نسبت به موج قبلی خود فاصلهٔ کمتری را طی می‌کند تا به گوش شخص برسد. نتیجتاً امواج درهم می‌آمیزند و سرعت آنها در ثانیه نسبت به حالت سکون قطار افزایش می‌یابد. وقتی صدا اوج می‌گیرد درواقع بسامد آن افزوده می‌شود. وقتی که قطار دور می‌شود امواج بعدی باید فاصلهٔ بیشتری را بپیمایند تا شنیده شوند، فاصلهٔ آنها از یکدیگر زیاد شده و بسامد یا اوج آنها کاهش می‌یابد.

همین اثر، در مورد نور هم اتّفاق می‌افتد. درست همانطور که صداهای با زیر و بمی مختلف دارای بسامدهای متفاوت هستند نورهای با رنگ‌های متفاوت نیز بسامدهای متفاوتی دارند. نور بسیار سریعتر از صوت حرکت می‌کند و در مقام مقایسه، سریعترین قطارها در مقابل سرعت نور واقعاً حالت سکون دارند و لذا ناظر نمی‌تواند تغییر رنگ قطاری را که از کنارش می‌گذرد ببیند مگر وسائل بسیار حساسی داشته باشد. امّا در سرعتهای بالا تر ــ مثلاً در میان ستارگان ــ تغییر رنگ را آسان‌تر می‌توان مشاهده کرد.

وقتی که نور سفید از منشوری عبور می‌کند طیفی شامل قرمز، نارنجی، زرد، سبز، آبی، نیلی و بنفش تشکیل می‌دهد.

بسامد نور آبی دو برابر بسامد نور قرمز است. همچنانکه جسم سریع نورانی به شما نزدیک می‌شود بسامد نور آن افزایش می یابد ــ یعنی «آبی» می‌شود یا حداقل به جهت بسامد زیاد طیف که نزدیک به آبی است حرکت می‌کند. فیزیکدانان و ستاره‌شناسان آنرا تغییر مکان آبی می نامند.

برعکس شیئی که دور می‌شود «قرمز» به نظر می‌آید ــ یعنی نورش به طرف قرمز حرکت می‌کند.

«آبی» و «قرمز» داخل گیومه گذاشته شد زیرا تغییر رنگ با چشم قابل درک نیست مگر آنکه سرعت نسبی منبع نور یا ناظر بسیار زیاد باشد.

تغییر مکان رنگ های نور و تغییرات بسامدی معادل سایر اشکال تشعشع، بر اثر پدیدهٔ داپلر یا ثقل در مباحث این کتاب اغلب عنوان می‌شوند. در صحبت های یومیّه، قرمز به عنوان رنگ «گرم» و آبی همچون رنگ «سرد» تلقی می‌گردد؛ امّا از نظر یک فیزیکدان موضوع برعکس است. آبی، که نوری است با بسامد زیاد، ارتباط به انرژی و درجهٔ حرارت زیاد پیدا می‌کند درحالیکه قرمز، نور دارای بسامد کم، نمایندهٔ انرژی کمتر و شرایط سردتر است. وقتی می‌گوئیم جسمی «قرمز داغ» است یعنی درجهٔ حرارت آن از جسم «آبی داغ» کمتر است. بطور کلی عبارت «تغییر مکان قرمز» شکل علمی خلاصه ای برای کاهش بسامد و انرژی هر شکل نور، حتی اشکال غیرقابل رؤیت می باشد. «تغییر مکان آبی» مبین افزایش بسامد می باشد.

بررسی دقیق اثر داپلر از نظر اینشتین دارای اهمیت زیادی بود و او

متوجه شد که نور دقیقاً بر همان روال که صوت رفتار می‌کند، عمل نمی‌نماید، زیرا امواج صوتی از خلال محملی ــ یعنی هوا ــ عبور می‌کنند و علاوه بر این وسعت پدیدهٔ داپلر بستگی دارد به اینکه منبع صوت به طرف شنونده حرکت می‌کند یا اینکه شنونده به طرف آن حرکت می‌نماید.

جانشینان داپلر در قرن نوزدهم براساس این اعتقاد غلط که نور در فضا از محملی به نام «اثیر» عبور می‌کند، چنین فرض کردند که پدیدهٔ داپلر در مورد نور هم بستگی دارد به اینکه منبع نور ــ فرضاً یک ستاره ــ به طرف ناظر حرکت می‌کند یا اینکه ناظر به طرف ستاره حرکت می‌کند.

در عالم دمکراتیک اینشتین این موضوع (حرکت منبع نور یا ناظر) فاقد اهمیت است امّا آنچه مهّم است سرعت نسبی ستاره و ناظر می باشد. این تصحیحی کوچک امّا اساسی است ــ از این نظر اساسی است که نور آبی ماهیتاً نسبت به نور قرمز دارای انرژی بیشتری است، بطوری که تغییر رنگ نور بر انرژی آن تأثیر می‌گذارد و دوام عالم بر انرژی است.

مفهوم انرژی در فیزیک، با مفهوم روزانه زندگی خیلی متفاوت نیست. یک شخص پرانرژی (انرژتیک)، می‌تواند با شدّت کار و بازی کند و درنتیجه باعث بروز اتفاقاتی در اطراف خود می‌شود. در هنگام «بحران‌های انرژی» ملّت‌ها پیرامون گردش کار ماشین‌آلات و گرم کردن ساختمان‌ها به مباحثه برمی‌خیزند. از نظرفیزیکدان انرژی چیزی است که قادر به ایجاد تغییرات در جهان می باشد یعنی:

باعث حرکت اشیاء (انرژی جنبشی)، احتراق خورشید (انرژی تشعشع)، رشد گیاهان (انرژی شیمیایی)، تحریک تصادفی اتم‌ها (انرژی حرارتی) و غیره می‌شود.

هرچه مقدار انرژی بیشتر باشد اثرات احتمالی آن دیدنی‌تر است. هر شکل انرژی قابل تبدیل به شکل دیگر آن می باشد. مثلاً در موتور یک

اتومبیل انرژی شیمیائی باعث افزایش فشار گاز در سیلندرها و مآلاً حرکت پیستون‌ها و ایجاد انرژی جنبشی می‌شود.

طبیعت دقیقاً حساب مقدار انرژی را دارد و مقدار کل انرژی در عالم هرگز تغییر نمی‌کند، فقط جابه‌جا می‌شود.

اینشتین همهٔ اینها را می‌دانست و متوجّه بود که تصحیح دموکراتیکش بر توجیه نوری اثر داپلر، که باعث تغییری ظریف در بسامد و نتیجتاً انرژی نورانی در خلال حرکت نسبی است، موجب از هم‌پاشیدگی نظم عالم خواهد شد. برای پیش‌گیری از ایجاد یک چنین وضعی او (اینشتین) آن‌چنان مقادیر عظیم انرژی برای عالم درنظر گرفت که از تصور خیالپردازترین معاصرانش هم بیرون بود. اگر محاسبات ریاضی را کنار بگذاریم فرمول درستی که اینشتین برای تغییر مکان‌های قرمز و آبی نوشت خیلی مشکل نبود. اگر ستاره‌ای با سرعت نور از شما دور شود نورش کاملاً به سمت قرمز تغییر خواهد یافت. امواج نورانی کاملاً پخش و بسامد و مقدار انرژی‌شان صفر خواهد شد. از طرف دیگر اگر ستاره‌ای با سرعت نور به طرف شما حرکت نماید، نور آن کاملاً به طرف آبی تغییر می‌نماید. امواج نورانی بر روی هم انباشته شده و بسامد و مقدار انرژی‌شان بی‌نهایت خواهد بود و شما در لحظه‌ای بسیار کوچک قبل از آنکه توسط ستاره بلعیده شوید، در اثر اشعهٔ متمرکز ستاره‌ای که در میان نور خود حرکت می‌کند به بخار تبدیل می‌شوید.

اثر داپلر در ارتباط با انرژی، پدیده‌ای متقارن نیست. اگر ستاره‌ای با سرعت نور از شما دور شود، شما چه از دست می‌دهید؟ فقط یک ذرهٔ نورانی بسیار کوچک در میان تعداد بی‌شماری از ذرات نورانی عالم. امّا اگر همین ستاره با سرعت نور به طرف شما حرکت کند بی‌نهایت درخشان خواهد بود یعنی بسیار درخشانتر از آن بیلیون‌ها

ستاره‌ای که در کنار هم قرار دارند. انرژی حاصله در تغییر مکان آبی زیادتر از انرژی از دست رفته در تغییر مکان قرمز می باشد و در این مورد فوق بسیار عظیم‌تر خواهد بود.

حتیٰ در سرعت‌های کندتر این تأثیر هنوز پابرجاست. مثلاً در سرعتی معادل یک دهم سرعت نور، انرژی نورانی ستاره‌ای که به طرف ما نزدیک می‌شود برابر ۱۰/۵۵ درصد افزایش می‌یابد درحالیکه نور ستاره‌ای که با همان سرعت از ما دور می‌شود برابر ۹/۵۵ درصد کاهش می‌یابد. از نظر شخصی که با سرعتی معادل یک دهم سرعت نور از کنار ستاره می‌گذرد یا ستاره‌ای با چنین سرعتی از کنار آن شخص می‌گذرد، به‌طور متوسط نیم درصد انرژی پخش شده از ستاره افزایش می یابد.

اینک مواجه با مشکلی عجیب هستیم، زیرا مفهوم پخش انرژی از ستاره (یا هر منبع نورانی دیگر) بدین معنیٰ است که چه کسی بر آن می‌نگرد و در ارتباط با ستاره با چه سرعتی حرکت می‌کند. این موضوع مستقیماً ما را به آنچه که بیشتر فیزیکدانها و از جمله اینشتین خود به آن رسیدند راهنمائی می‌کند و آن تنها مهمترین نتیجهٔ نظریهٔ نسبیت بود یعنی قانون برابری جرم و انرژی. اینشتین استدلال اوّلیهٔ خویش را دربارهٔ برابری جرم و انرژی در مقاله علمی بسیار کوتاهی در سالنامهٔ فیزیک[5] تحت عنوان (در ترجمه) «آیا خنثیٰ بودن جسم مربوط به مقدار انرژی آن می باشد؟» در سال ۱۹۰۵ بیان نمود. این موضوع به عنوان ضمیمه‌ای بر مقالهٔ اصلی اش دربارهٔ نسبیت افزوده شده بود. او فکر می‌کرد که از نظر کسی که با سرعت زیاد حرکت می‌کند منبع نور شبیه چه چیز خواهد بود.

با پذیرفتن بحث اینشتین در مورد خورشید به جای جسم دیگر و

5. Annalen der Physik

حذف مطالب ریاضی آن می‌توان مطلب را چنین بیان نمود:

اگر به خورشید از نقطه‌ای نگاه شود که بخوبی بر آن مسلط باشیم ملاحظه می‌شود که خورشید در تمام جهات به مقادیر مساوی نور پخش می‌کند. اگر فرض کنیم که فضانوردی با سرعت زیاد از کنار خورشید می‌گذرد، با توجه به اثر داپلر، او (فضانورد) تغییر در بسامد نور را مشاهده خواهد کرد. یعنی همچنان که از سمت نزدیک به سوی خورشید می‌رسد آن را «آبی» می بیند و هنگامی که از طرف دور به آن می‌نگرد آن را «قرمز» می بیند. امّا همچنان که قبلاً گفته شد اختلاف در مقدار انرژی است که از خورشید خارج می‌شود. اگر فضانورد مقدار انرژی نورانی که از خورشید خارج می‌شود، در هر دو حالت تغییر مکان آبی و قرمز ارزیابی و معادل آنرا محاسبه کند، ملاحظه خواهد شد که این مقدار بیشتر از هنگامی است که او به‌طور ثابت نزدیک خورشید بایستد و آنرا در رنگ‌های واقعیش (که اثر داپلر بر آن اثر نداشته است) رؤیت کند. و مثلاً از نظر فضانوردی که با سرعت زیاد حرکت می‌کند مقدار انرژی نورانی که خورشید خارج می‌کند بیشتر از مقداری است که به نظر ستاره‌شناسان در روی زمین می‌آید. امّا از نظر اینشتین برداشت فضانورد برداشتی کاملاً قانونی است.

اگر خورشید با سرعت بیشتری انرژی پخش می‌کند، این انرژی اضافی از کجا می‌آید؟ تنها منبع محتمل این انرژی، انرژی جنبشی است که خورشید در مقایسه با فضانورد با سرعت زیادی در حال جنبش است. ساده‌ترین راه که در آن جسم متحرک می‌تواند انرژی پخش کند تقلیل سرعت آن می باشد. امّا سرعت فضانورد سرعتی ثابت است، بنابراین خورشید بدون تغییر گردش عادی خود نمی‌تواند در ارتباط با فضانورد از سرعت خود (مایل در ثانیه) بکاهد. ملاحظه می‌شود که اگر بناست فقط

با نگاه کردن به ستارگان حرکت آنها تغییر یابد، عالمی کاملاً در هم ریخته خواهیم داشت. بنابراین راهی دیگر وجود دارد که در آن انرژی جنبشی جسم می‌تواند کاهش یابد و آن کاهش جرم جسم می‌باشد. انرژی جنبشی خورشید مربوط است به جرم آن (بر حسب تن) و همچنین سرعت ظاهریش نسبت به فضانورد. بنابراین بر طبق استدلال اینشتین خورشید باید جرم خود را از دست بدهد.

می‌توان رئوس مطالب بحث را به‌طور خلاصه و به شرح زیر تکرار نمود:

حرکت نسبی خورشید، آنچنان که توسط فضانورد سریع‌السیر به نظر می‌رسد، انرژی نورانی ظاهری‌اش را افزایش می‌دهد، آن انرژی اضافی بایستی مربوط به انرژی جنبشی خورشید باشد و چون سرعت ظاهری خورشید تغییر نمی‌یابد پس در عوض باید جرم آن تغییر یابد.

به‌طور خلاصه خورشید ناگزیر است مقداری از جرم خود را از دست بدهد تا با پخش نور اضافی، وقایع از دیدگاه فضانورد قابل توجیه باشد.

گام کوتاه بعدی اینست که بگوئیم تمام نوری که توسط خورشید پخش می‌شود جرم آن را تقلیل می‌دهد، حتی هنگامی که فضانورد سرعت خود را آن‌قدر کاهش می‌دهد تا نسبت به خورشید به حالت سکون برسد. از نظر اینشتین رسیدن به این قدم مقدار کمی محاسبات ریاضی لازم داشت. برای ما دلیل کافی اینست که طبیعت نمی‌تواند بین «نور» و «نور اضافی» فرقی بگذارد زیرا اگر تشعشع یکی موجب کاهش جرم می‌شود تشعشع دیگری هم می‌تواند همان کار را بکند. برای اینکه حساب مقدار انرژی درست دربیاید، خورشید بایستی مقدار معینی از جرم خود را (برحسب تن) در مقایسه با مقدار تشعشعی که خارج می‌کند از دست

بدهد. درواقع با اندازه‌گیری درخشندگی خورشید، ستاره‌شناسان با استفاده از نظریهٔ اینشتین حساب می‌کنند که این ستارهٔ مادری ما در هر ثانیه چهار میلیون تن از جرم خود را از دست می‌دهد؛ امّا این جرم از عالم محو نمی‌شود زیرا نوری که خورشید در تمام جهات می‌افشاند خود دارای وزن می‌باشد.

سپس نوبت آن بود که اینشتین ضربت کاری را بزند. اگر بخواهیم دقیق‌تر بگوئیم همهٔ آنچه بحث اینشتین نشان می‌دهد اینست که نور به همراه خود دارای جرم معینی است ــ نتیجه‌ای مهم امّا نه اعجاب‌آور. امّا نور قبلاً به عنوان انرژی خالص تلقی می‌شد و اینشتین ملاحظه کرد که این بحث نه فقط برای اشعهٔ نورانی بلکه برای تمام اشکال انرژی از قبیل انرژی جنبشی، حرارتی، شیمیائی و غیره قابل تعمیم است. علاوه بر این او (اینشتین) با فراست دریافت که اگر انرژی دارای جرم است پس جرم خود نیز باید به عنوان شکلی از انرژی مدّ نظر قرار گیرد. در چنان حالتی مادهٔ معمولی را می‌توان انرژی منجمد تلقی نمود.

او در ۱۹۰۵ چنین نوشت:

«این واقعیت که انرژی حاصل از جسم تبدیل به انرژی تشعشعی می‌شود، به‌طور مسلّم مغایرتی با نتیجه‌گیری کلی‌تری که، جرم جسم معیاری از مقدار انرژی آن می‌باشد، ندارد. غیرممکن نیست که با استفاده از اجسامی که مقدار انرژی آنها تا حد زیادی متغیر می‌باشد (مثلاً املاح رادیوم) بتوان این نظریه را به نحو موفقیت‌آمیزی به آزمایش گذاشت.»

غیر از املاح رادیوم، با کشف رادیواکتیویته معلوم شد که موادی که ظاهراً معمولی به نظر می‌رسند مقدار قابل ملاحظه‌ای انرژی پخش می‌کنند. در فیزیک قدیم برای این منبع انرژی پاسخی نبود. امّا اینشتین

منبع را نشان داد و گفت اگر مواد عادی انرژی منجمد هستند پس اصولاً این مواد حداقل دارای ذخایر عظیم انرژی جهت پخش هستند. فقط لازم است که مقدار کوچکی از آن انرژی با ایجاد تغییر در نظام داخلی اش آزاد شود تا درست همان پدیدهٔ «املاح رادیوم» ملاحظه گردد.

فرمول $E=mc^2$ اینشتین برابری جرم و انرژی را بیان می‌دارد. در این فرمول E انرژی، m جرم و c^2 مجذور سرعت نور است. c^2 برای این بکار میرود که بر طبق عادت فیزیکدان‌ها انرژی و جرم را بدین طریق محاسبه می‌کنند. می‌توانید فقط بنویسید $E=M$ و به هر شکلی که می‌خواهید واحدهای اندازه‌گیری را انتخاب کنید. امّا c^2 کاملاً هم ناخوشایند نیست زیرا براساس معیارهای پذیرفته شده کمیتی خیلی بزرگ است و به ما چنین می‌گوید که حتیٰ مقدار جزئی جرم درواقع نمایانگر مقادیر بسیار عظیم انرژی است.

این فرمول کوچک راز آفرینش و گردش عالم را بازگو می‌نماید.

۳

انرژی آفرینش

همهٔ مواد دارای «انرژی آرمیدهٔ[1]» عظیم می باشند.
خورشید مقدار کمی از انرژی آرمیدهٔ ماده را نمایان می‌سازد.
بمب های هسته ای و رآکتورها انرژی ای مشابه (خورشید) در روی زمین نمایان می سازند.
شتاب دهنده های ذره ای، منظماً مادهٔ جدید بوجود می‌آورند.
انرژی آرمیده، درآفرینش ماده یک ضرورت است.

* * *

تأیید مستقیم و درست استنباط اینشتین راجع به انرژی، به سرعت حاصل نشد. او قانون برابری جرم و انرژی را در سال ۱۹۰۵ و هنگامی که ۲۶ سال از عمرش می‌گذشت اعلام داشت و این چندین سال قبل از زمانی بود که ارنست روترفرد[2]، ذره‌ای کوچک و سنگین به نام هسته را در مرکز اتم کشف نمود. از آن هنگام به بعد فیزیکدانان ملزم شدند روش هائی برای توزیع انفرادی اتم‌ها پیدا کنند و دراین جهت نخستین ماشین‌های اتم‌شکن یا شتاب‌دهندهٔ ذره را تکمیل نمودند. در ۱۹۳۲ در کینگز پارید[3] کمبریج[4] مرد جوان دیگری به نام جان کوک کرافت[5] درحالیکه با جست

1. Rest-energy
2. Ernest Rutherford
3. King's Parade
4. Cambridge
5. John Cockcroft

و خیزهای خود باعث تعجب آشنایانش شده بود اعلام داشت: «ما اتم را شکافته‌ایم. ما اتم را شکافته‌ایم!»

کوک کرافت و ارنست والتون[6] شتاب‌دهنده‌ای الکتریکی برای ذرات اتمی ساختند و به کمک آن پروتون‌ها یعنی هسته‌های اتم‌های هیدروژن را بر هدفی که عبارت از فلز لیتیوم[7]، بود شلیک می‌کردند. در برخورد با هستهٔ لیتیوم ابتدا پروتون با آن درهم آمیخته و سپس می‌شکافد و دو هستهٔ جدید ــ درواقع هستهٔ هلیوم ــ ایجاد می‌شود. وقتی جرم دو هستهٔ هلیوم تعیین می‌شود مقدار آن از جرم هستهٔ هیدروژن (پروتون) و هستهٔ لیتیوم که بوجود آورندهٔ هسته‌های هلیوم بوده‌اند کمتر است. بنابراین در این فعل و انفعال هسته‌ای ماده محو شده است.

آزمایش کنندگان توانستند «ببینند» که هریک از دو هستهٔ هلیوم، به جهتی عکس یکدیگر از روی صفحهٔ هدف (لیتیوم) می‌گریزد. هر هستهٔ گریزان در برخورد با صفحهٔ فلورسنت که شبیه صفحهٔ کوچک تلویزیون می‌باشد، روشنائی سریع و جزئی ایجاد می‌کرد. کوک کرافت و والتن، انرژی جنبشی هسته‌های هلیوم را با اندازه‌گیری مسافتی که هسته‌ها در هوا طی نموده‌اند برآورد نمودند. با توجّه به اینکه درصد صحت آزمایش پائین بود ولی از محاسبهٔ انرژی جنبشی هسته‌های هلیوم توسط کوک کرافت و والتن و مقایسهٔ آن با جرم از دست رفتهٔ ماده معلوم شده که موضوع در فرمول $E=mc^2$ اینشتین صدق می‌کند.

می‌توانید بگوئید (و بسیاری می‌گویند) که مقدار معینی ماده تخریب و تبدیل به انرژی جنبشی در ذرات هلیوم شده است. امّا این‌طور طرز برخورد با مسأله در عالم اینشتین دلیل بر بی‌توجهی است. جرم و

6. Ernest Walton 7. Lithium

انرژی درست به آن طریق که ما دلار و طلا را به یکدیگر تبدیل می‌کنیم، تبدیل نمی‌شوند. آنها یک چیز واحد به نام: جرم ــ انرژی می باشند. در آزمایش شکافتن اتم در کمبریج، ذرات گریزان هلیوم، حداقل برای یک لحظه درست دارای همان انرژی ذرّات مولّد خود هستند (یعنی هستهٔ هیدروژن و هستهٔ لیتیوم ــ م). جرم ــ انرژی جنبشی آنها بر جرم معمولی شان افزوده می‌شود. بتدریج که سرعت‌شان کم می‌شود این انرژی را هم از دست داده و آنرا به اتمهای مجاور خود منتقل می‌کند که آنها هم به نوبهٔ خود اضافه جرم خود را به صورت گرما پخش می‌نمایند. جرم ــ انرژی مانده در هسته های هلیوم اغلب «جرم آرمیده» نامیده می‌شود. و این نامگذاری بخاطر این عقیدهٔ سنتی است که جرم مقداری از ماده است. امّا از آنجا که ماده شکلی منجمد و خاص از جرم ــ انرژی است، من ترجیح می‌دهم که برای جرم معمولی اصطلاح «انرژی آرمیده» را بکار بگیرم. هر شکل دیگری از انرژی با جرم توأم می باشد. مثلاً آهن فشرده وقتی که داغ باشد به میزان جزئی از هنگامی‌که سرد است گرم‌تر خواهد بود و انرژی اتومبیلی که در حال حرکت است، از انرژی آن در هنگام توقف بیشتر می باشد.

هر چند متقدمان اینشتین احمق یا بی توجه نبودند، امّا طبیعت این را تا ظهور او (اینشتین) حفظ نمود. انرژی آرمیدهٔ اجسام عادی بسیار زیاد و برعکس مقدار بسیار زیادی از انرژی دارای جرم بسیار کمی است. تمام انرژی که بوسیلهٔ بشر در طی یکسال مصرف می‌شود دارای جرمی فقط در حدود چند تن می باشد. یک قطعه آهن داغ به اندازهٔ یک در میلیون میلیون ($۱۰^{-۱۲}$) از هنگامی که سرد باشد سنگین تر است.

انرژی جنبشی یک سفینهٔ آپولو هنگامی که به طرف ماه پیش می‌رود فقط به اندازهٔ چند هزارم گرم بر جرمش افزوده می‌شود ــ که از نظر

مهندسی در هنگام محاسبهٔ قدرت راکت برای پرتاب سفینه، با اطمینان قابل اغماض می‌باشد. برای بسیاری از حرکت‌های مورد علاقهٔ انسان، تغییرات در جرم ناچیز است. در ذرات شتاب یافته شبه‌اتمی، انرژی جنبشی در مقایسه با انرژی آرمیده قابل توجه می‌باشد. در یک گیرندهٔ تلویزیونی پرتوهای الکترون که تصویر را بر روی صفحه رنگین می‌سازد، در اثر شتاب کافی جرم آنها (جرم هر الکترون) تا حدود چند درصد افزایش یافته است. قوی‌ترین شتاب‌دهندهٔ الکترونی جهان در دانشگاه استانفورد کالیفرنیا قرار دارد. وقتی که الکترونها از دهانهٔ این تفنگ عظیم الکتریکی که طول آن دو مایل می‌باشد، خارج می‌شوند ۴۰,۰۰۰ بار سنگین‌تر از هنگام حرکت می‌باشند. تمامی آن جرم اضافی انرژی جنبشی است.

اگر گاز هیدروژن در اکسیژن سوخته شود، آب تولید می‌شود، امّا مقدار زیادی نور و گرما هم حاصل می‌شود.

انرژی یا جرم از ماده آزاد شده است. بنابراین با استفاده از فرمول اینشتین قبل از هرگونه اندازه‌گیری می‌توان گفت که آب از نظر وزن سبکتر از مقدار هیدروژن و اکسیژن تشکیل دهندهٔ خود می‌باشد. برعکس برای اینکه آب را به هیدروژن و اکسیژن تبدیل کنیم باید به آن انرژی بیفزائیم، یعنی بر جرم آن افزوده می‌شود. امّا اختلاف فقط به اندازهٔ چند بیلیونیم است و از اینرو بود که شیمیدان‌های قرن نوزدهم کاملاً معتقد بودند که در واکنش‌های شیمیائی نه ماده‌ای ایجاد و نه از بین می‌رود.

اگر خورشید سوخت هیدروژنی خود را در یک واکنش شیمیائی معمولی با اکسیژن مصرف می‌نمود و با توجّه به ۴ میلیون تن نوری که در هر ثانیه و به‌طور معمول پخش می‌کند، عمر آن از چند هزار سال تجاوز نمی‌کرد.

از آنچه خورشید پخش می‌کند مقدار کمی نصیب زمین می‌گردد، با اینهمه این مقدار روزانه برابر ۱۶۰ تن نور خورشید می باشد.

گیاهان سبز اشعهٔ خورشید را جذب و برای ساختن کربوهیدراتها با استفاده از آب و گازکربنیک به کار برده و موجب بقاء حیات در زمین می‌شوند.

همچنانکه مشغول مطالعهٔ این کلمات هستید، مغز شما با استفاده از انرژی الکتریکی و شیمیائی فعالیت می‌کند و کلماتی پراکنده به کمک حرکت چشمها تبدیل به استنباط و اندیشه می‌شوند. قدرت مغزی تمام جامعه بشری کمتر از یک بیلیونیم گرم در ثانیه می باشد.

اظهار عقیدهٔ اینشتین جوان در مورد انرژی، مبیّن درکی عمیق‌تر از وجود زندگی انسان در عالم است. منابع بنیادی انرژی آنهائی است که با نیروهای کیهانی همراه‌اند یعنی: الکترومغناطیسی که به شکل نور، در واکنش‌های شیمیائی و فرایندهای حیات، نیروهای شبه‌اتمی در واکنش‌های اتمی، و ثقل متجلی است. همهٔ این اشکال در فرمول $E=mc^2$ صادق می باشد.

یکی از نتایج علمی مهم فرمول $E=mc^2$ درک قدرت واقعی خورشید است که تمامی حیات بدان وابسته می باشد. یافتن منبع نور خورشید معمائی قدیمی بود که در قرن نوزدهم شکلی حاد به خود گرفت. چارلز داروین و زمین‌شناسان قرن نوزده متوجه شدند که قدرت حیات در زمین، حداقل به چند صد میلیون سال می‌رسد، امّا فیزیکدانان برجسته‌ای همچون هرمان هلمولتز[8] و لرد کلوین[9] هیچ منبع انرژی‌ای که تکافوی چنین مدت زمان طولانی را برای تابش خورشید بنماید نمی یافتند. تصور

8. Hermann

9. Lord Kelvin

آنها چنین بود که گرمای خورشید و ستارگان دیگر در اثر ثقل به وجود می‌آید، بدین معنی که در اثر برخورد مواد در پهنه‌های دوردست عالم، ماده متراکم‌تر شده و در این اشیاء انرژی آزاد می‌شود، همچون روشنائی ای که در اثر سقوط سنگی سرگردان[۱۰] ایجاد می‌گردد، امّا در مقیاسی وسیع. با توجّه به مقدار انرژی معمول خورشید، کلوین عمر آنرا بیش از سی میلیون سال نمی‌دانست.

کشف اینشتین مبنی بر مقادیر عظیم انرژی بالقوهٔ ماده و پیدا کردن اختلافات جزئی در اجرام عناصر توسط فیزیکدانان، راه را بر توجیه رضایت‌بخش منبع انرژی خورشیدی هموار ساخت. با استفاده از مطالعات رادیواکتیویته عمر خورشید و زمین به چندین بیلیون سال می‌رسید. پاسخ در این واقعیت نهفته بود که هیدروژن، سبکترین و در عین حال فراوان‌ترین ماده در عالم و خورشید، بر طبق واکنشی هسته‌ای قابل اشتعال می باشد.

در هستهٔ یک ستارهٔ نوظهور، مقدار زیادی حرارت در اثر ثقل ایجاد می‌شود که مستلزم احتراق هسته‌های اتمهای هیدروژن یعنی پروتون‌ها است. در زنجیره‌ای از واکنش‌های گرمازائی هسته[۱۱]، هر چهار پروتون تشکیل یک هستهٔ هلیوم می‌دهند که سنگین‌ترین عنصر متعاقب هیدروژن می باشد.

و در آزمایش کوک کرافت ــ والتن، جرم بدست آمده (جرم آرمیده) به مقدار خیلی جزئی کمتر از مجموع اجرامی است که در آزمایش به کار رفته‌اند. هستهٔ هلیوم کمتر از مجموع ذرات آن می باشد. به عبارت دیگر: همچنانکه در اثر برخورد یک سنگ آسمانی با زمین یا گاز با ستاره، در اثر ثقل گرما آزاد می‌شود، به همین طریق نیروهای هسته‌ای

10. Meteorite 11. Thermonuclear

می‌توانند موجب برخورد اجزاء تشکیل دهندهٔ مواد هسته‌ای شده و آنها را متراکم‌تر ساخته و باعث ایجاد گرما در فرایند بشوند.

کاهش ماده در تبدیل هیدروژن به هلیوم در خورشید، تقریباً هفت تن برای هر هزار تن هیدروژن سوخته می باشد. این مقدار کسری کوچک از انرژی آرمیدهٔ هیدروژن را تشکیل می‌دهد، امّا همین مقدار موجب آزاد شدن مقادیر بسیار زیادتر انرژی در مقایسه با آنچه که واکنش های معمول شیمیائی می‌دهند، می‌شود ــ یا آنچه که در سناریوی هلمولتز و کلوین ثقل نامیده می‌شود. بر این اساس عمر محتمل خورشید بنحو رضایت بخشی دو برابر عمر فعلی زمین و خورشید خواهد بود.

اختر ــ فیزیکدان[۱۲]ها، به یک حساب با بیان ماهیت پیدایش عناصر، کاری بسیار عمده را مطرح می‌سازند. درواقع تمام اتمهای موجود در بدن ما که از هیدروژن سنگین‌تر هستند، در ستارگانی که قبل از تکوین خورشید و زمین خاموش شده اند شکل یافته اند.

عناصر در فضای بیکران پخش شدند و مجدداً در هنگام تشکیل منظومهٔ شمسی مجتمع شدند. وقتی‌که هیدروژن موجود در هستهٔ داغ ستاره‌ای تمام می‌شود، هلیوم موجود در آن شروع به سوختن و تولید کربن و اکسیژن می‌نماید. این فرایند متوالیاً ادامه می‌یابد تا عناصر سنگین‌تر تشکیل یافته و منتهی به تشکیل سیلیکون شده و در اثر احتراق آن آهن بوجود آید. بعد از ایجاد آهن، واکنش ادامه یافته و موجب تخریب ماده می‌شود به قسمی که از هر هزار تن هیدروژن اولیه، تقریباً ده تن آن تبدیل به نور و گرما شده است. آهن باثبات‌ترین عنصری است که نمی‌توان به کمک فرایند هسته‌ای از آن انرژی استخراج نمود.

12. Astrophysicists

حرارت دادن عناصر سنگین‌تر از آهن ــ مثلاً طلا و اورانیوم ــ مستلزم انرژی خالص می‌باشد. چنین انرژی‌ای به صورت مازاد انرژی ستاره‌ای و به مقدار زیاد و فقط در هنگام آشفتگی فعالیت هسته‌ای که در زمان انفجار ستاره‌ای پیر رخ می‌دهد، حاصل می‌شود. بدین دلیل است که طلا و اورانیوم نسبت به اکسیژن و آهن بسیار کمترند. همچنین ناپایداری سرنوشت‌ساز عناصر سنگین با استفاده از این پدیدهٔ طبیعی رادیواکتیویته و شکافتن هسته‌ای قابل بیان است زیرا موجب می‌شود که عناصر سنگین‌تر از اورانیوم دوام نیافته و از بین بروند. به جهت اینکه در هنگام تشکیل آنها می‌بایستی بر هستهٔ آنها انرژی افزوده شود، لذا در اثر تبدیل متقابل ماده و انرژی، افزایش جرم ایجاد می‌شود.

در میان سنگین‌ترین عناصر، افزایش جرم یا انرژی آرمیده کافیست که موجب متلاشی شدن خودبه‌خود هسته‌ها گردد. معمولاً اورانیوم، رادیوم و دیگر عناصر رادیواکتیو ذرات کوچکی پخش می‌کنند که سنگین‌ترین آنها هسته‌های هلیوم می‌باشد. آنها این عمل را آنقدر ادامه می‌دهند تا هنگامیکه بقدر کافی انرژی آرمیده از دست بدهند و تثبیت گردند، یعنی تبدیل به سرب یا بیسموت که سنگین‌ترین عناصر باثبات هستند بشوند. مقدار کمی از انرژی رادیواکتیو طبیعی در سنگ‌های زمین، موجب زلزله‌ها و آتشفشان‌ها می‌شود.

بعضی از هسته‌های عناصر سنگین می‌توانند بنحو بسیار فاجعه‌آمیزتری متلاشی شوند، بخصوص هنگامی‌که با مقدار کمی انرژی اضافی تحریک شوند، مخصوصاً اورانیوم ۲۳۵ که ترکیب کمیابی از فلز اورانیوم می‌باشد، چنانچه تحت تأثیر نوترون کم‌انرژی قرار گیرد شکافته شده و تبدیل به دو قسمت بزرگ می‌شود.

نوترون از نظر الکتریکی خنثی و خواهر پروتون و جزء

تشکیل دهندهٔ عمدهٔ مادهٔ هسته ای است.

درخلال شکافتن، نوترون های دیگر رها می‌شوند که بنوبهٔ خود، در واکنشی زنجیره‌ای موجب شکافتن سایر هسته های اورانیوم ۲۳۵ می‌شوند. یک چنین شکافتن های هسته ای مشابهی در پلوتونیم هم روی می‌دهد. پلوتونیوم فلزی ساختهٔ دست بشر است و در اثر حرارت دادن اورانیوم ۲۳۸ معمولی به کمک نوترون ها در یک رآکتور هسته ای تولید می‌شود.

با شکافتن اتم، انرژی هسته ای بر روی زمین پدیدار می‌شود، زیرا بخش عمده‌ای از انرژی بقاء اورانیوم ۲۳۵ یا پلوتونیوم ناگهان آزاد می‌گردد. با اینهمه در این واکنش ها از هر هزار تن مادهٔ هسته ای یک تن آن ناپدید می‌شود. این مطلب از این نظر واجد اهمیت است که نشان‌دهندهٔ ضریب تبدیل بالای ماده به سایر اشکال انرژی است. وقتی که اینشتین معادلهٔ $E=mc^2$ را نوشت هیچ‌یک از این نکات فنّی مشخص نشده بود.

اعجاب‌آورتر اینکه، اندیشه های او (اینشتین) دربارهٔ ظاهر منبع نور وقتی‌که شما از کنار آن می‌گذرید می بایستی او را به نتیجه گیری هائی واداشته باشد که این نتایج موجب قادر ساختن اخترشناسان در استنباط طرز کار ستارگان شده و نیز باعث گردیده است که دیگر دانشمندان بتوانند انرژی بالقوهٔ قابل استحصال در مواد هسته ای را محاسبه و سپس آنرا به شکل بمب ها و رآکتورهای هسته ای آزاد سازند.

قدرت معادلهٔ $E=mc^2$ با انفجار بمب های اتمی اورانیوم در هیروشیما[۱۳] و پلوتونیوم در ناگازاکی[۱۴] در اوت ۱۹۴۵ به جهان نشان داده

13. Hiroshima 14. Nagasaki

شد.

با اختراع بعدی، یعنی بمب هیدروژنی، بشر نخستین گام محکم را به طرف بازسازی هم‌جوشی هسته‌ای[۱۵] خورشید و ستارگان در روی زمین برداشت. در بمب هیدروژنی، یک بمب اورانیومی به منظور ایجاد حرارت زیاد شبیه آنچه در مرکز خورشید عمل می‌کند، به‌کار گرفته می‌شود. پس از آن عناصر سبک‌وزن شروع به سوختن می‌کنند که موجب تشدید انفجار هم به طریق مستقیم و هم با بالا بردن بازده انفجار اورانیوم می‌گردد.

تلاش بمب‌سازان برای استفادهٔ پروتون‌های سادهٔ هیدروژن معمولی نیست (اینها خیلی کند عمل می‌کند) بلکه برای انجام هم‌جوشی انفجارآمیز هسته، آنها اشکال سنگین هیدروژن را همراه با لیتیوم انتخاب می‌نمایند. دیگر فیزیکدان‌ها کوشش‌های سرسختانه‌ای برای نیل به واکنش‌های گرمازائی تحت کنترل و استفادهٔ صلحجویانه از این قدرت انجام می‌دهند. تلاش در این راه نویدبخش حل مشکلات انرژی جهان است، البته اگر قبل از رسیدن به آن بمب هیدروژنی مشکل را به طریق دیگری حل نکند. خوب یا بد آیندهٔ بشریت کاملاً در گرو معادلهٔ $E=mc^2$ می‌باشد.

هنگامی‌که اینشتین معادلهٔ خود را نوشت، هیچکس کاملاً نمی‌دانست که مفهوم این موضوع که هر ذرهٔ معمولی ماده مقادیر عظیم انرژی با خود دارد، چیست؟ انرژی آرمیده، مطمئناً یکی از بدیهیات نسبیت است یعنی: هر شخصی بدون درنظر گرفتن حرکات خود می‌تواند پس از کاستن انرژی جنبشی نسبت به انرژی آرمیده نظر مثبت داشته

15. Nuclear fusion.

باشد. امّا به عنوان منبع انرژی، این مطلبی توخالی به نظر می‌رسد. حتی قوی‌ترین واکنش‌های هسته‌ای می‌تواند حداکثر یک درصد از انرژی آرمیدهٔ سوخت‌ها را استخراج نماید. پس تکلیف ۹۹ درصد دیگر چیست؟

این واقعیتی است که انرژی آرمیدهٔ اجسام عادی بسهولت قابل تبدیل به سایر اشکال انرژی نیست.

اگر انسان می‌توانست مطابق معادلهٔ اینشتین انفجاری هیدروژنی برابر ۱۰۰۰ مگاتن انجام دهد، روابط اجتماعی انسانی اندکی آسیب می‌دید. امّا دلیل آن که انرژی آرمیدهٔ اجسام عادی بیش از انرژی بدست آمده است، با کشف راز تکوین ماده، حاصل شد. فیزیکدان‌هائی که مشغول مطالعهٔ ذرات اتمی بودند متوجه شدند که نوری که دارای انرژی کافی باشد ــ اگر دقیق بگوئیم، یعنی اشعهٔ گامای بسیار پرانرژی ــ می‌تواند ذرات جدید شبه‌اتمی تولید نماید. یعنی انرژی نور به ماده تبدیل می‌شد. و حداقل انرژی لازم برای تولید ذره، همچنان که با معادلهٔ اینشتین بیان شده است، به انرژی آرمیدهٔ آن بستگی دارد.

قضیّه تا حدودی مفصل‌تر از این بود ــ چنانچه در آفرینش ماده در فضای تهی نخستین انتظار می‌رود. عملاً، طبیعت ناگزیر از تکوین دو ذره در زمانی واحد بوده تعداد کل ذرات قابل دوام عالم نمی‌تواند به نحو تصادفی تغییر یابد، بلکه با ایجاد همزمان ضد ماده و ماده این ذرات محو می‌شوند (همدیگر را خنثی می‌کنند ــ م) مثلاً با استفاده از اشعهٔ گاما با انرژی معادل دو برابر جرم الکترون، می‌توان یک الکترون و یک ضد الکترون ساخت. ذرات ضد ماده بسیار شبیه ذرات مادی امّا ضد آنها هستند، آنچنان مغایر که وقتی یک ذرهٔ مادی با ذرهٔ ضد مادّی خود برخورد می‌کند یکدیگر را خنثی نموده و از عالم محو می‌شوند.

همهٔ آنچه باقی می‌ماند جریانی از اشعهٔ گاماست که نتیجهٔ عمل

آفرینش می باشد. وجود ضد ماده توسط یک نظریه‌پرداز جوان انگلیسی به نام پل دیراک[۱۶]، هنگامی‌که نسبیت اینشتین را در نظریهٔ الکترون‌ها بکار می برد، پیش بینی شد. عقیدهٔ عجیب و نسبتاً وهم انگیز دیراک در ۱۹۳۲ با کشف نخستین ضد الکترون یا «پوزیترون» به ثبوت رسید. این ذره با اشعهٔ کیهانی یعنی ذراتی که از فضای خارج به زمین می‌آیند، تولید شد. درنتیجه شتاب دهنده‌های ذره‌ای بقدر کافی قوی ساخته شدند تا ضد ذرات بسیار سنگین‌تر از نوع ضد پروتون‌ها را که جهانی مخالف هستهٔ اتم هیدروژن است ایجاد نمایند.

این عمل توسط امیلیوسگر[۱۷] و اون چمبرلن[۱۸] در برکلی کالیفرنیا و در ۱۹۵۵ انجام شد. از اوایل سال‌های ۱۹۷۰ دیگر تولید ماده و ضد ماده امری کاملاً عادی شده است و هر ضربان شتاب‌دهنده‌های بزرگ مؤید فرمول اینشتین می باشد. آنها نه‌تنها ذرات شبه‌اتمی شناخته شده را ایجاد می‌کنند بلکه ذرات سنگینی با رفتاری مخصوص و با نامهائی همچون «بیگانگی»، «شادی» و «زیبائی» می‌سازند. آنها قوانین بنیادینی را که در طبیعت سازمان ماده حاکم‌اند، کشف می‌کنند. و معادله $E=mc^2$ دیگر نه‌تنها پاسخ‌دهندهٔ معمّای انرژی خورشیدی است، بلکه کاملاً و بدون هیچ مبالغه‌ای قانون آفرینش می باشد.

بنابراین، اینک مفهوم عمیق انرژی آرمیده آشکار می‌شود و آن انرژی‌ای است که در ابتدا برای آفرینش ماده لازم بوده است. این انرژی در صورتی قابل آزاد شدن است که با ضد مادهٔ خود برخورد و با محو ماده و ضد ماده رها گردد. اگر خداوند می‌خواست که آدم را در ابتدا بسازد بایستی انرژی حاصل از انفجار ۱۰۰۰ مگاتن ماده را مهار سازد و برای

16. Paul Dirac 17. Emilio Segré 18. Owen Chamberlain

ساختن همزمان ضد آدم دو برابر این انرژی لازم داشت.

به آنچه که می‌خواهم ذیلاً راجع به تاریخ عالم بگویم، توجه کنید:

احتمالاً همه چیز با یک انفجار بزرگ[۱۹] شروع شد. مقادیر بسیار زیادی ماده و ضد ماده در آشوبی عظیم از آفرینش و امحاء تشکیل و ناپدید شدند. همچنانکه عالم سرد شد و انرژی تشعشعی موجود کاهش یافت، نابودی ناگهانی ماده و ضد ماده تداوم یافت تا فقط یک بیلیونیم از کل ماده باقی ماند. یک نابرابری جزئی در ذرات ماده باعث حذف ضد ماده شد. این ذرهٔ کوچک مادّی آغازین بود که تمامی عالم مادّی کنونی را ساخت.

از آن هنگام تاکنون اتمهای تشکیل دهندهٔ بدن‌های ما بارها تجزیه و بازسازی شده‌اند امّا اجزاء تشکیل دهندهٔ اصلی ــ یعنی پروتون‌ها و الکترون‌ها ــ تماماً بر همان شکلِ آن بوتهٔ آزمایش غیر قابل تصور باقی مانده‌اند.

اگر در آن موقع حضور داشتید و شاهد عملیات فیزیکی[۲۰] بسیار کوچک آفرینش بودید، تردیدی راجع به مفهوم انرژی آرمیده به ذهن خود راه نمی‌دادید.

شما می‌توانستید تبدیل نور به ماده و برعکس آنرا با راندمان تبدیل بسیار بالائی و آنچنان که بوسیلهٔ اینشتین بیان شده است ببینند.

امروزه عالم بسیار سردتر شده است، آفرینش مادهٔ جدید واقعه‌ای بسیار نادر، و کمیابی ضدمادّه، به مادّهٔ موجود اجازه می‌دهد تا انرژی آفرینش خود را پنهان سازد.

19. Big Bang 20. Microphysics

خویشاوندی و تفاوت بین ماده و پرتوهای شبه‌نوری در بوتهٔ آزمایش آفرینش پدیدار می‌شود. پرتوها دارای انرژی‌ای معادل جرم هستند که درانفجاربزرگ قاعدتاً قابل مقایسه با اجرام ذرات مادی بوده است.

جرم ــ انرژی عالم در تمامی مدتی که پرتوها و ذرات به یکدیگر تبدیل شده‌اند، حتیٰ یک ذره هم تغییر ننموده است. اما نور فاقد انرژی آرمیده است. نور می‌تواند جذب شده و به شکل دیگری از انرژی متجلی گردد، لیکن نور آرامش‌پذیر نیست. نور از هنگام پیدایش خود به سرعت و به نحوی نامحدود شتاب می‌یابد و با بالاترین سرعت ممکن پخش می‌شود، این طبیعت نور است. از طرف دیگر، طبیعت ماده چنان است که بسیار کند حرکت نموده و با سرعتی حلزون مانند سرعت آن تغییر می‌یابد.

اینست آنچه منظور ما از جرم عادی یا انرژی آرمیده می‌باشد.

۴

بلندترین آبشار

هر جسم در حال سقوط اندکی از انرژی آرمیده را از دست می‌دهد.
ثقل می‌تواند نور را متوقف و ایجاد سیاه‌چال کند.
هر جسم در حال سقوط به داخل سیاه‌چال مقدار زیادی از انرژی آرمیده را آزاد می‌نماید.
اضمحلال ستارگان ایجاد ثقل شدید می‌نماید.
انرژی آرمیدهٔ آزادشده در اثر ثقل می‌تواند مبیّن وقایع کیهانی شدید باشد.

* * *

درست همان‌گونه که انتظار می‌رود انرژی جسم شما روزی در اثر برخورد با ضد ماده رها گردد، به همین طریق اگر بدشانسی بیاورید و در سیاه‌چال سقوط کنید، تمام یا قسمتی از انرژی جسم‌تان آزاد خواهد شد. نگریستن به مفاهیم سیاه‌چال‌ها، همچون گره‌های ثقلی که ماده را در دامهای گریزناپذیر خود اسیر می‌سازند، راه دیگری است برای استنباط معادلهٔ $E=mc^2$ این دیدگاه که از جسم در حال سقوط تحت تأثیر ثقل می‌توان اندکی انرژی بدست آورد، نظری آشناست. مثلاً ملّت‌هائی که دارای سرزمینهای کوهستانی هستند، مقدار زیادی برق از آبشارها می‌گیرند. آب رودخانه در آنجا که از دامنهٔ کوه سرازیر می‌شود، توربین‌های نیروگاه هیدروالکتریک را به حرکت درمی‌آورد. هرچه ارتفاع

آب از محل سقوط تا توربین بیشتر باشد می‌توانید انرژی بیشتری بدست آورید. آب بیشتر رودخانه‌ها از سطح دریا پائین‌تر نمی‌رود، امّا می‌توان آنرا در گودالی عمیق همچون **بحرالمیت**[1] و **فرورفتگی قطارا**[2] در خاورمیانه، هدایت و انرژی بیشتری بدست آورد.

حداکثر این ارتفاع چقدر است؟ مهندسی دیوانه را تصور کنید که از «ارتفاع» آب برای کار خود راضی نیست.

او پیشنهاد می‌کند که با حفر چاهی بسیار عمیق تا مرکز زمین طرحش کامل گردد.

قاعدتاً مهندس ما می باید از سرازیر کردن آب به داخل چاه مقدار زیادی انرژی بدست آورد، امّا نه آنقدرها که مورد انتظار اوست. همچنانکه چاه را عمیق‌تر می‌کند، سنگ‌های فوقانی شروع می‌کنند به خنثی کردن سنگ‌های زیرین و همچنین هستهٔ آهنی زمین. در مرکز زمین ثقل صفر است و این موضوع مقدار انرژی قابل استحصال به این روش را محدود می‌سازد.

مهندس ما، در این دیوانگی کیهانی خود فکر می‌کند که: سنگ‌های زمین را آنچنان متراکم سازد تا به مقداری کم تبدیل شده و آب‌های آن در اطراف این مادهٔ متراکم به گردش درآمده و مرتفع‌ترین آبشار ممکنه را تغذیه نمایند.

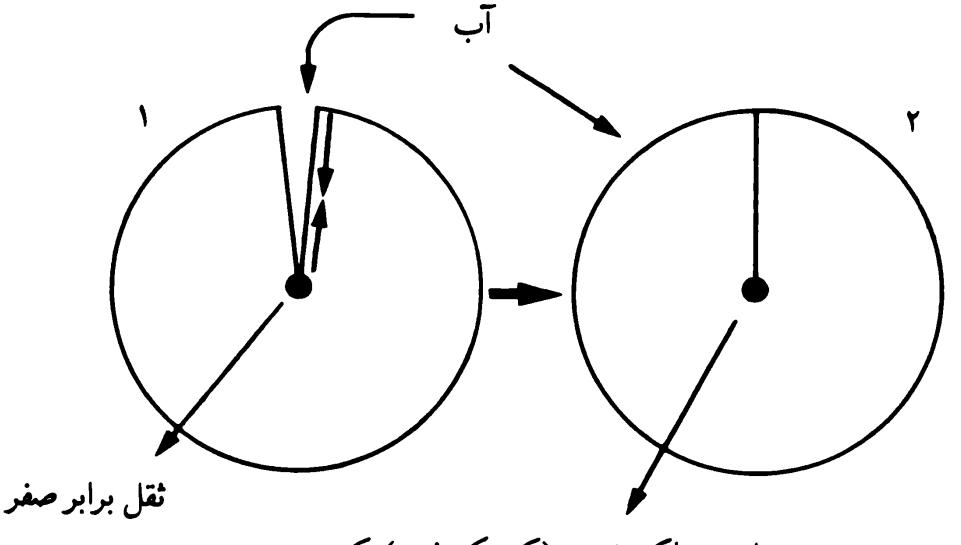
1. Dead Sea 2. Qattara Depression

۲. فرورفتگی قطارا، درشمال مصر واقع شده است. مساحت آن حدود ۱۸۰۰۰ کیلومتر مربع و متشکل از مرداب‌ها و دریاچه‌های نمک است و ۱۳۳ متر پائین‌تر از سطح دریا قرار دارد. در جنگ جهانی دوم به علّت غیر قابل عبور بودن آن، به صورت مانع طبیعی عمده‌ای بین ارتش‌های انگلستان و آلمان در نبرد معروف العلمین که بین مونتگمری و رومل درگرفته بود، درآمد. م

ضمن صحبت از اصول کیهانی، اجازه دهید که مشکلات عملی، خود سخن بگویند.

اگر او (مهندس) تسمه‌های فشاردهندهٔ مناسبی برای متراکم ساختن زمین یافته و آنرا چنان متراکم سازد که قطر زمین از ۸۰۰۰ مایل به کمتر از یک اینچ برسد، در چنین حالتی نیروی ثقل، ارتفاع هیدرولیکی بسیار بیشتری را هم می‌تواند تحمل نموده و در نزدیکی‌های مادهٔ متراکم زمین در وضعیت جدید (۲)، ثقل بسیار نیرومندتر خواهد بود. درواقع مهندس مورد نظر یک سیاه‌چال ایجاد نموده است، جائی که در آن نیروی ثقل چنان زیاد است که حتیٰ نور را هم از آن گریزی نیست.

اکنون اگر شروع کند به ریختن آب به طرف زمین کوچک شدهٔ متراکم، پاداش خود را خواهد گرفت زیرا هر قطرهٔ آب آنچنان شتاب می‌یابد که تقریباً به سرعت نور می‌رسد. بهره‌برداری از قسمت عمده یا تمامی انرژی آرمیده اکنون امکان‌پذیر است و هر قطرهٔ آب معادل صدها تن مادهٔ منفجره خواهد بود.



ماده متراکم زمین (کوچک‌شده) که در مجاورت آن ثقل نیرومندتر است.

* طرح از مترجم.

برای کسب بهترین نتایج، مهندس ما باید با آقای راجر پن‌رُز[3] یکی از برجسته‌ترین متخصصین نسبیت امروز مشاوره نماید. در دههٔ ۱۹۶۰ او بسیاری از طرح‌های اساسی سیاه‌چال‌ها را پی‌ریزی نمود.

او همچنین ماشینی را تجسم نمود که قادر بود با انداختن زباله‌های یک تمدن پیشرفته به داخل سیاه‌چال، تمامی احتیاجات انرژی چنین تمدنی را پاسخگو باشد.

شرط اوّلیه اینست که سیاه‌چال باید در حال دوران باشد.

یک سیاه‌چال در حال دوران دارای منطقه‌ای حاشیه‌ای است که چون اجسام در حال سقوط بدان منطقه برسند، هنوز امکان فرار این اجسام وجود دارد.

در ماشین پن‌رُز مردم سطل‌های زباله‌شان را در سیاه‌چال می‌اندازند. این سطل‌های زباله ممکن است به سرعت نابود شوند امّا قبل از اینکه چنین اتفاقی بیفتد هر سطلی زبالهٔ خود را تخلیه می‌نماید. درضمن این عمل انرژی جنبشی‌ای حاصل می‌شود که برابر با کل انرژی آرمیدهٔ زباله‌هاست (یا حتی بیشتر، ولی بهرجهت این موضوعی پیچیده است). مقدار انرژی چنان زیاد است که مانع از بلعیدن سطل‌ها توسط سیاه‌چال شده و می‌تواند سطل‌ها را به پایگاه اصلی‌شان برگرداند. سطل‌ها در بازگشت با چرخ طیاری[4] درگیر می‌شوند که انرژی جنبشی‌شان را تبدیل به انرژی الکتریکی نموده و ضمناً سرعت آنها را نیز کاهش می‌دهد به قسمی که مجدداً قابل استفاده باشند.

آب نیز همچون زباله عمل خواهد کرد. یا بخاطر داشته باشید که انرژی آرمیدهٔ جسم انسانی چنان عظیم است که، ساکنان شهر سیاه‌چال[5]

3. Roger Penrose 4. Flywheel 5. Black Hole City

می‌توانند در صورت تمایل عشاق خود را در سیاه‌چال مدفون ساخته (و تابوتش را پس بفرستند. م) سطل مثل تابوتی خواهد بود که مجدداً قابل استفاده است و ارثیهٔ اونتی لو[6] برای بستگانش یک میلیون میلیون ($۱۰^{۱۲}$) کیلووات ساعت انرژی مفید خواهد بود که به مقیاس زمین و در حال حاضر بیلیون‌ها دلار ارزش دارد. این نوع تکنولوژی‌ها البته افسانه‌اند، امّا انرژی آرمیدهٔ مادهٔ معمولی افسانه نیست.

و از قرار معلوم طبیعت می‌داند چگونه مقدار زیادی از این انرژی را چه از طریق سقوط ماده در سیاه‌چال یا از طریق سقوط آن در دیگر ستارگان رو به اضمحلال، استخراج نماید.

فیزیکدانان قرن نوزدهم دربارهٔ انرژی و عمر خورشید در اشتباه بودند و البته با توجه به اطلاعات محدود آنها دربارهٔ ثقل به عنوان منبع انرژی کیهانی، حق با آنها بود. با متراکم ساختن ماده، ثقل موجب آزاد ساختن مقدار عمده‌ای از انرژی آرمیدهٔ ماده می‌گردد. ارتباط بین $E=mc^2$ و ثقل ما را به سرنوشت خورشید، ستارگان در حال انفجار و کهکشان‌ها راهنمائی می‌کند.

خورشید و اغلب ستارگان قابل رؤیت در آسمان با حداکثر سرعت در حرکت بوده و به‌طور پیوسته و یکنواخت سوخت هیدروژنی خود را به کار می‌گیرند.

گرمای هسته‌ای که در مرکز گداختهٔ ستاره ایجاد می‌شود، مواد آنرا به بیرون پرتاب نموده و بدین وسیله ثقل نیرومندی را که می‌خواهد مواد را بدرون متمرکز نماید خنثی می‌کند.

نیروهای مخالف در نقطه‌ای همدیگر را خنثی می‌کنند که در آن

6. Auntielou

نقطه مثلاً در مورد خورشید. چگالی متوسط‌مان بیشتر از چگالی آب در زمین نیست. در مرکز خورشید چگالی ماده صدها برابر چگالی آب است.

هنگامی‌که سوخت هسته‌ای ستاره‌ای شبیه خورشید پایان پذیرد، منبسط و به‌طور ناگهانی شعله‌ور (به دلایلی که ذکر آن در اینجا ضرورت ندارد) و سپس تحت تأثیر ثقل متلاشی و به کوتوله‌ای[۷] سفید که نوعی ستاره است تبدیل می‌شود.

این کوتوله‌های سفید برای اخترشناسان شناخته شده هستند. نخستین آنها که کشف گردید، ستاره‌ای کم‌رنگ و همراه با مشخص‌ترین ستارهٔ آسمان یعنی شعرای یمانی[۸] بود. در یک کوتولهٔ سفید، ماده آنچنان تحت نیروی ثقل متراکم می‌گردد که چگالی‌اش یک میلیون برابر چگالی آب می‌شود. یک کوتولهٔ سفید که ماده‌اش از همان جنس مادهٔ خورشید می‌باشد، از نظر بزرگی فقط به اندازهٔ زمین است، (امّا) تحت چنین شرایطی ثقل بسیار نیرومند می‌شود و سقوط توأم ماده که موجب پیدایش کوتولهٔ سفید می‌گردد، مقادیر زیادی انرژی آزاد می‌نماید. در این آخرین انقباض ستارهٔ در حال مرگ، انرژی آزاد شده در اثر متلاشی شدن، برابرست با فقط در حدود چند ده هزار تن از انرژی آرمیدهٔ مادهٔ ستاره که به نحو قابل ملاحظه‌ای کمتر از انرژی تولید شده در اثر احتراق هسته‌ای هیدروژن در هنگام حیات قبلی ستاره می‌باشد.

ستارگانی که به مقدار زیادی سنگین‌تر از خورشید هستند به نحو بسیار شدیدتر محترق می‌شوند و عمر بسیار کوتاهتری دارند و به نحو

7. White dwarf 8. Sirius

۸. شعرای یمانی یا کاروانکش، ستاره‌ای است در صورت فلکی سگ بزرگ یا کلب اکبر (Canis Major). م

دیدنی تری در اثر انفجار سوپرنوا عمرشان به سر می‌رسد ستاره در طی چند روز انرژی‌ای بیش از آنچه در طی میلیون‌ها سال حیات قبلی خود تولید کرده است، ایجاد می‌نماید. مشهورترین انفجار از نوع آبَرنواختر[9] در سال ۱۰۵٤ میلادی توسط ستاره‌شناسان چینی ثبت شده است. بقایای ستارهٔ مورد سئوال که در اثر انفجار ابرنواختر از بین رفته است هنوز هم در حال حرکت دیده می‌شوند. آنها تشکیل سحابی خرچنگ[10] یا M_1 را داده‌اند که دو قرن قبل توسط شارل مسیه کشف گردید.

در مرکز انفجار بجای کوتولهٔ سفید ستاره‌ای تپنده[11] بجای ماند که در هر ثانیه ۳۰ بار نورافشانی نموده و انرژی رادیوئی و اشعهٔ ــ و همچنین نور قابل رؤیت پخش می‌نماید.

یک ستارهٔ تپنده ستاره‌ای خنثیٰ است که در آن تحت تأثیر نیروی ثقل بقایای مادی ستاره آنچنان متراکم شده است که به شکل توپی به قطر حدود دهها مایل درآمده است. چگالی آن بسیار زیاد و به قسمی است که وزن یک نوک انگشت مادهٔ آن به صد میلیون تن می‌رسد.

نام دیگر آن یعنی «ستارهٔ خنثی» ارتباط دارد به وضع خاص مادی ستاره که تحت چنان فشار عظیمی قرار دارد. ثقل بر نیروی الکتریکی غلبه یافته و باعث تثبیت اندازهٔ معمولی اتمها و فشردن هسته‌های تمامی اتمها می‌گردد.

طبیعت و رفتار ستارگان تپنده به نوبهٔ خود جالب می‌باشد، امّا نکتهٔ‌عمده آنست که آن اضمحلال مادی که موجب پیدایش ستارهٔ تپنده می‌شود، در حدود ۱۰ درصد از کل انرژی آرمیدهٔ جسم ستاره‌ای مادی را آزاد می‌سازد. در اینجا ثقل بر هر واکنش هسته‌ای غالب شده و شروع به

9. Supernova 10. Crab Nebula 11. Pulsar

رها ساختن بخش عمده‌ای از انرژی می‌نماید که فقط در اثر امحاء کلی ماده، قابل استحصال است.

در بعضی حالات، مادهٔ مربوط به ستاره‌ای همراه بر سطح ستارهٔ تپنده می بارد.

شدت سقوط مواد موجب گداختن ستارهٔ تپنده می‌شود که این گداختگی از نوع قرمز گداخته[۱۲] یا سفید گداخته[۱۳] نبوده و از نوع گداختگی اشعهٔ X[۱۴] می باشد.

اشعهٔ X منظماً گسیل می‌گردد، آنچنان که امواج رادیوئی و نور در هنگام متلاشی شدن ستاره خارج می‌گردد. دلیل این امر اینست که ستارهٔ تپنده دارای قطب‌های مغناطیسی بسیار نیرومند می باشد که ماده ساقط شونده را به طرف خود می‌کشانند و موجب ایجاد نقاط گداخته در سطح ستاره می‌گردد. به سبب اینکه ستارهٔ تپنده به سرعت درحال چرخش می باشد، این نقاط گداخته مکرراً به نظر می‌آیند و ناپدید می‌شوند.

بعضی دیگر از ستارگان منبع اشعهٔ ایکس که مشخص‌ترین آنها ماکیان ۱ — X[۱۵] می باشد، چنین تپش‌های منظمی نشان نمی‌دهند، هرچند که خروج اشعهٔ ایکس از آنها شدیداً نوسان می‌کند. آنها سیاه‌چال‌هائی مشکوک می باشند.

در مورد ماکیان ۱ — X بنظر می‌رسد که ماده از ستارهٔ همراه قابل رؤیت که HD ۲۲۶۸۶۸ نام‌گذاری شده است به داخل سیاه‌چال سقوط می‌کند.

سیاه‌چال ممکن است جرمی ۶ برابر خورشید داشته باشد. در هنگام انفجار ستاره‌ای غول‌آسا که عمرش به پایان می‌رسد، اثرات توأم

12. Red-hot 13. White-hot 14. X-ray-hot 15. Cygnus X-1

ثقل و واکنش انفجار درونی ستاره نسبت به انفجار لایه‌های بیرونی آن، با استفاده از مواد درونی ستاره می‌تواند موجب ایجاد سیاه‌چال بشود.

نظراً و تقریباً در عمل هم این اثرات می‌تواند حتیٰ بر نیروهای هسته‌ای که بوجود آورنده ذرات معمولی شبه‌اتمی هستند غالب شده و مادهٔ داخلی ستاره را به نحوی خارق‌العاده متراکم سازند، درست همانطور که مهندس دیوانهٔ ما در مثال زمین انجام داد. نام «سیاه‌چال» توسط جان ویلر[16] که سرکردهٔ نسبیت‌دان‌های آمریکائی وعبارت‌پردازی سرزنده بود ابداع گردید

اگر در نزدیک ستاره‌ای باشید که در حال متلاشی شدن است، شما آن ستاره را نخواهید دید امّا ستارگان پشت آن محو شده و سیاه‌چالی در آن تشکیل می‌شود.

براساس نظریهٔ نسبیت اینشتین سیاه‌چالی که شش برابر خورشید جرم داشته باشد قطر آن فقط ۲۲ مایل خواهد بود. سیاه‌چال بخودی‌خود قابل رؤیت نیست امّا یک‌چنین ستارهٔ کاملاً متلاشی شده‌ای، مولّد بلندترین آبشار است. حتیٰ بدون اختراع چیزی مصنوعی شبیه ماشین پن‌رُز، ماده‌ای که در درون یک سیاه‌چال چرخان در حال حرکت است می‌تواند تا ۴۰ درصد انرژی آرمیدهٔ خود را به شکل اشعهٔ X و سایر اشکال تشعشع آزاد سازد. هنگامی‌که یک سیاه‌چال مستمراً با ماده تغذیه می‌شود، اطراف آن به نحو وسیعی درخشان می‌شود. مادهٔ در حال سقوط به داخل سیاه‌چال قبل از آن که برای همیشه ناپدید شود، همچون فریادی که خاموش می‌شود از خود انرژی پخش می‌کند.

از نکته نظر تئوریک وجود سیاه‌چال‌های بسیار بزرگ امری

16. John Wheeler

محتمل است.

چنان سیاه‌چال‌هائی ممکن است در انفجار بزرگ آغازین، یعنی زمان پیدایش عالم به وجود آمده، از تجمع بعدی موادی که معادل تعداد زیادی ستاره‌اند، تشکیل شده باشند.

سیاه‌چال مشکوکی که در هستهٔ کهکشان M87 قرار دارد، چنانکه قبلاً ذکر شد جرم آن برابر جرم پنج بیلیون خورشید تخمین زده می‌شود. چرخش ستارگان و گاز به طرف حفره‌ای از آن نوع می‌تواند، علاوه بر تشعشع، موجب پرتاب فواره‌های داغ ماده از آن نوع که در M87 مشاهده شد، بشود.

ستاره‌شناسان به چنین منبع انرژی کیهانی نیاز داشتند. تمرکز خارق‌العادهٔ اخترنما[17]ها در اوایل سالهای دههٔ ۱۹۶۰ موجب حیرت اشخاص علاقمند به اکتشاف آنها شد. رادیو- اخترشناسان[18]، در اثر وجود مقادیر زیادی انرژی که منبع آنها کهکشان‌های گستردهٔ امواج رادیوئی یا شبه‌ستارگان خیلی کوچک یا اخترنماها بود، گیج شده بودند.

امّا آشفتگی کامل اخترنماها تا سال ۱۹۶۳ که رادیواخترشناسان در استرالیا یکی از آنها را مورد مطالعهٔ دقیق قرار دادند، معلوم نشد. مارتن اشمیت[19] یک نوراخترشناس[20] هلندی که در پالمور[21] اشتغال داشت جسم قابل رؤیت مربوط را تحت مطالعه قرار داد و نتیجه گرفت که اخترنما همچون راهی بلند و دوراست. و بنابراین پخش انرژی رادیوئی و نور از مقدار کمی از فضا بسیار زیاد می باشد.

اشمیت به من گفت: «آن شب در حالت ناباوری به خانه رفتم.

17. Quasars
18. Radio astronomers
19. Maarten Schmidt
20. Optical astronomer
21. Palmor

به همسرم گفتم وحشتناک است، امروز چیزی باورنکردنی اتفاق افتاد.»

به نظر می‌رسید که عالم از هم گسسته است. در مواجهه با یک چنین مقادیر غیرقابل محاسبهٔ انرژی، بعضی از کارشناسان شروع کردند به اندیشه دربارهٔ نیروهای مرموز جدید در طبیعت. به‌طور خلاصه، نیروی جدید نیازی به حقه‌بازی ندارد.

این ثقل اینشتینی است که تحت شرایط گستردهٔ سیاه‌چال عظیم انرژی آرمیده ستارگان ساقط شونده را منحرف ساخته و برای ارضاء اخترشناسان وجود اخترنماها را توجیه می‌کند. در این تعبیر، اخترنماها هسته‌های کوچک کهکشان‌های شدیداً منفجر شونده‌ای هستند که از ستارگان عادی بسیار درخشان‌ترند. این موضوع قابل درک است که بسیاری یا تمامی کهکشان‌ها و از جمله کهکشان راه شیری[۲۲] ما در مرکز خود سیاه‌چال‌های عظیمی دارند. در چنان حالتی اخترنماها و سایر اجسام متمرکزی که انرژی پخش می‌کنند در زندگی کهکشان‌های عادی نقش نسبتاً کوتاهی بازی می‌کنند. اخترشناسان تصور می‌کنند سیاه‌چالی که در مرکز کهکشان قرار دارد برای مدت پنجاه میلیون سال تمامی ستارگان و گازهای اطراف خود را می‌بلعد. بدیهی است که پس از آن دچار کمبود سوخت می‌شود زیرا تمامی مواد ناپایدار را مثل یک جاروی برقی بلعیده است و ستارگان باقیمانده در فاصله‌ای مطمئن بر گرد آن حرکت می‌کنند.

خورشید و زمین در اطراف راه شیری قرار دارند و یک اخترنما در مرکز کهکشان ما واقع شده که مثل نوری پیوسته در مجمع‌الکواکب قوس (کماندار)[۲۳] و به رنگ آبی روشن و به درخشندگی ماه کامل به نظر

22. Milky Way 23. Sagittarius

می‌رسد.

معلوم نیست که راه شیری هیچوقت چنین تماشائی بوده باشد: مشـــاهدهٔ حرکات ستارگان، حد بالائی جرم سیاه‌چال را در مرکز کهکشانی مشخص و معلوم نموده است که پنج میلیون برابر جرم خورشید یا یک هزارم جسم شناخته شده تحت نام M87 می باشد. هنوز هم در حال حاضر منبعی متراکم از انرژی رادیوئی در مرکز راه شیری مشاهده می‌شود که می‌توان آنرا به سیاه‌چالی مفروض که از بقایای ضعیف سوخت تغذیه می‌نماید، نسبت داد.

تعدادی از اختر فیزیکدان‌ها که معروفترین آنها فیلیپ موریسن[۲۴] و کنت برشر[۲۵] از انستیتو تکنولوژی ماساچوست (M.I.T)[۲۶] می باشند، دربارهٔ سیاه‌چال‌ها هنوز هم در تردید قرار دارند، زیرا اعتقاد فعلی‌شان نسبت به طبیعت را نفی می‌کند. درحالیکه هنوز هم متلاشی شدن ماده در اثر ثقل و آزاد شدن مقادیر زیادی انرژی از ستارگان موجد اشعهٔ ایکس یا هسته‌های کهکشان‌ها از نظر آنها مورد قبول می باشد ولی منکر این موضوع هستند که از هم گسیختن یا تجمع ستارگان مستلزم ایجاد سیاه‌چال باشد. چرخیدن ستاره‌ای عظیم می‌تواند موجب دفع اجسام متلاشی شده برای مدتی مدید گردیده و اثرات جدید «ضد ثقل» ممکن است کشف و مانع از متلاشی شدن قطعی در داخل سیاه‌چال گردد.

امّا غیرمحتمل شمردن سیاه‌چال فقط به این استناد که نظریهٔ ثقل اینشتین با نظریهٔ نسبیت عام به گور سپرده شده است، اشتباه می باشد.

برعکس، اثبات سیاه‌چال‌ها، برای هرکس گامی ضروری در

24. Philip Morrison 25. Keneth Brecher

26. Massachusettes Institute of Technology.

روشن ساختن نسبیت عام تحت شرایط گسترده می باشد. امّا علاوه بر نظریهٔ اینشتین، بسیاری از نظریات ثقلی دیگر هم سیاه‌چال ها را تقریباً بر همین روال پیش‌بینی می‌کنند. مشاهدات دقیق سیاه‌چال ها در آینده ممکن است به اخترشناسان امکان دهد که ببینند آیا آنها سیاه‌چال های اینشتینی هستند یا نوعی دیگر.

نظریه های مختلف، برای سریعترین مقدار خروج مادهٔ در حال سقوط و تأثیرات ثقل و حرکت بر مواد خروجی مشاهده شده، پیش بینی های متفاوتی می‌نمایند.

سیاه‌چال ها در عمل، پیش آزمون نظریهٔ ثقل اینشتینی می باشند.

هنگامی‌که انرژی، نخست به شکل ماده و انرژی آرمیدهٔ خود درهم انباشته می‌شود تا جسمی عظیم شبیه یک سیاره، یک ستاره یا یک سیاه‌چال بسازد، موجب تأثیر بر ماده یا انرژی مجاور خود می‌شود. و نیز باعث تأثیر ثقلی در مقیاسی عظیم و در جائی که انرژی بر انرژی اثر می بخشد، می‌گردد.

از ویژگی تأثیر متقابل اینست که موجب کاهش انرژی آرمیدهٔ ماده در جسمی که در نزدیکی منبع ثقل نیرومند قرار دارد، می‌شود.

انرژی نمی‌تواند خلق یا محو شود، بنابراین بخش از دست رفتهٔ انرژی آرمیده به اشکال دیگر ظاهر می‌شود مثلاً انرژی جنبشی آب وقتی که از جائی به پائین می‌ریزد، یا انرژی تشعشع اشعهٔ ایکس مربوط به گازی که در سیاه‌چال می افتد. روشی که در آن کاهش انرژی آرمیده در نظریهٔ اینشتین نمودار می‌شود تحت تأثیر برهم زدن اثر ثقل بر زمان بروز می‌کند. قبل از آنکه آن موضوع را دقیقاً بررسی کنیم، از موضوع منحرف شده و با بررسی در کشفیات اینشتین پیرامون طبیعت نور، که مبیّن ارتباطی کاملاً متفاوت بین انرژی و زمان می باشد، زمینه را آماده خواهم ساخت.

۵

ساعت اینشتین

بازآراستن اتمها باعث ایجاد نور دارای انرژی خالص می‌شود.
اینشتین کشف نمود که نور متشکل از ذرات است.
انرژی ذرات نور موجب ثبوت آهنگ ارتعاش می‌شود.
نور قادر است با تحریک اتمها، باعث گسیل نوری مشابه بشود.
انتشار تحریک شده (نور) در پرتوهای لیزر و ساعت‌های اتمی به کار می‌رود.

* * *

برای استنباط نسبیت، لازم نیست که بدانیم ساعت‌های اتمی چگونه کار می‌کنند. وقتی که آلبرت اینشتین نظریات خود را تکمیل می‌نمود، این ساعت‌ها هنوز وجود نداشت. امّا او خود دو اصل غیرمنتظره‌ای را که بنیاد کار این ساعت‌ها بر آن دو می‌باشد کشف نمود. از آن نظر، اینشتین پدربزرگ ساعت اتمی که نیم‌قرن بعد شالودهٔ نگهداری زمان به طریق نوین بر آن قرار گرفت می‌باشد.

هر اتمی در عالم، یک ساعت طبیعی است، زیرا مطابق بسامدهای دقیقی نور را جذب و دفع می‌نماید. نگهداری زمان اغلب مبتنی بر شمارش منظم یک سلسله وقایع می‌باشد، از جمله تغییرات شب و روز، حرکت پاندول یا چرخ تنظیم، ارتعاشات بلور کوارتز و غیره.

در مورد نور، ارتعاشات الکتریکی است. بسامد نور قابل رؤیت در

حدود ۵ میلیون بیلیون (۵×۱۰^{۱۵}) ارتعاش در ثانیه می باشد. از طرف دیگر رنگین کمانی کیهانی از تشعشعی نورمانند وجود دارد که در یک طرف آن انرژی رادیوئی با بسامد بسیار پائین و فقط چند بار در ثانیه و در طرف دیگر طیف، اشعهٔ گاماست که بسامد آن یک بیلیون بار بیش از امواج قابل رؤیت می باشد (یعنی $۵ \times ۱۰^{۲۴} = ۱۰^{۹} \times ۱۰^{۱۵} \times ۵$ ــ م).

با اینهمه تمام این اشکال انرژی با سرعت واحد طی طریق نموده و خصوصیات عمومی شان یکی است.

وقتی که نسبیت‌دان‌ها از «نور» صحبت می‌کنند، معمولاً منظورشان پرتوهای الکترومغناطیس در وسیع‌ترین مفهوم می باشد و نه فقط نور قابل رؤیت. بسامد نوری که در اثر رویدادی خاص در اتمهای معینی ایجاد می‌شود، دقیقاً مشخص است. «رویداد» عبارتست از باز آراستن ذرات داخل اتمها که موجب دفع یا جذب انرژی به شکل نور می‌شود. از آنجا که طرز قرار گرفتن ذرات هر اتم به شکلی معلوم و مشخص می باشد، لذا انرژی نور هم به همین ترتیب معلوم است. و اینشتین کشف نمود که بسامد نور دقیقاً به انرژی آن بستگی دارد.

اینشتین فیزیکدانی همه کاره بود. او سال های نخستین حرفه ای خود را در ادارهٔ ثبت اختراعات سویس، در برن و به عنوان بررسی کنندهٔ اختراعات گذراند. این حرفه او را وامیداشت که با مسائل تجربی گوناگونی برخورد و ذهن خود را فعال سازد، امّا او وقت کافی داشت تا اندیشه های خود را تعقیب و مقالات نظری تحریر نماید. در ۱۹۰۵ مدت کوتاهی قبل از اینکه نخستین نظرات خود را دربارهٔ نسبیت و $E=mc^2$ متبلور سازد، دست به‌نوشتن مقاله ای زد که بعدها جایزهٔ نوبل را برایش در پی داشت، درحالیکه هنوز مسألهٔ نسبیت موضوعی جنجالی تلقی می‌شد. در آن مقاله او اظهار داشت که نور متشکل از ذرات است.

در اوایل سالهای ۱۹۰۰ آزمایش کنندگان آلمانی، در توجیه «اثر فتوالکتریک» کاملاً گیج بودند. وقتی که نور (مخصوصاً اشعهٔ ماوراء بنفش) بر صفحه‌ای فلزی می درخشید باعث آزاد شدن الکترون از روی صفحه می‌شد. طبیعتاً انتظار می‌رود که با تضعیف پرتو نور، الکترون‌های مجزا که از صفحه رها می‌شوند دارای انرژی کمتری باشند، امّا آزمایش نشان داد که چنین اتفاقی نمی‌افتد. برای اطمینان بیشتر، الکترون‌های اندکی را رها ساختند امّا معلوم شد که مقدار انرژی این تعداد الکترون همانست که قبلاً و در آزمایشات دیگر بود.

برای فیزیکدانانی که تصور می‌کردند نور متشکل از موج می باشد این موضوع غیرعادی می‌نمود و مثل این بود که موج آرامی از اقیانوس به طرف بندر حرکت نموده و فقط یکی از کشتی ها را برداشته و آنرا صد پا در هوا پرتاب کند.

اگر نور از ذرات تشکیل می‌شد، یعنی به شکل گلوله‌ای که طبیعتاً انرژی خود را بر یک الکترون بتواند متمرکز سازد، موضوع کامل به نظر می‌رسید.

آزمایشات همچنین نشان داد که نور با بسامد زیاد، نسبت به نوری که بسامد آن کم است الکترون‌ها را با انرژی بیشتری از صفحهٔ فلزی آزاد می‌سازد.

اینشتین متوجه شد که انرژی ای که توسط ذرات نور منتقل می‌شود بستگی به بسامد نور یعنی تکرار آن در هر ثانیه دارد و چنانچه بسامد دو برابر گردد، انرژی هر ذرهٔ نورانی نیز دو برابر خواهد شد. این موضوع سر نخ اصلی برای نظریه‌پرداز اتمی دانمارکی نیلز بور[1] گردید تا دفع و جذب نور

1. Niels Bohr

را براساس باز آراستن ذرات هر اتم تفسیر نماید.

همهٔ اتم های هر نوع معین، مثلاً هیدروژن کاملاً یکسان هستند. طبیعت آنها را، دقیق‌تر از هر کارخانهٔ بشری و به مقدار زیاد تولید می‌نماید. نه‌تنها در زمین بلکه در کل کائنات قضیّه به همین شکل است. نتیجتاً یک اخترشناس می‌تواند رویدادهای معینی در انواع مشخص اتمها را در سیاره‌ای که میلیون‌ها سال نوری از ما فاصله داشته و یا در اخترنمائی با فاصلهٔ یک بیلیون سال نوری تشخیص دهد و هنگامی‌که او نور حاصله از سیاره یا اخترنمائی را به شکل طیفی با بسامدهای مختلف درمی آورد، نمونه هائی از خطوط روشن یا تاریک را مشاهده می‌نماید که نمایانگر دفع یا جذب در اتمهاست.

هر اتمی، خطی معیّن بوجود می‌آورد، درست مثل آثار انگشت و بنابراین اخترشناس می‌تواند راجع به ترکیب و موقعیت کلی آن جسم دوردست اظهارنظر کند.

بسامد هیچیک از خط ها، دقیقاً همان نخواهد بود که بر روی زمین است، بلکه اخترشناس می‌تواند با تفاوت هائی اثرات مغناطیس را معلوم و نیز با استفاده از پدیدهٔ داپلر بگوید که آن جسم چقدر گرم است و نسبت به زمین با چه سرعتی حرکت می‌کند.

بسامد بسیار زیاد تقریباً همهٔ انواع نور، دارای این مفهوم است که در اصل می‌توان هر ثانیه را به دفعات زیاد تقسیم و لذا فواصل بسیار کوتاهی را محاسبه نمود. امّا اتمها به عنوان ساعت یک عیب عمده دارند و آن اینست که وقتی اتمی در اثر دفع یا جذب ذرهٔ نور وضعیت خود را تغییر داد، دیگر به این عمل ادامه نمی‌دهد. پرش کوتاهی انجام می‌دهد، حداقل تا هنگامی‌که آرام شده و به موقعیت سابق خود بازگشته و آماده برای تکرار همان کار گردد. درنتیجه نور به‌طور تصادفی از

مجموعه‌ای از اتمها خارج می‌شود.

هر ذرهٔ نور را می‌توان همچون رشتهٔ کوتاهی از امواج تصور کرد که با ارتعاش الکترومغناطیسی و وضعیت مطلوب بسامدی به شکل جرقهٔ نور عبور می‌کند. تحت بیشتر شرایط طبیعی، ذرات نور مستقلاً ظاهر شده و حالت گسستگی پیدا می‌کنند.

برای نگهداری زمان، نیاز به موج پیوستهٔ نور شبیه امواج پیوستهٔ رادیوئی که مهندسین تولید می‌نمایند می باشد. آنها تعداد زیادی الکترون را وادار می سازند تا بطور هم‌آهنگ و مکرر در یک جریان متناوب الکتریکی از محلی به محل دیگر در حرکت باشند.

برای انجام این عمل نیاز به ایجاد مقدار ثابتی از اتمهاست که همه دارای وضعیتی یکسان بوده و آمادهٔ تحمل جابجا شدن داخلی (ذرات) همانند باشند. و پس از آن هریک از اتمها باید ذرهٔنور خود را آنچنان دقیق و در لحظهٔ معینی ایجاد نماید که رشته های انفرادی امواج نور با یکدیگر موجی پیوسته را تشکیل و این عمل تا بی نهایت ادامه یابد.

دومین کشف نظری بزرگ اینشتین دربارهٔ طبیعت اتمی نور این بود که پیوستگی مسأله‌ای است که به سهولت قابل دسترسی است، و این موضوع را در ۱۹۱۶، هنگامی‌که نظریهٔ نسبیت عام و ثقل را تازه تکمیل کرده بود اعلام داشت.

او چنین استدلال نمود که وقتی اتمی آماده است تا به روشی خاص خود را بازآرائی نموده و نوری با بسامد معین را خارج سازد، بنابراین می‌توان با وارد ساختن ذرهٔ دیگری از آن نور در نزدیکی اتم، آن را برانگیخت و وادار به این عمل نمود. به‌عبارت دیگر انتشار تشعشع بر اثر برانگیختگی رخ می‌دهد و همچون سربازانی که به ستون خود ملحق می‌شوند، ذرات جدید نور درست یکی پس از دیگری و به موقع ظاهر

می‌شوند. اخیراً رادیو ــ اخترشناسان متوجه شده‌اند که این نوع عملیات به‌طور طبیعی در ابرهای گازی فضای بین ستارگان ادامه دارد.

کلمهٔ «لیزر» از حروف اوّل کلمات انگلیسی به مفهوم «تقویت نور با انتشار برانگیختهٔ تشعشع»[۲] گرفته شده است. تا اوایل سالهای دههٔ ۱۹۶۰ فیزیکدانها موفق به ساختن لیزرها ــ یعنی لامپهائی که براساس اصل اینشتین امواج نورانی فوق‌العاده خالص، پیوسته و متمرکز تولید می‌کنند ــ نشده بودند. لیزرها در بیست سال اوّلیهٔ پس از ظهورشان، فقط در خواندن قیمت اجناس در سوپرمارکت‌ها، ذوب کردن فلزات و اندازه‌گیری فاصلهٔ ماه به کار می‌رفتند. ایجاد تصاویر لیزری خیالپردازانهٔ جدید هم محصول فرعی لیزرها بود. و برای فلاسفهٔ طبیعی هم لیزر نظریات متناقض ماهیت ذره‌ای و ماهیت موجی نور را آشتی داد. ذرات در حال نوسان را کنار هم قرار دهید و آنها تشکیل موجی منظم را خواهند داد.

ساعت اتمی اندکی زودتر از لیزر ساخته شد، بدین معنیٰ که در ۱۹۵۵ که سال مرگ اینشتین بود ساعت اتمی عملاً برای نگهداری زمان مورد استفاده واقع شد. این ساعت براساس همان اصل به کار رفته در تهیهٔ امواج کوتاه رادیوئی یا مایکرویوها ساخته شده بود.

ساعت اتمی استاندارد از پرتوهای پیوستهٔ عنصر سزیوم[۳] استفاده می‌نمایند. اتمهای این عنصر می‌توانند به نحو معینی خود را بازآرائی و موجب انتشار مایکرویوها (امواج کوتاه) بشوند.

در محفظه‌ای در داخل ساعت، اتمها یکدیگر را برانگیخته و موجب تغییر و تولید موجی پیوسته با بسامدی دقیق می‌شوند. از موج حاصله

2. Light amplification by stimulated emission of radiation 3. Caesium

برای تنظیم ارتعاشات بلور کوارتز استفاده می‌شود. بلور کوارتز به نوبهٔ خود انگشتی الکترونیک را که زمان را نشان می‌دهد، به حرکت درمی‌آورد. سزیوم تنها عنصری نیست که در ساخت ساعتهای اتمی به کار می‌رود. برای بسیاری از کارهای عملی از رادیوم استفاده شده و برای ساعتهائی که در کارهای علمی و در جائی که وقت استثنائی لازم است از هیدروژن استفاده می‌گردد.

از سال ۱۹۶۷ به‌طور رسمی و در سطح بین المللی محاسبهٔ زمان با استفاده از ساعتهای اتمی سزیوم صورت می‌گیرد. امروزه هر ثانیه با ۹,۱۹۲,۶۳۱,۷۷۰ ارتعاش تشعشع مایکروویو انتشار یافته از اتمهای سزیوم ــ ۱۳۳ مشخص می‌گردد. در طی این مدت، باز آرایش اتمی خاصی در اتمهای سزیوم انجام می پذیرد.

حدود ۸۰ ساعت اتمی در آزمایشگاههای دولتی در سراسر جهان منظماً قرائت و نتیجهٔ آنها در «دفتر زمان»[۴] واقع در پاریس نگهداری می‌شود. پس از بررسی و تعیین دقیق‌تر ساعت، دفتر مذکور زمان اتمی معدل را به جهان اعلام می‌دارد. ساعت اتمی به عنوان نگهدارندهٔ زمان بسیار مطمئن‌تر از گردش زمین و حرکات ظاهری خورشید و ستارگان می باشد. درواقع زمین فیزیکدان[۵]ها می‌توانند به کمک ساعت اتمی تغییرات بسیار جزئی در طول روز را مطالعه نمایند. هرچندگاه ممکن است زمان رسمی را اصلاح و اعلام کنند که زمان باید یک ثانیه به جلو یا عقب کشیده شود تا اختلاف بین ساعت اتمی و زمان نجومی تصحیح گردد.

امروزه از هزاران ساعت اتمی در گوشه و کنار جهان استفاده

4. Time Bureau

5. Geophysicists

می‌شود، بنابراین ساعتهای اتمی دیگر از حالت کنجکاوی آزمایشگاهی خارج شده‌اند. این ساعت‌ها در مقابل اثرات گرما، سرما و ضربات مکانیکی مقاوم هستند. نوع تجارتی این ساعتها به اندازهٔ یک گنجه و به وزن حدود ۵ پوند می‌باشد، هرچند که ساختن انواع کوچکتر در حال انجام می‌باشد.

اکنون با استفاده از این ساعت‌ها اندازه‌گیری زمان به دقت یک میلیونیم در روز امری کاملاً عادی بوده و حتیٰ دقت‌های بیشتر برای مدت‌های محدود و در تحقیقات علمی با استفاده از هیدروژن بجای سزیوم مقدور می‌باشد. و در این جهان واقعی ساعتهای بسیار دقیق، وقت نگهداران رسمی نتایج حاصله از نسبیت را در مقابل خود احساس می‌کنند.

اینشتین پیش‌بینی کرد که ساعت‌ها تحت تأثیر حرکت و ثقل قرار گرفته و تنظیم آنها دارای اهمیت علمی و اساسی است. مثلاً کشتی‌ها و هواپیماها علائم رادیوئی از قبیل لوران ــ C[۶] و امگا[۷] را برای اعلام دقیق موقعیت خود از فرستنده‌های دوردست به‌کار می‌گیرند، بنابراین دریافت زمان دقیق پیام بسیار واجد اهمیت است. این سیستم ارسال پیام را می‌توان آنقدر تصحیح کرد که موقعیت آنها را با احتساب چند پا خطا از محل استقرار تعیین کند، البته شرطش آنست که تمام فرستنده‌های سراسر جهان هم‌زمان باشند. امّا اگر نکته نظرهای مربوط به نسبیت مورد توجه قرار نگیرند باز هم امکان خطا وجود دارد و نتیجه این می‌شود که دریانورد یا خلبان، خود در حالیکه در پهنهٔ زمین در حرکت است مرتباً خطاهای نسبیتی خود را اصلاح نموده و تا مکرراً ساعت خود را

6. Loran-C 7. Omega

در مکانهای معین اصلاح نکند این خطاها در حدّ واجد اهمیتی افزایش می یابند.

اگر موضوع را تعمیم بدهیم، معلوم می‌شود که اخترشناسان، زمین فیزیکدان‌ها، وقت نگهدارانِ رسمی در کشورهای مختلف همه می‌خواهند که درک آنها از دنیا، همزمان باشد. آنها ماهواره‌های مصنوعی را برای کمک به خود به کار می‌گیرند، امّا مشکلات فقط مشکلات تکنولوژیک نیست بلکه از نظر فلسفی هم موانعی وجود دارد، زیرا اینشتین استدلال نموده بود که اختلافات موجود در زمان از مکانی به مکان دیگر و در ارتباط با حرکت مسأله‌ای ذاتی است.

در سال ۱۹۷۱ دو فیزیکدان آمریکائی به نام‌های جی.سی هافل[8] و ریچارد کیتینگ[9] دست به انجام تجربه‌ای پیشتازانه زدند. آنها ساعت‌های اتمی سزیوم قابل حمل (برای اطمینان خاطر از ٤ ساعت استفاده شد) را در هواپیمای جت مسافربری و در سفر به دور زمین قرار دادند. نتایج بدست آمده را در شروع و پایان آزمایش با ساعتهای مرجع موجود در مرکز مشاهدات دریائی آمریکا[10] واقع در واشنگتن دی.سی مقایسه نمودند. یکی از سفرهای دور زمین به طرف شرق و دیگری به طرف غرب انجام گرفت و هردوی آنها سه روز طول کشید. نتیجهٔ آزمایش نشان داد که ساعتهای موجود در هواپیما با ساعت‌های واقع در زمین همزمان نبود.

ساعت‌هائی که به طرف شرق در حرکت بودند در مقایسه با ساعتهای واشنگتن ۵۹ بیلیونیم ثانیه[11] عقب‌تر و ساعت‌هائی که به طرف

8. J.C.Hafele
9. Richard Keating
10- US Naval observatory.
11. Nanosecond

غرب در حرکت بودند ۲۷۳ بیلیونیم ثانیه جلوتر بودند. در عالم نیوتن برای یک چنین اختلافات معتبر و دقیق صنعتی محاسبه‌ای وجود ندارد. چگونه است که اتمها می‌توانند زمان را انکار کنند؟ امّا نتایج حاصله انتظارات هافل و کیتینگ را از دیدگاه عالم اینشتین به نحو رضایتبخشی برآورد.

با درنظر گرفتن مسیری که خلبان‌ها به شرق و غرب طی می‌نمودند، آزمایش کنندگان براساس نظریهٔ نسبیت متوقع بودند که این اختلاف به ترتیب برابر ۴۰ و ۲۷۵ بیلیونیم ثانیه تأخیر و تسریع باشد.

با انجام این آزمایش دو تأثیرعمده بر زمان تأیید شد. اوّلین و اساسی‌ترین آن اینست که ساعت‌ها در ارتفاع زیاد سریعتر حرکت می‌کنند زیرا دراینجا اثر ثقل ضعیف‌تر است و از این نظر تأثیر ثقل بر هردو هواپیما (که در دو جهت مخالف در حرکت‌اند ــ م) یکسان بوده و اختلاف زمان ساعت‌ها تحت تأثیر نکتهٔ مهم و حساسی از نظریهٔ اینشتین می‌باشد و مربوط به این می‌شود که آیا مسیر حرکت‌ها در جهت حرکت زمین است و یا خلاف آن.

این آزمایش، نمایشی مقدماتی از تأثیرات واقعی نسبیت بر نگهداری زمان بود و در تجارب بعدی موضوع با دقت بیشتری صورت گرفت.

به عنوان تشجیع برای مواجه شدن با ویژگی‌های زمان، که در فصول بعدی بیشتر شکافته خواهند شد، بجا خواهد بود اگر بگوئیم این آزمایش یادآور حیرت شدید نخستین دریانوردان می‌باشد. هنگامی‌که همکاران باقیمانده فردیناند ماژلان[۱۲] از سفر دور دنیای سال‌های ۲۲ــ۱۵۱۹ به وطن بازگشتند آنها متوجه شدند که یک روز را گم

12. Ferdinand Magellan

کرده‌اند. ممکن است موضوع را اینطور توجیه کرد که آنها یک روز تمام را مست بوده‌اند، امّا حقیقت اینست که گاه‌شمارچوبی آنها بسیار دقیق بود. دانشمندان پرتقالی به فکر خود فشار آوردند و بزودی متوجه شدند که چه اتفاقی افتاده است بدین معنیٰ که اگر بخواهید زمان را با شمارش طلوع آفتاب نگهداری کنید و ضمناً از طرف غرب زمین را دور بزنید، در مقام مقایسه با برادرتان که در وطن می‌باشد یک طلوع آفتاب کمتر خواهید دید. به عبارت دیگر ساعت خورشیدی شما کند کار می‌کند.

بدست آوردن یا از دست دادن روزها برای پدران ما مسأله‌ای تکان دهنده بود. آنها تصور می‌کردند که ایّام آنها با توجه به تاریخ‌های مرگ و میر، «شمارش» شده و معلوم است. امروزه بسیاری از مسافرین وقتی از «خط بین‌المللی زمان»[۱۳] در وسط اقیانوس آرام می‌گذرند برحسب اینکه به طرف غرب یا شرق سفر کنند روزی از دست داده یا روزی بدست می‌آورند. باید قبول کرد که مطلب هنوز هم اندکی غریب به نظر می‌رسد، امّا با آشنا شدن بیشتر با موضوع و شرحی ساده راز مطلب روشن می‌شود. بنابراین بگذارید موضوع را به خود نسبیت واگذار کنیم.

13. International dateline

۶

بی‌وزنی

بنیاد نسبیت عام بر ثقل است.
کسی که در حال سقوط آزاد باشد، نیروی ثقل را احساس نمی‌کند.
سفاین فضائی در وضعیت سقوط آزاد، بی‌وزن‌اند.
سقوط زمین در پهنهٔ عالم با سرعت زیاد صورت می‌گیرد.
ثقل بر فضا اثر می‌گذارد.

* * *

در مبحث نسبیت عام، آلبرت اینشتین نظریهٔ ثقل را مجدداً مورد بررسی قرار داد و تأیید یکی از پیش‌بینی‌هایش در سال ۱۹۱۹ توسط اخترشناسان موجب شهرت جهانی وی گردید.

او به عنوان یک نابغه مورد تحسین قرار می‌گرفت و مظهر بهترین تلاش‌های اندیشمندانهٔ بشر گردید. بدبختانه، علیرغم کوشش‌های اینشتین برای روشن ساختن مطلب، نسبیت هنوز هم غیرقابل درک به‌نظر می‌رسید. در آن هنگام خبرنگار روزنامه‌ای از اینشتین پرسید که چه چیز الهام‌بخش او در نظریهٔ نسبیت عام شده است و او با ذکر مثالی که موجب این انگیزه شده بود پاسخ داد: مردی را دید که از پشت‌بامی در برلین به پائین افتاد و جراحت کمی برداشت. اینشتین از خانه‌اش بیرون آمده و از آن شخص شنید که می‌گوید اثرات ثقل را حس نکرده است ــ مطلبی که باعث ایجاد درکی جدید از عالم گردید.

بعضی مردم (از جمله رونالد. و. کلارک[1] که سخن او را در اینجا نقل می‌کنیم) این داستان را شوخی مسخره‌ای که برای تودهٔ مردم ناآگاه گفته می‌شود تلقی می‌نمایند. هرچند که در هنگام ذکر این موضوع اینشتین با زبان خود شکلک درمی‌آورد، امّا کاملاً جدی بود و عصارهٔ نظریهٔ خود را به شکل دقیق و روشن بیان داشت. درواقع در نسخهٔ منتشر نشده‌ای که اخیراً به وسیلهٔ جرالد هلتون[2] آشکار گردیده است، اینشتین موضوع را به شکلی نوشته است که فقط کمی تخصصی‌تر می‌باشد، او نوشته بود:

«سعادت‌بخش‌ترین اندیشهٔ زندگی من امروز به سراغم آمد.... اگر انسان ناظری را در حال سقوط آزاد ببیند، مثلاً ببیند که از پشت‌بام خانه‌ای سقوط می‌کند، تأثیر ثقل بر این شخص یا لااقل بسیار نزدیک به او وجود ندارد.»

مردی که از پشت‌بام می‌افتد ثقل را احساس نمی‌کند و به زبان امروزی بی‌وزن است. در نظریهٔ اینشتین سقوط احتیاج به توجیه ندارد، زیرا اگر با معیارهای کیهانی صحبت کنیم این موضوع طبیعی‌ترین چیزی است که می‌تواند اتّفاق بیفتد. فقط هنگامی‌که مانع سقوط بشویم تأثیر نیرو مشخص می‌شود. وزنی که بر کف پاهای خود حس می‌کنید نیروئی است که از پائین به بالا تأثیر می‌کند نه از بالا به پائین.

خواننده ممکن است بگوید «امّا نیروی ثقل واقعیت دارد ــ به نحو وحشتناکی هم واقعیت دارد! می‌تواند هواپیمائی را از آسمان خارج سازد. می‌تواند صعود کننده‌ای را از پشت‌بام یا بالای کوه به پائین انداخته و قطعه قطعه سازد.»

1. Ronald W.Clark 2. Gerald Holton

امروزه، هیچکس منکر تأثیر ثقل که گاهی وحشتناک و اغلب خسته کننده است نمی باشد، معهذا این نیرو با ممانعت از سقوط سیارهٔ ما و ناراحتی هائی که در اثر آن مترتب است، همواره‌مفید واقع می‌شود. به هرجهت همانطور که دانشمندان ثقل را یک نیرو می‌نامند، شما هم در صورت تمایل می‌توانید همین کار را بکنید. تنها سئوال مطروحه اینست که آیا بهترین راه استنباط تأثیرات ثقل صرفاً به کمک تشریح آن مقدور است یا خیر؟ قبل از آنکه کوهنورد جا پای خود را از دست بدهد نیروئی بر او تأثیر می‌گذارد، یافتن جای پا راهی است برای قرض گرفتن نیروی بالائی (رو به بالای)[۳] زمین تا در مقابل تأثیر ثقل مقاومت ایجاد شود. وقتی که کوهنورد بر زمین پا می‌گذارد درواقع نیروئی بر او اثر می‌کند و برای لحظه‌ای این نیرو بسیار قوی‌تر از قبل می باشد زیرا ناگزیر است که نیروی مربوط به سقوط خود را نیز خنثی کند. امّا در هنگام سقوط تنها نیروی مؤثر بر او عدم مقاومت کافی هواست. کوهنورد حس می‌کند که زمین «به طرفش می‌آید تا به او اصابت کند». از دیدگاه نسبیت بهترین طریق شرح موضوع همین است.

علیرغم همهٔ مشکلاتی که صرفاً بخاطر دو پای انسان دامنگیر او می باشد، انسان‌ها همواره تلاش فکری وسیعی انجام می‌دهند تا بتوانند در مقابل نیروی ثقل صحیح و سالم بمانند. بسیاری از قابلیت‌های انسانی در این‌خصوص، ذاتی است. بگذارید کودکی که تازه متولد شده است سرش اندکی پائین بیفتد و او طوری به اطراف چنگ خواهد انداخت که انگار دنبال موهای مادرش می‌گردد تا از سقوطش مانع گردد. ترس از سقوط در بسیاری از حیوانات عکس‌العملی طبیعی است. در یک رشته

3. Up Ward force

آزمایش‌های مشهور که در اوائل سالهای دهۀ ۱۹۶۰ بوسیلۀ روانشناسان آمریکائی صورت گرفت، حیواناتی از انواع مختلف را بر بالای پرتگاهی آزمایشگاهی قرار دادند و در کنار آن صفحۀ شیشه‌ای گسترده‌ای که حیوانات در صورت تمایل می‌توانستند بدون خطر سقوط روی آن راه بروند گذاشته شد.

تمام حیوانات مورد آزمایش به جز بعضی از انواع پرنده و شناگر پس از رسیدن به محل پرتگاه خودِ را به عقب می‌کشیدند. عکس‌العمل بزغاله‌ها در نخستین روز زندگی و واکنش اطفال انسانی با شروع خزیدن آغاز گردید.

در حفره‌های کوچک داخل گوش‌های ما استخوانی گچی به نام سنگ گوش[4]ها وجود دارند که چنانچه بوسیلۀ موهای داخل حفره‌ها فواصل آنها اشغال نگردد، به طرف زمین می‌افتند. اعصابی که در قاعدۀ این موها قرار دارند به فشار وارده از طرف سنگ‌ها که با ارسال علائم به طرف مغز صورت می‌گیرد، واکنش نشان داده و می‌گویند «پائین این طرف است». سرتان را به اطراف خم کنید، مجموعه‌ای از موهای مختلف تحت تحریک سنگ‌ها قرار خواهند گرفت. احساس سقوط همواره همراه شماست مگر آنکه در سفینه‌ای فضایی مستقر باشید.

فضانوردانی که زندگی واقعی را در آزمایشگاههای فضائی اسکای‌لاب[5] آمریکا و یا سالیوت[6] شوروی تجربه می‌کنند، برای ماهها تحت شرایط بی‌وزنی که در آن نیروی ثقل صفر بوده و سقوط آزاد مقدور می‌باشد، قرار می‌گیرند. درحالیکه سفینه‌شان هزاران بار زمین را دور می‌زند آنها به قسمی که قبل از آن هیچ آکروباتی نتوانسته است، به هر

4. Otoliths 5. Skylab 6. Salyut

شکلی که بخواهند جست و خیز یا استراحت می‌کنند.

مایعات ریخته شده به صورت قطره‌های ریز در هوا معلق می‌مانند، اشیاء آزاد، در داخل کابین‌ها به حرکت درمی‌آیند و فضانوردان ناگزیرند برای ممانعت از پخش غیرقابل تحمل ضایعات و زباله‌ها در اطراف خود از توالت‌های مخصوص خلاء استفاده کنند. قد اشخاص بلندتر و استخوانهای‌شان ضعیف‌تر می‌شود. چنان زندگی غریبی خلاصهٔ ثقل اینشتینی است.

سفینه‌ای که موتورهایش خاموش باشد در حالت سقوط آزاد قرار گرفته و هیچ نیروئی بر آن یا محتویاتش اثر نمی‌کند، علیرغم این واقعیت که سفینه آنچنان بر گرد زمین در حرکت است که گوئی در انتهای طنابی محکم قرار گرفته است.

هنگامی‌که ژول ورن در قرن نوزدهم مردم را در سفینه خیالی عظیم خود به طرف ماه به پرواز درمی‌آورد، درواقع این ذکاوت و تیزبینی را داشت که بی‌وزنی را متوجه شود. امّا او به ظاهر قضیه پرداخت و استدلالش کاملاً غلط بود، به نحوی که حتیٰ موجب گردید آنچه قبل از اینشتین راجع به ثقل اندیشیده می‌شد، دچار نارسائی گردد.

از نظر ورن، بی‌وزنی و سایر حرکات همراه آن فقط برای مدت کوتاهی از سفر و در هنگامی‌که ثقل ماه و زمین یکدیگر را خنثی می‌کردند میسّر بود. امّا می‌دانیم که ــ نه‌تنها با استدلال بلکه با آزمایش هم ــ این عقیده‌ای خطاست.

آپولوهائی که به طرف ماه پرتاب شدند تمام سفر را در حالت بی‌وزنی طی طریق نمودند ــ درست مثل اسکای‌لاب، سالیوت و همهٔ سفاین دیگری که وقتی موتور آنها خاموش می‌شود عمل می‌کنند.

اسحق نیوتون چنین اشتباهی مرتکب نشد. او تشخیص می‌داده

است که سفینهٔ ماه‌نشین و محتویات آن، در حالت سقوط آزاد، بر ماه فرود می‌آید، یعنی کاملاً تحت تأثیر ثقل (ماه ــ م) زیرا همچنانکه از زمین بالا می‌رفته‌اند از سرعت‌شان کاسته می‌شده است. مسافران سفینهٔ ورن از کشش زمین[۷] همانقدر آگاه بودند که ما از تأثیری که این نیرو توسط خورشید بر زمین اعمال می‌کند.

با اینهمه، عقاید نیوتون مبنی بر اینکه نیروهای نامرئی از زمین و ماه خارج و همچون قلاب‌های بازدارنده عمل می‌کنند، موجب تحریک خطای ورن گردید.

در فیزیک نیوتنی، شما نخست از نیروی ثقل استمداد می‌طلبید و سپس هنگامی‌که اشیاء تسلیم آن شدند، مهارش می‌کنید. این موضوع در اصل، ــ اگرچه نه در عمل ــ حرف بسیار بی‌ربطی است شما متوجه جرم زمین و هر جسمی که تحت تأثیر ثقل آن قرار بگیرد می‌شوید. بگذارید کتابی را که در داخل سفینه به آزادی در حرکت است درنظر بگیریم. (اگر مقداری محاسبات ریاضی در اینجا به کار می‌رود، فقط بخاطر این است که بدانیم ثقل نیوتنی چقدر پیچیده است.) فاصله مرکز زمین تا کتاب اندازه‌گیری و سپس گفته می‌شود که نیروی مؤثر بر کتاب متناسب است با حاصل ضرب دو جرم تقسیم بر مربع این فاصله.*

گام بعدی آنست که تأثیر نیرو بر جرم کتاب معلوم و مسیر حرکت آن با توجّه به حوزهٔ ثقل زمین محاسبه گردد. درواقع ناگزیریم این عملیات

7. Pull of Earth

* یعنی حاصلضرب جرم زمین و کتاب تقسیم بر مربع فاصلهٔ آن دو:

م · $F = \frac{m \times \acute{m}}{d^2}$

را به‌طور انفرادی برای سفینه، فضانوردان و هر جسم آزاد و وسایل نظافتی که در سفینه موجود است تکرار کنیم. توجه داشته باشید که چون آنها بی وزن‌اند، پس شتاب همهٔ آنها برابر است. باعث تعجب است اگر گفته شود که این اشیاء احتیاج به کامپیوتری که گام بعدی را محاسبه کند، ندارند. با احساس عمومی جدیدی هم که از عصر فضا بوجود آمده است، باز آسان و قابل درک نیست که همراه با اینشتین بگوئیم که: بر سفینهٔ بی وزن نیروئی تأثیر نمی‌کند ــ یا آن‌چنان که در قصهٔ مردی که در برلین سقوط کرد، آمده بود.

احساس دیرینه دربارهٔ حرکت با تجارب یومیّه تحکیم یافته است. مردم هرجا که دوست دارند قدم می‌زنند. آنها دوچرخه‌ها یا هواپیماهای جت خود را به هر مقصدی که بخواهند به حرکت درمی‌آورند.

آنها می بینند که آب در پیچ و خم دره جریان می یابد و جریان حرکت هوا را در وزش باد که از هر سو می آید، احساس می‌کنند. پرندگان و ماهیان با مهاجرت‌های عظیم خود اقیانوس‌ها را درمی‌نوردند. کوهنوردان و دریانوردان از طناب‌های خود به چابکی بالا و پائین می‌روند و سفاین فضائی یکراست به طرف ماه می تازند. به‌نظر می‌رسد که همه چیز مستقلاً و در مسیر و با سرعت منتخب خود در حرکت است. اما این استنباطی نادرست است، زیرا این منظره ــ اگر خوشایند باشد ــ مثل جست‌وخیزهای آزادانه‌ای است که موش‌ها در قفسی که به داخل هواپیما آویزان می باشد، انجام می‌دهند.

هریک یا تمامی مسافران ذکر شده را در پرتگاهی واقع در ماه بدون هوا برده و آنان را به لبهٔ پرتگاه برانید. خواهید دید که همه‌شان در جهت پائین و هم‌زمان، درست مانند اشیائی که در سفینهٔ بی وزن قرار داشتند، حرکت می‌کنند. با محاسبهٔ سرعت برابر آنها، تمامی شان در یک

لحظهٔ معین به پائین پرتگاه خواهند رسید. هیچ فرقی نمی‌کند که آنها آگاه یا ناآگاه، مهاجم یا مدافع و سنگین یا سبک باشند.

تمامی‌شان سوار بر پلکان نامرئی همگانی، که در اثر ثقل ماه ایجاد شده به طرف سرنوشت خود می‌روند. گالیله موضوع را پیش‌بینی و نیوتن با آن دچار حیرت بود، امّا فقط این محاسبهٔ اینشتین بود که معلوم ساخت چرا سرعت سقوط همهٔ اجسام در خلاء برابر است.

در عین حال، ماه نیز به خودی‌خود بر گرد زمین در حرکت است، مثل قطاری که بر خطی نامرئی حرکت کند. زمین و قمر آن یعنی ماه، توأماً بر گرد خورشید حرکت می‌کنند و خورشید و کلیهٔ وابستگان آن با سرعتی برابر ۱۷۵ مایل در ثانیه حول مَرکز کهکشان می چرخند. کهکشان نیز خود تحت تأثیر سایر کهکشان‌ها در تکاپوست.

حرکات تصادفی دلبخواه ما بر روی زمین یا ماه در مقایسه با مسیرهائی که سهم ما را در ثقل فضای کیهانی تشکیل می‌دهند، بسیار ناچیز است. رهائی از تأثیرات آنها کار آسانی نیست، زیرا در حدود سالهای ۱۹۷۰ هزینهٔ سفر هر مسافر به ماه تقریباً یک بیلیون دلار بود.

ثقل بر عالم حکم می‌راند، امّا مطابق نظر اینشتین، نیروی خود را نه با زور بلکه با اغوا اعمال می‌کند. اغوائی غیرقابل گریز که با قرار دادن راههائی آسان بر پهنهٔ فضا و زمان حاصل می‌شود. ترجیح دادن نظریهٔ قدیمی ثقل نیوتنی یا نظریهٔ جدید ثقل اینشتینی مسأله ذوق و سلیقه نیست بلکه مربوط به تجربه است. هرچند که هردوی این دو نظریه دربارهٔ تأثیر ثقل تحت شرایط آرام دقیقاً صادق می باشند ولی براساس هریک از این دو نظریه برداشت‌ها کاملاً متفاوت و در شرایط سخت کاملاً مخالف یکدیگرند. علاوه بر این نظریهٔ اینشتین تأثیراتی را پیش‌بینی می‌کند که در فلسفهٔ نیوتن به خواب هم دیده نمی‌شود. برای مقاصد عملی بسیاری از

مردم فرمول‌های نیوتن را به‌کار می‌برند، درست مثل اینکه آدمی خدانشناس ازعباراتی مذهبی استفاده کند. امّا نظریهٔ نیوتن مشخصاً مردود بوده و تمام شواهد موجود، صحت نظریهٔ نسبیت عام را تأیید می‌کند.

حتیٰ باهوش‌ترین خوانندگان هم مایل به درک فوری، تفسیر اینشتینی نیستند. امّا در این مرحله، خلاصه‌ای از نظریهٔ ثقل اینشتین ممکن است به درک مطلب کمک کند، هرچند که نکات نامأنوس را نیز باید به منظور شرح و تدقیق بیشتر مشخص نمود. ثقل زمان را کند می‌کند. ساعتهائی که در سطح زمین یا خورشید قرار دارند از ساعت‌های دیگر که در فضای دوردست مستقر باشند با انرژی کمتر (یعنی کندتر) کار می‌کنند. جسمی مانند سیب که به حالت ساکن و در روی زمین در ناحیه‌ای که ساعت‌ها کند کار می‌کنند واقع شده باشد نسبت به هنگامی‌که بدون حرکت در فضای دورتر ــ و مثلاً روی درخت ــ قرار دارد، دارای انرژی کمتری است.

در سقوط آزاد سیب، هیچ نیروئی بر آن اثر نمی‌گذارد.

نتیجتاً نه انرژی‌ای بدست می‌آورد و نه از دست می‌دهد.

امّا اگر وارد منطقه‌ای بشود که زمان در آنجا کندتر می‌گردد، ملاحظه خواهد شد که انرژی از دست می‌دهد، مگر اینکه به سبب انرژی جنبشی، کسب انرژی بنماید.

همینطور مشاهده می‌شود که در هنگام سقوط متدرجاً بر سرعت آن افزوده شده و انرژی کل آن تغییرناپذیر می‌ماند. سپس با زمین برخورد و ضمن این عمل انرژی جنبشی خود را رها می‌سازد و خود با انرژی آرمیدهٔ کمتری که مناسب موقعیت پائین‌تر است، مستقر می‌گردد.

البته کل قضیّه به این سهولت نیست. سرعت نور ارتباطی بنیادین بین فاصله و زمان ایجاد می‌کند. ساعت‌ها نمی‌توانند در چنین وضعی بدون

تأثیر گذاشتن بر فضا غلط کار کنند. حتی نور هم مسیری منحنی می‌پیماید. خمیدگی‌های فضا و زمان یکدیگر را تقویت و مولّد مسیرهایی نامرئی می‌شوند که موجب حرکت اجسام بدون نیرو و از جمله حرکت ماه بر گرد زمین در مداری خاص می‌شود. به‌طور خلاصه، هر جسم عظیم زمان و فضا را خم می‌کند و این خمیدگی‌ها بر حرکت اجسام مجاور آن جسم تأثیر می‌گذارد.

ثقل از ویژگی خودبه‌خود فضاست و نه از ویژگی انفرادی اجزاء تشکیل‌دهندهٔ آن. تکرار «ساعت‌ها» و «زمان» در این خلاصهٔ نظریهٔ ثقلی اینشتین، در ذهن خواننده طبعاً سئوالاتی جالب و منطقی دربارهٔ طبیعت زمان مطرح می‌سازد. بر طبق تجربهٔ شخصی خود من این سئوالات اغلب مانع از درک نسبیت می‌شوند و شبیه حیرتی است که از شنیدن جملهٔ: چگونه یک ماشین می‌تواند با نگرانی ایجاد آلودگی کار کند، به انسان دست می‌دهد. تا هنگامی که معلوم نشده است چگونه پیش‌بینی‌های نسبیت عام در عمل صورت واقع گرفته‌اند یا امکان وقوع آنها وجود دارد، از طرح مسائل فلسفی خودداری می‌شود.

فایدهٔ این به تأخیر انداختن سئوالات کلی راجع به زمان، در این واقعیت نهفته است که می‌دانیم درست‌ترین ساعتها برای این مقاصد، ساعت‌های اتمی هستند.

طبعاً خواننده هم مایل است بداند، اتمها چگونه عمل می‌کنند و چطور است که اعمال آنها در محاسبهٔ زمان می‌تواند تحت تأثیر ثقل واقع شود. این که تغییرات ساعت‌های اتمی چقدر عمیقاً استنباطات قبلی ما و تجارب انسانی را، بخصوص دربارهٔ زمان تغییر می‌دهد مستلزم بحثی جداگانه است.

۷

پوسته های زمان

ساعتهای اتمی در سطح زمین کندتر از هوا کار می‌کنند.
ثقل می‌تواند نور را متوقف و ایجاد سیاه‌چال بنماید.
در حاشیهٔ سیاه‌چال زمان متوقف می‌شود.
کند شدن زمان انرژی نور و ماده را تقلیل می‌دهد.
سیب در حال سقوط انرژی آرمیده را از دست داده و انرژی جنبشی کسب می‌کند.

* * *

یک هواپیمای نیروی دریائی آمریکا، مسیر حلقوی ۲۰ مایلی کسالت‌باری را در اطراف خلیج چساپیک[1]، برای مدت ۱۵ ساعت پیمود. این هواپیما مشغول انجام یکی از آزمایشات ممتاز در زمینه طبیعت ثقل و اثرات آن بر زمان آنچنان که آلبرت اینشتین پیش‌بینی کرده است، بود.

این آزمایش از این جهت «ممتاز» نامیده می‌شود که نتایج حاصله از آن به تمام تردیدهائی که دربارهٔ اثر ثقل بر حرکت ساعتها وجود داشت، پایان داد.

نظریه‌پرداز مشهور جان ویلر[2]، درواقع این تجربه را با آنچه که در

1. Chesapeake Bay 2. John Wheeler

سال ۱۵۹۰ توسط گالیله و به منظور اثبات این عقیدهٔ متزلزل که اجسام با سرعتهای مختلف سقوط می‌کنند، مقایسه کرده است.

در سال ۱۹۰۸ و چند سالی جلوتر از آن که نظریهٔ نسبیت عام کامل شود، اینشتین این عقیده را که ثقل باید بر ساعت‌ها تأثیر بگذارد، به پیش برد. هنوز هم (در اوایل سالهای دههٔ ۱۹۷۰) عده‌ای از منتقدین منکر آن می‌شوند. آزمایش خلیج چساپیک که شامل ۵ پرواز در فاصلهٔ سپتامبر ۱۹۷۵ و ژانویهٔ ۱۹۷۶ بود، ضرورت داشت تاآنها را برای همیشه خاموش کند.

عملاً، به سادگی معلوم شد که زمان بستگی به محل استقرار دارد و ساعتها در روی زمین خیلی کندتر از داخل هواپیمای بالای زمین که تحت تأثیر ثقل ضعیف‌تری قرار دارد کار می‌کنند. کارُل آلی[3] این شاهکار را انجام داد و برای اجراء ازدو مجموعهٔ ساعتهای اتمی بسیار دقیق استفاده نمود.

هریک مشتمل بر سه ساعت سزیوم و سه ساعت روبیدیوم[4] که دقیقاً در مقابل لرزه‌ها و هرگونه تغییرات فشار، حرارت و مغناطیس محافظت می‌شدند. در طی هر پرواز یک مجموعه از دو مجموعه ساعتها به داخل هواپیما برده می‌شد و دیگری در زمین باقی می‌ماند.

به کمک پرتوهای لیزر و با استفاده از روشی که خود اینشتین برای مقایسهٔ ساعتها تجویز کرده بود هر سه دقیقه یا بیشتر نتیجهٔ ساعتهای هوا و زمین ثبت و با یکدیگر مقایسه می‌شد. در حالیکه هواپیما در ارتفاع متوسط ۳۰۰۰۰ پائی (تقریباً معادل ارتفاع کوه اِورِست[5]) در گردش بود، ساعتهای موجود در آن هر ساعت ۳ بیلیونیم ثانیه جلوتر حرکت کرده بودند.

3. Carrol Alley 4. Rubidium 5. Mt Everest

هواپیما مستمراً با رادار ردیابی می‌شد تا بعداً بتوان اصلاحات لازم را انجام داد.

به دلائلی که در فصل بعدی روشن خواهد شد، سرعت هواپیما نیز اندکی موجب کند ساختن ساعت‌ها می‌شد. افزایش سرعت ساعتها در ارتباط با ارتفاع، پیش‌بینی اینشتین را با یک درصد خطا تأیید نمود. هیچ خدعه‌ای در کار نبود و پس از نشستن هواپیما این اثر مشهود بود. بعد از هر پرواز، ساعتها با آنهائی که در زمین بودند مقایسه و مشاهده می‌شد که آنها ۵۰ بیلیونیم ثانیه پیرتر (جلوتر ــ م) هستند.

در ژوئن ۱۹۷۶ آزمایش خیال‌انگیز مشابهی از جزیرهٔ والوپس[6] ویرجینیا[7] آغاز گردید. یک راکت اِسکات[8] که فقط یک ساعت اتمی هیدروژن ــ میزر[9] را که بوسیلهٔ رابرت وِسوت[10]، عضو مرکز مشاهدات اخترشناسی اسمیتسون[11] تهیه شده بود، حمل می‌کرد از زمین پرتاب شد. قبل از آنکه ساعت مورد نظر در اقیانوس اطلس سقوط کند تا ارتفاع ۶۰۰۰ مایل بالا رفت. علائم رادیوئی حاصله از ساعت به نحو اتوماتیک تصحیح می‌گردید تا نامطلوب‌ترین اثرات سرعت در فضای بیرون خنثیٰ گردد.

بار دیگر، همچنانکه با افزایش ارتفاع تأثیر ثقل کمتر می‌شد، بر سرعت ساعت افزوده می‌شد. در انتهای مسیر، یعنی در ارتفاع ۶۰۰۰ مایلی، ساعت در هر ثانیه یک بیلیونیم ثانیه جلوتر می‌رفت. اختلافی که ۷۰۰ برابر مقدار ثبت شده در تجربهٔ خلیج چساپیک و درست همان چیزی بود که اینشتین انتظار داشت.

6. Wallops Island
7. Virginia
8. Scout Rocket
9. Hydrogen-maser
10- Robert Vessot
11. Smithsonian Astrophysical Observatory

به یاد بیاوریم که مهندس سدساز دیوانهٔ ما در فصل‌های جلوتر با متمرکز ساختن زمین و رساندن قطر آن به یک اینچ، زمین را وارد سیاه‌چال نمود. در نظریهٔ اینشتین کیفیات اصلی ثقل (موجود در ــ م) اطراف زمین دقیقاً همان خواهد بود که اگر زمین توخالی بوده و سطح آن را کوهها و دریاهای خمیری مجعول پوشانده و در مرکز آن سیاه‌چالی برابر جرم فعلی زمین باشد. مقایسه در زیر پوستهٔ یک چنین سیاره‌هائی پاسخ اصلی را نمی‌دهد امّا به هرجهت قابل تأمل است. در سطح و در فضای بیرون مسأله یکسان و صحیح است این نمونهٔ آن زمینی است که می‌خواهیم در مطالب بعدی آنرا به کار بگیریم. نظریه‌پرداز آلمانی کارل شوارزشیلد[۱۲] این تعبیر بسیار سودمند را تقریباً بلافاصله پس از انتشار نظریهٔ اینشتین پیشنهاد نمود. با انجام این عمل او نیم قرن جلوتر از آنکه دیگر اخترشناسان علاقه‌ای جدی به سیاه‌چال‌ها نشان دهند، به صورت پدیدآورندهٔ نظریهٔ نوین سیاه‌چال‌ها درآمد. چه سیاه‌چال‌ها وجود داشته یا نداشته باشند ارتباط آن با مبحث ثقل زمین بیش از سئوال اقلیدس دربارهٔ وجود مثلث‌های کامل نیست. امّا به دلیلی سیاه‌چال وجود دارد. سیاه‌چال سریعترین و روشن‌ترین راه برای پی بردن به نکات اساسی نظریهٔ اینشتین است. برای اجتناب از هرگونه سوءتفاهم تأکید می‌شود که سیاه‌چال شوارزشیلد در مرکز زمین یک افسانهٔ ریاضی است.

تمام آنچه برای ایجاد یک سیاه‌چال لازم است ــ حداقل در عالم خیال ــ اینست که نور باید اثر ثقل را احساس کند. حتیٰ در قرن هیجدهم عالِم فرانسوی برجسته‌ای چون پیر ــ سیمون دولاپلاس[۱۳] که پیرو نظریهٔ نیوتن بود، تصور می‌کرد که ستاره‌ای عظیم می‌تواند نور خود را، تحت

12. Karl Schwarzschild 13. Pierre-Simon de Laplace

تأثیر ثقل شدید ببلعد. هنگامی‌که اینشتین براساس معادلهٔ $E=mc^2$ طرح نمود که نور دارای جرم می باشد به نحوی اجتناب‌ناپذیر به‌نظر می رسید که نور هم باید به همان قسم از ثقل متأثر گردد که هر جسم سنگین‌تر از انسان یا سنگی که در هوا پرت می‌شود. بنابراین هر ثقل متمرکز و کافی می‌تواند ایجاد سیاه‌چال ــ که مطابق تعریف ناحیه‌ای است در فضا که حتیٰ نور را از آن گریزی نیست ــ بنماید.

اجسام بسیار دور، به همان اندازه که میل به سقوط به طرف یک سیاره یا ستاره دارند، متمایل به افتادن در سیاه‌چال می باشند. سیاه‌چال نیز همچون زمین یا خورشید دارای مرکز، اندازه‌ای معین و شکلی مدور است به نحوی که می‌توان بر گرد آن پرواز نموده واز هر جهت فضائی آن را مورد بررسی قرار داد. وجه تمایز سیاه‌چال با سیاره یا ستارهٔ معمولی در اینست که هرچه در آن سقوط کند امکان فرار ندارد و از این نظر تله‌ای بی‌نظیر و کامل است: راهی بسوی فضا. تله در مرکز سیاه‌چال نیست، بلکه به فاصلهٔ معینی از مرکز قرار دارد.

در حالتی که سیاه‌چال به بزرگی زمین باشد این فاصلهٔ مساوی ۱/۳ اینچ و برای سیاه‌چالی به اندازهٔ خورشید فاصلهٔ آن تا مرکز ۲ مایل خواهد بود. این شعاع گُشنده‌ترین کُره‌ای است که مرکز را احاطه و بر آن تأثیر می‌گذارد.

فیزیکدان‌ها سطح این ناحیهٔ مخصوص را «افق پیشامد»[۱۴] می‌نامند زیرا اگر از بیرون بر آن نگریسته شود، در فراسوی این سطح چیزی قابل رؤیت نیست. هیچگونه علائم مادی شبیه صخره‌ها و اقیانوس‌های سطح زمین یافت نمی‌شود. یعنی سطح سیاه‌چال در فضای تهی قرار داشته

14. Event horizon

و اگر از آن عبور کنید، جسم شما هرگز بازیافتنی نخواهد بود.

اینک ذرهٔ نیرومندی از نور را مجسم کنید که در حاشیه سیاه‌چال قرار گرفته و می‌خواهد به سمت بیرونی آن بگریزد. ذره در خط مرزی پیروزی و شکست، چسبیده به آن متوقف می‌شود، مثل مگسی که بر تلهٔ کاغذی مگس گیر می چسبد. اگر ثقل مطابق روش های اصولی کهنه، بر نور اثر می‌گذاشت، مگس هم می‌توانست برای نجات خود تلاش کند. می‌توان تصور کرد که ذرهٔ نور به بیرون می‌گریزد و با گذشت هر لحظه انرژی از دست می‌دهد. می‌توان اغوا شده و تصور کرد که ذرهٔ نور مثل راکتی به داخل سیاه‌چال پرتاب می‌شود. امّا درواقع ذرهٔ نور کاملاً آزاد بوده نه انرژی کسب و نه دفع می‌کند، نه می‌گریزد و نه جذب می‌شود. اختلاف اساسی بین دیدگاه اینشتین و نیوتن دربارهٔ ثقل اینست که چون ثقل بر نور تأثیر می‌کند، لذا بر زمان هم اثر می‌گذارد (نظر اینشتین ــ م). در حاشیهٔ سیاه‌چال گذشت زمان در کار نیست، زیرا مانندِ ذرهٔ نور متوقف، زمان نیز بی‌حرکت است. در بهترین ساعتهای موجود، یعنی ساعتهای اتمی، نور در وسیعترین مفهوم و بسامد ارتعاشات خود، به منظور ثبت زمان به کار می‌رود. علاوه بر این نور به سرعت فضا را پیموده و نوسانات خود را همراه می‌آورد. این بدان معنی است که می‌توان به سهولت حرکت یک ساعت اتمی را که در دوردست هاست کنترل نمود. می‌توان با کسی که در کنار ساعت حضور دارد تماس گرفته و از او خواست که هر ثانیه یک بار (و از روی ساعت اتمی خودش) نوری به طرف ما بفرستد.

اکنون فضانوردی را تصور کنید که در فاصله‌ای مطمئن از سیاه‌چال قرار گرفته و منتظر دریافت علامت از ساعت اتمی است که در سطح سیاه‌چال (منطقهٔ توقف زمان ــ م) مستقر می باشد. این انتظاری بیهوده است، زیرا مطابق تعریف هیچ علامتی، هیچگاه به وی نخواهد

رسید. فضانورد می‌تواند چنین نتیجه‌گیری کند که ساعت متوقف شده است.

امّا از طرف دیگر می‌تواند دچار تردید شده و تصور کند که ساعت توسط سیاه‌چال بلعیده شده است، بنابراین مفیدتر خواهد بود که ساعت اتمی را درست در بیرون سیاه‌چال بگذارند. اثرات ثقل بر زمان در سطح سیاه‌چال به‌طور ناگهانی پدیدار نمی‌شود، بلکه با نزدیک شدن تدریجی به آن، محسوس می‌گردد.

ساعت اتمی که نزدیک به سیاه‌چال قرار دارد کند کار می‌کند. فضانورد می‌تواند از فاصلهٔ دور مسأله را پی‌گیری کند. فرض کنید مقرر است هر ثانیه نوری سفید گسیل شود. از نظر فضانوردی که فرضاً با ساعتی درست مثل همان ساعت مجهز است دو چیز رخ می‌دهد: اول اینکه نور خارج شده از ساعتی که نزدیک سیاه‌چال قرار دارد با تکراری کمتر و مثلاً بجای هر ثانیه یک بار، هر دو ثانیه یک بار خواهد آمد. موضوع دوّم اینست که نور بجای سفید قرمز به نظر خواهد رسید. رنگ نور بستگی به بسامد آن دارد و چون بسامد نورهای ارسالی یک بار در ثانیه نصف می‌شود بسامد خود نور (دریافتی ــ م) نیز نصف می‌شود. نور سفید مخلوطی از بسامدهاست و در آن بسامد نور آبی دو برابر نور قرمز است. نور قرمز تبدیل به پرتوهای نامرئی ماوراء قرمز شده و نور آبی مبدل به نور قرمز مرئی. هنگامی‌که اینشتین اظها رداشت که نور متشکل از ذرات است، او به این مطلب که انرژی هر ذره متناسب با بسامد آن می باشد، نیز اندیشیده بود. بنابراین از دیدگاه فضانورد، ذرات نورانی دریافتی از نزدیک سیاه‌چال انرژی از دست داده‌اند. اینک اگر یک فیزیکدان نیوتنی می‌دانست ــ همچنانکه اینشتین می‌دانست ــ که: الف ــ نور دارای وزن است و ب ــ بسامد نور بستگی به انرژی ذرات آن دارد، او می‌توانست تغییر رنگ

نور را پیش‌بینی کند. با دور شدن از سیاه‌چال، همچون راکتی که در تلاش با ثقل نیوتنی است، نور انرژی از دست می‌دهد و تدریجاً در عمل قرمز می‌شود.

نظریه‌های قدیم و جدید ثقل در این باره توافق دارند، امّا با تفسیر موضوع اختلاف عمده‌ای بروز می‌کند. مجدداً قضیهٔ مردی را که در قصهٔ سابق ما از پشت‌بامی در برلین سقوط کرد بخاطر بیاوریم. اینشتین گفت آن مرد نیروی ثقل را احساس ننموده است. به همین نحو نوری که از مجاورت سیاه‌چال دور می‌شود، نیروی ثقل را حس نمی‌کند. این نور در راه خود انرژی از دست نمی‌دهد. بنابراین اگر نور مورد نظر قرمز به‌نظر می‌رسد، به دلیل اینست که در هنگام شروع سفر خود قرمز شده است، زیرا اتمها و زمان اتمی در مجاورت سیاه‌چال کند می‌شوند.

تجزیه و تحلیل نیوتنی موضوع، رسیدن نور را ــ یک بار در ثانیه توسط ساعت اتمی ــ از مجاورت سیاه‌چال به مقر فضانورد با بسامد کمتر نمی‌تواند پیش‌بینی کند.

از نظر اینشتین آهسته شدن بسامد نور و کند شدن بسامد ساعت موضوعی هماهنگ است. و در آن مفهوم چنانچه ملاحظه خواهد شد، ساعت‌های اتمی که براساس فعالیت اتمها و همراه با خروج نور کار می‌کنند، در اصل درست مثل ساعت‌های ساختهٔ دست بشر که در آزمایش پیش‌بینی نظریه‌های اینشتین مورد استفاده واقع می‌شوند، کار می‌کنند.

در حالتی دیگر، تصور کنید که ردیابی نور خارج شده از ساعت اتمی مستقر در سیاه‌چال با فاصله‌ای دورتر صورت گیرد. چه خواهد شد؟ نور در هر مرحله سریعتر و سریعتر حرکت نموده، بسامد آن بیشتر و مآلاً کمتر قرمز به نظر خواهد رسید.

نتیجتاً، سیاه‌چال با نواحی متوالی زمان یا آنطور که من آنها را نامگذاری خواهم کرد در پوسته‌های متفاوت زمان، ساعت‌های اتمی با سرعت متفاوت عمل می‌کنند. پس قاعدهٔ درست دربارهٔ کار کردن ساعت‌ها چیست؟ ساده‌ترین راه توجیه اینست که کار ساعت فضانورد را به عنوان معیار ۱۰۰ (صد) فرض کنیم و «کند کار کردن» ساعت‌های مختلف مستقر در اطراف سیاه‌چال برحسب درصدی از آن بیان شود.

مثلاً یک درصد کندی ساعت به مفهوم اینست که صحت این ساعت نسبت به ساعت معیار (فضانورد ــ م) ۹۹ درصد است. این میزان کندی در فاصله‌ای از مرکز سیاه‌چال رخ می‌دهد که ۲۵ بار از قطر آن بیشتر باشد. در حالتی که سیاه‌چال به بزرگی زمین است، موقعیت ساعت مورد نظر باید در فاصلهٔ ۱۸ اینچ از مرکز باشد. بنابراین برای ایجاد یک درصد کندی باید ساعت بسیار نزدیک به سیاه‌چال قرار گیرد.

قانون ساعت‌ها، در نزدیکی‌های سیاه‌چال اندکی پیچیده می‌شود، اما در فواصل دورتر از آن، قانون ساعتها به ساده‌ترین شکل قابل تصور است: فاصله را از سیاه‌چال دو برابر کنید، کندی ساعت‌ها نصف می‌شود. مثلاً در سیاه‌چالی مشابه زمین و در فاصلهٔ ۱۳۶ اینچی آن کند شدن ساعت نیم درصد می‌شود. در فاصله‌ای که ۳۶۰ میلیون برابر قطر چنین سیاه‌چالی باشد کندی ساعت در مقایسه با ساعت فضانوردی که در دوردست‌ها قرار دارد ۱۴ در بیلیون یا تقریباً نیم ثانیه در سال می باشد. ۴۰۰۰ مایل دیگر در فضا فاصله بگیرید، باز هم کند شدن ساعت نصف می‌شود. اختلاف ساعت‌ها بسیار جزئی است امّا هنوز هم آنها ما را با زمین ارتباط می‌دهند.

تمام سطح اسفنجی (مجعول) زمین ما (در مثال فرضی) که در اطراف سیاه‌چال قرار دارد، تقریباً در داخل یک پوستهٔ زمانی می‌گنجد،

هرچند که ساعت‌های اتمی در بالای هیمالیا اندکی سریعتر از کف اقیانوس‌ها کار می‌کنند. تجربهٔ انجام شده با ساعت‌های اتمی مستقر در هواپیما که در ابتدای فصل بیان شد، جزئیات پوسته‌های زمانی زمین را کشف و روشنگر موارد مربوط به آنها بود.

فضانورد ما هنوز در فاصله‌ای بعید در فضا قرار دارد و به نوری که از سطح زمین می‌آید نگاه می‌کند. هرچند که در مقایسه با ساعتی که در نزدیکی سیاه‌چال قرار دارد کاهش بسامد بسیار کمتر معلوم می‌شود با اینهمه اثری جزئی از قرمز شدن ظاهر می‌شود. این پدیده که تغییر مکان قرمز ثقلی یا تغییر مکان قرمز اینشتین نامیده می‌شود، شبیه تغییر مکان قرمز داپلر است که اگر فضانورد از زمین دور شود رخ می‌دهد، امّا علّت آن با علّت تغییر مکان قرمز داپلر متفاوت است.

پیش‌بینی تغییر مکان ثقلی، برجستگی عمدهٔ نظریهٔ ثقلی اینشتین است و فیزیکدانان و اخترشناسان آن را دقیقاً مورد آزمایش قرار داده‌اند. برای تأیید موضوع لازم نیست که آنها زمین را ترک کنند، زیرا زمان در پائین یک برج بلند به نحو قابل تشخیصی از بالای آن کندتر می‌باشد.

در تجارب انجام شده به سالهای ۱۹۵۹ و ۱۹۶۵ در هاروارد، فیزیکدانان اثرات ثقل زمین را برذرات نور ــ و اگر دقیق‌تر بگوئیم بر پرتوهای گامای خارج شده از هسته‌های اتمها ــ اندازه گرفتند. رابرت پوند[۱۵] و همکارانش توانستند، افت آشکار انرژی یا «قرمز شدن» اشعهٔ گاما را همچنان که در طول مسیری ۷۴ پائی از کف تا بالای برج آزمایشگاه جفرسون[۱۶] رخ می‌داد، کشف نمایند. نتیجه بسیار جزئی بود، امّا روشی که دارای دقت زیادی است اخیراً متداول شده است. یک

15. Robert Pound 16. Jefferson

فیزیکدان جوان آلمانی به نام رودُلف موس‌باور[۱۷] کشف کرده است که هسته‌های اتمهائی که در بلور قرار دارند می‌توانند تشعشعی با بسامد بسیار دقیق را دفع یا جذب نمایند یعنی در حقیقت این هسته‌های اتمها ساعتهای هسته‌ای هستند.

برای هم‌زمان ساختن دو عدد از چنین ساعت‌هائی که یکی در کف و دیگری در بالای برج قرار دارد، به قسمی که یکی از آنها بتواند اشعهٔ گامای خارج شده از دیگری را جذب نماید، تجربه‌گران هاروارد دریافتند که باید یکی از آنها را اندکی به جلو ببرند. به عبارت دیگر آنها برای خنثی کردن اختلاف بسامد اشعهٔ گاما از پدیدهٔ داپلر استفاده نموده و لذا ساعت‌ها را برابر ساختند. بدین وسیله توانستند که اختلافات جزئی تا چند بار در میلیون بیلیون ($\frac{x}{۱۰^{۱۵}}$ م) را اندازه‌گیری و تغییر مکان قرمز ثقلی را با اختلاف یک درصد، نسبت به پیش‌بینی اینشتینی محاسبه نمایند.

ثقل در روی زمین قوی‌تر از فضای بیرون است، امّا بر سطح خورشید عظیم باز از آن هم قوی‌تر است. بنابراین منظرهٔ خورشید از زمین شبیه آن چیزی است که فضانورد به زمین می‌نگرد. ساعت‌های اتمی مستقر در خورشید نسبت به ساعت‌های مشابه موجود در زمین هر سال یک دقیقه کندتر کار می‌کنند. نوری که در اثر وقوع پدیده‌های خورشیدی در اتمهای معینی از خورشید خارج می‌شود، در تلسکوپ موجود در زمین تحت تأثیر تغییر مکان قرمز ثقلی اندکی قرمز می‌شود. در ۱۹۶۲، اخترشناسان فرانسوی اعلام کردند که آنها معنیٰ این مسأله را دریافته‌اند.

در ستارگان کوتولهٔ سفید، که به دلیل کهولت متلاشی شده‌اند،

17. Rudolf Mössbauer

ثقل بسیار نیرومند است. به حدی که در سطح یک کوتولهٔ سفید وزن یک انسان معمولی به هزاران تن می‌رسد. بنابراین قرمز شدن نور به سبب ثقل باید به همان نسبت معلوم باشد، هر چند که هنوز این قرمز شدن بسیار کمتر از آن است که با چشم دیده شود. با استفاده از نوعی وسایل، اخترشناسان، تغییر مکان قرمز ثقلی روشنی را در کوتوله های سفید کشف کردند. مشکلاتی وجود دارد که مانع از آن می‌شود تا معلوم گردد آیا این تغییر مکان نور به طرف قرمز، مربوط به تغییر مکان قرمز ثقلی است یا به سبب اثرات داپلر حاصله از حرکت و گردش ستارگان.

امّا در ۱۹۷۷ ستاره‌شناس برجستهٔ آمریکائی جس گرین اشتاین[18] با همکاری آلِک باکسنبرگ[19] و همکارانش از دانشگاه کالج لندن[20]، تجزیه و تحلیلی دقیق از بررسی طیف نور حاصله از دوازده ستارهٔ کوتولهٔ سفید را که با تلسکوپ ۲۰۰ اینچی پالمور[21] صورت گرفته بود منتشر ساخت. تأثیر متوسط آن برابر بود با کند شدن آشکار زمان اتمی در مجاورت کوتوله ها به مقیاس بیشتر از یک ساعت در سال.

بنابراین وجود پوسته های زمان در اطراف یک جسم عظیم، چه به کمک قرمز شدن نور و چه با استفاده از ساعت های اتمی، واقعیت دارد.

برگردیم به زمین که در آن زمان در پای برج کندتر از بالای آن ــ یا بالای یک درخت سیب ــ سپری می‌شود.

اینک ما می‌توانیم ببینیم که وقتی سیبی بر زمین می افتد، چه اتفاقی رخ می‌دهد. نیوتن می‌گفت وقوع این رویداد به سبب اینست که نیروی ثقل آنرا به طرف خود می‌کشد و باعث شتاب آن به طرف پائین

18. Jesse Greenstein
19. Alec Boksenberg
20- University College London
21. Palmor

می‌شود. امّا حساب اینشتین کاملاً مغایر آنست.

اتمها، ساعت‌های اتمی و نور، همگی در نواحی نیرومند ثقلی کند می‌شوند. به سبب ارتباط بین انرژی و بسامد، آنها وقتی که از منبع ثقل بسیار دورند، نسبت به زمانی که در فضا می باشند انرژی کمتری دارا هستند. یک سیب متشکل از اتمهاست و هنگامی‌که روی زمین قرار دارد در مقایسه با زمانی که روی درخت می باشد، دارای انرژی کمتری است. براساس معادلهٔ $E=mc^2$ اینشتین انرژی آرمیدهٔ آن کاهش یافته است. مجسم کنید که سیب از شاخه آویزان باشد، شاخه بشکند و سیب به طرف سیاه‌چال خیالی در مرکز زمین سقوط کند. در این سفر سیب وارد پوسته‌های زمانی شده و به ترتیب کندتر می‌شود. تا آنجا که به سیب مربوط می‌شود، هیچ نیروئی بر آن عمل نمی‌کند. و هنوز هم همچنانکه (در پوسته‌ها ــ م) فرو می‌رود سرعت می‌گیرد. چرا؟

چون نیروئی بر سیب اعمال نمی‌شود، نمی‌تواند انرژی کسب یا از دست بدهد. امّا به محض ورود به منطقهٔ زمان کندتر، انرژی آرمیده را از دست می‌دهد. بنابراین برای بدست آوردن انرژی کلی، باید شکل دیگری از انرژی را به نمایش بگذارد. سیب نمی‌تواند با تغییر رنگ یا ترنم آهنگ انرژی‌اش را کسب کند. تنها راهی که بتواند انرژی آرمیدهٔ از دست رفته در پوسته‌های زمانی کندتر را جبران کند، انرژی جنبشی است، یعنی با حرکت سریعتر و سریعتر. اگر بخواهیم حساب کنیم که برای ثابت ماندن مقدار انرژی چه سرعتی لازم است، باید با شتاب یکنواخت ۳۲ پا در ثانیه حرکت کند. درست همانطور که نیوتن محاسبه کرد.

بیان عدم تغییر انرژی آرمیده و انرژی جنبشی در سقوط سیب، تا حدودی به سادگی عنوان شد.

(به زبان نسبیت‌دان مقداری که بدون تغییر می‌ماند دقیقاً برابر است با: «حاصلضرب عددی بُردار مماس با بردار کیلینگ[۲۲]).

پیچیدگی‌های محاسبهٔ کامل‌تر، از تعمیم نسبیت عام و توجّه دقیق آن به اینکه چه کسی، چه انرژی‌ای را با چه ساعتی اندازه‌گیری می‌کند، ناشی می‌شود. امّا شرحی که در اینجا داده شده است، عصارهٔ مطلب را دربارهٔ آزاد ساختن تدریجی انرژی آرمیدهٔ جسم عادی، همچنان که ضمن سقوط به سیاه‌چال یا زمین نزدیکتر می‌شود، آشکار می‌سازد.

22. Killing Vector

۸

آینده‌های روشن

نور دارای وزن است و ثقل مسیر آن را منحرف می‌سازد.
انحراف نور، بدین مفهوم است که ثقل فضا را تاب می‌دهد.
در فضای تابیده اجسام بدون نیرو، حتی الامکان مستقیم حرکت می‌کنند.
تأثیر ثقل بر نور، جهت زمان را در فضا تعیین می‌کند.
جسم چرخندهٔ عظیم، فضا را به گرد خود می‌کشاند.

* * *

بدون هدایت نیروی ثقل، سیب در حال سقوط، چگونه می‌داند که از کدام جهت برود؟

سیب نمی‌تواند جهات مختلف را بررسی و زمان‌های حرکت لازم در هر جهت را اندازه‌گیری کند. سیب حتیٰ مانند انسان دارای حس شنوائی نیست که به آن گفته شود، کدام مسیر «پائین» است. گذشته از اینها اینکه سیب فاقد درجهٔ دکتری نظریهٔ نسبیت می باشد. امّا سیب بدون هیچگونه تردیدی از طریق پلکانی نامرئی مستقیماً به مرکز زمین راه می پیماید. توجیه قضیه اینست که جسم عظیمی مانند زمین فضا و زمان را می پیچاند. پیچیدگی‌های زمان معمولاً تحت عناوین فضای «تابیده» یا «منحنی» بیان می‌شوند.

مفهوم سادهٔ مطلب اینست که نور نمی‌تواند مستقیم حرکت کند.

زیرا نور دارای انرژی است و لذا تحت تأثیر ثقل و بنابر نظریهٔ اینشتین مثل هر جسم دیگر میل دارد که به طرف زمین سقوط کند. نور آن چنان سریع حرکت می‌کند که تشخیص این مسأله مشکل می باشد. مثلاً یک پرتو لیزر که به افق زمین پرتاب می‌شود قبل از رسیدن به فضا در هر چهار هزار مایل ۱/۳ اینچ نقصان می یابد. با این وصف، چنین رفتاری برداشت های قدیمی هندسی یعنی «اندازهٔ جهان» را آسیب پذیر می‌نماید.

نزدیک به یک سیاه‌چال، انحناء مسیر نور بسیار مشخص تر و در کناره‌های آن قابل رؤیت است. اجسامی که در پشت سیاه‌چال قرار گرفته و بوسیلهٔ آن گرفته[1] می‌شوند، از یک طرف می‌توان آنها را دید. برداشت های متداول ما از فضا، مبتنی بر حرکت مستقیم نور می باشد. مثلاً، می‌توان با زیر چشمی نگاه کردن به طول دیوار گفت که آن دیوار مستقیم است یا خیر، امّا در مجاورت یک سیاه‌چال چنین دیواری کج به نظر می‌آید و قوانین سنتی هندسه دیگر صادق نیست. آسان خواهد بود که گفته شود راهی را که نور می پیماید، معرف خطوط فضای منحنی است. بدبختانه، در نظریهٔ اینشتین موضوع چنین نیست. نیمی از خم شدن نور به سبب اثرات ثقل بر زمان است، لذا انحناء فضا فقط نیمی از آن چیزی است که باید باشد و در اثر نگریستن به پرتو نور قابل درک است.

دلیل دیگر انحناء فضا آنست که سطح هر جسم عظیمی، همواره کمتر از آن مقداری است که با اندازه گیری شعاع آن و با استفاده از فرمول اقلیدس ($4\pi R^2$) بدست می‌آید. به عبارت دیگر شعاع برای سطح مورد نظر بسیار زیاد است و «اضافه شعاع» متناسب با جرم آن جسم است. در مورد زمین این اضافه شعاع برابر ۰/۰۶ اینچ می باشد که به معنی اینست که

1. Eclipsed

سطح زمین تقریباً ۶۰ ایکر[2] کمتر از سطح مورد انتظار خواهد بود. برای خورشید، اضافه شعاع تقریباً ۵۰۰ یارد و مساحت «از دست رفته» در حدود ۳/٤ میلیون مایل مربع یعنی چیزی نزدیک به مساحت ایالات متحدهٔ آمریکاست. مدلی از فضا، که از ورقهٔ لاستیکی تهیه شده است، نمایشی پذیرفتنی از انحناء فضا را فراهم می‌سازد. ورقهٔ لاستیکی مثل توری[3] زیر پای بندبازان گسترده شده و سپس وزنه‌هایی که نمایانگر ستارگان، سیارات و سیاه‌چال‌هاست به آن متصل می‌شود. وزنه‌ها ورقهٔ لاستیکی را در اطراف خود، به طرف پائین تغییر شکل می‌دهند.

پس از آن می‌شود گفت که در این مُدل ورقهٔ مسطح لاستیکی، یک شبیه متلاشی شدهٔ دو بعدی از فضای سه بعدی است و فرورفتگی‌ها معرف انحناء فضامی باشد.

یک چنین مدلی تخیل ما را تقویت می‌کند. اگر بجای سفینه یا ماه، یک ساچمهٔ بلبرینگ بر سطح ورقهٔ لاستیکی شروع به غلطیدن نماید، این گلوله مسیری منحنی را انتخاب و به طرف اجسام عظیم میل می‌نماید. درست شبیه آنچه اجسام واقعی تحت تأثیر ثقل انجام می‌دهند. همچنین برداشتی صحیح از فضائی می‌دهد که همراه با خطوط تابشی (شعاعی) مستقیماً به طرف هر جسم عظیم می‌شتابد ــ اضافه شعاع نیز معلوم می‌شود.

در مورد سیاه‌چال، تغییر شکل بسیار عظیم است. امّا دو ایراد به این مدل وارد است یکی اینکه مدل فقط نیمی از واقعیت را نشان می‌دهد، یعنی نمی‌تواند کند شدن زمان را به نمایش بگذارد، و اشکال بزرگتر آنست که فضا یک ورقهٔ مسطح لاستیکی نیست و غیرممکن است بتوان

2. Acre

3. Trampoline

موضوع را از ورقهٔ لاستیکی به فضایی واقعی سه بعدی و منحنی منتقل و القاء نمود. زحمت نکشید! حتیٰ ریاضیدان‌ها هم، تجسم فضای منحنی را مشکل می‌یابند. معهذا در مقام مقایسه، موضوع برای نسبیت‌دان‌ها آسان است. آنها بدون اینکه تلاش کنند مطلب را در ذهن خود تجسم بخشند، پیچیدگی‌های فضا را محاسبه و اندازه‌گیری می‌کنند. ورقهٔ لاستیکی از این نظر هیچ کمک فکری نمی‌کند. به هرجهت، استفاده از «کرهٔ نور»[4] وسیلهٔ دیگری است که مشخص می‌نماید چگونه زمان و فضا در مجاورت سیاه‌چال و اجسام عظیم دیگر پیچیده و درهم می‌آمیزند. سفینه‌ای را تصور کنید که قادر به ارسال علائم نور در هر جهت باشد. لذا این سفینه مثل ستاره‌ای کوچک خواهد بود. نوری که سفینه را در یک لحظه ترک می‌کند، در لحظه‌ای دیگر به فاصله‌ای معین از سفینه خواهد رسید و بنابراین در اطراف سفینه، کُره‌ای از نور تشکیل خواهد شد.

مثلاً اگر زمان برابر یک میلیونیم ثانیه باشد، قطر کُرهٔ نور تقریباً ٦٦٠ یارد خواهد بود.

البته همچنان که نور در مسیر حرکت خود در تمام جهات پخش می‌شود، کرهٔ نور نیز با سرعت نور گسترش می‌یابد. اگر سفینه در فضای تهی قرار داشته و از تأثیرات همهٔ اجسام عظیم بدور باشد، کرهٔ نور در تمام جهات آنرا به نحو مساوی دربر خواهد گرفت، یعنی سفینه درمرکزی ساکن در وسط کرهٔ نور قرار دارد. امّا حتیٰ در این موقعیت ساده مفهوم کرهٔ نور عمیق است و می‌تواند تمام آینده‌های ممکن را برای سفینه و هر فضانوردی که حمل می‌کند معلوم سازد. چون آنها هرگز نخواهند توانست از سرعت نور سریعتر حرکت کنند، به همین دلیل نمی‌توانند از کرهٔ نور خود

4. Light-bubble

بیرون بروند. مثلاً اگر فضانورد بخواهد به دیدار ستاره‌ای برود که ده سال نوری از او فاصله دارد، او قادر نخواهد بود این فاصله را کمتر از این طی کند و معلوم نیست که کرهٔ نور که در حال گسترش است پس از چه مدت آن ستاره را نیز دربر خواهد گرفت.

هر پیشنهادی به فضانورد از قبیل اینکه هفتهٔ آینده در آن ستاره باشد، به دلیل اینکه بیرون از کرهٔ نور قرار می‌گیرد، بسهولت قابل درک است که به او نخواهد رسید.

اینک سفینه‌مان را در نزدیک جسمی عظیم قرار می‌دهیم. ثقل کرهٔ نور را بیرون از مرکزش تغییر مکان می‌دهد و نتیجتاً آیندهٔ فضانورد تا حدودی به طرف جهت معین از فضا که به طرف جسم عظیم است متمایل می‌شود. زمان و فضا با هم مبادله می‌شوند.

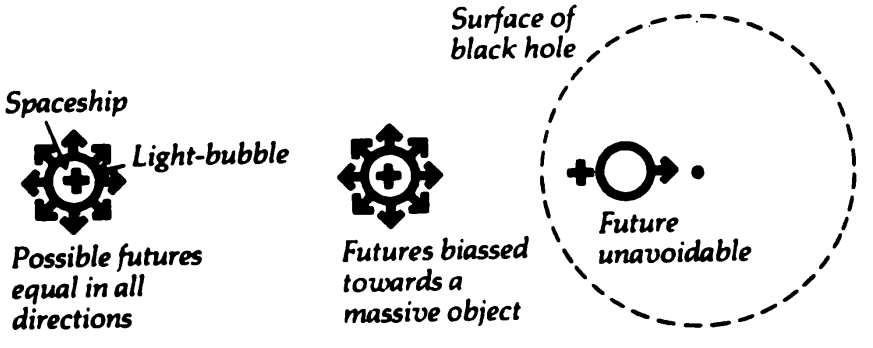
مفهوم این مطلب، بیش از کند شدن ساعت‌ها، پیش‌داوریهای ما را دربارهٔ زمان به نحو شدید متزلزل می‌سازد. بار دیگر یک سیاه‌چال می‌تواند روشنگر موضوع باشد. تصور کنید که سفینه درست از حاشیهٔ خطرناک یک سیاه‌چال وسیع طی طریق کند. فضانورد برای ابد در دام خواهد افتاد. آینده‌اش اکنون در داخل سیاه‌چال است زیرا نوری که تشکیل کرهٔ نور را می‌دهد، مطابق تعریف، نمی‌تواند از سیاه‌چال بگریزد. سفینه یا فضانورد هرچقدر که تلاش کنند، نمی‌توانند وسیله‌ای بهتر از نور بیابند.

امّا صحبت کردن از کرهٔ نور در این ارتباط، نه‌تنها با تعابیر مختلفی سکون سیاه‌چال (توقف زمان ــ م) را تأیید می‌کند، بلکه مبادلهٔ زمان و فضا را نیز آشکار می‌سازد. کرهٔ نور آن سفینهٔ مورد نظر گسترده می‌شود، امّا فقط به طرف سیاه‌چال. درحالیکه نور خارج شده از داخل سیاه‌چال متوقف می‌ماند، نور وارده به آن می‌تواند به سرعت به طرف مرکز

پیش برود. نتیجه این می‌شود که سفینهٔ مستقر در حاشیهٔ سیاه‌چال درمقایسه با کرهٔ نور که اینک به‌طور کامل متوجه داخل سیاه‌چال است، کاملاً خارج از مرکز کرهٔ نور قرار دارد.

بخاطر داشته باشید که کرهٔ نور تمامی آینده‌های محتمل سفینه و فضانورد را معلوم داشته و شما را مستقیماً به استدلالی قابل ملاحظه رهنمون می‌شود یعنی: زمان برای فضانورد، در جهت خاصی از فضا تغییر یافته است و تمامی آیندهٔ فضانورد به سمت مرکز سیاه‌چال خواهد بود. حتیٰ زمین با فقط یک سیاه‌چال خیالی کوچک در مرکز خود (و نه در عالم واقع) می‌تواند چنین اثراتی ــ هرچند ملایم‌ترــ بر زمان و فضا اعمال کند. استنباط کلی به ما می‌گوید که آینده ما به طرف زمین است نه در فضا، مگر اینکه تلاش‌های غیرعادی به عمل آوریم تا از تأثیر ثقل زمین بگریزیم.

این تمایل دقیقاً در نظریهٔ اینشتین مشخص شده است. در سطح زمین مسیر آیندهٔ زمان در تمام جهات برابر نیست. آینده در جهتی از فضاست که به طرف مرکز زمین می باشد. و به همین دلیل است که سیب فاقد اندیشه می‌داند که باید به کدام طرف سقوط کند.



جهتی که بر آیندهٔ سیب تحمیل می‌شود ــ با تغییر موقعیت جزئی کرهٔ نورسیب به طرف زمین، معلوم می‌گردد ــ بدین مفهوم است که کمترین کاری که سیب باید انجام دهد، حرکت بدان سمت است. مقداری تلاش لازم است تا هر راه غیرمستقیمی تجربه شود، ولی در سقوط طبیعی هیچ زحمتی لازم نیست.

سیاه‌چال خیالی در مرکز زمین، باید همانطور که زمین انجام می‌دهد، حول محور زمین بگردد. وقتی که حرکت وضعی را وارد مبحث نسبیت عام بکنیم تأثیرات جدیدی ظاهر می‌شود که در ثقل نیوتنی ناشناخته است. یک بار دیگر سیاه‌چال با روشنی بیشتر از هر استدلال دقیقی، موضوع را دربارهٔ زمین واقعی معلوم می‌دارد. یک سیاه‌چال گردنده کمی کامل‌تر از سیاه‌چالی است که نمی‌گردد. بیرون از سطح سیاه‌چال یک ناحیهٔ خنثیٰ کننده‌ای (سپر امنیتی) است که «اِرگوسفر»[5] نامیده می‌شود و منطقه‌ای است که در قطب‌های محور سیاه‌چال، یعنی در جائی که درواقع با سطح آن تماس پیدا می‌کند، مسطح می‌گردد.

ارگوسفر، چرخ فلکی کابوس گونه و ناحیه‌ای از فضاست که هر جسم واقع در آن مجبور است با سرعتی زیاد بر اطراف سیاه‌چال بگردد. در اصل می‌توان چرخ فلک را متوقف ساخت، یعنی نور می‌تواند از آن فرار کند و درواقع این همان ناحیهٔ مورد استفاده در ماشین خیالی پن‌رُز برای استخراج انرژی آیندهٔ زباله‌هاست که در فصل چهارم بحث شد. امّا هنگامی که در ارگوسفر قرار دارید، گردش‌ها اجباراً تداوم دارد.

این علیرغم این واقعیت است که ارگوسفر، چیزی جز فضای تهی نیست. ثقل با درهم آمیختن زمان و فضا، این حقه را سوار می‌کند، امّا

5. Ergosfer

اکنون به طریقی که زمان آیندهٔ هر چیزی را نه به طرف مرکزسیاه‌چال بلکه در حاشیه و در اطراف چرخ فلک قرار می‌دهد. کرهٔ نور هر جسم کاملاً در جهت گردش تغییر وضع می‌دهد.

به عبارت دیگر، نور ناگزیر از حرکت در آن سمت است و شنا کردن برخلاف جریان، واقعاً هیچ آینده‌ای دربر ندارد که باعث شود جهتی دیگر را اختیار کرده ویا ساکن باشیم. یک چنین آینده‌ای هنگامی مقدور است که بتوان سریع‌تر از نور حرکت کرد. به سبب این تداخل زمان در جهات فضا، سیاه‌چال گردنده، فضا و هر چیز دیگر در آن را با سرعتی زیاد بر گرد خود می‌کشاند. گردونه‌ای که وسعتی زیاد را دربر می‌گیرد، امّا اثرات به‌طور ناگهانی معلوم نمی‌شود، زیرا حتیٰ در فاصله‌ای از سیاه‌چال گردنده، زمان آینده مقداری تمایل به سمت «اطراف» سیاه‌چال دارد. تحت چنین تأثیری اگر کمی از سیاه‌چال دور شوید احساس سرگیجه می‌کنید و می‌بینید که ستارگان دوردست در اطراف‌تان در حرکت‌اند.

حتیٰ در سطح زمین با درنظر گرفتن سیاه‌چال خیالی در مرکز زمین که هر روز یک بار به طرف شرق می‌گردد، باز هم گردش فضا تداوم دارد. تأثیر بسیار کم است، تا حدودی به علت اینکه با معیارهای سیاه‌چالی، سرعت گردش خیلی کند است و از جهتي به سبب اینکه ما از مرکز زمین ۴۰۰۰ مایل فاصله داریم.

اگر زمین در این وضعیت، فضای اطراف را با خود می‌گرداند، اثر آن بایستی با استفاده از یک گردش‌نماءی بسیار دقیق که در سفینه‌ای که زمین را دور می‌زند کار گذاشته شده است، قابل تشخیص باشد. محور

6. Gyroscope

گردش‌نما بایستی با سرعت خیلی کم و معادل یک دور کامل در هر ۲۵ میلیون سال، بگردد.

عامل دیگری وجود دارد که باعث می‌شود سرعت گردش‌نما، حول محور آن صد برابر شود و آن حرکت جنبشی خود سفینه در فضای منحنی اطراف زمین می‌باشد. تجربه‌گران امیدوارند که به کمک ابزارهای دقیق و مدرن مهندسی هردوی این تأثیرات قابل اندازه‌گیری بشود. در سال ۱۹۷۹ بوسیلهٔ گروهی از کارکنان دانشگاه استانفورد کالیفرنیا، مقدمات اجراء آزمایشی دقیق با گردش‌نمایی از نوع مورد نظر فراهم شده است تا با در مدار قرار دادن سفینهٔ فضائی در اوایل دههٔ ۱۹۸۰، انجام گیرد.

گردش‌نماهای فوق‌العاده حساس که برای این آزمایش درنظر گرفته شده، متشکل از گوی‌های کوارتز است که هرکدام به اندازهٔ توپ پینگ‌پنگ، می‌باشد.

آنها بایستی کاملاً مدور و به دقت یک میلیونیم اینچ باشند. هریک از آنها با ورقهٔ نازک فلزی پوشیده می‌شود، تا موجب حساس شدن فوق‌العاده‌شان در مقابل کمترین درجات سرمای مطلق گردیده و به گردش‌نما اجازه دهد در حوزهٔ مغناطیسی معلق بمانند. روش‌های جدید برای راه انداختن گردش‌نماها و تثبیت حرکت محوری آن در دانشگاه استانفورد تکامل یافته است. ماهوارهٔ مورد نظر چهار عدد از این گردش‌نماها را با خود حمل و علاوه بر آن یکی دیگر نیز به عنوان «وجدان»[۷] خود سفینه به‌کار گرفته خواهد شد. ماهواره‌ها معمولاً تحت ضربات فشار نور خورشید قرار گرفته و نمی‌توانند مدار ثقلی کاملی را

7. Conscience

بپیمایند. برای اجتناب از این عمل، «وجدان» هرگونه ضربهٔ آزادی را کشف و با آزاد کردن فواره‌هائی از گاز آن را خنثی می‌کند. به منظور فراهم ساختن محوری مرجع برای ماهواره که در مقابل آن حرکات گردش‌نماها قابل مقایسه باشد، ماهواره به‌طور خودکار نسبت به یک ستارهٔ درخشان همواره نشانه‌گیری خواهد نمود. این تجربه بر عملیات قهرمانی مهندسی که از سال ۱۹۶۳ به بعد در استانفورد و آزمایشگاه وابسته به آن صورت گرفته است، می‌افزاید.

ممکن است تعجب نمائید که چرا یک آزمایشی ارزش یک چنین تلاش عظیمی را داشته باشد، آنهم فقط به این خاطر که تأثیر کشش فضا[8] اندازه‌گیری شود، اثری که این‌قدر ناچیز است که از هرگونه کاربرد علمی بدور می‌باشد. یک پاسخ کلی به این سئوال اینست که این تلاش دلیل بر اهمیتی است که فیزیکدانان بر تفسیر اینشتین از حرکات عالم می‌دهند.

علاوه بر این، کشش فضا به‌وسیلهٔ زمین گردنده و چرخش گردش‌نما در نزدیک زمین، نه‌تنها موجب تغییر نظرات نیوتن می‌گردد، بلکه تأثیری کاملاً جدید بر ثقل اینشتین دارد. در میان دیگر امتیازات این یکی، نویدبخش نتیجه‌ای روشن است. تجربه‌گران نباید در جستجوی ــ آن‌چنان که اغلب معمول است ــ تأثیرات دقیق اینشتینی در میان تغییرات فاحش و پیچیده که ارتباطی با نسبیت عام ندارد، باشند. و این مطلبی است که به درست یا غلط کار کردن گردش‌نماها ارتباطی ندارد. امّا آنچه در پیش داریم چیست؟ اگر بتوان زمان را تحت تأثیر ثقل کند نمود یا بدان جهت داد، پس زمان چیست؟ و اگر یک جسم عظیم

8. Dragging of space.

می‌تواند فضا را مثل خمیر تغییر شکل داده یا بدون انقطاع و پاره کردن آنرا بر اطراف یک سیاه‌چال تاب دهد، پس فضا چیست؟

مطلب واقعاً خنده‌دار نیست، زیرا زمان، زمان است و فضا، فضاست و هر دوی اینها، اجسامی مادی نیستند. با اینهمه زمان و فضا، فعالانه درکارهای عالم دخالت می‌نمایند. و کُرهٔ نور نشان می‌دهد که چگونه عمل و بخصوص عمل نور، فضا و زمان را طراحی می‌کند.

اینشتین، در بیان اینکه چرا فضای مورد نظر او با فضای اقلیدسی و نیوتنی متفاوت است، مقداری دچار زحمت شد. او گفت می‌توانید عالمی را تصور کنید که فضای آن خمیده نباشد. امّا چنین فضائی کاملاً تهی از ماده خواهد بود.

فضای تهی فاقد هرگونه مفهوم عملی است زیرا:

فضا نمی‌تواند مستقل از آنچه که آنرا پر می‌کند وجود داشته باشد، هندسهٔ فضا با مادهٔ محتوی آن تعیین می‌شود. برای بعضی از خوانندگان بیانات استاد (اینشتین) تکافو می‌نماید، امّا برای دیگران، سعی خواهد شد تا موضوع به شکلی جدید تفهیم گردد.

راه‌حلی که در آن، زمان، فضا و سرعت نور به یکدیگر مربوط باشند، در اصل موضوع پیچیده‌ای نیست، هرچند که نتایج آن غریب به‌نظر می‌آیند.

مفهوم هر سرعتی عبارت از طی کردن فاصله‌ای معین در فضا، در زمانی معین است. امّا در عالم اینشتین سرعت نور اساسی‌تر از فضا و زمان است. فضا آن چیزی است که نور در آن حرکت می‌کند و زمان مدت حرکت (نور) است. بوسیلهٔ نور است که اجسام پراکنده در فضا را دیده و گذشت زمان را احساس می‌کنیم.

اتمها، نیز متکی به نور هستند تا بتوانند یکدیگر را از وقوع آنچه در

پیش است باخبر سازند. درنتیجه، کلیهٔ فرایندهای فیزیکی تحت فرمان سرعت نور قرار دارند.

حتیٰ اساسی تر از سرعت نور انرژی است. تجمع ماده و انرژی آرمیدهٔ آن در جسم عظیم، به کمک ثقل بر نور اثر می‌گذارد. اثرات بر رفتار نور، نتایجی برای محاسبهٔ فضا و زمان دربر دارد. مثلاً، یک سیاه‌چالٔ اگر بوسیلهٔ ناظری دوردست نگاه شود، همچنانکه گذشت زمان را کند می‌نماید فضا را خم می‌کند و در فواصلی کوتاه زمان را متوقف می‌سازد. او همچنین مشاهده خواهد کرد که نزدیک سیاه‌چال نور دچار تأخیر است. یک راه توجیه قضیّه اینست که بگوئیم فواصل گسترده می‌شوند ــ همچنانکه در مدل ورقهٔ لاستیکی قبلاً دیده شد ــ و نور ناگزیر خواهد بود که با سرعت معمولی خود فاصله‌ای بیشتر را طی کند. بیان دیگر و ساده‌تر موضوع اینست که نور از نکته‌نظر ناظر کند می‌شود.

اکنون فضائی را مجسم کنید که از شیشهٔ مخصوصی ساخته شده است، شیشه‌ای که نسبت به اجسام جامد و نور شفاف باشد. شیشه نور را کند می‌کند و هرچه شیشه متراکم‌تر باشد نور کندتر می‌شود.

یک جسم عظیم فضا را در مجاورت خود فشرده و تغییر می‌دهد. فضا در نزدیکی جسم عظیم متراکم‌تر است و بنابراین در آنجا نور وقتی که از دور نگاه می‌شود با کندی بیشتری حرکت می‌کند و این موجب می‌شود که فضا مثل یک ذره‌بین عمل کند و نوری که به طرف جسم عظیم می‌رود تا حدودی به طرف داخل آن میل می‌کند. امّا به‌طور موضعی ــ یعنی برای یک شخص، یا اتم که روی جسم عظیم قرار دارد یا برای ذرهٔ نور که در حال عبور است ــ سرعت نور و گردش زمان مطابق معمول به‌نظر می‌رسد. بنابراین فواصل باید متناسب با کند شدن ساعت‌ها کوتاه شوند.

فضای «شیشه‌ای» همچنین مانند یک دریچه عمل می‌کند. نور

راحت‌تر و سریع‌تر به طرف مرکز ثقل آن می‌رود تا به اطراف آن. کره‌هـای نوری این مطلب را نشان داده‌اند. (ضمناً، بلورهای واقعی وجود دارند که نور در جهات مختلف آنها با سرعتهای متفاوت حرکت می‌نماید). از اینرو، زمان همواره در یک جهت سریع‌تر از جهت دیگر می‌گذرد و همچنانکه گفته‌ایم، زمان جهتی فضائی کسب می‌کند. راحت‌ترین جهت برای حرکت یک جسم مسیری است که در آن زمان به سریعترین شکل می‌گذرد ــ هرچند که نوعاً جسم را به داخل پوسته‌های زمان، یعنی جائی که نور و زمان کند می‌شوند، هدایت می‌کند.

هرگونه مقاومت یا تلاشی از جانب جسمی که منجر به پی‌گیری مسیری مخالف شود، موجب کند شدن زمان می‌شود.

امّا تصویر شیشه‌ای فضا، بسیار ثابت است و نه فقط در حالتی که جسم عظیم خود در حال حرکت در فضاست، بلکه هنگامی‌که آن را آرام در قلمرو فضای خمیده و زمان خودش هم مجسم کنیم، این جسم مجبور است مستمراً در طول زمان عمل کند تا انحناء فضا را بدست آورد. و در جریان این کار مقدار کمی از انرژی یا جرم خود را از دست می‌دهد.

انرژی از فضای خمیده، با قدرت خارج می‌شود، همچنان که آب از اسفنجی که آنرا فشار دهیم.

استفان هاوکینگ[9] از دانشگاه کمبریج، این مطلب را به عنوان گسترش عمده‌ای از نظریهٔ اینشتین کشف نمود. در نزدیکی سیاه‌چال فضا گرم است و نتایج آن ممکن است مهیج باشد. فضا می‌جوشد ــ و این دلیل گرماست. اگر از محتویات مقداری از فضای کاملاً تهی که نسبت به کلیهٔ کهکشان‌ها بسیار دور است، شمارشی به عمل آید و سپس تمامی

9. Stephen Hawking

اجسام مورد انتظار از قبیل مقدار کمی از اتمها و مقادیر زیادی از ذرات نوری که از تمام جهات آن می‌گذرند از موجودی کم کنیم، هنوز هم چیز دیگری در آن فضای تهی باقی می‌ماند. این چیز را نمی‌توان به هیچ روش معمول غیر از یکی از قویترین نظریات فیزیک مدرن که بر وجود آن دلالت دارد، کشف نمود و آن اشاره‌ای پنهانی به هر چیزی است که انرژی قادر به آفرینش آن می باشد. وجود ذرات خیالی که بوسیلهٔ نظریهٔ کوانتوم پیش‌بینی شده بود، با اثراتی کوچک در «میزان‌سازی» اتمها تأیید شده است.

هاوکینگ نتیجه گرفت که انحناء متمرکز فضا درست در حاشیهٔ سیاه‌چال می‌تواند بعضی از این ذرات خیالی را به ذرات پایدار ماده و نور تبدیل نماید. او در ۱۹۷٤ اعلام داشت که سیاه‌چال‌ها گرم و قادر به انفجار هستند. این فرایند به اطراف کشیده شده و انرژی آرمیدهٔ سیاه‌چال را بیرون داده و دفعتاً با پخش مقادیر عظیم اشعهٔ گاما و ذرات شبه اتمی آنرا نابود می‌سازد. این موضوع می‌توانسته است، در دورهٔ ما فقط در تعدادی از سیاه‌چال‌های بسیار کوچک حاصله پس از انفجار بزرگ در منشأ عالم، رخ داده باشد. آیا باز هم انفجارات سیاه‌چال رؤیت خواهد شد؟ اخترشناسان می‌توانند وجود اشعهٔ گاما را تشخیص بدهند، این ذرات بـاردار که متناوباً از انفجارات حاصل می‌شوند، احتمالاً در حوزهٔ مغناطیس کهکشان منحرف شده و لذا موجب پخش نور قابل تشخیص و امواج رادیوئی می‌شوند.

در میان کارشناسان عقاید گسترده‌ای دربارهٔ اینکه آیا واقعاً انفجارات کوچک سیاه‌چالی رخ می‌دهد، وجود دارد و بیشتر این عقاید برمی‌گردد به اینکه دربارهٔ اتفاقاتی که در زمان انفجار بزرگ رخ داده است چگونه اندیشه شود.

مشاهداتی که تاکنون بدست آمده است به احتمال زیادی وجود انفجارات سیاه‌چالی را تأیید می‌نماید. اگر در هر سال فقط یک انفجار از این نوع و در فاصلهٔ ۱۵۰ سال نوری پیش بیاید، می بایست تاکنون وجود آنها رؤیت شده باشد.

۹

ستارگان تغییر مکان دهنده

به نظر می‌رسد، نور در اثر ثقل کند می‌شود.
کند شدن ظاهری نور با کند شدن زمان ارتباط دارد.
خم شدگی نور بدین مفهوم است که ثقل فضا را خم می‌کند.
اثرات توأم بر زمان و فضا خم شدن را دو برابر می‌کند.
خمش و کند شدن نور تحت تأثیر (ثقل) خورشید، قابل اندازه گیری است.

* * *

در فاصلهٔ ده ساله ۱۵ ــ ۱۹۰۵ که اینشتین در تلاش بود مفهوم فضا، زمان و ثقل را مشخص سازد، هیچ چیز راجع به سیاه‌چال‌ها، انفجار یا عدم انفجار آنان بر او معلوم نبود.

با نگاهی به پاره‌ای از عقاید و نکته‌نظرهای بعدی، خواننده ممکن است بهتر قادر به تقدیر از طبیعت نبرد اینشتین گردد. درحالیکه نظری گذرا به مشکلات خود اینشتین ممکن است موجب تشدید پاره‌ای از نکاتی که در فصول قبل راجع به فضا و زمان به نمایش گذاشته شد، گردد.

در گسترش نظریهٔ نسبیت عام او مواجه با مسائل عمدهٔ دیگری بود

1. The shifting stars.

که می‌باید با آنها دست و پنجه نرم کند، رئوس این مسائل در فصول بعدی عنوان خواهد شد، امّا روشن ساختن تأثیر ثقل بر نور وظیفهٔ عمدهٔ اینشتین تلقی می‌گردید.

تقریباً به محض اعلام اینکه بر طبق معادلهٔ $E=mc^2$ نور دارای وزن است ــ یعنی جرمی دارد، تأثیر نور بر ثقل ساده به نظر می‌رسید. یکی از واضح‌ترین احتمالات این بود که وقتی نور به طرف جسمی عظیم می‌رود، باید بوسیلهٔ آن منحرف شود، همانطور که گلوله در هنگام رسیدن به زمین انجام می‌دهد. در حقیقت اینشتین برای اینکه «چرا» نور می‌افتد دلیلی بسیار عمیق‌تر از آن در ذهن خود داشت، امّا فعلاً دنبال پاسخ این مسأله بود که «چگونه» این کار صورت می‌گیرد؟ اثرات کامل جسم عظیم بر فضا و زمان در مجاورت جسم به فوریت آشکار نشده بود.

او در اواسط پیشرفت‌های خود، یعنی در ۱۹۱۱ شروع کرد به اظهار نظر پیرامون پاره‌ای از «واکنش‌های نخستین». تا این تاریخ، تغییر مکان قرمز ثقلی را تعریف و از آن نتیجه‌گیری کرده بود که ثقل زمان را کند می‌کند. او با قاطعیت اعلام کرد که «هیچ چیز ما را مجبور نمی‌کند قبول کنیم ساعت‌هائی که تحت تأثیر نیروهای متفاوت ثقلی قرار دارند، باید زمان واحدی را نشان بدهند». او همچنین پیش‌بینی کرد نوری که از ستاره‌ای به طرف خورشید می‌رود به طرف خورشید خم می‌شود و این تأثیر در هنگام گرفتگی خورشید می‌تواند قابل رؤیت باشد. امّا محاسبه‌اش از مقدار خمش خطا بود. چند سال بعد که این اندازه‌گیری عملی شد، مشخص گردید که مقدار خم‌شدگی محاسبه شده توسط او نصف مقدار واقعی است.

استاد، اثر ثقل بر نور را دست‌کم گرفته بود زیرا او به این نکته توجهی نداشت که دو تأثیر وابسته بهم وجود دارند که موجب تقویت

متقابل اثرات همدیگر می‌شوند.

یکی اثر ثقل بر زمان است که برابر کند شدن نور بوده و باعث می‌شود فضای اطراف خورشید به شکل ذره‌بین درآید که پرتو نور را خم می‌کند. دیگری خمش فضاست که به‌نوبهٔ خود باعث طولانی شدن مسیر نوری می‌شود که به خورشید وارد یا از آن خارج می‌گردد. مثل اینست که ذره‌بین را ضخیم‌تر و قوی‌تر بنمائیم. در سال ۱۹۱۱ اینشتین اثر اوّلیه را می‌دانست امّا دوّمی را نه و لذا تصادفی نیست که تخمین نخستین اینشتین از مقدار خمش نور نصف آن چیزی است که باید باشد، زیرا مشارکت این دو تأثیر بر مسأله، مشارکتی برابر است. (و اینشتین چون دومی را نمی‌شناخت تأثیر آن را محاسبه نکرده بود ــ م). خم شدگی نور بوسیلهٔ تأثیر نخست، انحناء فضا را مطرح می‌سازد و انحناء فضا تأثیر ثانوی را پیش می‌کشد. اشتباهات پیش آمده قبل از آنکه از شخصیت او چیزی بکاهد، روشن کنندهٔ عظمت اوست.

این خطاها آنچنان تصویری از وی ارائه می‌دهند، که هیچ آدم آهنی ریاضیدانی، غیر از او که سرسختانه به نبرد اندیشه‌های دشوار می‌پرداخت، نمی‌تواند عالم را با آرامش تمام برای ما انسان‌های حقیر به‌طور شسته رفته بیان کند. مقالهٔ سال ۱۹۱۱، آش شله‌قلمکاری از دیدگاههای قدیم و جدید او بود و به همین دلیل است که محاسباتش دربارهٔ خمیدگی نور ستاره‌ای، خطاست. اینشتین هنوز ناگزیر بود که سنتز بزرگ خود را که عبارت از تقویت نظریهٔ کند شدن ساعت‌ها تحت تأثیر ثقل بود، در موضوع تغییر وضع زمان و فضا در اثر جسم عظیم به نحو عمده‌ای به پیش ببرد.

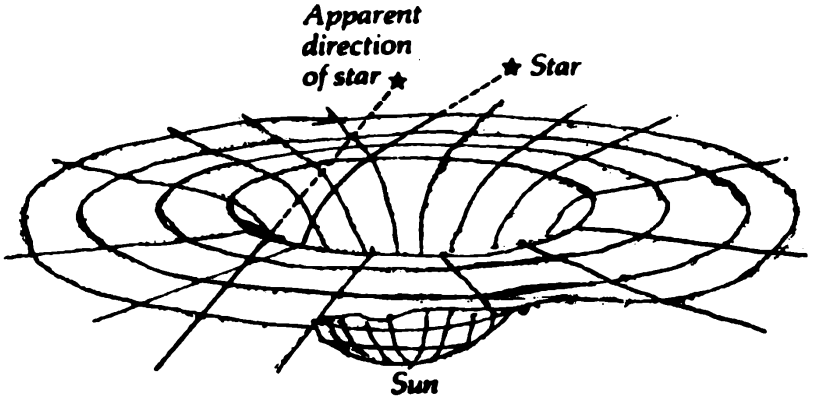
او می‌خواست عالم را به ساده‌ترین طریق ممکن استنباط نماید، اما این طرح اجباراً او را به انجام پاره‌ای از دقیق‌ترین و آزار دهنده‌ترین

محاسبات فکری ریاضی زمان خود کشاند.

محاسبات ریاضی نسبیت عام پیچیده است زیرا تلاش می‌شود تا کلیهٔ حالات احتمالی که هرگونه اجسام مادی دارای اشکالی غریب که ممکن است با سرعت‌های زیاد از کنار هم بگذرند و از ثقل یکدیگر متأثر گردند، مد نظر قرار داده شود. کلمهٔ «تلاش» را با تأمل می‌گویم زیرا تا اختراع محاسبه‌گرهای (رایانه‌های) بسیار نیرومند، غیرممکن بود که معادلات مربوط به نسبیت عام را بجز در خصوص ساده‌ترین وضعیت حاصل نمود. ابزار ریاضی لازم برای بیان فضا و زمان تغییر شکل یافته نمی‌تواند شبیه آنچه که در محاسبهٔ فشارهای داخل یک جسم جامد تغییر شکل یافته به کار می‌رود، باشد.

«حساب تانسوری»[۲] نظریه‌پرداز را قادر به توجیه تغییرات فشارهای فضا و زمان در کلیهٔ حالات ممکنه، و برای هر نقطهٔ بخصوص، می‌سازد. موضوع اصلاً مطلب اسرارآمیزی نیست، امّا ریاضیات بازدارنده‌اند و بهتر است ما هم آنرا در اینجا کاملاً کنار بگذاریم.

لیکن اینشتین نمی‌توانست از ریاضیات اجتناب کند و بنابراین



2. Tensor Calculus

در فاصلهٔ سالهای ۱۴ــ۱۹۱۲ دورانی بسیار پرزحمت را با مارسل گراس‌مان[3] ریاضیدان در زوریخ[4] گذراند. وقتی آن دو در پلی‌تکنیک زوریخ همشاگردی بودند، گراس‌مان به اینشتین ریاضیات می‌آموخت.

اکنون پروفسور گراس‌مان دانشمند به اینشتینِ نه چندان دانشمند، آموزش می‌داد که چطور بااستفاده از حساب تانسوری با هندسهٔ فضا زمانی[5] درآمیزد. آنها در جستجوی قانون جدیدی برای ثقل، این ریاضیات مرموز را به‌کار می‌گرفتند و تقریباً آنرا یافتند. آن دو آنرا نوشتند، امّا اینشتین در آن هنگام از درک این قانون عاجز ماند. هنوز هم در نبرد با این سئوال که در عالم گیج کنندهٔ نسبیت که خود آفریده بود چه چیز مورد قبول و معتبر است، دچار این تردید بود که قوانینِ طبیعت ممکن است از مکانی به مکان دیگر تغییر کنند.

اینشتین به طرف بحث‌های سادهٔ سیاه‌چال روی ننمود. و از تشخیص آن راه میان‌بر عاجز ماند و به هرحال خیالی بودن موضوع و عدم تعمیم آن محتملاً موجب عدم رضایت او از این موضوع بوده است در عوض به راه دشوار خود در کوهستان زیبا اما صعب‌العبور هیمالیای ریاضیات ادامه داد. با قبول شغل جدیدی در برلین در سال ۱۹۱۴، درست قبل از آنکه جنگ اروپا را دربر گیرد و همزمان با جدا شدن از همسر خود، آشفتگی ذهنی خود را بیشتر ساخت. با همهٔ این اوضاع، در سال ۱۹۱۵ وقتی‌که تنها، با اندیشه‌های خود در برلین می‌زیست، پیروزی بدست آمد: قوانین طبیعت همه‌جا یکسان حکم می‌رانند.

اوزیبائی نسبیت عام را نظاره کرده، درست‌ترین محاسبات ریاضی را یافته و سرانجام به نظریهٔ ثقلی خود دست یافته بود. او پیش‌بینی خود راجع

3. Marcel Grossmann 4. Zurich 5. Geometry of Spacetime.

به خمیدگی نور ستاره‌ای را، که در هنگام خورشید گرفتگی (کسوف) قابل رؤیت می باشد، تعدیل نمود. بعدها اعلام کرد:

سالهای جستجوی نگران کننده در تاریکی، با آرزوی شدید، نوسانات ایمان ویأس، و سرانجام ورود به روشنائی ــ فقط آنهائی که چنین چیزی را آزموده باشند، می‌توانند بفهمند، چه می‌گویم.

خمیدگی پرتو نور که از خورشید می‌گذرد به سهولت بسیار قابل محاسبه است. مجسم کنید در نقطه‌ای ایستاده‌اید که نور نزدیک‌ترین مسیر به خورشید را می پیماید. و نیز تصور کنید آن سیاه‌چال خیالی در مرکز خورشید را، و از خود سئوال کنید که از آن فاصله (که ایستاده‌اید) بزرگی سیاه‌چال به نظر شما چقدر است؟ پاسخ اینست که به اندازه زاویه‌ای که در چشم شما می‌سازد ــ به عبارتی اختلاف بین دو لبهٔ متقابل سیاه‌چال ــ مقدار زاویه‌ایست که بوسیلهٔ آن نور خمیده می‌شود. در تعابیر نوین، تصحیح اینشتین نسبت به نظریه‌اش، اندازهٔ سیاه‌چال و تودهٔ معین را دو برابر ساخته است.

اگرچه او با هیچ معیار پذیرفته شده‌ای، مردی خودبین نبود، امّا نتایج کارهای خود را دست کم نمی‌گرفت. وقتی که در سال ۱۹۱۹ از همسر اول خود جدا شد، بخشی از توافق آنها این بود که اینشتین پول‌های مربوط به جایزهٔ نوبل را باید به همسرش بدهد. او هنوز آن جایزه را نبرده بود امّا کاملاً مطمئن بود که بزودی خواهد برد و درواقع همسر اوّل او خانم میلوا اینشتین[۶]، باید فقط تا سال ۱۹۲۲ منتظر پول خود می‌شد. غیر از طرح مسأله در ارتباط با مسائل خانوادگی، اینشتین با آرامش کامل مطمئن بود که نظریهٔ ثقلی اش با مشاهدات عملی خمش نور تأیید خواهد شد. و در

6. Milevia Einstein

زمانی مُعین تلگرامی که نوید دهندهٔ این موضوع بود به اطلاعش رسید. دختر دانشجوئی از اینشتین پرسید اگر محاسباتش تأیید نمی‌شد، واکنش‌اش چه می‌بود؟ او گفت: «آنگاه من برای خدای بزرگ متأسف می‌شدم.»

اخترشناسان بریتانیائی نخستین شانس را بدست آوردند تا نظریهٔ ثقلی اینشتین را آزمایش کرده و ببینند آیا خورشید نور ستارگان دوردست را که به جانبش می‌آیند خم می‌سازد یا خیر و اگر خمش ایجاد می‌شود، میزان خم‌شدگی چقدر است. به‌طور معمول، ستارگان نزدیک خورشید به سبب وجود روشنائی خورشید، کاملاً نامرئی‌اند، امّا یکی از اتفاقات خوشحال کنندهٔ عالم اینست که ــ به‌نظر می‌رسد، از خوش‌شانسی اینشتین ــ در هنگام خورشید گرفتگی‌های کامل، ماه کاملاً در مقابل خورشید قرار می‌گیرد. بنابراین می‌توان ستارگان را تقریباً در جهت خورشید رؤیت نمود. اگر حق با اینشتین می‌بود، لازم بود بنظر رسد که خورشید موقعیت عادی دیگر ستارگان را، با فشار وارد آوردن بر آنها تغییر می‌دهد. مطابق طرق مختلفی که برای مُد روز ساختن نظریهٔ نیوتن به عمل آمده، می‌توان گفت که یا نور ستاره ابداً خم نمی‌شود یا برابر نصف آن مقداری که اینشتین قبل از تکمیل نظریهٔ خود، اشتباهاً پیش‌بینی کرد، خواهد بود.

در ۲۹ ماه مه سال ۱۹۱۹ خورشیدگرفتگی کاملی رخ داد که از اروپا و آمریکا قابل رؤیت نبود امّا دو گروه اعزامی به مناطق گرمسیر آنرا مشاهده نمودند. در طول جنگ مقالات اینشتین از طریق هلند به انگلستان رسیده بود و آرتور اِدینگتون[۷] اخترشناس به سرعت متوجه اهمیت نسبیت

7. Arthur Eddington

عام گردید. او حتیٰ قبل از متارکهٔ جنگ تدارک لازم برای مشاهدهٔ کسوف را مهیا ساخت. یک گروه اعزامی به برزیل شمالی و دیگری به جزیرهٔ پرینسیپ[8]، در گوشه‌ای از آفریقای غربی رفتند. در هنگام کسوف کلی اخترشناسان از ستارگان اطراف خورشید عکس‌برداری نمودند. ابتدا در محل و سپس با دقت بسیار بیشتر در انگلستان، موقعیت ستارگان را اندازه‌گیری و دریافتند که نور ستاره‌ای، درواقع خمیده می‌شود.

نتایج بدست آمده در پرینسیپ، خمیدگی بسیار کمتری از پیش‌بینی اینشتین نشان داد، امّا آنها که از سوبرال[9] تهیه شده بود کمی بیشتر از پیش‌بینی نشان می‌داد. نتایج خورشید گرفتگی یک پیروزی بود. بیش از دو قرن بود که عقاید نیوتن بدون اعتراض، در زمینهٔ ثقل حاکم بود امّا با چهار سال تلاش اینشتین در تکمیل نظریه‌اش، نظریهٔ او تأیید و نیوتن از تخت سرنگون شد. خمیدگی نور تحت تأثیر ثقل، آن چنانکه قبلاً هم تأکید شد، هستهٔ نسبیت عام است. امّا اندازه‌گیری‌های بعدی خمیدگی نور ستارگان در کسوف‌های دیگر، نتایج وسیع پراکندهٔ دیگری در پی داشت. این اندازه‌گیری‌ها تا ۶۰٪ با پیش‌بینی‌های اینشتین مغایرت داشت. مشکلات حاصله از این مشاهدات قبل از هر چیز متوجه شکست نظریه گردید. در حالی که این نتایج هیچگونه بازگشت به نظریهٔ نیوتن را مجاز نمی‌دانستند، با اینهمه، آزادی بیشتری بدست آمد تا جانشینی برای محاسبات ثقلی پیدا نمایند. لذا، ۶۰ سال بعد از پیروزی نخستین، اخترشناسان و نسبیت‌دانان، مصمم شدند که این طریق بررسی در نظریات اینشتین را رها سازند.

8. Principe 9. Sobral

۹. شهری در شمال شرقی برزیل که یکی از مراکز تجاری و کشاورزی است. م

امّا رادیو اخترشناسان کار بهتری انجام می‌دهند. مطابق تعریف، اخترنماها منابع دقیق انرژی رادیوئی هستند و بویژه دو تا از آنها به منظور بررسی خمیدگی انرژی رادیوئی توسط خورشید مورد مطالعه قرار گرفتند. آنها ۳C۲۷۹ و ۳C۲۷۳ نامیده می‌شوند. این اخترنماها، در آسمان نزدیک به هم قرار دارند و در هشتم اکتبر هر سال زمین در موقعیتی از گردش مداری خود واقع می‌شود که خورشید در مقابل ۳C ۲۷۹ قرار گرفته و موجب گرفتگی این اخترنما می‌شود. مطابق پیش‌بینی اینشتین ۳C۲۷۹ در مقایسه با یک مانع غیرفعال کمی دیرتر محو و کمی زودتر در حاشیهٔ دور خورشید ظاهر می‌شود.

علاوه بر این استقرار مناسب ۳C۲۷۳، می‌تواند به عنوان مأخذی در آلمان، برای رادیو اخترشناسان به کار رود تا مشاهده کنند که چگونه وضعیت ظاهری ۳C۲۷۹ هنگامی‌که نزدیک به حاشیهٔ خورشید قرار دارد تغییر می‌کند.

تا سال ۱۹۷۰ مشاهدات انجام شده از این واقعه سالانه، که در آمریکا و انگلستان توسط رادیو تلسکوپ‌ها انجام گرفته است، پیش‌بینی اینشتین را با تقریباً ده درصد اختلاف تأیید می‌کند.

تکامل تکنیک‌های مربوط به «خط مبناء بسیار بلند»[۱۰] که باعث می‌شود رادیوتلسکوپ‌های مستقر در قاره‌ها و اقیانوس‌ها و در فواصل هزاران مایلی از یکدیگر به نحو همزمانی عمل کنند، محاسبهٔ بسیار دقیق‌تر خمیدگی نور را نوید داده است. در چنین بررسی هائی اساس کار بر این موضوع قرار دارد که دقّت لازم در مطالعهٔ اجسام سماوی ارتباط به اندازهٔ تلسکوپ و برحسب طول موج نور یا امواج رادیوئی مورد اکتشاف دارد.

10. Very long baseline

نمی‌توان بشقابی به اندازهٔ زمین ساخت امّا با انجام مشاهدات همزمان با استفاده از دو رادیو تلسکوپ وسیع یا تعداد بیشتری از آن که با استفاده از ساعت‌های اتمی همزمان می‌شوند، این کار مقدور است. (این هم زمان‌سازی، به یک معنی نفی کنندهٔ اینشتین است!). چنین ارتباطات رادیو تلسکوپی بین آمریکا، اروپا و استرالیا برقرار و باعث جمع‌آوری اطلاعات بهتری دربارهٔ اخترنماها و رادیو کهکشانهای[11] کوچک مقیاس گردیده است. و با استفاده از این روش مطالعاتی خمیدگی نور در مورد ۳C۲۷۹ و دیگر اخترنماها دومین پیش‌بینی دقیق اینشتین یعنی عدد ۱/۷۵ با حدود یک دهم درصد معلوم گردید. تا سال ۱۹۷۶ که از خط مبناء نسبتاً کوتاهی در آزمایشگاه ملی مشاهداتی رادیو اخترشناسی[12] در وست ویرجینیا[13] استفاده می‌شد، صحت نظریات اینشتین با یک درصد خطا مقدور بود.

مطالعات رادیو اخترشناسی فراسوی عالم باعث افزایش دقت گردیده و دیگر لزومی ندارد که برای بررسی اثر ثقل، خورشید را از نزدیک بنگریم.

اگر درست بعد از غروب آفتاب به آسمان بنگرید، وضعیت ستارگان بالای سر ما به علت خمش نور آنها به طرف خورشید، به مقدار جزئی به سمت شرق رانده می‌شود. در بامداد این تغییر محل به طرف غرب است. این تغییر جزئی و تقریباً برابر چهار هزارم ثانیه در هر قوس یا برابر ده میلیونیم درجه است. امّا رادیو اخترشناسان ممکن است توانائی بررسی دقیق موضوع را پیدا کنند.

11. Radio galaxies

12. National Radio Astronomy Observatory

13. West Virginia

در محاسبهٔ کامل اینشتین از خم‌شدگی نور، تأخیر نور روشن نبود. نوری که به طرف جسم عظیمی مانند خورشید می‌رود، وقتی توسط ناظری دوردست به آن نگاه شود، باید آهسته به نظر آید.

در سال ۱۹۱۵ هیچ روشی یافت نمی‌شد که این مسأله را مستقیماً آزمایش کنند. اشکال کار روشن است: برای اندازه‌گیری سرعت نور باید آن را به طرف خورشید ارسال و پس از رسیدن به خورشید مجدداً نور را دریافت و زمان طی طریق را محاسبه نمود. به عبارت دیگر یک انعکاس لازم است. امروزه انعکاسات راداری، اندازه‌گیری سرعت امواج رادیوئی را که به طرف خورشید می‌روند مقدور ساخته است و می‌دانیم که سرعت امواج رادیوئی و نور یکی است. آن طور که از زمین قضاوت می‌شود، نزدیک به خورشید، درواقع نور کند به نظر می‌رسد، و اگر غیر از این باشد، باید گفت سیارهٔ زهره دچار حالت پرش می‌باشد! دریافت انعکاسات راداری از سیارات پیشرفتی بزرگ بود که در حوالی ۱۹۶۰ حاصل شد.

رادیوتلسکوپ عظیمی که در آن هنگام به‌کار گرفته شد، فرستنده‌های نیرومند و دریافت کننده‌های فوق حساسی داشت. مثلاً وقتی‌که سیارهٔ زهره در حاشیهٔ دور خورشید قرار دارد، نیم ساعت زمان لازم است تا امواج رادار برگشته و انرژی خود را در طول راه به مصرف برسانند. معهذا انعکاسات کشف شدند و ایروین شاپیرو[۱۴] از مؤسسهٔ تکنولوژی ماساچوست (M.I.T) دریافت که این می‌تواند راهی در بررسی نظریهٔ ثقل اینشتین باشد.

لازم به یادآوری است که شاپیروی تجربه‌گر مواجه با مخالفت

14. Irwin Shapiro

نظریه‌پردازان دربارهٔ تفسیر تأثیر اینشتینی گردید و عده‌ای از نظریه‌پردازان منکر آن شدند که هیچگونه کند شدنی در انعکاسات مشاهده شود. چنین اظهارنظرهائی دلیل بر سوء استنباط نسبیت عام حتیٰ در میان متخصصین، قبل از آزمایشات روشنگرانهٔ فعلی بود.

هنگامی‌که شاپیرو و همکارانش سیارهٔ زهره را همچنان‌که از حاشیهٔ دور خورشید می‌گذشت با رادار ردیابی می‌کردند، به نظر می‌رسید که فاصلهٔ این سیاره از زمین چند مایل دورتر شده و مجدداً به موقعیت خود بازگشته است، همهٔ این مسائل در طی یک ماه رخ داد. سیاره درواقع یک چنین کاری نمی‌کند. این انحراف ظاهری مسیر در مقایسه با فاصلهٔ زهره از خورشید (٦٧ میلیون مایل) جزئی است، با اینهمه برای انجام یک چنین انحراف مسیر و بازگشت به مسیر عادی سیاره، منبع انرژی‌ای معادل چند بیلیون بمب هیدروژنی لازم است.

امّا، رادار با توجّه به زمان لازم برای رفت و برگشت نوسانات، فاصلهٔ هدف خود را اندازه می‌گیرد و آنچه رادار اخترشناسان[15] می بینند نتیجه‌ای است که پس از کند شدن نوسانات در نزدیک خورشید رخ می‌دهد.

در یک رشته آزمایشات ممتاز بین سال‌های ۱۹٦٦ و ۱۹۷۰، شاپیرو و همکارانش تأخیرات را روشن و برحسب میلیونیم ثانیه اندازه‌گیری کردند، که بسیار نزدیک به پیش‌بینی‌ها بود. شاپیرو برای مجموعهٔ راداری خود رادیوتلسکوپ هی‌ستاک[16] دانشگاه M.I.T را که با فرستنده‌ای با قدرت ایجاد نوسانات ۵۰۰,۰۰۰ واتی و گیرنده‌ای حساس مجهز بود، به کار گرفت. او هم زهره و هم تیر را مشاهده و تأخیرات یا آنچه

15. Radar astronomers 16. Haystack

که انحراف مسیر ظاهری سیاره‌ها خوانده می‌شد، دریافت. نتایج حاصله تقریباً دو درصد با آنچه مورد انتظار نظریه بود، اختلاف داشت.

نتیجهٔ مشاهده در ماهی که سیاره نزدیکترین مسیر را با خورشید دارد مشخص‌تر است، امّا نتایج انباشتهٔ سالانه[۱۷] در زهره که سیاره ظاهراً تا ۵۰ مایل تغییر مکان می‌دهد، بزرگتر است. نتایج مشابهی که حاکی از دقتی مشابه است، توسط دیگر دانشمندان در آزمایشگاه جت پروپولسیون[۱۸] کالیفرنیا در آزمایش با سفینه بدست آمده است. علائمی که از زمین به سفینه مارینر[۱۹] که به اعماق منظومهٔ شمسی حرکت می‌کرد، ارسال گردیده بود با چنان وضعی برگشت داده شد که از یک انعکاس راداری قویتر بود.

مجدداً تأخیرات برملا شده، همچون اثری از ثقل که حرکات ویژه‌ای بر نور و زمان اعمال می‌کند، پدیدار شد. اخیراً، از مبادلات رادیوئی انجام شده با سفینهٔ وایکینگ[۲۰] که در سطح سیارهٔ بهرام مستقر می‌باشد، صحت بیشتری بدست آمده است. وقتی‌که بهرام در حاشیهٔ دور خورشید قرار دارد تأخیرات زمان درست به همان شکل که مورد انتظار نسبیت عام است و با نیم درصد اختلاف از پیش‌بینی ها رخ می‌دهد:

شاپیرو مشغول ادامهٔ پیشتازی خود در اینگونه آزمایشات است، او می‌گوید:

خوب یا بد، منظومهٔ شمسی بهترین آزمایشگاه مطالعهٔ نسبیت عام می‌باشد.

17. Cumulative effect
18. Jet Propulsion Laboratory
19. Mariner
20. Viking

۱۰

خطوط قطار در آسمان

اجسام بدون نیرو، در فضای خمیده تا می‌توانند مستقیم حرکت می‌کنند.
در سرعتی مُعین هر جسم می‌تواند بر گرد جسم عظیم طی مدار کند.
تعریف اینشتین پاسخ هائی بسیار نزدیک به تعریف نیوتن می‌دهد.
یک مدار اینشتینی، به آهستگی به اطراف می‌چرخد (تغییر مسیر می‌دهد).
گردش (تغییر مسیر) مدارات قابل تشخیص است.

* * *

برجسته‌ترین دلیل انحنای فضا اینست که ماه در گردش یک ماههٔ خود به گرد زمین، مسیری منحنی می پیماید و در همان حال زمین هم در گردش سالانه‌اش به اطراف خورشید (ستارهٔ مادر) از معبری منحنی می‌گذرد. به نظر می‌رسد که سیارات و اقمارشان در **خطوط قطار آسمانی** حرکت می‌کنند. نیاکان ما تصور می‌کردند که خدایان و فرشتگان آنها را به پیش می‌رانند، اسحٰق نیوتن می‌اندیشید که نیروی ثقل او (ثقل نیوتنی)، حرکات آنها را کاملاً توجیه می‌کند. امّا آلبرت اینشتین ثقل نیوتنی را برهم زد و گفت که سیارات واقمار به آزادی سقوط کرده و هرچه بتوانند مستقیم‌تر در فضای منحنی سفر می‌کنند. همچنانکه پیشتر گفته شد: جسم عظیم فضا و زمان را در اطراف خود می پیچاند و این پیچاندگی ها

موجب هدایت حرکات سایر اجسام نزدیک آن می‌شود. انحنای فضا کافیست که باعث گردد هر جسمی که دارای حرکت مستقیم می باشد، به همان وضعیت مستقیم بر گرد جسم عظیم ادامه دهد تا به مکان اول خود برسد.

مسیرهای نزدیک به دایرهٔ ماه در اطراف زمین و سیارات بر گرد خورشید، به هیچوجه شبیه مسیر جسم در حال سقوط به نظر نمی‌رسد.

اگر این شباهت بیشتر بود، قانون نیوتن دربارهٔ ثقل جهانی می‌توانست به راحتی توسط یونانیان باستان کشف گردد. هفده قرن نبوغ انسانی لازم بود تا معلوم شود که ثقلی که ماه را هدایت می‌کند همان ثقلی است که سیب را به طرف زمین می‌راند. نیوتن خودش نیز در مساعدت به خوانندگان خود به منظور استنباط این مطلب که مدار از ثقل تأثیر می پذیرد، دچار گرفتاریهائی بود. در فرایند بیان مسأله در کتاب اصول[1]، اوماهواره‌ای مصنوعی اختراع کرد ــ اگرچه تقریباً ۳۰۰ سال طول کشید تا با ظهور اسپوتنیک 1 [2] اندیشهٔ نیوتن عملی گردد.

نیوتن از خوانندگانش خواست که تفنگی را که بر کوهی بلند به‌طور افقی هدف گیری شده است مجسم کنند گلوله‌ای که از تفنگ با سرعت کم خارج می‌شود، مسیرش به طرف پائین منحنی می‌شود و به زمین برخورد می‌کند. امّا در سرعت‌های بیشتر و در مسیرهای بلند که به طرف پائین به فراسوی افق برسد، عامل جدیدی وارد بازی می‌شود. سطح زمین نسبت به مسیر سقوط گلوله منحنی شده و لذا مسیر طویل‌تر می‌گردد. اگر تفنگ می‌توانست گلوله را با سرعت کافی پرتاب کند، انحناءِ مسیر گلوله تحت تأثیر ثقل می‌توانست دقیقاً دراثرانحنای فوقانی زمین زیر مسیر

1. Principia

2. Sputnik 1

خنثیٰ گردد. گلوله همچنان در حال سقوط است، امّا به هیچوجه به زمین نزدیکتر نمی‌شود، در عوض زمین را دور زده و همچنان به حرکت خود ادامه می‌دهد و در اصل این مسأله برای همیشه تداوم می یابد، زیرا هرگاه که به نقطهٔ آغاز خود برسد با همان سرعت قبلی راهش را ادامه می‌دهد. (البته در اینجا مقاومت هوا در نظر گرفته نمی‌شود.) گلوله تبدیل به یک ماهواره می‌شود. در نظریهٔ نیوتن، نیروی ثقل ماهواره را مانند فلاخنی که سنگ را در انتهای نخی بلند، نگه می‌دارد، در مدارش حفظ می‌کند. در نظریهٔ اینشتین نیروئی در کار نیست و ماهواره در حالت بی وزنی بر خط قطار طبیعی خود در فضا حرکت می‌کند.

تا اینجا، پیچاندن زمان و فضا در اثر ثقل، مخصوصاً با استفاده از عباراتی چون کند شدن ساعتها، کند شدن ظاهری نور، تغییر مکان کرهٔ نوری زمان آینده به طرف جسم عظیم، و خمش پرتو نور که به طرف جسم عظیمی چون خورشید در حرکت می باشد، شرح داده شده است. تجسم بخشیدن به مدارات مستلزم دیدگاهی کلّی‌تر از اطراف جسم عظیم می باشد.

برگردیم به زمین اسفنجی با سیاه‌چالی خیالی در مرکز آن و ببینیم چگونه تسلط خود را بر ماه و ماهواره‌های مصنوعی اعمال می‌کند. سیاه‌چال در محاصرهٔ «پوسته های زمان» است، جائی که هرچه از آنجا به طرف داخل سیاه‌چال حرکت کنیم، ساعتها کندتر می‌شوند. سیبی که مستقیماً به زمین می‌افتد، وارد نواحی کندتر زمان شده و سرعت خود را آنقدر افزایش می‌دهد تا انرژی کلّی خود را بدست آورد. امّا در وضعیت یک مدار مدور واقعی، ماهواره فقط در داخل یک پوستهٔ زمان قرار گرفته و انرژی جنبشی آن تغییر نمی‌کند و اگرچه از مسیر خود خارج می‌شود ولی به طرف مرکز زمین نمی‌رود، زیرا حرکات جنبشی جانبی ماهواره، مانع

این امر می‌شود. زمان آیندهٔ ماهواره در مسیر معینی از فضا تمایل دارد و این تمایل متأثر از حرکت ماهواره است. چنین می‌نماید که زمان آیندهٔ آن بیشتر به سمت جلو باشد تا اطراف یا عقب، زیرا لازم است که موتوری روشن شده یا به چیزی برخورد کند تا حرکت آن تغییر یابد.

بنابراین مسیر هر جسم در فضا، توافقی است بین «آیندهٔ ثقل» ــ که طبیعتاً به طرف مرکز نزدیکترین جسم عظیم است ــ و «آیندهٔ حرکت» که به‌طور طبیعی به سمت جلو در جهت خط فعلی حرکتش قرار دارد. بدون صرف انرژی و بدون اعمال نیرو بر آن، جسم مسیری منحنی می پیماید.

ضرورت هر مدار اینست که، بتوان در آن با سرعت مناسبی شروع به انجام حرکات جانبی نمود. اگر بسیار آهسته حرکت کنید، به پائین افتاده و با منبع ثقل برخورد می‌کنید. و در صورت حرکت خیلی تند به دوردست های فضا پرواز خواهید کرد.

سرعت مداری لازم در اطراف زمین بستگی به تأثیر ثقل دارد و بنابراین همچنان که از زمین دور بشوید، کاهش می یابد. ماه بسیار کندتر از ماهواره‌های ساخت بشر که در مداری نزدیک به زمین حرکت می‌کنند، در حال گردش است. چنانکه قبلاً گفته شد، وقتی فاصله را از مرکز زمین دو برابر کنید، کند شدن زمان نصف می‌شود. انرژی جنبشی لازم برای یک مدار مناسب، نیز نصف می‌شود و سرعت لازم برای کسب انرژی مناسب برای همهٔ اجسام یکسان است. این استدلال دربارهٔ زمان، حرکت ماهواره را به محاسبهٔ قبلی دربارهٔ سقوط سیب ارتباط می‌دهد.

نگریستن برانحنای فضا، شرحی روشن‌تر از مدار مدور، بدست می‌دهد. صفحهٔ لاستیکی مسطح را که نمایانگر فضا بود و منحنی شدن آن را که با تثبیت وزنه‌ای سنگین در آن ایجاد شد، بخاطر بیاوریم. بنابراین

می‌توانید راجع به ماه یا هر ماهوارهٔ مصنوعی هم که بر گرد مرکزی زمین همچون ماشین های مسابقه در خط های ویژه‌ای در حرکت اند، بیاندیشید.

برای روشن ساختن این تصویر، مسیر نور را در نزدیکی زمین در نظر بگیرید، خمیدگی نور، نخستین نشان انحنای فضاست. خمش نور ستاره‌ای، حتیٰ توسط خورشید بسیار جزئی است؛ و در مورد زمین در واقع بسیار جزئی‌تر است، معهذا می‌تواند برای ما دلیلی قانع کننده باشد. در سطح زمین مسیر نوری که افقی حرکت می‌کند، قطاعی از دایره را می پیماید که شعاع آن تقریباً معادل یک سال نوری است. من و شما نمی‌توانیم آنرا از یک خط مستقیم باز شناسیم، معهذا این خود نشانی از انحنای فضا در مجاورت ماست.

اشیاء مادی بسیار کندتر از نور حرکت می‌کنند و بسیار مشخص‌تر از آن در نزدیک زمین تحت تأثیر انحنای فضا واقع می‌شوند.

مسیرهای آنان سریع‌تر منحنی می‌شود. به عبارت دیگر آنها قطاعی از دایره‌ای کوچکتر را طی می‌کنند که شعاع آن بستگی به سرعت هر جسم دارد. بنابراین می‌توان این سئوال را مطرح ساخت که سرعت دایرهٔ انحنای مسیر جسم چقدر باید باشد تا تشکیل دایره‌ای واقعی را در اطراف زمین بدهد به قسمی که جسم در مداری پائین در اطراف زمین حرکت کند. در اینجا از مجذور سرعت استفاده می‌شود و آن باید کسری از مجذور سرعت نور باشد، به همان نسبتی که شعاع زمین کسری از یک سال نوری است. سرعت لازم درست برابر آن مقداری است که روس‌ها در پرتاب نخستین اسپوتنیک انتخاب نمودند یعنی ۰/۰۰۰۰۲۷ سرعت نور یا پنج مایل در ثانیه. برای هر ماهواره‌ای در نزدیک زمین ۱/۵ ساعت طول می‌کشد تا زمین را دور بزند.

دورتر از زمین چه اتفاق می‌افتد؟ نوری که از فاصلهٔ ماه و زمین به

زمین برسد، کمتر از نوری که فعلاً به آن می‌رسد دچار خمش می‌شود. در چنین فاصله‌ای ثقل زمین فضا را کمتر منحنی می‌سازد. اگر سرعتی که ماه برای حفظ انحنای مسیر خود لازم دارد تا در فاصله‌ای ثابت نسبت به زمین قرار گیرد، محاسبه شود، این سرعت برابر ۰/٦۳ مایل در ثانیه خواهد بود. و این طبیعتاً همان سرعتی است که ماه در گردش ماهانهٔ خود بر گرد زمین دارد. این سرعت همچنین معرف درست همان کاهش سرعتی است که ــ در مقایسه با ماهوارهٔ نزدیک به زمین ــ با استدلال قبلی در مورد زمان و انرژی هم باید همین‌قدر کاهش یابد.

بنابراین صحبت کردن از کند شدن زمان یا انحنای فضا پاسخ‌های مشابهی می‌یابد ــ و البته همینطور هم باید باشد.

باز هم موضوع را بررسی می‌کنیم، اینک ماه و ماهواره‌های مصنوعی را داریم که در فضای منحنی طی مدار می‌کنند. با امکان حرکت هرچه مستقیم‌تر و هرچه آهسته‌تر، آنها خود را در حال پیمودن خطوط قطاری مدوری می‌یابند که مناسب با سرعت و فاصله‌شان از زمین می‌باشد. هیچ ذکری از جرم یا ترکیب ماهواره نشده است. هیچ فرقی بین اجسام مداری، چه یک مادهٔ طبیعی باشد، یا مجموعه‌ای از ماشین‌آلات مثل اسکای‌لب، یا یک گلوله برفی نیست.

اینشتین موضوع ثقل را از دیدگاهی کاملاً متفاوت آغاز و با کمال تعجب به همان نتیجه‌ای رسید که نیوتن از ارتباط بین سرعت حرکت یک ماهواره و فاصلهٔ آن با زمین، بدان رسید. در مورد سیارات منظومهٔ شمسی همان قانونی صادق است که یوهانس کپلر[3] و نیوتن در هنگام درک گردش منظومهٔ شمسی، آنرا در اندیشه داشتند. ولتر[4] دربارهٔ

3. Johannes Kepler 4. Voltaire

آن گفت: «طبیعت وجود ندارد، هنر همه چیز است... یقیناً پاره‌ای اشخاص زرنگ مثل اعضاء انجمن سلطنتی لندن ترتیب چنین چیزهائی را می‌دهند.»

از اینشتین متشکریم که این امتیاز را به ما ارزانی داشت تا علاوه بر جنبهٔ هنری موضوع، ببینیم که همه چیز از این طبیعی‌ترین واقعیت که در مجاورت جسم عظیم، نور کند شده و فضا منحنی می‌شود، پیروی می‌نماید.

تاکنون، سقوط مستقیم سیب‌ها به زمین و حرکات اجسام در مدارات مستدیر شرح داده شده است. امّا اجسام واقعی گاهی میل دارند که از مدار خود به بیرون بگریزند. مدار سیارات بر گرد خورشید به شکل بیضی ــ یعنی دایرهٔ کشیده ــ است و نه دایرهٔ کامل و درواقع این کشف بزرگ کپلر در اوایل قرن نوزدهم بود که راه را برای نیوتن هموار ساخت.

هر سیاره در ضمن گردش مداری خود بر گرد خورشید، کمی به خورشید نزدیک شده و سپس از آن دور می‌شود. چون نیوتن و اینشتین در مورد سقوط مستقیم به پائین و مدارات مستدیری پاسخ‌های مشابهی می‌دهند، جای تعجب نخواهد بود اگر متوجه شویم که آن دو دربارهٔ مدارات بیضوی، توافق کامل دارند. و تا آنجا که اینشتین در نظریه با نیوتن موافقت دارد، او (اینشتین) تمامی گردش سماوی که مؤید نظریهٔ نیوتن می باشد را به نحو شایسته ای می‌تواند در جهت تأیید خود به کار گیرد.

محاسبهٔ حرکات سیاره‌ای، علمی درخور احترام می باشد:

امروزه، به عنوان نمونه این علم به ما می‌گوید که چگونه در اعصار یخبندان زمین، ثقل موجب پیشرفت یا عقب‌نشینی یخ گردیده است. ثقل ماه (و تا حدود کمتری) ثقل خورشید باعث می‌شود که محور زمین در مسیری مورب بچرخد. سیارات دیگر منظومهٔ شمسی، بویژه مشتری، بهرام و

زهره بر مورب بودن مسیر محور و شکل مدار آن به نحوی کم و بیش دوره‌ای[5] تأثیر گذاشته و اثرات مهمی را در تمرکز اشعه‌ای که در نقاط متفاوت زمین و در فصول مختلف آن از خورشید می بارد، موجب می‌شوند. هر چند یکبار، وضعیت زمین و حالت مداری مساعد آن، توأماً موجب آب شدن قطعات یخ در اثر تابش خورشید می‌گردد ــ همانگونه که در پایان تازه‌ترین دوران یخبندان در حدود ده هزار سال قبل رخ داده است. اما اینک، به دلیل اینکه ثقل بازی با سیارهٔ ما را ادامه می‌دهد، اعصار نسبتاً آرام بین دوره‌های یخبندان به پایان خود نزدیک می‌شود.

در پدیده‌هائی شبیه این، پیش‌بینی‌های اینشتین و نیوتن به هم پیوست. اگر بین نظریه‌ها، به هیچوجه اختلافی نبود، در آن صورت انتخاب هریک از دو ثقل جنبهٔ سلیقهٔ شخصی پیدا می‌کرد. امّا تفاوت‌های ظریفی بین نظریهٔ اینشتین و سلفش آشکار می باشد. برای روشن ساختن این تفاوت بار دیگر برمی‌گردیم به سیاه‌چال خیالی و بخاطر داشته باشید که قطر سیاه‌چال از نظر نسبیت عام دقیقاً دو برابر آن چیزی است که با محاسبه براساس قوانین شبه‌نیوتنی حاصل می‌شود. کند شدن زمان و انحناء فضا اثر یکدیگر را تقویت می‌نمایند و جرم هستهٔ مرکزی سیاه‌چال می‌تواند بیش از دو برابر مقدار مورد انتظار در هر وضعیت دیگر نور را تضعیف بنماید. قطر سیاه‌چال خیالی در مرکز خورشید بجای ۱/۸۵ مایل (براساس قوانین شبه‌نیوتنی ــ م) برابر ۳/۷ مایل خواهد بود. در فواصل زیاد از خورشید، عملاً این تفاوت، موجب اختلافی در نوع ثقل نمی‌شود. امّا همچنانکه به آن نزدیکتر بشوید، اثرات ثقل اندکی بیش از نظریهٔ نیوتن افزایش می یابد.

5. Cyclic

سیاره‌ای که نزدیک به خورشید قرار دارد، ناگزیر است برای حفظ مدار مستدیر خود، اندکی سریع‌تر حرکت کند. و سیاره‌ای که در مدار بیضوی خود به طرف خورشید شیرجه رفته، اطراف آن نوسان می‌کند و از آن دور می‌شود، وقتی که به نزدیکترین وضعیت نسبت به خورشید می‌رسد، دچار مقداری ثقل «اضافی» می‌گردد. ناظری که از دوردست بر این سیاره می‌نگرد، می بیند که سیاره قبل از دور شدن مجدد خود، برای لحظه‌ای در آن پوستهٔ زمان درنگ می‌کند.

در نظریهٔ نیوتن، سیاره دقیقاً یک راه را برای همیشه می پیماید مگر اینکه در اثر تأثیر سایر سیارات، اختلالی در حرکت آن قابل محاسبه باشد. در نظریهٔ اینشتین اینطور نیست، بلکه سیاره میل دارد، در هر گردش به دور خورشید محل «نقطهٔ جوار»[۶] خود به خورشید را نیز تغییر داده و آنرا به جلو ببرد (شکل صفحهٔ بعد). هر بار که سیاره خورشید را دور می‌زند «نقطهٔ جوار» نیز ذره‌ذره به جلو رانده می‌شود و با گذشت قرن‌ها کل مدار بیضوی تدریجاً چرخش یافته یا به جلو رانده می‌شود.

این پیشروی بسیار آهسته است. در مورد زمین که هر سال در ماه ژانویه به نزدیکترین فاصله با خورشید می‌رسد، پیشروی «نقطهٔ جوار» فقط برای چند مایل در مداری به اندازهٔ تقریباً ۶۰۰ میلیون مایل در اطراف خورشید، می باشد.

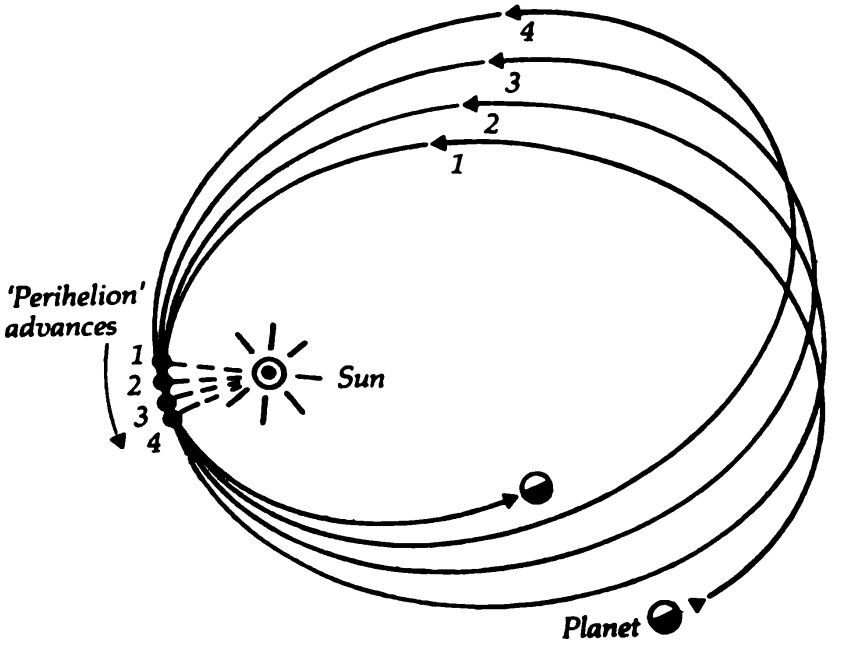
امّا اینشتین دلیل قانع‌کننده‌ای داشت که بر این تفاوت ظریف‌بین نظریهٔ خود و نیوتن تأکید ورزد. بیش از همه، این موضوع در مورد سیارهٔ تیر که نزدیکترین سیاره به خورشید است معلوم و درواقع اخترشناسان قرن نوزدهم، تفاوتی را در حرکات تیر تشخیص داده بودند.

6. Perihelion

تلاش آنها این بود که اثرات را به کمک وجود سیارهٔ ناشناخته‌ای به نام ولکان[۷] توجیه نمایند. امّا وقتی که از وجود ولکان خبری نشد، بعضی اخترشناسان جرأت یافتند بگویند که نظریهٔ نیوتن، ممکن است کاملاً درست نباشد.

نظریهٔ اینشتین این تفاوت را به نحو کاملی بیان می‌نمود و این یکی از نخستین پیروزیهای نظریهٔ نوین ثقلی او بود.

بررسی حرکات تیر یکی از موارد بسیار ماهرانهٔ اخترشناسی است. به‌نظر می‌رسد که «نقطهٔ جوار» تیر، تقریباً یک دقیقهٔ قوس (یک شصتم درجه) در هر سال و به سبب جنبش محور زمین، تغییر مکان می‌دهد. و به اندازهٔ تقریباً یک دهم آن (یعنی ۰۰ء/۱ درجه ــ م)، این نقطه تحت تأثیر سایر سیارات و نه به علّت تأثیر اینشتینی، واقعاً حرکت می‌کند. آنچه در این مورد توسط اینشتین بیان شد، یکصدم از حرکت مشاهده شده کمتر است. اخیراً ایروین شاپیرو و دیگران با استفاده از مشاهدات راداری



7. Vulcan

دقیق تأثیر اینشتینی سیارهٔ تیر را با اختلاف نیم درصد از آنچه پیش‌بینی شده بود، محاسبه نموده‌اند.

جسمی که می‌تواند جنبش لازم مداری را بسیار دقیق‌تر از تیر نشان بدهد، یک اختر تپنده[8] ــ اختر نوترونی در حال تپش ــ می‌باشد. این اختر توسط رادیو اخترشناسانی که با تلسکوپ آرسیبو[9] در پرتوریکو[10] مشغول کار بودند کشف شد. جوزف تایلر[11] و همکارانش از دانشگاه ماساچوست در سال ۱۹۷٤ آنرا یافتند. این کشف برای یک نسبیت‌دان شادمانی بزرگی است.

نام ثقیل آن یعنی اختر تپندهٔ ۱۶ + ۱۹۱۳[12] به موقعیت سماوی آن مربوط می‌شود. اغلب آنرا اختر تپندهٔ دوتائی می‌نامند، زیرا با سرعت و خیلی نزدیک در اطراف اختر متلاشی شدهٔ دیگری به قسمی حرکت می‌کند که با آن یک «دوتائی» یا منظومهٔ دو ستاره‌ای را می‌سازد. این اختر از ما فاصلهٔ زیادی، شاید در حدود ۱۵۰۰۰ سال نوری دارد. اختر همراه آن که هنوز هم رؤیت نشده است، احتمالاً یک کوتولهٔ سفید، اختر نوترونی ثانوی، یا یک سیاه‌چال باشد. از امواج رادیوئی که در حدود هفده بار در ثانیه می‌فرستد (معلوم می‌شود که) این اختر مثل ساعت دقیقی عمل می‌کند. با استفاده از پدیدهٔ داپلر، مدار آن ابتدا سیاره را به سمت زمین رانده و سپس دور ساخته و متناوباً موجب تند و کند شدن «ساعت»، در هر ۸ ساعت یکبار می‌گردد. پس از سالها مشاهدهٔ این منظومهٔ دو ستاره‌ای تپنده، اکنون تایلر می‌تواند اعمال آن را با دقت بسیار پیش‌بینی کند. او می‌تواند پس از چند ماه قطع ارتباط با ستاره مجدداً به مطالعهٔ آن پرداخته و

8. Pulsar
9. Arecibo
10. Puerto Rico
11. Joseph Taylor
12. Pulsar 1913+16

نخستین موج دریافتی را دقیقاً در زمان لازم وصول و این کار را با اختلاف کمتر از یک هزارم ثانیه از زمان پیش بینی شده انجام دهد.

جنبش مداری اختر تپنده قابل توجه است. نزدیکترین موقعیت اختر تپنده نسبت به همراه نامرئی آن چهار درجه در سال پیشروی می‌کند ــ یعنی ۳۰,۰۰۰ برابر سریع‌تر از پیشروی مدار تیر بر گرد خورشید. از نظریهٔ اینشتین می‌توان نتیجه گرفت که این اجرام توأم یعنی اختر تپنده و همراه آن، دارای جرمی برابر ۲/۸۳ برابر خورشید می باشند.

رادیو اخترشناسان سالها تکاپو در مقابل خود دارند تا بتوانند اجرام این دو جسم را در حالات مختلف مجسم و تمام جزئیات را در رد نظریهٔ اینشتین به کار بگیرند.

یکی از هیجان‌انگیزترین احتمالات آنست که آنها تغییری اندک اما مستمر در سرعت اختر تپنده در مدارش خواهند یافت و دلیل این امر آنست که اجرامی که به سرعت در این نظام دوتائی در حال گردش‌اند، می‌توانند به انجام شکلی جدید از تشعشع، پخش انرژی بنماید. درنتیجه، این دو جسم باید به یکدیگر نزدیک شده و بر سرعت‌شان افزوده شود. اگر تغییر سرعت قابل تشخیص باشد، دلیلی غیرمستقیم بر وجود امواج ثقل[۱۳] خواهد بود. این امواج موضوع فصل بعدی است. بهترین نام برای آنها «تشعشع ثقلی»[۱۴] است، زیرا «امواج ثقل» اصطلاحی است که توسط سایر فیزیکدانها برای نامیدن بیشتر امواج عادی مایعات متأثر شده از ثقل، به کار می‌رود. امّا بعضی از اساتید که در پی شکار امواجی از نوع اینشتینی آن هستند، به راحتی آنها را «امواج ثقل» می‌نامند و ما هم در اینجا از همین سنت پیروی خواهیم کرد.

13. Gravity Waves

14. Gravitational radiation

۱۱

امواج ثقل

فضای تابیده با نیروئی مواج باعث اتساع اجسام می‌شود.
اینشتین، نوسان‌های مواج یا امواج ثقل را پیش‌بینی کرد.
امواج ثقل موجب اتساع اجسام در جهات مختلف می‌گردند.
امواج ثقل، امواجی بسیار ضعیف‌اند.
رویدادهای نیرومند کیهانی، باعث پیدایش امواج ثقل، که (امواجی) قابل کشف‌اند می‌شوند.

* * *

امواج دریا از جملهٔ مؤثرترین پدیده‌های زندگی روزانه‌اند. وقتی‌که امواج به صخره‌ها برخورد می‌کنند، دریانوردان دچار احتیاط می‌شوند. تماشای بندر گاه در هنگامی‌که آب عقب‌نشینی نموده، قایق‌ها را بر گل می‌نشاند و اندیشیدن در این‌باره که چند ساعت دیگر توده‌های آب در سطح میلیون‌ها مایل مربع، بر هم انباشته شده و مجدداً قایق‌ها را شناور خواهد ساخت، موجب می‌شود که تصور دقیق‌تری از نیروی ثقل بدست آید. امواج دریا، دلیلی است روشن بر انحناء فضا در مجاورت خورشید و ماه.

با حرکت اجسام کیهانی، ماه نیز همچون دانه‌ای شن به حرکت درآمده و به جهت نزدیکی بسیار زیاد آن با زمین توانائی ایجاد جذر و مد آن دو برابر توانائی مشابه خورشیدی (بر زمین ــ م) خواهد بود. بنابراین می‌توان صرفاً با مد نظر قرار دادن تأثیر ماه و به سادگی مسأله را مورد

بررسی قرار داد. وقتی ماه نسبت به زمین در موقعیت‌های متفاوتی قرار گیرد، تفاوت‌هائی در ثقل ظاهر می‌گردد که موجب پیدایش امواج می‌شود.

هنگامی‌که دریانوردی در اقیانوس اطلس ماه را بالای سر خود می‌بیند، نسبت به دریانورد دیگری که در نقطهٔ مقابل آن و در اقیانوس آرام می‌باشد، هشت هزار (۸۰۰۰) مایل به ماه نزدیکتر است. بنابراین اقیانوس‌های جهان در جستجوی بخش‌های مختلفی از کرهٔ ماه که خود جزئی از فضا ــ زمان تابیده است، می‌باشند.

با در نظر گرفتن تأثیر متوسط ثقلی ماه بر زمین نتیجه می‌شود، آبی که در بخش نزدیک به ماه قرار دارد، یعنی هنگامی‌که ماه بالای سر (دریانورد) است، تحت تأثیر نیروی بیشتری واقع می‌شود. آب در پوسته‌های زمانی کندتر ماه وارد می‌شود و ما آن را به صورت برآمده می‌بینیم (مدّ ــ م). در نقطهٔ مقابل، ثقل ماه کمتر بوده و نتیجتاً آب اقیانوس از ماه فاصله می‌گیرد (جزر ــ م). در نواحی ای که ماه در افق مشاهده می‌شود (و نه بالای سر ــ م)، سطح آب دریا در پائین‌ترین حد قرار دارد.

نتیجهٔ نهائی اینست که کرهٔ آب به شکل تخم‌مرغ (بیضوی) منبسط و رأس آن به طرف ماه قرار می‌گیرد. ماه نیز دارای شکلی جامد و شبیه آنچه که گفته شد می‌باشد و درنتیجه توانائی جذر و مدسازی زمین بر ماه انتهای تخم‌مرغی اش متوجه زمین می‌گردد امّا زمین به دور خود می‌چرخد و همچنانکه در ضمن این گردش نواحی جدیدی وارد منطقهٔ انبساط می‌شوند، سطح آب دریا در آن مناطق بالا می‌رود. تخم‌مرغ (منبسط شده ــ م)، دارای دو انتهاست و بنابراین تقریباً در هر شبانه‌روز دو بار مد رخ می‌دهد. به علت وجود اصطکاک بین آب در حال حرکت و خشکی، زمین آب اقیانوس‌ها را ــ که در حالت محدب قرار دارند ــ

همراه خود می‌گرداند و در اثر حرکات ظاهری ماه و خورشید، امواج اندکی از فاز (نمود) خارج می‌شوند.

علاوه بر این اصطکاک موجب کند شدن گردش زمین گشته و شبانه‌روز ۲۴ ساعتهٔ ما، در هر ۲۰۰ میلیون سال تقریباً یک ساعت طولانی‌تر می‌شود.

با توجه به شواهد موجود، امواج مؤید فضای تابیده است. انحنای فضا، معرف اندازهٔ خمش نور است و بستگی دارد به اندازهٔ تغییر ساعت‌ها و تشدید ثقل بتدریج که به منبع آن (ثقل) نزدیک می‌شویم. امّا انبساط آب اقیانوس در امتداد خطی به طرف ماه، دلیل واضحی از تشدید ثقل می‌باشد.

اگر فضای منحنی به جسمی عظیم نزدیک گردد، فضا نابود می‌شود (یعنی): سطح و حجم کره با توجه به اندازهٔ شعاع آن کمتر از مقدار مورد انتظار است.

از اینرو وقتی‌که چیزی به طرف جسم عظیمی سقوط می‌کند، بوسیلهٔ امواج (ثقل) در امتداد حرکت کشیده شده و برای آن که از حجم آن کاسته شود، لازم است که از اطراف فشرده شده و با فضای منقبض متناسب گردد.

مطابق نظر اینشتین نیروئی که سیب را به طرف زمین رانده و ماه را در مدار آن هدایت می‌کند، نیروئی موهوم است و آنچه واقعیت دارد فضای منحنی و نیروهای جزر و مدّی که ایجاد می‌کند، می‌باشد. این نیروها می‌توانند انسانی را تیکه‌پاره کنند.

تغییر شکل‌های تأثیر موجی (جزر و مدی)، تحت شرایط عادی آرام، امّا در مجاورت یک سیاه‌چال به آشفته‌ترین نحو متجلی می‌گردد. فضانوردی که به داخل سیاه‌چال سقوط می‌کند، به نحوی چنان نیرومند،

فشرده شده و اتساع می‌یابد که حتیٰ قبل از رسیدن به سطح سیاه‌چال به صورت رشتهٔ اسپاگتی طویلی درمی‌آید. اقیانوس‌های تخم‌مرغی شکل و (پدیدهٔ) رشته‌ای شدن[1] فضانورد، دلیلی محسوس بر انحناء موضعی فضاست.

دلیل دیگر (مؤید) اتساع موجی آنست که اگر دو قطعه سنگ را پشت سر یکدیگر، از پرتگاهی به پائین بیاندازیم، همراه با تداوم سقوط، فاصلهٔ آنها هم از یکدیگر بیشتر می‌شود. سنگ اوّل که زودتر شتاب گرفته است همواره از سنگ دوّم زودتر حرکت خواهد کرد. شتاب نسبی دو سنگ دلیل دیگری بر انحناء فضاست.

نیروی ثقل بر سفینه‌ای که موتورهایش خاموش باشد بلااثر است، به عبارت دیگر (چنین سفینه‌ای) بی وزن است. امّا فضانوردان مآل‌اندیش آینده می‌توانند، طالب دستگاهی برای تشخیص سیاه‌چال‌ها باشند. آنها خواهند توانست اجسام عظیم نامرئی را به کمک تأثیر موجی کشف کنند. ناوگانی از سفاین فضائی که به اتفاق حرکت می‌کنند با روش ساده‌ای می‌توانند فواصل بین یکدیگر را ردیابی نمایند. اگر آنها در فضای تهی و غیرمنحنی سرعت خود را طوری هماهنگ سازند که در نظمی کامل حرکت کنند، هرگونه برخورد با فضای منحنی موجب بهم خوردن تشکل‌شان می‌شود و موضوع با رادار قابل تشخیص خواهد بود.

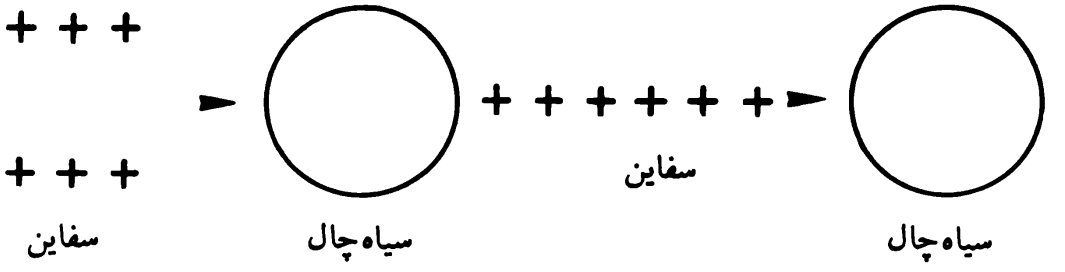
فواصل سفاین نسبت به یکدیگر در راستای خطی که به طرف سیاه‌چال قرار دارد افزایش یافته و سفاینی که در امتداد خطی عمود بر خط نخست قرار گرفته‌اند فاصله‌شان نسبت به هم کاهش می‌یابد. اندک اندک ناوگان به صورت پیکانی درآمده و به جانب سیاه‌چال نشانه

1. Spaghettification

می‌رود.

یکی از برجسته‌ترین نتایج کار اینشتین آن بود که (براساس آن) می‌بایستی محموله‌هائی از فضای منحنی ــ یعنی نوسانات موجی ــ بسیار دور از اجسام عظیمی که آنها را بوجود آورده‌اند، در فضای تهی سفرکنند. هیچ چیز، انحنای‌فضا را، بهتر از احساس تغییر انحناء نشان نمی‌دهد، یعنی آنچنان که زلزله احساس می‌شود، حرکت انحناء را نیز حس بکنیم. این یکی از دلایلی است که تحقیق پیرامون امواج ثقل، در اواخر دهۀ ۱۹۷۰ به صورت اندیشه‌ای پایدار ذهن تجربه‌گران را اشغال کرده است (بود ــ م).

اینشتین در سال ۱۹۱۶، وجود امواج ثقل را به عنوان نتیجۀ جانبی و آنی نظریۀ ثقل پیش‌بینی کرد. درست به همان روش که جیمز کلارک ماکسول[2]، جلوتر از آن وجود امواج برق مغناطیس[3] را در اثر نظریۀ



وضعیت نهایی

وضعیت ابتدائی

2. James Clerk Maxwell

3. Electromagnetic waves

یگانگی[4] برق و مغناطیس، پیش‌بینی کرده بود. شباهت (این دو نظریه) بیشتر از اینهاست. امواج برق مغناطیس با به تکان آوردن یا ایجاد نوسان در بارهای الکتریکی بوجود می‌آیند. در یک فرستندهٔ رادیوئی، الکترون‌ها، سریعاً پیرامون اتم به نوسان درمی‌آیند، آنها می‌توانند از مداری به مدار دیگر پریده و عملاً موجب پیدایش نور مرئی بشوند. در ماشین ایجاد اشعهٔ مجهول (X) بیمارستان، پرتوی از الکترون‌های انرژی‌دار به هدفی اصابت و در اثر توقف شدید الکترون‌ها اشعهٔ مجهول (X) بوجود می‌آید. به همین طریق هرگونه نوسان یا تکان ماه باید موجب ایجاد امواج ثقل شود.

و درست همانگونه که یک موج برق مغناطیسی در انتهای مسیرش با به حرکت آوردن بارهای الکتریکی دیگر، موجب ایجاد نیرو می‌شود، یک موج ثقل هم اصولاً خواهد توانست فضا را درنوردیده و اجرام دیگر را به حرکت درآورد.

برخلاف بیشتر اشکال انرژی، یک موج ثقل می‌تواند از اشیاء جامد هم عبور کند ــ مثلاً از زمین ــ و به مقدار کمی تضعیف شود. اثر آن شبیه اثر «مقدار» اضافی موج است که ضمن عبور مکرراً موقعیت خود را تغییر می‌دهد. اگر تصور شود که موجی از ثقل از طریق یک میدان فوتبال به زمین وارد شود، نخست میدان را به مقدار جزئی بلندتر و کم‌عرض‌تر نموده و سپس آنرا کوتاه‌تر و عریض‌تر خواهد نمود.

امواج ثقل، شکلی از ارتباط در عالم است. درحقیقت بحثی بسیار ساده وجود آنها را اجتناب‌ناپذیر می‌سازد. ستارگان و سیارات به اطراف حرکت کرده و حرکات شدید موجب تغییر نظم ماده در فضا

4. Unified

می‌گردد. سئوالی که پیش می‌آید اینست: اشیاء چگونه «می‌دانند» که حالت ثقل نیز تغییر می‌کند؟ مثلاً فرض کنید ماه به زمین سقوط کند. در نظام زمین ــ ماه، ماهواره‌های زمینی و قمری و بقایای طبیعی اجسام دیگر وجود دارند که حرکات آنها تحت تأثیر ثقل و مبتنی بر موقعیت های موجود تداوم می یابد و پس از سقوط ماه به زمین دیگر نمی‌توانند بر مدارات قبلی خود حرکت کنند، لذا علائمی لازم است که آنها را متوجه این تغییر جدید (سقوط ماه به زمین ــ م) بنماید. چنین چیزی مستلزم جریانی از انرژی است، چیزی شبیه امواج ثقل.

امّا انتظار می‌رود که امواج ثقل بسیار ضعیف باشند و این موضوع برای برخی از تجربه گران که در پی کشف این امواج هستند ایجاد دردسر می‌کند. اینشتین خود، انرژی تشعشعی مربوط به بازوهای جسمی شبیه یک آسیاب بادی را محاسبه نمود. او به این نتیجه رسید که اگر آسیاب مورد نظر برای یک میلیون سال به حرکتی یکنواخت ادامه دهد، فقط یک بیلیون بیلیون بیلیونیم ($۱۰^{-۲۷}$) از انرژی چرخشی آن تبدیل به امواج ثقل خواهد شد. ضعیف بودن امواج ثقل، لازمهٔ زندگی در روی زمین است، زیرا اگر سیارهٔ ما مقدار بیشتری از انرژی خود را به صورت امواج ثقل پخش می‌کرد، مدتها قبل از ظهور انسان در روی زمین، به داخل خورشید پرتاب و متلاشی می‌شد.

دلیل اساسی این ضعف (امواج ثقل) آنست که مرکز ثقل حرکت نمی‌کند.

هرگونه حرکت یک جرم به یک سمت، با حرکت جرمی دیگر و در جهات مخالف آن خنثی و متعادل و همچنین موجب حذف امواج ثقل می‌شود. اگر ماه به زمین سقوط کند، تنها چیزی که تغییر می‌کند ترتیب دقیق قرار گرفتن اجرام خواهد بود. این مسأله موجب خواهد شد که در

احساس ثقل نظام زمین ــ ماه در سیارهٔ دیگری مثلاً بهرام، تفاوتی اندک حاصل گردد.

برای امیدواری از احساس درک امواج ثقل ــ حتیٰ در جزئی‌ترین شکل آن ــ در روی زمین باید در پی منابع نیرومند تولید آن بود. ستارگانی که نزدیک به یکدیگر در وضعیتی «دوتائی» حرکت می‌کنند، باید امواج ثقل نسبتاً نیرومند و پیوسته‌ای، مخصوصاً در وضعیت بسیار نزدیک بهم، بوجود بیاورند. امّا اگر امواج خارج شده از کلیهٔ ستارگان دوتائی مستقر در کهکشان راه شیری[5] باهم جمع شوند، باز هم بسیار مشکل خواهد بود که بتوان بوجود آن پی برد. آشفتگی‌هائی که همراه با انفجار ستاره‌ای عظیم حادث می‌شوند، باید امواج ثقل بسیار نیرومندتری ایجاد کنند، و این شاید یکی از بهترین شرایطی باشد که با امکانات فعلی بتوان بوجود امواج ثقل پی برد. امّا اشکال در اینست که یک چنین رویدادهائی در کهکشان ما بسیار به ندرت و هر صد سال یک بار رخ می‌دهد.

سیاه‌چال‌های اخترخوار بسیار عظیم در مراکز کهکشانی دیگر، باید امواج ثقل مکرر بیشتری تولید کنند. تصادمات بین سیاه‌چال‌ها، مخصوصاً می‌توانند از منابع نیرومند این امواج به‌شمار آمده و احتمالاً شدت وقوع این تصادمات در پهنهٔ عالم علیرغم آنچه تصور می‌شود، کمیاب نیست.

نخستین کسیکه ردیاب‌های[6] موج ثقل را ساخت، جوزف وبر[7] از دانشگاه مریلند[8] بود. در اواسط دههٔ ۱۹۶۰، ابزار اساسی او متشکل از

5. Milky Way Galaxy
6. Gravity-wave detectors
7. Joseph Weber
8. University of Maryland

استوانه‌ای آلومینیومی به وزن یک و نیم تن بود و به این منظور ساخته شده بود که در صورت برخورد موج ثقل دارای بسامد مناسب با آن، به نوسان درآید.

استوانه در اطاقی از خلأ به کمک گیره‌های خنثی کنندهٔ نوسان آویخته شده و اطراف استوانه را کمربندی از بلورهای پیزوـ الکتریک (نشان دهندهٔ فشار برق) احاطه کرده بود. این بلورها در مقابل کوچکترین فشارها، با ایجاد اختلاف سطح برقی (ولتاژ الکتریکی)، واکنش نشان می‌دادند. دو مجموعه از یک چنین آنتن‌هائی برای دریافت امواج ثقل هم‌زمان مشغول کار بودند، یکی در محل کار وبر و دیگری ۶۰۰ مایل آنطرف‌تر و در آزمایشگاه ملی آرگون[9] نزدیک شیکاگو قرار داشتند آن دو بعدها با افزودن صفحه مدور آلومینیومی در مریلند، کامل شدند.

کارهای پیشتازانهٔ وِبر بسیار عالی بود، امّا به اعتقاد بسیاری از فیزیکدان‌ها، ادعای او بر دستیابی به امواج ثقل، نابهنگام به نظر می‌رسید. تحریک حاصله که در اثر گرمای داخل استوانه‌ها و تجهیزات الکترونیک بوجود آمده بود، معرف علائم قلابی‌ای بود که آنتن‌ها، هم در دانشگاه مریلند و هم در آزمایشگاه آرگون ضبط کرده بودند. امّا جدا از این مطلب هر روز یک بار درست در زمانی معین، استوانه‌ها تکان می‌خوردند. وِبر ادعا می‌کرد که از هر ۶ برخورد ضبط شده فقط یک مورد آن ناشناخته و بقیه احتمالاً در اثر امواج ثقل بوده است. عقیدهٔ وِبر این بود که این امواج اساساً از منابعی نزدیک به مرکز کهکشان راه شیری می‌آیند.

مشکل کار این بود که وِبر اینطور وانمود می‌کرد که گوئی اثرات تشعشع ثقلی بسیار زیادی را درمی‌یابد. برای تأیید چنین مطلبی لازم می‌آمد که

9. Argonne National Laboratory

هر ساله مقادیر عظیمی از ماده که حداقل چندین برابر خورشید باشد، در مرکز کهکشان راه شیری نابود شود.

باگذشت‌ترین فیزیک‌اخترشناسان نیز نمی‌توانستند بگویند چگونه ممکن است چنین امحاء عظیمی از ماده، بدون ارسال هیچ علائم دیگری غیر از لرزیدن استوانه‌ها، رخ دهد. خود وبر «مسألهٔ انرژی» را (آنطور که خود آنرا نامید)، شناسائی و چنین اظهارنظر می‌کرد: «آزاد شدن طولانی انرژی، قوی‌ترین دلیل بر اینست که نتایج آزمایشات کاملاً مفهوم نشده و باید نسبت به آن با تردید نگریست». بهرجهت وقتی دیگر تجربه‌گران در آمریکا و اروپا ردیاب‌هائی با حساسیت‌های مشابه ساختند، نتوانستند هیچ اثری از امواج ثقل ضبط یا آنرا تأیید نمایند، چیزی که بنابر عقیدهٔ وبر: به وفور یافت می‌شود.

در اواخر سالهای ۱۹۷۰، درحالیکه صدمین سالگرد تولد اینشتین نزدیک می‌شد، ردیاب‌های جدید موج ثقل ساخته شد و در دوازده آزمایشگاه در سراسر جهان کار گذاشته شدند. این ردیاب‌ها اساساً مشتمل بر سه نوع بودند. نخستین نوع آنها از همان نسل ردیاب‌های وبر امّا با حساسیت یک میلیون بار بیشتر از آن بود. گام اساسی آن بود که دستگاهها نزدیک به صفر مطلق کار کنند، تا از تأثیر حرارت که آنچنان موجب اختلال کار وبر شده بود، جلوگیری شود. ساختن این ردیاب‌ها که نمایانگر تلاشی شگفت‌آور در فعالیت‌های مهندسی است در مرکز آرگون (با مشارکت وبر)، دانشگاه استانفورد[10] در کالیفرنیا، دانشگاه ایالتی لوئیزیانا[11]، دانشگاه رم[12] و دانشگاه استرالیای غربی[13] واقع در پرت[14]،

10. Stanford University
11. Louisiana State University
12. University of Rome
13. Western Austrialia
14. Perth

به عهده گرفته شد.

به عنوان نمونه می‌توان از ردیاب دانشگاه استانفورد، که توسط ویلیام فیربنک[۱۵] و همکارانش با استفاده از یک استوانه پنج تنی آلومینیومی تکمیل گردید، نام برد. برای افزایش حساسیت دستگاه نسبت به حرکات خفیف امواج ثقل مشهور، تجربه‌گران استانفورد حرارت‌سنج های جدید مناسب درجات حرارت پائین به نام حساسگرهای «ماهی مرکب»[۱۶] را به خدمت گرفتند.

نظام عایق‌بندی و سرمازائی خارق‌العاده‌ای طراحی شد تا بتوان جرمی عظیم را تا یک دهم درجهٔ صفر مطلق (C ۲۷۳° —)، سرد نمود.

دومین نوع، ردیاب معتبر فوق حساسی بود که عالی‌ترین جواهرات جهان یعنی نوعی یاقوت کبود تک‌بلور بزرگ ــ مصنوع دست بشر ــ در آن به کار رفته است. این نظر را ایگور براژینسکی[۱۷]، که یکی از تجربه‌گران برجستهٔ نسبیت در مسکو بود، ابراز داشت.

تک‌بلور مانند «زنگ» بسیار حساسی عمل می‌کند، به قسمی که حتی در مقابل حرارت های بسیار پائین درون خود نیز حساسیت نشان داده و به جنبش درمی‌آید. این باعث می‌گردد که علائم قلابی به حالت «وزوز» (پیوسته ــ م) و علائم امواج ثقل به شکل صدای منقطع (کلینیک)[۱۸] از یکدیگر قابل تشخیص باشند.

چنین ردیاب‌هائی در دانشگاههای مسکو[۱۹] و راچستر[۲۰] (در آمریکا)، رو به تکامل می‌روند. در سومین نوع عمدهٔ ردیاب‌های نسل جدید، تجربه‌گران از به‌کارگیری فنون مهندسی در ایجاد درجات

15. William Fairbank 16. Squid Sensors 17. Igor Braginsky

18. Clink 19. Univ. of Moscow 20. Univ. of Rochestor

فوق‌العاده پائین اجتناب ورزیده و در عوض حساسیت بیشتر را با استفاده از دستگاههای ظریف و منجمله پرتوهای لیزر بدست آورده و حرکات نسبی اجرامی را که با فاصلهٔ زیاد از یکدیگر قرار دارند، پی‌گیری می‌نمایند. (اصول کار شبیه آن چیزی است که چند صفحهٔ قبل در مورد تشخیص سیاه‌چال با استفاده از تأثیر موجی، در مورد ناوگان سفاین فضائی بیان شد) اجرام با زاویهٔ قائمه یا در موقعیت مربع نسبت به هم قرار دارند به نحوی که اگر یک موج ثقل به جانب‌شان برود، ابتدا موجب اتساع یکی از اضلاع زاویه و کوتاه شدن ضلع دیگر آن شده و نهایتاً موقعیتِ اضلاع زاویه را با یکدیگر عوض می‌کند. ساخت این نوع ردیاب‌های «منفک جرم»[۲۱]، نخست در آزمایشگاه تحقیقاتی هیوز[۲۲] آمریکا شروع و همراه دیگر انواع، به نحو قابل توجهی در دانشگاه گلاسگو[۲۳]، مؤسسهٔ تکنولوژی ماساچوست[۲۴] و انستیتوی فیزیک ماکس پلانک[۲۵] در مونیخ[۲۶] تکمیل شد. در نوعی ردیاب که بوسیلهٔ رونالد درِور[۲۷] و همکارانش، در سال ۱۹۷۸ در گلاسگو ساخته شد، چهار جرم در رئوس مربعی به ضلع سی وسه‌پا (تقریباً ده متر ــ م) مستقر گردیده است. یک دسته پرتو لیزر چندین بار بین اجرام تابانده شده و قادر است تغییرات بسیار ناچیز به اندازهٔ یک میلیون بیلیونیم اینچ ($۱۰^{-۱۵}$) را ــ که بسیار کوچکتر از اندازهٔ هسته یک اتم می‌باشد ــ نشان بدهد. امّا این دقت خارق‌العاده نیز برای نشان دادن امواج ثقل مناسب نبوده و ممکن است خیلی به‌ندرت و هنگامی‌که ظهور امواج ثقل زیاد باشد، وجود آنها

21. Separated-mass
22. Hughes Research Laboratory
23. Univ. of Glasgow
24. Massachussets Institute of Technology
25. Max-Plark
26. Munich
27. Ronald Drever

را تأیید کند. بنابراین فیزیکدان‌ها افکارشان را متوجه اختراع دستگاههای دیگری می‌کنند که مثلاً در فضا عمل کند یا حتی بر «اصل نایقینی»[۲۸] که در نگاه اوّل محدود کنندهٔ دقت ممکن، به نظر می‌رسد، تفوق یابند.

اختر تپنده‌ای که در فصل قبل شرح داده شد، باید از دست دادن انرژی را با خروج امواج ثقل انجام دهد. اگر این اثر با نظریهٔ اینشتین بخواند، باید وجود آن در حرکات این ستاره در سالهای اوّل دههٔ ۱۹۸۰* تأیید گردد. مشاهدات اختر تپندهٔ دوتائی می‌تواند به‌طور غیرمستقیم مؤید امواج ثقل، قبل از آنکه رديابها در روی زمین و به‌طور مستقیم آنها را نشان بدهند باشند. با کشف آشکار امواج ثقل این داستان به پایان نمی‌رسد. یک یا دو تجربه خوب ممکن است در تأیید وجود امواج تکافو نموده، و پیش‌بینی اینشتین را به روشن‌ترین شکل آن تأیید نماید، امّا فیزیکدان‌ها پس از آن می‌خواهند که جزئیات امر و مخصوصاً سرعت امواج را مورد بررسی دقیق قرار بدهند. ساده‌ترین راه بررسی این خواهد بود که رویدادی مرئی شبیه آنچه با انفجار اَبَرنوا[۲۹]ی یک ستاره اتفاق می‌افتد، تشخیص و امواج ثقل مربوط به آن کشف شود. اگر حق با اینشتین باشد، باید همزمان با رسیدن پرتو نور این انفجار به زمین، امواج

28. Uncertainty Principle

۲۸. اصل نایقینی ــ Uncertainty Principle یا Undeterminancy Principle در سال ۱۹۲۷، توسط فیزیکدان آلمانی ورنر هایزنبرگ (Werner Heisenberg) کشف شد. بر طبق این اصل: موقعیت و سرعت یک جسم را نمی‌توان ــ حتیٰ از دیدگاه نظری (تئوریک) ــ دقیقاً، به‌طور هم‌زمان اندازه گرفت. م

* ظاهراً تا هنگام نوشتن کتاب چیزی مشخص نبوده است و متأسفانه بر مترجم هم چیزی معلوم نیست. م

29. Supernova

ثقل هم برسند، زیرا سرعت آنها با سرعت نور برابر است. شکل امواج و شباهت آنها با آنچه پیش‌بینی شده است یکی از آزمایشات مهم نسبیت عام خواهد بود.

نظریه‌های رقیب، سرشتِ امواج ثقل را با موشکافی متفاوتی پیش‌بینی می‌کنند. بعضی از آنها که شدت امواج را بیش از اینشتین تصور می‌کنند، با توجه به مشاهدات حاصله از اختر تپنده، مردود اعلام شده‌اند، زیرا هیچگونه انرژی کافی که با آن نظریه‌ها منطبق باشد از اختر تپنده خارج نمی‌شود.

توزیع تعدادی از ردیاب‌ها در سراسر جهان یا در فضا موجب خواهد شد که جهت آمدن امواج در آسمان مشخص گردد. بنابراین «اخترشناسی موج ثقل»[۳۰] به عنوان یکی از روش‌های مطالعهٔ عالم اینشتین، آینده‌ای بسیار گسترده خواهد داشت. این مسأله با کشف سیاه‌چال‌های فوق عظیم در کهکشان‌های درحال انفجار و اخترنماها، ــ که تقریباً از منابع بسیار مطمئن امواج ثقل به هنگام سقوط ماده در آنها می‌باشند ــ متناسب است.

«زلزله‌های فضائی»[۳۱] نادر امّا خارق‌العاده‌ای که در اثر برخورد بین سیاه‌چال‌ها در فواصل بیلیون‌ها سال نوری اتفاق می‌افتند، قابل تشخیص خواهند بود. به عنوان پایان‌بخش امواج ثقل باید گفت: درست همان‌گونه که امواج برق مغناطیس (بر طبق کشف اینشتین) از ذرات نور یا فوتون‌ها تشکیل یافته‌اند، امواج ثقل هم از ذرات ثقل (گراویتون‌ها)[۳۲] تشکیل شده‌اند. تشریح اعمال این ذرات راه دیگری است برای ادراک انحناء فضا. تصور می‌رود که ذرات ثقل موجب انتقال اثرات ثقل بین

30. Gravity-wave astronomy 31. Spacequakes 32. Gravitons

کلیهٔ اجسام جرم‌دار عالم می‌شوند. امّا ذرات ثقل خود دارای انرژی‌اند و لذا دارای وزن، پس آنها نیز نسبت به عمل سایر ذرات ثقل تأثیر پذیرانند. به بیانی دیگر ذراتی که موجب انتقال ذرات ثقل می‌گردند، خود آنها را احساس کرده و مآلاً متمایل به مسیرهائی منحنی می‌شوند. این مقاربت میان ذرات ثقل، مولد انحناء فضاست.

۱۲

معمای گالیله

تأثیرات ثقل و شتاب با هم معادل‌اند.
همهٔ اجسام باید با سرعت یکسان سقوط کنند.
در یک سفینهٔ شتابدار، نور خمیده می‌شود.
سفینهٔ شتابدار می‌تواند، سیاه‌چالی در پی خود ایجاد کند.
حرکت ماه «اصل برابری اینشتین» را تأیید می‌کند.

* * *

سقوط، طبیعی‌ترین طریق حرکت اجسام و اسلوب عمدهٔ سفر ما ــ سوار بر سیاره‌مان ــ در پهنهٔ عالم است. معهذا در ارتباط با خود زمین، بیشتر اوقات ما صرف این می‌شود که از سقوط خویش ممانعت به عمل آوریم. هر چند که سیب‌ها، سنگ‌های در حال ریزش و شخصی که با پوست موز سُر می‌خورد، همگی چنان به طرف مرکز زمین حرکت می‌نمایند، که گوئی سیاه‌چالی در مرکز آن موجود است اما واقعاً در مرکز زمین یک چنین چیزی وجود ندارد. آنها متوجه می‌شوند که زمین، استوار، سدّ راه (سقوط)شان می‌شود.

اتمهای سیارهٔ ما در مقایسه با اثر ثقل، به مقدار کافی، نیرومند بوده و صخره‌های سخت را برای ایستادن ما بوجود می‌آورند. «نیفتادن» در نظریهٔ ثقل اینشتین همچون یک شتاب ــ یعنی افزایش پیوستهٔ سرعت ــ حتیٰ هنگامی‌که در محل معیّنی ایستاده‌ایم، تلقی می‌شود.

هلیکوپتر، سر نخی برای توجیه این قضیه است. موتور هلیکوپتر به منظور جلوگیری از سقوط آن ناگزیر از فعالیتی شدید است. خلبان و مسافرانش احساس می‌کنند که صندلی‌های‌شان حتیٰ هنگامی‌که هلیکوپتر در یک جای معین پر پر می‌زند به طرف بالا رانده می‌شود. امّا آنها کاملاً راحت‌اند، زیرا این دقیقاً همان احساسی است که در هنگام نشستن هلیکوپتر هم پیش می‌آید. اکنون اگر هلیکوپتر به سرعت اوج بگیرد، صندلی‌ها، مسافران را با فشار بیشتری به بالا می‌رانند. مسافران سنگین‌تر به نظر رسیده و احساس می‌کنند دل و روده‌شان می‌خواهد به پائین بیفتد.

این به بالا راندن‌ها، اغلب **نیروی ثقل**[1] نامیده می‌شود. در سقوط آزاد **ثقل** (g) برابر صفر است. در سطح زمین یا هلیکوپتری که در حال پر پر زدن است این نیرو مساوی یک **ثقل** (g) و در سفینه‌ای که به داخل فضا پرتاب می‌شود این مقدار برابر چند **ثقل** (g) می باشد. اثر نیروهای **ثقل** (g) برای لحظه‌ای کوتاه، بسیار نیرومند و نامطبوع است.

اکنون تصوّر کنید فضانوردی در سفینه‌ای با سرعت بسیار زیاد، از یک سفر فضایی طولانی به وطن باز می‌گردد، امّا نیروی مازاد فراوانی دارد که باید قبل از ورود به زمین آنرا از دست بدهد. او ناگزیر خواهد بود، قبل از رسیدن به زمین، مقدار زیادی از سرعت خود بکاهد که برای این منظور باید سفینه‌اش را بر گرد خود به گردش درآورده و موتورهای سفینه را برای مدتی طولانی به سمت جلو روشن کند تا به عنوان ترمز از آنها استفاده شود. برای راحتی خود او راکت‌ها را طوری تنظیم می‌کند که نیروی **ثقل** (g) برابر یک **ثقل** (g) باشد. سپس در حالی که پاهایش به

1. Q-force

جانب زمین قرار دارد ایستاده یا می‌نشیند و درست دچار احساسی می‌شود که گوئی روی زمین نشسته است، و از اینکه رایانه‌اش برنامهٔ پرواز را به نحو کاملی انجام داده، احساس رضایت می‌کند؛ کرکره‌های کلیهٔ پنجره‌ها را پائین می‌کشد تا خطر ذوب شدن در اثر اصطکاک اتمسفر زمین از بین برود.

دوستان و منسوبین فضانورد به محل فرود می‌آیند تا او را ملاقات کنند. آنها می بینند که سفینه به آرامی پائین آمده و مرتباً سرعت خود را از دست می‌دهد، به فاصلهٔ ٦ اینچی زمین رسیده و در همان فاصله متوقف می‌ماند. موتورهایش هنوز روشن اند و دوستان و بستگانش جرأت نزدیک شدن به سفینه را ندارند. آنها منتظرند تا فضانورد موتورها را خاموش کرده و از سفینه بیرون بیاید. امّا فضانورد مشغول مطالعه است و پنجره‌هایش هم ممهور و کاملاً از ورود خود به وطن بی اطلاع می باشد. او لیوانی را از روی میز خود پائین انداخته و می بیند که لیوان می افتد و طوری به زمین برخورد می‌کند که به نظر می‌رسد کف سفینه دقیقاً بر روی زمین قرار داشته یا در موقعیتی از فضاست که سفینه در هنگام شتاب یافتن یا ترمز کردن در یک ثقل (g) ، چنان عمل می‌کند. از طرف دیگر او هنوز شش اینچ بالای زمین مشغول پر پر زدن است، مقدار انبوهی سوخت را تلف، و هوا را آلوده ساخته و مستقبلین را منتظر گذاشته است.

آنها ممکن است هفته ها در انتظار بمانند. اینشتین نتیجه گیری می‌کند که راه ساده‌ای برای تشخیص اینکه فضانورد در روی زمین قرار دارد و یا در سفینه‌ای که با موتورهای روشن و سرعت معینی حرکت می‌کند، وجود ندارد. برعکس همه چیز جور به نظر می‌آید به قسمی که اگر فضانورد گلوله ای را در داخل کابین خود به هوا پرتاب کند، مجدداً به پائین باز می‌گردد، درست همانگونه که من و شما در روی زمین انتظار آن را

داریم. هر چیزی که در داخل سفینه قرار دارد، درست دارای همان وزنی است که اگر روی زمین بود.

تفسیر اینشتین از ظواهر ثقل بر روی زمین و تقریباً برابر دانستن آن با شتاب در فضا، معمای گالیله را به سرعت روشن ساخت. سئوال این بود که چرا همهٔ اجسام (حداقل در خلأ) با سرعت مساوی سقوط می‌کنند، و شتاب آنها با یکدیگر هم‌آهنگ است؟ از دیدگاه نسبیت‌بینی اینشتین می‌توان اینطور اندیشید که این زمین است که با نیروی میلیون‌ها راکت به جانب بالا شتاب می‌یابد، در حالی که اجسام در حال سقوط، در جای خود ایستاده‌اند. اگر صحت این استنباط مورد قبول باشد، دیگر برخورد زمین به اجسامی که با شتاب یکسان سقوط می‌کنند، جای تعجب ندارد.

سابق بر این از جرم یک جسم دو برداشت مشخص وجود داشت که یکی اثر ثقل را بر آن بیان می‌کرد و وزن نامیده می‌شد و دیگری وضع آن را در هنگام شتاب یا مقاومت در برابر شتاب یا در حالت «لختی»[۲] نشان می‌داد. قبل از اینشتین، تعجب‌آور بود که چطور یک چیز دو حالت را دقیقاً توجیه می‌کند. با معادل دانستن ثقل و شتاب و روشن نمودن معمای گالیله، اینشتین دو مسأله را به یکی کاهش داد. امّا این مسأله که اجسام بی‌وزن در داخل سفینه‌ای که در حال سقوط آزاد می‌باشد به محض روشن شدن موتورها سنگین شده و در برابر شتاب مقاومت نشان می‌دهند، همچنان به قوت خود باقی می‌ماند.

تعجبی ندارد که کف سفینه بالا آمده و به آنها برخورد می‌کند، امّا آنچه نیاز به توضیح بیشتر دارد، اینست که چرا این اجسام شدیداً مقاومت نموده و سفینه را وادار به صرف نیرو در راندن آنها به طرف بالا

2. Inertia

می‌نمایند. مسأله، مسأله سرعت هم نیست، زیرا هنگامی‌که موتورهای سفینه متوقف می‌گردد، تمام اجسام بی‌وزن می‌شوند، حتی اگر با سرعتی دو برابر قبل (یعنی هنگام روشن بودن موتورها ــ م) هم در داخل سفینه حرکت کنند. جرم فقط در اثر شتاب یا معادل ثقلی آن متأثر می‌گردد.

در اینجا سومین مفهوم جرم خودنمائی می‌کند و آن روشن ساختن رابطهٔ جرم و انرژی توسط اینشتین است. هرچه انرژی یا جرم جسمی بیشتر باشد، حرکت دادن آن دشوارتر و انرژی اضافی لازم است تا به جسم شتاب داده و آنرا به سرعت معینی که بستگی به انرژی موجود آن دارد، برساند.

بازمی‌گردیم به زمین: زمین به آن سادگی (که گفته شد) هم با نیروی چند میلیون راکت به طرف بالا حرکت نمی‌کند، زیرا گذشته از هر مطلب دیگر در چنین صورتی اگر زمین واقعاً با سرعت ۳۲ پا در ثانیه حرکت می‌کرد پس از یکسال سرعتی معادل سرعت نور بدست می‌آورد. بهرحال مطلب آشکارا با استنباط عمومی مغایرت دارد و از بابت به عقب انداختن چنین نکتهٔ مهم و اولیه نظریهٔ ثقل اینشتین تا به این مرحله، پوزش خواسته می‌شود.

ارتباط بین شتاب یافتن در سفینه و ایستادن بر روی زمین فقط هنگامی‌که اثرات متعدد فضا و زمان پیچیده (منحنی) در مجاورت زمین موجب پیدایش ظواهر شتاب می‌گردد، قابل ارزیابی است.

امّا ثقل حیله‌ای قدیمی‌تر از پرواز فضائی است. بنابراین بهتر است که بحث را تغییر داده و بگوئیم یک سفینهٔ شتابدار، باعث ایجاد توهمی از ثقل (ثقل کاذب) می‌گردد.

اگر ثقل را به شتاب تشبیه نمائید، این ارتباط درواقع، ارتباطی گیج کننده است. مثلاً فوراً این سئوال مطرح می‌شود که نور تحت تأثیر

ثقل قرار می‌گیرد و این همان چیزی است که وقتی گفتم دلیل اینشتین بر تأثیر ثقل بر نور، قویتر از جرم داشتن نور می باشد، به آن اشاره شد.

اگر فضانورد پرتوی از نور را که از پهلو به کابین سفینه اش می‌تابد درنظر بگیرد، این پرتو به پهلوی دیگر سفینه با سرعتی، قدری کمتر از هنگامی‌که سفینه فاقد شتاب است، خواهد تابید. سفینه می‌خواهد ذرات نور را پشت سر بگذارد و نور در ارتباط با سفینه تا حدودی به طرف پائین و کف آن انحناء می یابد، گوئی تحت تأثیر ثقل قرار می‌گیرد.

شباهت های ظریف بیشتری مشهود است. تغییر مکان قرمز ثقلی اینشتین ــ کاهش انرژی نورانی که از جسمی عظیم می‌آید ــ با در نظر گرفتن حرکت نسبی منبع نور و ناظر، دقیقاً قابل انطباق با تغییر مکان قرمز داپلر می باشد. اگر فضانورد به چراغی که در کف سفینهٔ شتابدارش قرار داشته باشد بنگرد، متوجه خواهد شد که چراغ اندکی قرمز شده است، زیرا در فاصله ای که نور از لامپ خارج و به چشم فضانورد رسیده، سفینه و فضانورد به مقدار جزئی بر سرعت‌شان افزوده شده است. در این حالت خاص، لامپ و چشم در حال دور شدن از یکدیگر هستند. تأثیرات بر ساعت ها نیز دقیقاً همان است که وقتی تحت تأثیر ثقل قرار دارند. یک ساعت اتمی که بر سقف سفینهٔ شتابدار نصب شده است، نسبت به ساعتی که در کف آن قرار دارد، به اندازهٔ بسیار کم سریعتر حرکت خواهد کرد.

اگر به بالا نگاه کنید، شتاب شما را به طرف ساعت می‌کشاند، به نحوی که مشاهده می‌کنید ثانیهٔ بعدی کمی زودتر از هنگامی‌که سفینه با سرعت ثابت حرکت می‌کند، ثبت می‌شود.

به پائین بنگرید، علائم ساعت کف سفینه تأخیر دارد، بنابراین در حال کند شدن است.

اشاره به دیدگاه فضانورد نسبت به ساعت‌هایش در شرح مطلب، دلیل این واقعیت است که به نظر نمی‌رسد نور در کف و سقف سفینه با سرعت یکسانی حرکت کند. قانون اصلی نسبیت که ــ سرعت حرکت نور همواره ثابت به نظر می‌رسد ــ فقط در هنگامی‌که سرعت جسم متحرک ثابت و در فضای تهی باشد، یا به عبارت دیگر به‌طور آزاد ــ نه بر اثر ثقل ــ سقوط نماید، صادق است. درست به همان طریق که برای ناظر دوردست، مسیر و سرعت نور و مدت زمان تحت تأثیر ثقل تغییر می‌کند، شتاب هم در سفینه همین عمل را انجام می‌دهد. اگر به طرف منبع نور شتاب داده شوید، سرعت نور بیشتر به نظر می‌رسد و اگر در حال شتاب از آن دور نشوید، به نظر می‌رسد که از سرعت نور کاسته شده و در طی شتاب طولانی، نوری که از پشت سر به طرف سفینه می‌آید، در رسیدن به آن دچار اشکال خواهد شد.

سفاین واقعی قرن بیستم برای زمان کوتاهی شتاب داده شده، و سپس در حالت سقوط آزاد قرار می‌گیرند. امّا اگر تصور کنید که یک دستگاه پیش‌رانی هسته‌ای با دوام، بتواند شتاب یکنواختی را به نحو نامحدودی تحمل کند، (آنگاه) شباهت خیره کنندهٔ دیگری بین ثقل و شتاب ظاهر می‌شود. سفینه در مسیر خود، سیاه‌چال ایجاد می‌کند. برای درک وضعیت مسافر سریع‌السیر و سیاه‌چالی که ضمن حرکت در پی او ایجاد شده و تعقیبش می‌نماید، بهتر است پارادکس* یونانی قدیمی را که

* Paradox ــ ضد و نقیض، آنچه که هم غلط باشد و هم درست. در بعضی مآخذ آنرا «باطلنما» ترجمه کرده‌اند، ولی محتملاً چنین مفهومی صحیح به نظر نمی‌رسد، زیرا به جای «باطلنما» می‌توان گفت «درست‌نما» و میزان اعتبار و بطلان هردوی این مفاهیم به یک اندازه و در عین حال فاقد توانائی انتقال مفهوم کامل و درست کلمه می‌باشد. م

مربوط به مسابقهٔ بین آشیل* و لاک‌پشت می‌باشد به یاد بیاوریم:

قهرمان ورزشی (آشیل) به طرف نقطهٔ شروع حرکت لاک‌پشت می‌دود، امّا در این فاصله لاک‌پشت قدم‌های آهسته‌ای به جلو برداشته و آشیل ناگزیر است برای رسیدن به موقعیت جدید لاک‌پشت، این فاصلهٔ کوتاه اضافی را هم بپیماید و این عمل تا بی‌نهایت ادامه می‌یابد. به‌نظر می‌رسد که آشیل هیچوقت از لاک‌پشت پیشی نخواهد گرفت و به همین دلیل است که در چادر خود اخم کرده است.

داستانی خوشمزه و بحثی قابل توجیه و البته بی‌معنیٰ. راه‌حل معمّا اینست که یک رشتهٔ رویدادهای پایان‌ناپذیر، شبیه آنچه گفته شد، درواقع می‌تواند در یک لحظه تکامل یابد.

اکنون فرض کنید، لاک‌پشت حیوانی است دارای قدرت مافوق که می‌تواند به سرعت معمولی آهستهٔ خود شتاب بدهد. در اینجا پارادکس خود را به شکل جدیدی می‌نمایاند، زیرا لاک‌پشت، اگر حتیٰ هرگز هم دارای سرعت آشیل نباشد، می‌تواند او (آشیل) را شکست بدهد، زیرا هرچند که آشیل می‌تواند فاصله خود را با حیوان کمتر کند، امّا زمانی که برای گذشتن از آن لازم است همواره بیشتر و بیشتر خواهد شد. مثلاً اگر سرعت این اَبَرلاک‌پشت در زمان معینی به ۹۹/۹ درصد سرعت آشیل برسد (در اثر شتاب ــ م) و آشیل یکصد یارد از آن عقب‌تر باشد، زمانی‌که

* آشیل، از خدایان یونان، پسر تتیس و پله Peleé . آشیل توسط مادر خود تتیس در آتش دوزخ قرار داده شد تا روئین‌تن شود. او مشهورترین قهرمان یونان در حماسهٔ ایلیاد (اثر: هومر) می‌باشد که در محاصرهٔ شهر تروا، «هکتور» را به قتل رساند، و خود در اثر تیر مسمومی که به دست پاریس Pâris پرتاب و به پاشنهٔ پایش ــ که تنها قسمت آسیب‌پذیر تن او بود ــ اصابت کرد، کشته شد. نام آشیل به معنای دلاوری و شجاعت است. م

لازم است تا به اَبَرلاک‌پشت برسد بیش از چند ساعت نخواهد بود امّا اگر حیوان اندکی بر سرعت خود بیافزاید، این زمان به چند سال و سپس چند قرن خواهد رسید. برخلاف پارادکس اصلی، این یکی دروغ نیست.

واقعیت اینست که هر تعقیب کننده‌ای را بدون اینکه دقیقاً با او هم‌سرعت باشید می‌توانید برای همیشه در پی خود بدوانید.

بجای اَبَرلاک‌پشت، فضانورد و بجای آشیل پرتو نوری که از پی فضانورد می‌آید قرار دهید. فضانورد نمی‌تواند با سرعت نور حرکت کند، امّا با شتاب یافتن پیوسته، می‌تواند (قاعدتاً) به این سرعت نزدیکتر و نزدیکتر شود، همانگونه که لاک‌پشت به سرعت آشیل می‌رسد. و تحت چنان شرایطی پرتو نور هرگز به فضانورد نخواهد رسید.

اگر فضانورد از پنجرهٔ عقب سفینهٔ خود بیرون را نگاه کند، چیزی نخواهد دید، ستارگان در آن جهت ناپدید شده‌اند، زیرا نور آنها نمی‌تواند به او برسد. و تا هر وقت که فضانورد بخواهد، بخشی از عالم را تبدیل به سیاه‌چال می‌کند. او می‌تواند، بدون تحمل هیچگونه دشواری، به این تأثیر برسد (مجدداً، قاعدتاً)، مشروط بر اینکه سفینه‌اش بقدر کافی نیرومند بوده و از سمت جلو خوب محافظت شود، با شتاب مناسبی برابر یک ثقل (g) ، پس از یک سال سفینه به سرعت مورد نظر خواهد رسید. علاوه بر این مطابق نتیجه‌گیری پُل داویز[3] از لندن و ویلیام اُن‌رو[4] از وانکوِر[5]، سفینهٔ شتابدار اندکی گرم می‌شود. درست همانطور که یک سیاه‌چال ثقلی، تشعشعی را از فضای تهی به بیرون می‌پراکند، سیاه‌چال شتابی نیز همان کار را می‌کند.

برابری شتاب و آزمایش ثقل، اصل کیهانی فیزیک اینشتینی

3. Paul Davies 4. William Unruh 5. Vancouver

است. دو تعبیر از آن وجود دارد. اصل برابری «ضعیف» آن می‌گوید ــ همانطور که گالیله معتقد بود ــ که همهٔ اجسام تحت تأثیر ثقل با سرعت یکسانی سقوط می‌کنند. قانون برابری «نیرومند» آن اعلام می‌کند که قوانین فیزیک ــ در همه‌جا و در همهٔ زمانها ــ در پهنهٔ عالم قابل مشاهده ــ علیرغم هرگونه اثرات حرکت یا ثقل ــ یکسان است و این آخری آن چیزی است که اینشتین طی سالها نبرد معنوی خود، در آرزوی رسیدن به آن بود. امّا موضوع دارای ابعاد وسیع‌تری است، زیرا قوانین فیزیک علاوه بر حرکت و ثقل، دربر گیرندهٔ قوانین برق، فیزیک اتمی، گرما، و هرگونه جلوهٔ دیگری از ماده است. عبارت «همه‌جا و همهٔ اعصار»، بیلیون‌ها سال نوری فضا و بیلیون‌ها سال زمان را دربر می‌گیرد. تجربه‌گران برای مقابله با این قضایا، آلام قابل ملاحظه‌ای را تحمل می‌کنند.

به سبب اینکه نیروهای برق و شبه‌اتمی از ثقل نیرومندترند، بهتر است که برای بررسی هرگونه اختلافی متوسل به این نیروها بشویم. اخترشناسان مشاهده می‌کنند که نور اتمی در دورترین کهکشانها و اخترنماها همانگونه متجلی است که در آزمایشگاههای روی‌زمین. هرچه بر سر قوانین طبیعت در سرگذشت زمین آمده باشد، زمین‌شناسی تغییر نمی‌کند.

مخصوصاً، وضعیت ویژهٔ عناصری که دو بیلیون سال قبل در یک رآکتور هسته‌ای طبیعی واقع در آکلوٴ[6] در گابن[7] دخالت داشته‌اند، نشان می‌دهد که این نیروهای غیرثقلی، پس از گذشت یک چنین زمان عظیمی فقط کمتر از یک در بیلیون تغییر یافته‌اند. این عناصر دلیلی اغوا کننده بر

6. Oklo 7. Gabon

صحت اصل برابری «نیرومند» می‌باشد. در مورد خود ثقل، مسأله قدری پیچیده‌تر است.

شرط لازم اوّلیه اینست که قانون گالیله نباید به‌طور تقریبی، (که آشکارا اینطور است) بلکه دقیقاً باید درست باشد. در بیشتر آزمایشات تحقیقاتی قابل تصور، «جرم ثقلی» و «جرم لختی»[8] باید معلوم گردد. در فاصلهٔ سالهای ۱۸۸۶ تا ۱۹۲۲ در بوداپست، رولاندفان اثوتفاس[9] آن دو جرم را به نحو بسیار درستی مورد مقایسه قرار داد. مثلاً او با استفاده از شاقول هائی که وزنه هائی ساخته شده از مواد مختلف از قبیل، چوب، پیه (چربی) پنبهٔ نسوز و فلزات و آلیاژها و املاح متفاوت، در ساختمان آنها، به کار رفته بود، جهت عمود را دقیقاً معلوم نمود. در عرض های جغرافیائی میانه و از جمله در بوداپست، گلولهٔ شاقول نه‌تنها ثقل سادهٔ زمین، بلکه گردش آنرا نیز حس می‌کند.

گردش زمین، شاقول را به اندازهٔ حدود یکصدم درجه از حالت واقعی عمود که متوجه مرکز زمین می باشد منحرف می‌کند. بر طبق توافق، انحراف گریز از مرکز مربوط به جرم «لختی» و اثر ثقل مربوط به جرم «ثقلی» است. اگر اختلافی بین آنها وجود داشت و ثقل بر مواد گوناگون اثری متفاوت می‌گذاشت، می بایستی وزنه های شاقولی متفاوت اِئوتفاس از ردیف خود خارج شوند. او با صحتی نزدیک به یک بیلیونیم درجه بررسی خود را انجام و ملاحظه کرد که چنین چیزی رخ نمی‌دهد.

در یک آزمایش ثقلی معروف دیگر، رابرت دیک[10] و همکارانش تأثیر ثقل خورشید را بر استوانه های طلا و آلومینیوم در آزمایشگاه دانشگاه

8. Inertial 9. Roland Von Eötvös 10. Robert Dicke

پرینستون[11] مورد آزمایش قرار دادند.

طرح آنها از نظر پیچیدگی و دقت می‌توانست موجب حیرت گالیله بشود. از پرتوهای نور و روش‌های الکتریکی، برای کشف، خنثی کردن و اندازه‌گیری کوچکترین حرکات استفاده می‌شد. لوازم کار را بر سنگ مادر مستقر ساخته، درجهٔ حرارت را تا یک ده هزارم درجه (10^{-4}) کنترل و حتیٰ خود تجربه‌گران هم به فاصلهٔ دوری از محل قرار گرفتند تا ثقل جسم آنها، استوانه‌ها را تحت تأثیر قرار ندهد. امّا، در اصل آنچه آنها درصدد بودند، بررسی این نکته بود که طلا و آلومینیوم با سرعتی برابر به طرف خورشید می‌افتند، درست همانگونه که در بررسی‌های گالیله طلا و مس با سرعت یکسانی به طرف زمین سقوط می‌کردند.

در سطح زمین، ثقل زمین ۱۶۶۰ بار بیشتر از ثقل خورشید است، ولی به جهت اینکه زمین به دور خود می‌گردد، جهت شتاب در ارتباط با خورشید تغییر یافته، صبح‌ها به طرف مشرق و عصرها به سمت مغرب است. دیک و همکارانش استوانه‌های طلا و آلومینیوم را از شبکه‌ای افقی که بر روی پایه‌ای از فیبر قرار گرفته بود، آویزان نمودند. اگر کوچکترین تفاوتی در اثر ثقل خورشید بر دو ماده (طلا و آلومینیوم) پدیدار می‌گشت، شبکه در هر ۲۴ ساعت به‌طور محسوس شروع به نوسان می‌کرد. در ۱۹۶۴، تجربه‌گران توانستند نشان بدهند که اثر مشاهده شده بر طلا و آلومینیوم با اختلاف ده در میلیون میلیون ($10^{-11} = \frac{10}{10^{12}}$) یکسان است. چند سال بعد ایگور براژینسکی آزمایش مشابهی را با پلاتین و آلومینیوم در مسکو انجام داد. او آزمایش را با صحت بیشتری انجام و هیچگونه اختلافی مشاهده ننمود.

11. Princeton University

آنچه ذکر شد، آزمایشات مؤثری از اصل برابری «ضعیف» بودند، امّا هنوز یک مانع بر سر راه قرار داشت. اجرام آزمایش شده کوچک بودند و لذا این احتمال وجود داشت که اجسام سنگین ممکن است به گونه‌ای متفاوت رفتار نمایند.

درواقع، این احتمال وجود دارد که ثقل با خودش رفتاری بیشتر متفاوت داشته باشد ــ مثلاً با انرژی ثقلی که زمین را می‌پیچاند ــ تا با سایر جلوه‌های انرژی، مگر آنکه قبول کنیم اصل برابری «نیرومند» کاملاً درست می‌باشد.

بررسی این نکته موجب تسریع در انجام یکی از جالب‌ترین تجارب مربوط به نسبیت عام گردید.

آنچه در جستجوی آن هستیم، مسأله‌ای دربارهٔ آزمایش اصل برابری «نیرومند» است، به نحوی که قوانین فیزیک همیشه و همه‌جا یکی باشد. امّا از هنگامی‌که اینشتین نظریهٔ خود را نوشت، دیگران نیز نظریه‌هائی ابراز داشته‌اند که از این اصل تخطی می‌نماید. حتیٰ برای نسبیت‌دان‌های وفادار به اینشتین که انتظار دارند نظریه‌های جانشین، به‌ناچارغلط از آب درآید، این نظریه‌ها دارای جلوه‌هائی است که می‌باید نسبیت عام در مقابل آنها آزمایش گردد.

نشان دادن تمامی نظریه‌های جدید ثقل کاری طاقت‌فرساست ــ زیرا بیش از دهها نظریه وجود دارد ــ و در اینجا به ذکر یکی از قویترین این نظریه‌های رقیب اکتفا می‌شود.

این نظریه در سال ۱۹۶۱ توسط کارل برانز[۱۲] و رابرت دیک[۱۳] طرح شد، اگرچه به‌طور کلی، در سال ۱۹۵۹ بوسیلهٔ پاسکال جردن[۱۴]

12. Carl Brans 13. Robert Dicke

14. Pascual Jordan

پیش‌بینی شده بود. برای اختصار آن را نظریهٔ دیک می‌نامیم. این نظریه در حال از دست دادن رقابت‌های خود با نظریهٔ اینشتین است ولی این موضوع از اهمیت کار دیک نمی‌کاهد. برعکس دیک یکی از پیشروترین تجربه‌گران و نظریه‌پردازان نسبیت است.

نظریهٔ ثقل دیک اصولاً همان نظریهٔ نیوتن است که با زبان فضای منحنی اینشتین تفسیر شده است. این نظریه با این قسمت از نظریهٔ اینشتین که می‌گوید: «همچنانکه عالم گسترده می‌شود، ثقل هر بیلیون سال درصد کمی ضعیف‌تر شده و بنابراین قوانین فیزیک یک بیلیون سال جلوتر متفاوت بوده و لذا اصل برابری «نیرومند» درهم شکسته است.» موافق نیست. نظریهٔ دیک، نسبت به نظریهٔ اینشتین، برای مقدار مورد انتظار اثرات متعدد ثقل، مقادیر متفاوتی پیشنهاد می‌نماید. کند شدن نوسانات رادار در نزدیک خورشید، چنانکه توسط ایروین شاپیرو اندازه‌گیری شده است، می‌باید در نظریهٔ دیک چند درصدی کمتر از نظریهٔ اینشتین باشد و همینطور است در مورد انحراف نور اختر، توسط خورشید. مدار تیر باید با کندی بیشتری تغییر یابد. با تمام این آزمایشات، نظریهٔ اینشتین مطمئن‌تر از نظریهٔ دیک به‌نظر می‌رسد.

علاوه بر این، مطابق نظریهٔ دیک انرژی ثقلی نسبت به سایر اشکال انرژی به نحو متفاوتی رفتار می‌نماید. درنتیجه می‌بایستی ماه در حرکت مداری خود بر گرد زمین، مسیری اندک متفاوت را پیموده و با سرعت بیشتری نسبت به زمین به طرف خورشید برود و این موضوع تخطیِ بسیار جزئی از عقاید نیوتن و همچنین اینشتین است. اگر اینشتین در اشتباه و دیک درست می‌گفت، می‌باید مدار ماه تا حدود چند پا به طرف خورشید متمایل گردد. به سبب اینکه مسیرهای نسبی ماه و خورشید درخلال هر ماه تغییر می‌کند، تغییرات جزئی امّا منظمی باید در فاصلهٔ ماه

با زمین ظهور نماید.

بررسی‌های بسیار دقیقی که برای مطالعهٔ چنین تغییراتی ضرورت دارد با استفاده از اشعهٔ لیزر و برای اندازه‌گیری‌هائی تا دویست و پنجاه هزار (۲۵۰,۰۰۰) مایل در فضا امکان‌پذیر می‌باشد. گاهی آزمایشاتی، براساس نظریهٔ دیک به مورد اجراء گذاشته می‌شود. در سال ۱۹۶۵، اخترشناسان روسی از یک تلسکوپ صد اینچی برای هدایت پرتاب‌های لیزر به سوی ماه و دریافت آن استفاده نمودند. این پرتاب‌ها پس از ۲/۶ ثانیه مراجعت نمودند، که اگرچه بازگشت آنها بسیار ضعیف بود امّا اخترشناسان توانستند فاصلهٔ ماه تا زمین را با تقریب ۶۰۰ پا اندازه‌گیری کنند. آمریکائی‌ها روش ردیابی لیزری را توسعه بخشیده‌اند. در سال ۱۹۶۹، «بوز» آلدرین[15]، یکی از نخستین فضانوردانی که پا بر سطح ماه گذاشت، یک بازتابگر[16] مخصوص در پایگاه آرامش[17] (ماه) کار گذاشت.

این بازتابگر شامل یکصد قطعه «چشم گربه»* یا «بازتابگر گوشه‌دار» است که طوری طراحی شده است که اشعهٔ لیزر را با دقت هرچه تمامتر به پایگاه مشاهداتی زمین برگرداند.

مأموریت‌های بعدی آپولو و دو ماه‌نشین بی‌نام روسی یک چنین بازتابگرهائی را در سایر نقاط سطح ماه کار گذاشتند. به کمک بازتابگرها تغییرات فاصلهٔ ماه تا زمین با احتمال چند اینچ خطا، قابل

15. 'BUZZ' Aldrin 16. Reflector 17. Tranquility Base

* Cat's eye ــ سنگی است سیاهرنگ و نیمه قیمتی که در جواهرسازی هم مصرف دارد. چشم ببر (Tiger's eye) و چشم باز (Hawk's eye) از دیگر سنگ‌های نزدیک به آن می باشند. م

اندازه گیری است. سپس گروهی از اخترشناسان و فیزیک دان ها بررسی قانون ثقل را با صحت بی‌سابقه ای طراحی نمودند.

از سال ۱۹۶۹ به بعد با استفاده از تلسکوپی ۱۰۷ اینچی، در ایستگاه مشاهداتی مک دونالد[18] تکزاس دقیق‌ترین آزمایشات مربوط به نظریهٔ اینشتین با ردیابی های لیزری مقدور شده است. طراحی اجراء آزمایش به نحوی است که فعالیت های حدوداً ده آزمایشگاه همکاری کننده در طرح، به کار گرفته می‌شود. در مدت زمان ٤٥ دقیقه‌ای ردیابی های لیزر به طرف ماه، کلیهٔ مشاهدات عادی اخترشناسی که به کمک تلسکوپ مستقر در مک دونالد انجام می‌گیرد، قطع می‌شود. تماشای ماه طی این مدت خیره کننده است، زیرا، ناظر باید به‌طور پیوسته، تلسکوپ بزرگ و پرتوهای لیزری را به جانب یکی از بازتابگرها ــ که خود هدفی محرک اند ــ متمرکز سازد.

اریک سیلوربرگ[19] که این عملیات را در مک دونالد نظارت می‌کند، می‌گوید: «این فرصتی برای سرگرمی است.» هر سه ثانیه یک بار، لیزر پرتاب بسیار کوتاهی از نور به طول فقط سه پا، شلیک می‌کند. تقریباً در همان زمان مورد توقع برای بازگشت آن، دستگاه ردیاب تحریک شده و هر ذرهٔ نور را، منفرداً می پذیرد. ممکن است این ذره مربوط به یک نور متفرقه باشد، ولی یک ساعت اتمی ورود آنها را با دقتی بیش از یک بیلیونیم ثانیه ثبت و یک رایانه زمانها را باذرات بعدی نور مقایسه می‌کند.

(کارُل آلی[20] از دانشگاه مریلند، که مبتکر آزمایش ساعت های پرنده‌ای بود که جلوتر از این شرح داده شد، دستگاه بسیار مهم زمان‌سنجی این آزمایش را نیز ابداع نمود.) وقتی‌که ذرهٔ ورودی[21] نور در لحظهٔ مقتضی

18. McDonald Observatory
19. Eric Silverberg
20. Carroll Alley
21. Incoming

وارد می‌شود، چنین برداشت می‌شود که این ذره از بازتابگر مستقر در ماه آمده است و زنگی به صدا درمی‌آید تا ناظر متوجّه شود که هدف گیری‌اش درست می باشد.

این زنگ برای اینشتین است که به صدا درمی‌آید. نسبیت عام از این آزمایش کاملاً آسیب‌ناپذیر بیرون آمده و هیچگونه اثری از تغییر مکان (ماه) به جانب خورشید که توسط دیک پیش‌بینی شده بود، دیده نمی‌شود. تفسیر نتایج، مستلزم محاسبات پیچیده‌ایست زیرا فاصلهٔ ماه به‌طورکلی تا ۳۰,۰۰۰ مایل تغییر یافته و بسیاری تأثیرات عادی مربوط به حرکات ماه وجود دارد که از یک تغییر مکان مشکوک بزرگترند.

بعد از نخستین ٦ سالِ کار و دریافت ۱۵۰۰ مورد بازتاب لیزری مطلوب از ماه، مشاهده‌کنندگان و تحلیل‌گران توانستند تأیید کنند که حرکات ماه، با انتظارات اینشتینی، بیش از یک پا تفاوت ندارد. نظریهٔ دیک به هر شکل که قابل دوام باشد، تنها آنچنان حالت از شکل افتاده‌ای خواهد داشت، که واقعـاً، از نظریهٔ نسبیت عام، غیر قابل تشخیص خواهد بود.

ردیابی لیزری در مک‌دونالد ادامه یافته و یک دلیل آن برای درک این مسأله است که معلوم شود آیا حرکات ماه هیچ دلیلی از تغییر ثقل، با گذشت زمان بدست می‌دهد، یا خیر. نظریهٔ دیک، تنها نظریه‌ای که در آن گفته می‌شود ثقل با گذشت زمان ضعیف‌تر می‌شود نیست و پل دیراک[۲۲] که ضد ماده را پیش‌بینی کرد، در سال ۱۹۷۳ نظریه‌ای تقریباً با همان خصوصیت نظریهٔ دیک، پیشنهاد نمود. در اواسط سال‌های دههٔ ۱۹۷۰، توماس وان فلاندرن[۲۳] از ایستگاه مشاهداتی نیروی دریائی[۲۴]

22. Paul Dırac 23. Thomas Van Flandern 24. US Naval Observatory

آمریکا، مدعی شد که تضعیف در حال گسترش ثقل را در طی یک ماه، یعنی زمانی که ماه بر گرد زمین طی مدار می‌کند، کشف نموده است.

ثقل چه تضعیف شده یا نشود، ماه (گردش مداری آن ــ م) طولانی‌تر می‌شود، زیرا ماه به‌طور ثابتی، به سبب وجود امواج، از زمین انرژی کسب می‌کند.

بنابراین فاصلهٔ ماه از زمین دورتر شده و با سرعت کمتری حرکت می‌کند.

به علت یک چنین مکانیزمی، هر ماه نسبت به ماه قبل خود باید چیزی در حدود یک میلیونیم ثانیه بلندتر باشد. امّا در پی بیش از بیست سال مطالعهٔ حرکات ماه که با استفاده از زمان‌گیری ساعت‌های اتمی بعمل آمده است، وان فلاندرن به این نتیجه رسید که ماه تقریباً با سرعتی دو بار بیش از آنچه انتظار می‌رود، در حال بلند شدن بوده است.

فلاندرن این مطلب را با ضعیف شدن ثقل توجیه می‌کند، اگر مطالعات بیشتر، این توجیه را تأیید نماید، موجب آسیب‌پذیری نظریهٔ اینشتین که در آن جائی برای یک چنین تغییری وجود ندارد، خواهد گردید. امّا در هنگام تهیهٔ این مطلب، دلیل کافی بدست آمده است که بعضی از دریافت‌های ساعت‌های اتمی اوّلیه، خیلی معتبر نبوده‌اند و مدارک جدیدتر ممکن است موجب شکست آنچه وان فلاندرن گزارش داده بشود. بیشتر نسبیت‌دان‌ها با در نظر گرفتن اینکه ردیابی‌های لیزری به سیارات می‌بایستی هرگونه تغییر مشخصی را نشان بدهند و تاکنون یک چنین چیزی مشاهده نشده است، خود را متقاعد می‌سازند. ردیابی‌های راداری چنین تغییراتی را اگر واقعاً وجود داشته باشند، در تشدید ثقل تأیید خواهند کرد، امّا بیشتر نظریه‌پردازان متوقع‌اند، که این مبارزه‌طلبی نسبت به نسبیت عام، همانند موارد دیگر نیز منجر به شکست خواهد شد، آنچنان

که راجر پن رُز، توانست در سال ۱۹۷۸ اعلام کند:

«نسبیت عام، حداقل بسیار نزدیک به حقیقت است.»

۱۳

متوزلا* در کشتی فضائی

زمان بیولوژیکی با زمان اتمی همسو است.
دیدار از یک سیاه‌چال، موجب حفظ جوانی تان می‌شود.
سفر با سرعت زیاد، موجب حفظ جوانی تان می‌شود.
نسبیت خاص مبتنی بر سرعت زیاد است.
ذرات ناپایدار، وقتی‌که به سرعت حرکت کنند، دارای عمر بیشتری خواهند بود.

* * *

آیا آماده‌اید که زمان اینشتینی را تجربه کنید؟ هرچه نظریهٔ **نسبیت عام** بیشتر مورد آزمایش قرار می‌گیرد، امکان اجتناب از مفاهیم آن کمتر می‌شود. تا وقتی‌که اینجا و آنجا صحبت از یک میلیونیم ثانیه است، به‌نظر می‌رسد که اثرات نسبیتی آن بر زمان دارای نتیجهٔ عمده‌ای نباشد. امّا نظریهٔ جدید ثقل مسألهٔ سفرهای دور و دراز به سوی آینده را در اصل امکان‌پذیر ساخته است. این عقیده که در حاشیهٔ سیاه‌چال زمان متوقف می‌شود باید کاملاً جدی تلقی شود. سیاه‌چال می‌تواند موجب طولانی شدن زندگی شخص شده و به او امکان دهد که هزاران سال زندگی کند.

* Methuselah ــ اسقفی که گفته می‌شود ۹۶۹ سال زندگی کرده است. کنایه به شخصی است که عمر طولانی کرده باشد. م

این سفری یکطرفه خواهد بود و از آن نوع مسافرت‌های زمانی که در افسانه‌ها خوانده و در آنها به گذشته رفته، تاریخ را ورق می‌زنید یا به آینده می‌روید و پس از بازگشت، قضایا را برای دوستان خود تعریف می‌کنید، نیست. عقب و جلو رفتن از آن نوع، موجب پیدایش مشکلات وحشتناکی در کار عالم می‌گردد، که اینشتین خود نیز میلی به آنها ندارد.

امّا هنگامی‌که نسبیت امکان می‌دهد تا وقایع، از جمله وقایع مربوط به زندگی، پیر شدن و مرگ، برای یک ناظر نسبت‌به‌دیگری، کندتر رخ بدهد، دیگر هیچگونه تناقضی دیده نمی‌شود.

زمان آن رسیده است که هرچه دربارهٔ تغییرات سرعت ساعت‌های اتمی گفته شده است، در انطباق کامل با خود زندگی مورد تأیید قرار گیرد. عملیات ساعت‌های اتمی نشان می‌دهد که اساساً اتمها تحت تأثیر ثقل نیرومند در مقایسه با فضای تهی به کندی حرکت می‌کنند.

الوان نور که تحت شرایط طبیعی توسط اتمها منتشر می‌گردند، همان اثر را تصدیق می‌نمایند. از طرفی، بدن انسان مجموعه‌ای از اتمهاست که به نحوی پایان‌ناپذیر در رقص ظریف مولکولی زندگی، نسبت به یکدیگر واکنش نشان می‌دهند. نظم کلیهٔ اعمال ضروری زندگی با انضباط عمل اتمی اداره می‌شود. مثلاً، در شرایط وجود ثقل نیرومند، از سرعت نوسان‌های مغز کاسته شده و قلب کندتر می‌زند. از دیدگاه اینشتین این موضوع امر مهمی نیست، چه به نظر او در حضور ثقل نیرومند تمامی انرژی تقلیل یافته و یا کُند می‌شود. هر چیزی که از ثقل متأثر گردد، از زمان هم تأثیر می‌پذیرد.

وقتی‌که قضایای مربوط به زمان در نسبیت عام به شکل ظاهر خود تفسیر می‌شوند، نتایج عملی آن در زمین، در مقایسه با هیجان فلسفی ایجاد شده در انسان قبل از اینشتین، با درک این واقعیت که ضبط زمان

مسأله‌ای خصوصی و موضعی است، کاملاً بی‌اهمیت خواهند بود. حتیٰ وقتی که تمام مباحث انجام شده باشد، فکر دنبال راه گریزی است تا به زمان مطلق برگردد. هرچند که نظریه تجربه در این مسأله که ساعت‌ها در «جای دیگر» کندتر از «اینجا» هستند، با هم سازگار باشند، باز هم بعضی از مردم به موضوع با دیدهٔ تردید نگریسته و آنرا یک فریب می‌دانند و چنین می‌پندارند که زمان واقعی «اینجا»ست و هر آشنا و شخص دیگری که آنها می‌شناسند و به «جای دیگر» می‌رود باید درست همان سالها و دقایق عمر را گذرانده باشد که آنها «در اینجا» سپری کرده‌اند. نتیجه از نظر نسبیت اینست که با رفتن شخص به «جای دیگر» قاعدتاً، ساعت، تقویم و نظم زندگی‌اش کند شده و لذا نسبت به آنهائی که در «اینجا» باقی مانده و ناگزیر به سوی آینده‌شان سفر می‌کنند، بیشتر زندگی خواهد کرد.

او گذشت زمان را طوری تجربه خواهد کرد که از دیدگاه خودش کاملاً طبیعی است، امّا نسبت به «اینجا» خیلی کندتر است.

یک راه گریز محتمل، می‌تواند این باشد که فرض کنیم «در جای دیگر» مقداری زمان مطلق کیهانی که به‌طور یکنواخت می‌گذرد، وجود دارد و ناظرین مختلف ــ از جمله خود ما ــ آنرا به نحوی نادرست و متفاوتی اندازه می‌گیریم، زیرا ساعت‌های ما دقت کمتری دارند. مثلاً، اگر یک ساعت اتمی را به سفری دور و دراز به درون فضای تهی ببرید، این ساعت برای احساس کردن اثر ثقل زمین یا خورشید، متوقف گشته و بعد از آن می‌توان گفت که به نظم کیهانی «واقعی» نزدیک شده است. درحالیکه ممکن است یک چنین موردی، در عمل قابل درک باشد، امّا این، با روح نظریهٔ اینشتین، یعنی دیدگاهی دمکراتیک که در آن ارزیابی هرکس از رویدادها، به نحوی مساوی معتبر است، مغایرت دارد.

اگر یک مسافر زمان (از سفینهٔ خود) به بیرون نگریسته و عالم را آشکارا در حال سرعت گرفتن درک کند، ــ زیرا در مقایسه با زمان «دنیای بیرون»، زمان او آهسته می‌گذرد ــ توجیه او از عالم همانقدر درست است که توجیه من یا شما.

به عقیدهٔ من، مسافر زمان مورد نظر، باید از غواصی به درون سیاه‌چال، منع گردد. علیرغم اندیشه‌های خوش‌بینانه دربارهٔ پریدن از سیاه‌چال به ناحیهٔ دیگری از فضا و زمان، یا حتیٰ عالمی دیگر، غیرمحتمل به‌نظر می‌رسد (به‌طور معمول) که غواص ما بتواند از نابودی اجتناب کند. اکنون تنها کاری که باید انجام دهد این است که تا جائی که جرأتش اجازه می‌دهد، نزدیک به سیاه‌چال و در پوسته‌ای از زمان که ساعت‌هایش ــ اتمی و بیولوژیکی ــ از دیدگاه ناظری دوردست، خیلی کند حرکت می‌کنند، طی مدار نماید.

در عمل، فشارهای موجی به نحو شدیدی عظیم خواهد بود، مگر اینکه سیاه‌چال بسیار بزرگ باشد و در هر حال باید برای جلوگیری از رانده شدن به داخل سیاه‌چال، موتورهایش را روشن نگاه دارد. نزدیکترین مدار ثابت که در آن یک سفینهٔ بدون نیرو دوام می یابد، در فاصله‌ای شش برابر شعاع سیاه‌چال غیر دوار، یعنی جائی که کند شدن زمان فقط چند ماهی در سال می باشد، قرار خواهد داشت.

امّا اجازه دهید تصور شود که مسافر زمان بر تمام ناهنجاریها غلبه یافته و آنچنان نزدیک به سیاه‌چال و در وضعیتی قرار می‌گیرد که در آنجا ساعت‌ها با سرعتی معادل یک هزارم سرعت‌شان در سطح زمین کار کنند. وسواسی[1]ها توجّه داشته باشند که از اثرات حرکت صرفنظر شده

1. Purists

است. در پرواز با موتور روشن، مسافر افسانه‌ای، با سرعتی دلخواه می‌تواند حرکت کند.

یکی از راههائی که متوجه شویم اثر ایجاد شده بر زمان، اثری دروغین است یا نه، توجه به علائمی است که بین فضانورد و پایگاهش مبادله می‌شود. اگر هردو طرف به این نتیجه رسیدند که ساعت طرف دیگر کند کار می‌کند ــ چیزی که اگر مثلاً سفینه با سرعت زیاد از زمین دور شود، امکان‌پذیر می‌باشد ــ می‌توان اثر را به عنوان فریبی که موجودیت خود را نفی می‌کند، تلقی و از آن صرف‌نظر نمود.

امّا در عمل مسافر زمان و دوستانش در پایگاه، با آنچه اتّفاق می‌افتد موافق‌اند.

علائمی که از زمین به سفینه می‌آیند، نزدیک به سیاه‌چال گردش نموده و به‌نظر می‌رسد که بر سرعت حرکت‌شان افزوده می‌شود. به زبان اهل فن آنها (علائم) تغییر مکان آبی ثقلی عظیمی نشان خواهند داد و بسامد رادیوئی انتقالات آنها به صورت بسامدهای بسیار بالا، در گیرنده قابل دریافت خواهد بود.

برای درک علائم، فضانورد باید آنها را ضبط و مجدداً به کمک دستگاه، علائم را با دور بسیار کند بررسی نماید. امّا اطلاعاتی که این علائم حامل آنها هستند انبوه و سریع می‌باشند.

مسافر زمان هر ۹۰ ثانیه یک نشریهٔ خبری یومیه از زمین دریافت و هر هفته پنج بار شاهد انتخابات ریاست جمهوری آمریکا خواهد بود. اگر دوستانش در زمین ضربان‌های قلب خود را برای مسافر زمان بفرستند، آن ضربان‌ها را مثل صدای یک طبل پر سروصدا خواهد شنید. ببینیم در طرف دیگر مبادله یعنی زمین چه می‌گذرد. علائم (ارسالی) مسافر زمان با تغییر مکان قرمز ثقلی عظیمی ثبت می‌شود. دوستان مسافر، در پایگاه زمین

باید گیرنده‌های‌شان را بر روی بسامدهای پائین میزان و آمادهٔ دریافت ضبط علائم باشند. برای درک علائم باید پس از ضبط، آنها را با دور تند بررسی نمود.

امّا آنها مجبور نیستند که در این کار به سختی تلاش نمایند، زیرا گزارشات یومیهٔ مسافر زمان هر سه سال یک بار به زمین می‌رسد و برای ضبط یک احوال‌پرسی ده دقیقه‌ای یک هفته وقت لازم است. طپش‌های قلب مسافر زمان هر بیست دقیقه یک بار به زمین خواهد رسید.

اگر تصویری تلویزیونی از خود بفرستد، هر چشم بر هم زدنش، زمانی دراز به طول خواهد انجامید.

برگردیم به سفینه که مشغول دور زدن متوالی سیاه‌چال است، مسافر زمان از هیچگونه چیز خارجی که دال بر وجود زمان در اطرافش باشد، آگاه نمی‌شود. اگر نبض خود را بگیرد، متوجه می‌شود که ضربان قلبش عادی است. در هر سفر به دور سیاه‌چال، گذشت زمان از هر نظر ــ فیزیکی، بیولوژیکی و روانشناسی ــ عادی به نظر می‌رسد.

امّا در آنجا نیز بین هر دو بار گردش، اختلاف پیوسته‌ای در زمان محسوس می‌گردد. پس از چند هفته، مسافر زمان اخباری دریافت خواهد داشت که حاکی از مرگ همهٔ دوستانش می‌باشد. اگر به دور زدن سیاه‌چال برای ده سال ادامه داده و سپس به زمین برگردد، متوجه خواهد شد که ده هزار سال سپری شده است و به دوره‌ای وارد می‌شود که دربارهٔ زمان «خودش» (یعنی هنگامی‌که از زمین سفر کرده بود ــ م) فقط چند خطی در متون باستان‌شناسی نوشته‌اند و هرگز قادر نخواهد بود که به زمان قبلی خود باز گردد. در نظریهٔ نسبیت هیچ روشی که در آن یک جسم واقعی یا مشخص، یا اطلاعاتی را بتوان به زمان گذشته فرستاد، وجود ندارد.

سفر با سرعت تند، نیز می‌تواند موجب جوان ماندن بشود. فضانورد ما برای اینکه بیش از همکاران خود در زمین عمر کند، لازم نیست که سیاه‌چالی یافته و خود را در آنجا، درگیر سفر زمان نماید.

در فضای تهی، می‌تواند پروازی را برنامه‌ریزی کند که ساعت‌های اتمی مستقر در سفینه‌اش و هم‌چنین جسمش، به‌طور متوسط نسبت به ساعت‌های موجود در زمین کندتر حرکت کنند. این برنامه‌ریزی می‌تواند بسیار ساده باشد و همهٔ کاری که باید بکند اینست که در هر جهت دلخواه با سرعت تند حرکت نموده، و سپس به جای خود بازگردد. هرچه تندتر حرکت کرده و هرچه مسافت بیشتری پیموده باشد، از زمان، منفعت بیشتری نصیبش خواهد شد.

امکان سفر زمانی، در فضای تهی، از دست‌آوردهای اوّلیهٔ کشفیات اینشتین بود، این مطلب یکی از نتایج اساسی نسبیت خاص بود که در سال ۱۹۰۵ تنظیم شده بود و از جمله رهنمودهای نیرومند برای فیزیکدان‌ها به‌شمار می‌رفت تا تصور قدیمی دربارهٔ زمان مطلق را به دور اندازند و در همه‌جا به‌طور همزمان مورد قبول واقع گردید. نظریهٔ نسبیت خاص مطلب اساسی این فصل و فصول آینده است. چنانکه از اسمش برمی‌آید، این نظریه ارتباط به حرکت نسبی در شرایط «مخصوص» دارد، مثلاً، در فضای تهی که از تأثیرات هرگونه ثقلی آزاد باشد. جهان نسبیت خاص، در مقایسه با جهان نسبیت عام، که ثقل خود را بر آن تحمیل کرده است، از نکته نظر ریاضی بسیار ساده‌تر، امّا از نظر مفهوم کلی گیج کننده‌تر است.

زیر پای همه چیز سُست است و هیچ مرجعی بهتر از مراکز ثقلی ستارگان و سیارات نیست. در ارائهٔ دیدگاههای اینشتین، این دیدگاهها را برعکس تاریخ انتشارشان مطرح ساختم. مطلب را از نسبیت عام و ثقل

شروع و به نسبیت خاص و سرعت زیاد رسیده‌ایم.

تعیین خطوط ارتباط بین دو نظریه مشتمل است بر: ۱ــ شباهت‌های بین شتاب و ثقل و ۲ــ اثرات سفر با سرعت زیاد، بر زمان.

ثقل در روی زمین، یا درواقع بیشتر جاهای عالم، خیلی نیرومند نیست.

در نتیجه، دست‌آوردهای نسبیت خاص تقریباً به‌طور دقیقی تحت کلیهٔ شرایط عادی قابل اعمال بوده و در سفاین فضائی ــ مثلاً اسکای‌لاب ــ که آزادانه تحت تأثیر ثقل قرار می‌گیرند، با دقت بیشتری عمل می‌نماید. هرچند که تغییر مکان قرمز ثقلی و رفتار هم‌سوی ساعت‌های اتمی، ممکن است در استنباط ثقل بسیار مهم باشد، امّا در مقایسه با اثرات احتمالی بر زمان در حرکت نسبی و در سرعت‌های بالا، معمولاً ناچیز است.

در وضعیتی که ثقل موجب کند شدن ساعت‌ها می‌گردد، نیز دلیل مشخص وجود دارد بدین معنی که اگر جسم عظیمی چون زمین، خورشید، یا یک سیاه‌چال بر زمان و فضای اطراف خود به طریق مخصوصی تأثیر بگذارد، مایهٔ تعجب نخواهد بود.

آنچه، گاهی درک نسبیت خاص را دچار اشکال می‌سازد اینست که وقتی اثرات ثقل آشکارا رد می‌شود، حرکت به تنهائی در فضا و زمان تغییر شکل ایجاد می‌کند. این مطلب بسیاری از فیزیکدان‌های برجسته را همانگونه گیج کرده است که عوام‌را. همین مورد، دربارهٔ زمینهٔ عمدهٔ نسبیت خاص، یعنی یکسان بودن سرعت نور در نزد همه کس بدون توجه به حرکات آنها یا حرکات منابع نور، صادق می‌باشد. این نیز اگرچه مفهومی حیرت‌آور است، امّا صحیح می‌باشد. فصل بعدی این موضوع را با جزئیات مورد توجه قرار خواهد داد. لطفاً، در حال حاضر، این واقعیت را

قبول کنید که هر وقت هر شخص که با سرعت ثابت حرکت می‌کند سرعت نور را در فضای تهی اندازه‌گیری کند، همیشه به همان جواب مشخص یعنی ۱۸۶۰۰۰ مایل در ثانیه، بدون توجه به سرعت خودش، خواهد رسید. با این اطلاعات، هر اثری بر زمان به فوریت، قابل استنتاج بوده و ما را به عصارهٔ نسبیت خاص رهنمون می‌شود.

اگر من با چنان سرعت زیادی سفر کنم که از شما بگذرم، شما اینطور قضاوت می‌کنید که ساعت من از ساعت شما خیلی کندتر حرکت می‌کند. اگر من فضانوردی باشم که در یکی از دو سفینه‌ای که در کنار هم پرواز می‌کنند، قرار داشته باشم، و شما گذشتن سفاین را از زمین تماشا کنید، دلیل مسأله واضح می‌شود. وقتی از پنجرهٔ سفینهٔ خود به بیرون نگاه می‌کنم، سفینهٔ دیگر را در آن دنیای کوچک‌مان متوقف دیده، و در عین حال زمین را می بینم که به سرعت در آن چشم‌انداز عبور می‌کند.

از طرفی، من تصمیم می‌گیرم که فاصلهٔ خود با سفینهٔ دیگر را به کمک رادار یا لیزر بررسی بنمایم. موجی می‌فرستم که با سرعت نور حرکت کند و مدت لازم برای بازتاب آنرا با ساعت اتمی خود اندازه می‌گیرم. تا جائی‌که مربوط به من می‌شود، موج از کوتاهترین مسیر ممکنه به سفینهٔ خواهر (همسفر) برخورد و به‌طور مستقیم به طرف من باز می‌گردد.

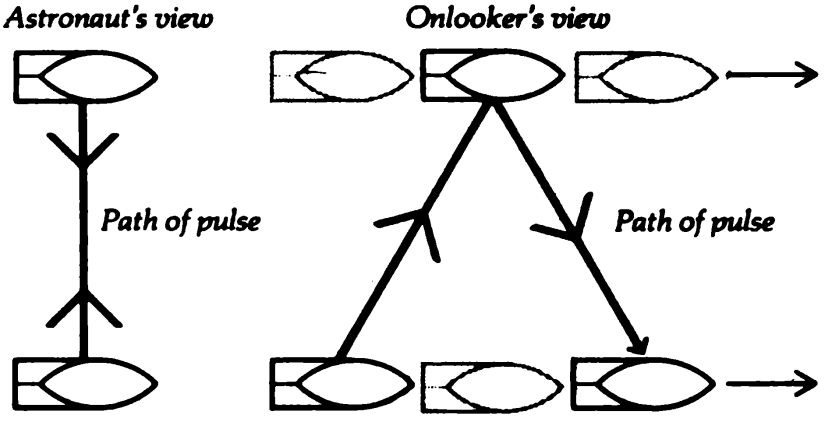
امّا به نظر شما (که در روی زمین هستید) موضوع اینطور نیست. در خلال مدت کوتاهی، که در آن موج از سفینهٔ من حرکت می‌کند، شما سفینهٔ دیگر را می بینید که به جلو حرکت می‌کند.

از نکته نظر شما، موج ناگزیر است که با زاویهٔ مورّبی به سمت جلو برود تا به سفینهٔ دوم برسد. به همین نحو، بازتاب برگشتی موج، نیز باید به طرف جلو متمایل شود تا به سفینهٔ من که بازهم در حال راندن به

جلو می‌باشد، برسد. به عبارت دیگر، موج به ارزیابی شما باید مسیر بیشتری را بپیماید.

در سرعت‌های پائین اختلاف ناچیز است، اما وقتی‌که سفاین، با سرعتِ مثلاً، نصف سرعت نور حرکت کنند، مسیری که باید مورد محاسبه واقع شود (از نظر ناظر زمینی ــ م) در حدود پانزده درصد طولانی‌تر از مسیر من خواهد بود. امّا اگر سرعت نور برای هردوی ما (فضانوردان) یکی باشد، برآورد زمانی شما از رفت و برگشت موج ارسالی من تقریباً پانزده درصد بیشتر از ارزیابی زمانی من می‌گردد. با اینهمه این رفت و برگشت یک بار است و یک موج رادار، یک سفر و تنها سفر را انجام می‌دهد و در این برآوردِ ما از فضا و زمان، یک چیزی به حساب نیامده است.

اینشتین تصمیم گرفت که در این حالت، محاسبهٔ عادی زمان را دخالت دهد، و همهٔ تحقیقات بعدی هم، تصمیمش را تأیید نمود. بر طبق نظریهٔ او، اختلاف مسافت برای سفر زمانی موج با اعلام اینکه شما (که از زمین می‌نگرید) حق دارید تصور کنید که ساعت منِ (در سفینه) کند می‌رود، حل می‌شود. این کند رفتن، باید درست در آن حدّی باشد، که نظرات ما را (من در سفینه و شما در زمین) آشتی دهد.



فرض کنیم که فاصلهٔ سفاین از یکدیگر برابر صد پا و زمان لازم برای رفت و برگشت موج از سفینه من به سفینهٔ مجاور، یکصد بیلیونیم ثانیه باشد. شما (در زمین) به من خواهید گفت: «آها، ساعت سفینهٔ شما کند کار می‌کند و زمان لازم (واقعاً)، ۱۱۵ بیلیونیم ثانیه است.»

در این مباحثه، نقش‌های ما کاملاً قابل مبادله است. از سفینهٔ من، می‌توان زمین را دید که به سرعت از کنار من می‌گذرد و می‌توانم شما را در حالی‌که مشغول اندازه‌گیری فاصلهٔ خانه و قهوه‌خانهٔ محلِ‌تان، با رادار، هستید تماشا کنم.

به حساب من، شما و قهوه‌خانه هردو، با نصف سرعت نور در حال حرکت هستید و مجدداً فاصلهٔ مستقیم رفت و برگشت بازتاب رادار، تبدیل به یک زاویه (خط شکسته) می‌شود که بنابر برآورد من، مسیری طولانی است.

بنابراین بر طبق برآورد من، این ساعت شماست که می بایستی کُند کار کند. تأثیر متقابل و متناقض است، زیرا هردوی این ساعت‌ها نمی‌توانند نسبت بهم کند کار بکنند. لذا این تأثیر سرعت زیاد بر زمان، در طبیعتِ خطای باصره می باشد.

امّا پس از آن چیز شگفت‌آوری اتّفاق می‌افتد، بدین معنیٰ که اگر من به حرکت خود از کنار زمین ادامه داده و با سفینه‌ام آن را دور بزنم و مجدداً به همان نقطهٔ مقابل شما برسم، معلوم خواهد شد که این کند شدن ساعت شماست که دروغین بوده و کند شدن ساعت من واقعیت دارد و مدت زمان -کمتری که برای این سفر، صرف کرده‌ام کمتر از آن زمانی است که شما فکر می‌کنید.

موضوع هیچ ارتباطی به جهت سفر ندارد، زیرا تأثیر حرکت با سرعت زیاد بر ساعت‌ها، از این موضوع کاملاً مستقل است. مقصد به

روشنی معلوم است، زیرا من مسافر و شما در خانه‌اید. این پیش‌بینی نسبیت خاص، اغلب به نام «پارادکس دوقلوها» معروف است، زیرا در قالب داستان فضانوردی گفته می‌شود، که به قصد سفری طولانی با سرعتی تند، به سوی ستارگان، برادر دوقلوی خود را در زمین ترک می‌گوید. در بازگشت به وطن برادر دوقلواش را می‌بیند که پیر شده، در حالیکه او ــ فضانورد ــ هنوز در روزگار جوانی است. ساعتهای فضانورد ــ اتمی و بیولوژیکی ــ سال‌ها، و ساعات کمتری را نسبت به ساعت‌های زمین ثبت کرده‌اند.

با یک برنامهٔ پروازی مناسب، فضانورد می‌تواند به آن تعداد سال‌های زمینی که متوزلا عمر کرده، زندگی کند. آنچنان که تورات می‌گوید، او ۹۶۹ سال زیست.

پارادکس دوقلوها، بیش از تمام محتویات نسبیت، موجب جنجال و حیرت برای عامهٔ مردم شده است. بعضی از مردم که در آرزوی عقاید پایدار بیشتری ــ راجع به زمان ــ نسبت به آنچه اینشتین مجاز می‌داند، هستند، این نتیجه‌گیری را با اکراه می‌پذیرند.

در انگلستان، هربرت دینگل[۲]، که خود اخترفیزیکدان و مدتی هم رئیس انجمن اخترشناسی سلطنتی بوده است، چندین سال عکس این مطلب را عنوان، و همواره تکرار می‌کرده است. او می‌گفت که: از نکته‌نظر مسافر این زمین است که با شتاب از او دور شده و دوباره به طرفش باز می‌گردد، بنابراین در هنگامی‌که دوقلوها در پایان سفر، کنار هم قرار می‌گیرند، نباید اختلافی در تقویم‌ها و سن و سال‌شان مشاهده شود. امّا، بین این دو نکته‌نظر، تفاوتی «هست». شباهت‌های موجود، در

2. Herbert Dingle

3. Royal Astronomical Society.

موقعیت های مسافر زمان که با سرعت زیاد حرکت می‌کند و مسافر زمان که به دیدار سیاه‌چال می‌رود، کمک می‌کند تا پارادکس دوقلوها را عنوان و تأیید کنیم. بخاطر بیاوریم علائمی که از مسافر زمانِ سیاه‌چال با تغییر مکان قرمز ثقلی بسیار مشخص، یا بسامد پائین به زمین می‌آیند، درحالیکه او علائم زمینی را با تغییر مکان آبی وسیع و بسامد بالا دریافت می‌کند اثرات روی علائم همزمان، نشان می‌دهد که ساعت مسافر زمان نسبت به ساعتهائی که روی زمین کار می‌کردند، بسیار آهسته‌تر کار می‌کند. برای مسافر زمان با موقعیت حرکتی تند، نیز، زمانی مهم فرا می‌رسد که در آن، زمین علائمی را که دچار تغییر مکان قرمز شده‌اند از مسافر دریافت و مسافر علائم زمینی را با تغییر مکان آبی وصول می‌کند. در این مورد، «قرمز شدن» و «آبی شدن» نور مربوط به پدیدهٔ داپلر که موجب «کشش» یا «تراکم» امواج نور درحال حرکت بین دو جسم برحسب اینکه از هم دور (تغییر مکان قرمز) یا نزدیک (تغییر مکان آبی) بشوند، می‌گردد. در بیشتر طولِ سفر، این اثر متقابل است و هردو طرف، یکدیگر را «قرمز» یا «آبی» می بینند. زمان مهم هنگامی فرا می‌رسد که مسافر، دور زده و به سمت خانه می‌راند. فوراً، علائم منتقله از زمین را در حالت تغییر مکان آبی دیده، و ساعت های زمینی تند حرکت می‌کنند. امّا اگر او در هنگام قصد بازگشت، مثلاً، ده سال نوری از زمین فاصله داشته باشد، قلوی زمینی اش تا ده سال پس از انجام این واقعه، یعنی هنگامی‌که نخستین علائم، قصد بازگشت سفینه را نشان بدهند، از نیت فضانورد آگاه نخواهد شد.

در تمام مدت آن ده‌سال، همزادزمینی همواره سفینهٔ برادرش را در تغییر مکان قرمز و ساعتهای داخل سفینه را کند می بیند. هرچه سفینه سریعتر حرکت کند، اختلاف ساعتها (در زمین و سفینه) بیشتر و

سال هائی که مسافر زمان «پس انداز» می‌کند بیشتر خواهد بود.

اختلاف بنیادین بیشتری بین تجارب همزاد مسافر، و برادر زمینی اش وجود دارد. مسافر شتاب را به حالت رفت و برگشت احساس می‌کند، امّا مردم روی زمین چنین چیزی را حس نمی‌کنند. دستاوردهای شتاب در نظریهٔ نسبیت خاص گاهی مبهم اند، و به همین دلیل است که اثر مورد نظر را ممکن است «پارادکس» نامید.

اینشتین، خود اظهار نظر کرده است، که استنباط خاص آن در قالب نسبیت عام مقدور خواهد بود. نظریهٔ اخیر (نسبیت عام) معلوم می‌سازد که شتاب یافتن در فضای تهی تقریباً از ایستادن در یک میدان ثقلی، غیر قابل تشخیص است و درست همانطور که ثقل ویژگی هائی بر زمان اعمال می‌کند، شتاب هم همین کار را می‌کند.

وقتی‌که با سرعت زیاد شروع به چرخ زدن می‌کنید، چه یک حرکت مستقیم رفت و برگشت انجام داده و یا در مسیری مستدیر چرخ بزنید (هیچ فرقی نمی‌کند)، مثل اینست که به دیدار سیاه‌چال می‌روید. هرچه سرعت‌تان بیشتر باشد، به آن تأثیری که سیاه‌چال خیالی ایجاد می‌کند نزدیک‌تر می‌شوید. مثلاً چرخ زدن با سرعتی برابر نصف سرعت نور، مثل اینست که بر گرد سیاه‌چال و در فاصلهٔ چهار برابر شعاع آن می چرخید، و در ازاء هر یکسال چرخیدن دو ماه «پس انداز» می‌کنید. برای قرار گرفتن در موقعیت مسافر زمانِ سیاه‌چال که ساعتش را تا یک هزارم کند ساخته است، لازم است که درواقع، با سرعتی نزدیک به سرعت نور، یعنی حدود یک مایل در ثانیه کندتر از سرعت نور (۱۸۵۰۰۰ مایل در ثانیه) چرخ بزنید.

بنابراین، صرفاً سرعت زیاد نیست که در مقایسه با دوستان زمینی موجب حفظ جوانی‌تان می‌شود، بلکه فشاری که در طول سفر ــ برای

رسیدن به سرعت‌های بسیار زیاد و تغییر مسیر برای آمدن به خانه ــ اعمال می‌شود، نیز مؤثر است. در نظریهٔ نسبیت، چه تحت تأثیر نیروی ثقل قرار داشته و یا در حال سفر در یک کشتی فضائی باشید فشار می‌تواند، در مقایسه با سرعت ساعت‌ها، در نظام‌های کُند، شما را در چهارچوب زمانی متفاوتی قرار دهد. اگر با قضیهٔ پارادکس دوقلوها زیاد درگیر شدم، برای این بود که بسیاری از مردم علاوه بر دینگل با آن قضیه گیج شده‌اند. امّا در فیزیک چنین مسائلی نه با مباحثه بلکه با تجربه حل می‌شوند. و وقتی تجربه انجام می‌شود، طبق معمول، این اینشتین است که درست می‌گوید.

برای بررسی پارادکس دوقلوها در روی زمین، مناسب خواهد بود که اجسامی با عمر طبیعی در اختیار داشته باشیم، به‌طوری‌که بتوان با انجام سفر تند زندگی آنها را طولانی ساخت. اجسام مناسب قابل دسترسی در دنیای شبه‌اتمی ذرات فیزیکی یافت می‌شوند. در این دنیا بسیاری از ذرات ناپایدارند. آنها ایجاد و پس از عمر ثابت طبیعی خود از بین می‌روند. مناسب‌ترین ذرات برای تجارب مربوط به طولانی ساختن (عمر) موان[4]ها، یعنی منسوبین سنگین الکترون‌ها هستند. آنها پس از زندگی معمولی خود (نیم‌عمر)[5] که عبارت از دو میلیونیم ثانیه است تبدیل به الکترون می‌شوند.

اینکه موان‌ها چگونه ساخته شده و ممکن است چه چیزهائی باشند، بحثی فنی است و ارتباطی به این مطلب ندارد. امّا این ذرات دارای بار الکتریکی‌اند و مفهوم آن اینست که می‌توان آنها را با مغناطیس‌های نیرومند به حرکت درآورد. اکنون، گروهی از ذرات را

4. Muons 5. Half-Life

تصور کنید، که آنها را با سرعت زیاد پرتاب و پس از گردشی دورانی به «خانه» برگردانیم.

اگر نتیجه گیری از پارادکس دوقلوها صحیح است، باید عمر ذرات پرتاب شده نسبت به آنها که بی‌حرکت بوده‌اند، طولانی‌تر باشد. ساده‌ترین روش اینست که موان‌ها را بر گرد دایره‌ای هدایت کنیم، مسیر مستدیر به ذرات باقیماندهٔ هر گردش اجازه خواهد داد تا سفر مجددی را انجام دهند، این بازی چرخ و فلکِ موان‌ها، دقیق‌ترین آزمایش ممکنه در زمینهٔ پارادکس دوقلوها است که تاکنون انجام گرفته است.

امیلیو پیکاسو[6] و یک گروه بین‌المللی فیزیکدان‌ها، ماشین‌آلات و ردیابهای لازم را تهیه و در سِرن[7] ــ آزمایشگاه بزرگ پر انرژی اروپا ــ نزدیک ژنو نصب نمودند. آنها **حلقهٔ ذخیرهٔ موان**[8] را ساختند تا نکتهٔ بسیار اساسی را در نظریهٔ نیروی برق بررسی کنند، امّا این حلقهٔ ذخیره به نحو قابل تحسینی برای آزمایش نسبیت نیز مناسب بود. این ذرات در حالیکه در محاصرهٔ مغناطیس‌ها بودند با سرعتی معادل ۹۹/۹٤ درصد سرعت نور، مداری به قطر ٤٦ پا را دور زدند و بیست دستگاه ردیاب الکترون‌ها که در اطراف مدار نصب شده بودند، «مرگ‌های» ذرات جداگانه را ثبت نمودند.

اگر عمر طبیعی ذره تحت تأثیر سرعت زیاد واقع نمی‌شد، یک ذرهٔ مشخص، باید پیش از به پایان رسیدن زندگی دو میلیونیم ثانیه‌ای خود، چهارده یا پانزده بار مدار را بپیماید. درواقع هر ذرهٔ مشخص در تجربهٔ سِرن آنقدر دوام یافت که بیش از چهارصد بار مدار را پیمود. عمر ذره تقریباً تا سی برابر افزوده شده بود.

6. Emilio Picasso 7. CERN 8. Muon Storage Ring

نه‌تنها مفهوم عمومی پارادکس دوقلوها تأیید شد، بلکه اندازه‌گیری‌های دقیق، محاسبات اینشتین را تقریباً به نحو دقیقی توجیه نمود. درواقع در سال ۱۹۷۷، تجربه‌گران توانستند اعلام کنند که عامل پیش‌بینی شده با تقریب یک در پانصد،صحیح می‌باشد. سفر با سرعت زیاد «**واقعاً**» شما را جوان نگاه می‌دارد و لذا فرمول اینشتین از نظر آمارگران عصر فضا، قابل ستایش است.

۱۴

تصحیح عالمگیر

به نظر می‌رسد که جسم عابر سریع‌السیر (ضمن حرکت به دور خود) از شما دور می‌شود.
ساعتی که در سفینهٔ سریع‌السیر باشد، کند به نظر می‌رسد.
انرژی جنبشی جسم، جرم ظاهری آن را افزایش می‌دهد.
در حرکت سریع‌السیر، فواصل کوتاه به نظر خواهند رسید.
ظواهر تغییر می‌یابند، امّا قوانین فیزیک پایدارند.

* * *

وقتی که به سرعت قایق دریانوردی بر اثر حرکت باد (که از پهلو می‌آید) افزوده می‌شود، حرکت باد تغییر می‌کند. چنین به نظر می‌آید که باد از جلوی قایق می‌وزد. بادبان بالای دکل که نشان دهندهٔ جهت باد به قایقران می‌باشد دیگر دقیقاً در جهت قبلی وزش باد حرکت نمی‌کند و با زاویه‌ای متوجه کف آن می‌شود. هرچه قایق سریعتر برود این زاویه بزرگتر می‌شود. البته حرکت قایق تغییر دهندهٔ جهت حرکت واقعی باد که در اثر تغییرات اساسی فشار هوا در سطح زمین بوجود می‌آید، نیست، بلکه آنچنان که برای افراد داخل قایق مفهوم می‌شود، آنچه تغییر می‌یابد، جهت بادِ ظاهری است. معهذا این بادِ ظاهری بقدر کافی واقعیت دارد: آنچه باعث راندن قایق به جلو می‌شود، همین باد است.

آلبرت اینشتین قایقران یک قایق کوچک بود و جیمز برادلی[1]

1. James Bradley

اخترشناس قرن هیجدهم آکسفورد هم، چنین وضعی داشت. دو قرن قبل از اینشتین، برادلی در حالی‌که مشغول قایق‌سواری روی رودخانهٔ تیمز[2] بود، درنتیجهٔ واکنش نشان دادن به جهت باد ظاهری متوجه کشف مهمی در نسبیت گردید. او دریافت که موقعیت‌های ظاهری اختران «ثابت» دوردست در فضا، می باید تحت تأثیر حرکت زمین قرار گیرد. علاوه بر این جهت حرکت زمین در گردش انتقالی آن تغییر می‌کند، بنابراین موقعیت‌های ظاهری اختران در آسمان باید به اقتضای فصل اندکی تغییر یابد.

پس از بررسی موضوع متوجه شد که قضیه همینطور است و تغییری در حدود ۱/۹۰ درجه از تابستان تا زمستان، برای اخترانی که در موقعیت متقابل مدار زمین قرار دارند رخ می‌دهد. برادلی از آن پس توانست سرعت نور را به عنوان مضربی از سرعت حرکت مداری زمین تخمین بزند.

اخترشناس ناگزیر است که برای رَصَد کردنِ جریان ظاهری ذرات نور که از اختری دور می‌آید، تلسکوپ خود را اندکی به طرف جلو در جهت حرکت زمین، کج کند. این همان اثری است که باد ظاهری موجب تغییر وضع بادبان می‌شود.

(برای کسانی که متوجه قضیه نمی‌شوند باید گفت که کج کردن تلسکوپ مثل اینست که وقتی در هنگام باران سریعاً در حال حرکت می باشید چتر خود را اندکی به جلو کج می‌کنید تا زانوهای‌تان خیس نشود.) برای سرعت‌هائی که در مقایسه با سرعت نور کم هستند، این به قول اخترشناسان «کجنمایی»، نیز کم است. اما یک قایق موتوری سریع بدون توجه به جهت باد واقعی و نیز در هوای بدون باد موجب ایجاد

2. Thames

باد از روبرو می‌گردد. به همین روال، سرعت‌های بسیار زیاد نسبت به منبع نور می‌توانند اثرات شدید در جهت ظاهری و شکل ظاهری آن ایجاد کنند.

مثلاً تصور کنید که سفینه‌ای از شرق به غرب زمین و با سرعتی نزدیک به سرعت نور حرکت می‌کند. تلسکوپ خود را به طرف شرقی آسمان متمرکز سازید، خواهید دید که سفینه به طرف شما می‌آید و اوّل انتهای سفینه را می‌بینید! اینک کجنمایی آنچنان زیاد است که نوری که باید با زاویهٔ صحیح وارد تلسکوپ شما بشود، به ناچار، تقریباً یک راست از پشت سفینه وارد می‌شود. دیگر قایق‌ها نمی‌توانند برای منظور ما تشبیه درستی باشند، در عوض می‌توان به سفینه‌ای بی‌حرکت و زمین که (از جلو به عقب آن) تقریباً با سرعت نور می‌گذرد اندیشید.

تنها شانس برخورد زمین با پرتو لیزر که از سفینه می‌آید اینست که تقریباً، به‌طور کامل در جهت حرکت زمین پرتاب شود، به عبارت دیگر پرتو لیزر به طرف انتهای سفینه پرتاب گردد.

برگردیم به نقطهٔ تفوق[۳] شما در زمین. همچنانکه تلسکوپ را مستقیم به بالا می‌گردانید و سعی می‌کنید که سفینه را لحظه‌ای که در نزدیکترین موقعیت قرار دارد ببینید، باز هم سفینه را از طرف انتها رؤیت خواهید نمود. به تعبیری دیگر، بجای اینکه خط سیر حرکت خود را تعقیب نموده و در جهت حرکت زمین حرکت کند، اینطور به نظر می‌رسد که سفینه از زمین دور می‌شود. حتیٰ در سرعت‌های خیلی کم، چنین می‌نماید که سفینه در حال دور شدن از زمین است. وقتی‌که انتظار دارید قسمت‌های جانبی سفینه را ببینید، قسمتی از انتهای آن دیده می‌شود.

۳. نقطه‌ای که ناظر دارای حداکثر دید ممکنه باشد. م 3. Vantage Point

مجدداً دلیل این موضوع اینست که نور وارده به تلسکوپ تنظیم شده از زمین به طرف بالا، تا حدودی از قسمت انتهای سفینه وارد شده و موجب کجنمایی می‌گردد. بر طبق بیشتر حساب‌های نسبیت، این موضوع که سفینهٔ عابر به نحوی غیرطبیعی در جهت طول فشرده یا منقبض شود، کاملاً نادرست می‌باشد. سفینه از روبرو کوتاه به نظر می‌آید، امّا فقط آنچنان که منظرهٔ کاملاً طبیعی یک جسم از یک گوشه رؤیت می‌شود.

گردش ظاهری سفینهٔ عابر، کند شدن ظاهری در ساعت‌ها را، که در فصل قبل با استفاده از انعکاس راداری بین دو سفینه مطرح شد، در نتیجهٔ کجنمایی به نحو روشن‌تری توضیح می‌دهد.

همانطور که قبلاً گفته شد، به علت کجنمایی، سفینهٔ عابر را می‌توان به کمک نوری که از انتهای آن گُسیل می‌شود طوری مشاهده کرد که گوئی آشکارا از شما دور می‌شود. مآلاً با توجه به اثر داپلر نور قرمز خواهد شد که بدین ترتیب هنگامی‌که منبع نور و ناظر از یکدیگر دور می‌شوند، بسامد و انرژی نور کاهش می‌یابد.

این موضوع حتی در هنگامی‌که فکر می‌کنید سفینه از نزدیکترین نقطهٔ مفروض نسبت به زمین عبور می‌کند و قاعدتاً نباید به شما نزدیک یا از شما دور شود، نیز پیش می‌آید.

و اگر سفینهٔ ظاهراً دور شونده، امواج زمانی ساعت خود را برایتان ارسال دارد، این امواج نیز با فاصله دریافت شده و دریافت شما این خواهد بود که ساعت (سفینه) کند کار می‌کند.

مقدار این «اثر داپلر عرضی»، چه به کمک «کنجنمایی» (آنطور که در اینجا شرح داده شد) و یا به کمک ارسال امواج راداری بین دوسفینه (صفحات ۱۸۵ ــ ۱۸٤) به سهولت قابل محاسبه است. بسامد معمولی نور از بسامد نور مشابهی که از یک سفینهٔ عابر دریافت می‌شود،

بیشتر است و به وسیلهٔ عاملی به نام عامل گاما که ارتباط به سرعت دارد تعیین می‌شود. و بر این اساس مدت زمان یک ثانیه از روی ساعت سفینه، برای ناظر برابر خواهد بود با حاصلضرب یک ثانیه در عامل گاما.

سرعت (برحسب درصدی از سرعت نور)	عامل گاما
۰	۱/۰۰۰
۱۰	۱/۰۰۵
۲۰	۱/۰۲۱
۳۰	۱/۰۴۸
۴۰	۱/۰۹۱
۵۰	۱/۱۵۵
۶۰	۱/۲۵۰
۷۰	۱/۴۰۰
۸۰	۱/۶۶۷
۹۰	۲/۲۹۴
۹۵	۳/۲۰۲
۹۹	۷/۰۸۹
۹۹/۹	۲۲/۳۶۱
۹۹/۹۹۹	۲۲۳/۶۰۷
۱۰۰	بی‌نهایت

فرمول عامل گاما عبارتست از:

$$\text{گاما} = \frac{۱}{\sqrt{۱ - V^۲}}$$

که در آن V سرعت جسم بر حسب کسری از سرعت نور می باشد.

همهٔ ظرافت نسبیت خاص، در اثر داپلر عرضی همراه با کند شدن

ساعتهای سفاین ــ آنطور که برای ناظر مفهوم است ــ پنهان می‌ماند. برای تأکید مطلب اجازه بدهید جدول دیگری بنا کنیم.

جهت حرکت سفینه	تغییر رنگ سفینه	سرعت ظاهری ساعت	سرعت نتیجه گیری شدهٔ ساعت
بطرف شما	آبی	تند	کند
از شما دور می‌شود	قرمز	کند	کند
از اطراف شما می‌گذرد	قرمز	کند	کند

اختلاف بین سرعت «ظاهری» و سرعت «نتیجه گیری شده» ساعت سفینه به دلایل ذیل می باشد:

در نگاه اوّل، به‌نظر می‌رسد که عامل گاما موقعیت ویژه‌ای را بیان می‌کند، یعنی موقعیتی‌که در آن سفینه مستقیماً در بالای زمین قرار دارد. امّا درواقع سفینه با سرعت بسیار زیاد به هر جهتی در حرکت می باشد. با درنظر گرفتن اثر داپلر معمولی یعنی تغییر بسامد ظاهری نور سفینه‌ای که به طرف ناظر آمده یا از آن دور می‌شود ــ تغییر مکان آبی و تغییر مکان قرمز ــ قرمز شدن اندک امّا پیوسته‌ای پدیدار می‌گردد. امواجی که از سفینهٔ نزدیک شونده می‌رسند، یعنی سفینه‌ای که دچار تغییر مکان آبی می‌شود، قوی و سریع خواهند بود که معرف افزایش سرعت ساعت سفینه است. امّا وقتی‌که اثر داپلر ناخالص را درنظر می‌گیرید، تأثیر ظریفتری برجا مانده و از نظر شما کند شدن «نتیجه گیری شده» (واقعی؟ ــ م) ساعت پیش می‌آید که مربوط به عامل گاماست این عامل

بدون ارتباط به اینکه منبع نور به طرف ناظر آمده یا از آن دور شده یا از کنار ناظر بگذرد، وارد عمل می‌شود.

در حالت سفاین واقعی، نظیر اسکای‌لب و سالیوت که با سرعت ۵ مایل در ثانیه یعنی یک چهل هزارم سرعت نور بر گرد زمین طی مدار می‌کنند، این تأثیر کم است.

اگر اثرات ثقل و نسبیت عام را (که باعث تند شدن ساعت سفینه می‌شود) نادیده بگیریم، پیش بینی نسبیت خاص به استناد عامل گاما این است که ساعت سفینه در مقایسه باساعتی که در زمین قرار دارد در حدود دو صدم ثانیه در سال کندتر حرکت می‌کند.

برای جسم در حال حرکت که با سرعت‌های خیلی پائین‌تر حرکت می‌کند، گاما، تقریباً به‌طور دقیق برابر یک می باشد. بنابراین ساعت‌های اتومبیل‌ها با ساعت‌های موجود در ساختمان‌ها به نحو خیلی دقیقی مطابقت دارند. برای جسمی که با سرعت نور حرکت می‌کند گاما بی‌نهایت بوده و به‌نظر می‌رسد که زمان متوقف می‌شود. برای سرعت‌های حدفاصل که نسبت عمده‌ای از سرعت نور را دارا باشند، عامل گاما، نخست به آهستگی و سپس (برای سرعت‌های بالا) به سرعت افزایش می یابد.

شما نمی‌توانید، بدون اینکه بر سایر کیفیات عالم تأثیر بگذارید، هیچ کاری در ارتباط با زمان انجام دهید و این عامل گاماست که بر اغلب دست‌آوردهای پیچیدهٔ سفر سریع‌السیر حکمرانی می‌کند. عامل گاما تصحیحی عالمگیر است.

برای شروع کار باید گفت، وقتی که فضانوردی در سفینهٔ سریع‌السیر خود قرار دارد ممکن است از دید ناظری که در زمین می باشد، به نحو قابل ملاحظه‌ای جوان به نظر آمده و چنین می‌نماید که مقدار زیادی

بر وزنش اضافه شده است و او (فضانورد) چنین می‌اندیشد که چالاکی معمول خود را داراست ولی از دیدگاه ناظر، جرم فضانورد و سفینه‌اش در اثر عامل گاما افزایش یافته است.

برای درک این مسأله، بخاطر بیاورید که جرم هر جسم عبارتست از مقاومت آن جسم در مقابل شتاب. فرض کنید که فضانورد به منظور افزایش سرعت خود، موتور موشک سفینه‌اش را روشن می‌کند. تا آنجا که ویژگیهای فنّی موتور اجازه بدهد و برحسب علاقهٔ فضانورد، موتور شروع به کار کرده و به فضانورد شتابی، مثلاً برابر یک ثقل (g) داده و سرعتش را به اندازهٔ ۳۲ پا در ثانیه، در هر ثانیه می‌افزاید. امّا با محاسبهٔ ناظر، ثانیهٔ فضانورد یک ثانیه ممتد ــ درواقع ثانیهٔ گاما ــ می‌باشد و سفینه آنچنان که فضانورد تصور می‌کند، سرعت نمی‌گیرد. از نکته نظر ناظر، موتور سفینه هم خیلی به آهستگی حرکت می‌کند. تلاش لازم برای افزودن سرعت سفینه و رساندن آن به سرعتی تعیین شده، به نظر ناظر، در اثر عامل گاما زیاد شده است. مشاهده می‌شود که از شتاب سفینهٔ سریع‌السیر، با کندی بسیار کاسته می‌گردد.

تصور کنید که سفینه هنوز به راه خود ادامه می‌دهد. وقتی که دیگر نمی‌تواند بر سرعت خود اضافه کند، به عقیدهٔ ناظر، افزایش جرم آن (سفینه) به نحو سهمگینی ادامه می‌یابد و وقتی‌که به سرعتی برابر ۹۹/۹ درصد سرعت نور رسید، سفینه‌ای که جرم تأیید شدهٔ آن از طرف سازنده یکصد تن اعلام شده باشد، تحت تأثیر عامل گاما جرم مؤثر آن به ۲۲۳۷ تن خواهد رسید. آن جرم اضافی معرّف چیست؟ معرف انرژی جنبشی سفینه، زیرا هرچه سفینه در اثر شتاب انرژی بیشتری کسب کند، جرم آن بیشتر می‌شود. همچنان که سرعت سفینه به سرعت نور نزدیک شود، مقدار انرژی به بی‌نهایت میل خواهد کرد (گاما = بی‌نهایت) به قسمی که

موتورهای سفینه می‌توانند برای ابد کار کنند، امّا هنوز هم آن انرژی کاملی را که مستلزم رسیدن به سرعت نور می باشد، کسب نخواهند کرد. عامل گاما چیزی به نام «سد نور»[۴] را که مانع از حرکت اجسام مادی با سرعتی معادل سرعت نور است بیان می‌دارد.

برآورد ناظر از افزایش جرم، برآوردی دروغین نیست. برعکس اگر او شخصی باشد که نیروئی را در راندن جسمی با سرعت زیاد اعمال نماید، متوجّه می‌شود که برای افزودن هر مایل سرعت در ثانیه، احتیاج به تلاش بسیار زیادتری نسبت به سرعت‌های ماقبل دارد. این دقیقاً همان وضعیتی است که به‌کار برندهٔ یک ذرهٔ شتاب‌دهنده خود را در آن می یابد.

او به ذرات شبه‌اتمی خود انرژی بیشتر و بیشتری منتقل می‌کند، امّا به محض اینکه ذرات به سرعت نور نزدیک می‌شوند، تقریباً افزایش سرعت تمامی شان متوقف و در عوض بر جرم‌شان افزوده می‌شود.

چنانچه خواننده متوجّه شده است، ما مجدداً به همان مسألهٔ برابری جرم و انرژی رسیدیم که اینشتین آنرا به عنوان عمده‌ترین دست‌آورد نسبیت خاص کشف نمود. عامل گاما، جرم جسمی را که به سرعت در حال حرکت می باشد، توضیح می‌دهد. جرمی که پس از توقف جسم باقی می‌ماند و برگشت گاما به مقدار واحد، همان انرژی آرمیده است. تفاوت این دو، انرژی جنبشی است. انعکاسی دیگر اینکه، کُند شدن سرعت ساعت دقیقاً با افزایش انرژی مربوط است و در اینجا نیز، یعنی در پرواز با سرعت زیاد در فضای تهی، همچون مورد ثقل در نزدیک سیارات، اختران و سیاه‌چال‌ها، تجمع انرژی ــ آنچنان که از بیرون

4. Light barrier

استنباط می‌شود ــ منتج به کُند ساختن زمان می‌گردد.

درست همانطور که در حاشیهٔ یک سیاه‌چال زمان متوقف می‌شود، اگر با سرعت نور حرکت کنید زمان از حرکت باز می‌ماند. با این کار فاصله کاملاً از بین می‌رود، به‌طوری که نقطهٔ عزیمت و نقطهٔ مقصد بر هم منطبق می‌شوند. در روش ایرلندی اندازه گیری سرعت نور این مطلب به خوبی روشن است. دو تجربه‌گر (به اسامی مایکل[5] و پاتریک) مسافتی را در میدان چمن تعیین و مایکل با زمان‌سنج خود آمادهٔ کار می‌شود. پاتریک با چراغ قوه به انتهای مسیرمی‌رود. او (پاتریک) دستمالی را که قرار است در لحظهٔ روشن کردن چراغ قوه تَه زمین انداخته شود بلند می‌کند. آنگاه مایکل زمان‌سنج خود را به کار می‌اندازد و در تمام مدتی که چراغ قوه دیده می‌شود، زمان را اندازه می‌گیرد.

با توجه به فاصلهٔ طی شده و زمان صرف شده، آنها خواهند توانست که نتایج بدسته آمده را به مرکز رایانه در دوبلین ارسال و سرعت نور را بدست آورند.

در هماهنگی کامل با یک برندهٔ بالقوهٔ جایزهٔ نوبل، مایکل دستمالش را انداخته و مشعلش را روشن می‌سازد.

نتیجه معلوم است، در این تجربه به نظر می‌رسد که نور با سرعتی بی‌نهایت حرکت می‌کند، زیرا پاتریک می‌بیند که سقوط دستمال و درخشش چراغ قوه هردو دقیقاً در یک آن اتّفاق می‌افتند. اگرچه آنها در اندازه‌گیری درست سرعت نور شکست خورده‌اند، امّا چیزی به مراتب مهم‌تر کشف نمودند که اگر اینشتین نخست آنرا نگفته بود، ارزش جایزهٔ نوبل را داشت. فرض کنیم که برای انتقال اطلاعات مربوط به زمان،

5. Michael and Patrick

هیچ راهی سریع‌تر از سرعت نور نباشد. ذرهٔ نور، لحظهٔ آفرینش خود را به صورت منجمد در خود حفظ می‌کند.

اگر فرشته‌ای در سفینه‌ای، علائمی با سرعت نور را همراهی کند، او چنین خواهد اندیشید که در لحظهٔ حرکت به خط پایان خواهد رسید. زمان به‌طور نامحدودی طولانی شده و مسافت به هیچ تقلیل بی‌یابد و ناظرین می‌پندارند که ساعت سفینهٔ کوچک متوقف شده است. درواقع کسی که با سرعت نور حرکت می‌کند، قادر است تمام عالم را بدون اتلاف هیچ زمانی طی کند و فضا و زمان برای او نابود می‌شوند. فقط حرکات بسیار آهسته‌ای را که در تبدیل انرژی به مادهٔ منجمد صورت می‌گیرد و غیرممکن بودن سفر با سرعت نور، مفهوم عالم، زمان و فضا را در ارتباط با هستی ما میسر می‌سازد.

معهذا هرچه با سرعت بیشتری حرکت کنید، زندگی‌تان بیشتر نورسان می‌گردد، یعنی فضا کوچک و زمان کُند می‌شود.

قاعدتاً می‌توانید فواصل زیادی را در خلال عمر یک انسان بپیمائید. برای انسان‌هائی که در قرون آینده زندگی خواهند کرد، سفر کردن با سرعتی در حدود یک دهم سرعت نور، به نزدیکی سایر اختران قابل توجیه خواهد بود. در چنان سرعتی هرگونه صرفه‌جوئی در وقت به سبب سفر سریع‌السیر، جزئی به نظر خواهد رسید یک سفر پنج سالهٔ نوری ــ که فاصلهٔ بین ستاره‌ای قابل قبولی است ــ با معیارهای زمینی حدود پنجاه سال و برای خود مسافرین فقط سه ماه کمتر از این زمان محسوب می‌گردد. در آن دوره، عقیدهٔ سفر کردن با سرعتی نزدیک به سرعت نور، ذهن کسانی را که سفرهای طاقت‌فرسای بین ستاره‌ای را انجام می‌دهند، اشغال خواهد کرد.

براساس نظریهٔ نسبیت (امّا نه با هیچ تکنولوژی شناخته شده‌ای)

شما می‌توانید با چنان سرعتی در بین اختران پرواز کنید که قهرمانان افسانه های فضایی پرواز می‌کنند.

اگر یک فضانورد سریع السیر نقشه‌ای که در زمین تهیه شده در اختیار داشته باشد و این نقشه موقعیت های اختران و فواصل بین آنها را نشان بدهد، فضانورد می‌تواند اختران را مثل سنگ های مسافت نمای کنار جاده مورد استفاده قرار داده و سرعت خود را ارزیابی کند. به عنوان مثال او ممکن است بگوید:

«فاصلهٔ این اختر از آخرین اختری که طی شد چهار سال نوری است و رسیدن به این اختر برای من هشت سال نوری طول کشیده است، بنابراین سرعت من با استفاده از نقشهٔ زمینی، نصف سرعت نور است.»

بخاطر بیاورید بتدریج که بر سرعت فضانورد افزوده می‌شود، تحت تأثیر عامل گاما، به همان نسبت ساعتش کُند می‌شود.

سرعتی جادوئی وجود دارد (آنچنان که از زمین محاسبه می‌شود) که در آن سرعت، با در نظر گرفتن کُند شدن ساعت فضانورد، او در آن حالت بسیار مهم از سرعت نور می‌گذرد. این سرعت برابر ۷۱ درصد سرعت نور است. در سرعت های بالا تر از این فضانورد می‌تواند با توجه به نقشهٔ زمینی خود، بسیار سریعتر از نور حرکت کند. مثلاً وقتی‌که فضانورد با سرعتی برابر ۹۹ درضد سرعت نور (به مفهوم زمینی آن) حرکت می‌کند، خود را همچون شهابی که از اختری به اختر دیگر رفته و هر هفت سال نوری را در یک سال طی می‌کند، می بیند. امّا همهٔ اینها به سبب کُند شدن ساعت اوست و با مقیاس زمینی او هنوز هم کمتر از یک سال نوری را در سال طی می‌کند، و اگر فضانورد زحمت اندازه گیری فواصل بین اختران را به خود بدهد، متوجه خواهد شد که نقشه های ساخت زمین «غلط» اند.

اندازه‌گیری فاصله بستگی به سرعت دارد و تمام کهکشان در جهت حرکت فضانورد، از روبرو کاهش می‌یابد. مثلاً، اگر او برای تعیین فاصله از رادار استفاده کند و با درنظر گرفتن اینکه ساعت خودش درحال کُند شدن می‌باشد، وقتی برگشت امواج ارسالی را محاسبه می‌کند، به همان نسبت فواصل بین اختران کمتر خواهد بود. کوتاه شدن فاصلهٔ کیهانی از سمت جلو، تأثیر کُند شدن ساعت را دقیقاً خنثی نموده و فضانورد چنین نتیجه می‌گیرد که بعد از همهٔ این اوضاع، او با سرعتی درست برابر ۹۹ درصد سرعت نور حرکت می‌کند.

رسمیت بخشیدن به این تصحیح، موجب انکار قدرت دستیابی فضانورد به مکان‌های دوردست در طول عمر او نیست. آیا یک چنین امکانی روزی صورت عمل به خود خواهد گرفت؟ چه کسی می‌تواند بگوید؟

برای اینکه مشاهده شود چگونه هر چیز در ارتباط با چیز دیگر درخلال حرکت سریع‌السیر تغییر می‌کند، مجدداً نگاهی به الکترون‌هائی که شتابگر دو مایلی الکترون در استانفورد را می‌پیماید، می‌اندازیم. جلوتر از این گفته شد که الکترون‌ها به سرعتی بسیار نزدیک به سرعت نور رسیده و تقریباً ٤۰,۰۰۰ بار سنگین‌تر می‌شوند که تمامی این افزایش، انرژی جنبشی است. امّا همان عامل موجب کوتاه کردن طول شتابگر می‌گردد و آنطور که مشاهده شده است در سرعت نهائی الکترون‌ها این طول از دو مایل به سه اینچ کاهش و اگر شتاب تدریجی مدّ نظر باشد به دو پا تقلیل می‌یابد. «ساعت‌های» الکترونی با همان عامل کُند می‌شوند، به‌طوری‌که آنچه از نظر ماناظرین مسافتی دو مایلی می‌نماید در زمانی کمتر از یک بیلیونیم ثانیه در سرعت نهائی الکترون‌ها پیموده می‌شود. با **ساعت‌های آنها و نقشه‌های ما** الکترون‌ها سفر خود را با سرعتی

معادل ۴۰,۰۰۰ برابر سرعت نور به اتمام می‌رسانند.

اما با **ساعت‌ها و نقشه‌های خودشان** (الکترون‌ها ــ م)، هنوز هم الکترون‌ها با سرعتی که فقط اندکی از سرعت نور کمتر است حرکت می‌کنند.

با تغییر دادن هردو یعنی هم فاصله و هم زمان با یک نسبت، عامل گاما همان سرعت (یعنی کمتر از سرعت نور را) را برای نور منظور می‌نماید.

و سرانجام، مفهوم واقعی پارادکس دوقلوها را که بسیار مهم‌تر از یک حقهٔ مؤثر و جادوی گیج کننده است، درمی‌یابیم. انرژی نسبی است. مثلاً فضانورد سریع‌السیر کاملاً از اینکه چقدر پرانرژی و نیرومند شده است ناآگاه می‌باشد. از نکته‌نظر او به سبب برابری جرم و انرژی تمام اختران نزدیکش سریع و جسیم شده‌اند. اگر اختلافی در ساعت‌ها نبود، نتیجهٔ حاصله گاهی می‌توانست فاجعه‌آمیز باشد و زمین به درون خورشید سقوط کند.

اگر آنطور که به نظر فضانورد می‌رسد، جرم خورشید در سرعت زیاد به نحو شگفت‌آوری افزایش یافته است، ثقل آن نیز باید به همان ترتیب نیرومند شده باشد.

انسان حق دارد متوقع باشد که در برابر سرعت معینی از سفینه، جرم خورشید چنان افزوده شود که تمام سیارات را به طرف خود کشیده و زندگی آنها را تمام کند، مگر آنکه سرعت‌های این سیارات در چنین وضعی تغییر یافته و خود را هماهنگ سازند (چیزی که مقدور نیست ــ م).

در یک عالم کاملاً منظم، شما نمی‌توانید به سادگی و برحسب اینکه چه کسی به اختر می‌نگرد، نقش نیروی ثقل را دارا شوید، چه در

غیر اینصورت هر ذرهٔ شبه‌اتمی عابر می‌تواند موجب تخریب تمامی کهکشانها شود. کُند شدن ساعت‌ها ما را از تباه شدن و یا به تعبیر بیشتر واقع گرایانه، از سقوط فیزیک نجات می‌دهد.

اجسام سریع السیر، دقیقاً به علت کُند شدن ساعت‌های‌شان، از فرصت تخریب با توجه به سمت حرکت خود، استفاده نمی‌کنند. اگر فضانورد مشاهده می‌کند که جرم خورشید دو برابر می‌شود، او همچنین می بیند که زمین با سرعتی دو برابر قبل، حرکت انتقالی خود را انجام داده و هر ٦ ماه یکبار به گرد خورشید طی مدار می‌کند آن سرعت اضافی، علیرغم نیرومند شدن ظاهری ثقل خورشید، زمین را در مدارش حفظ می‌کند.

ببینید، اینشتین چگونه عالم را با چنان ظرافتی به هم وصل می‌کند که هیچگونه وصله کاری ضرورت پیدا نمی‌کند. وقتی‌که او تصمیم گرفت از زمان مطلق صرف‌نظر کرده و به ساعت‌ها اجازه دهد به هر شکل می‌خواهند تغییر کنند، فیزیک را از تناقضاتی بسیار عمیق‌تر رهائی بخشید، او برای این شهامت خود، پاداش‌های زیادی نیز بدست آورد.

تغییر سرعت ساعت‌ها، سرعت نور به مثابه یک سد، و معادلهٔ $E=mc^2$ همگی در عامل گاما نهفته است. برای حرکت در سرعت‌های پائین یعنی وقتی که عامل گاما برابر یک است، قوانین حرکت تقریباً با همان دقتی که نیوتن گفته است صادق می باشند، امّا وقتی‌که منظور حرکت سریع السیر باشد، عالم، قلمرو اینشتین می‌گردد.

منشور آزادی* اینشتین برای عالم چنین است:

* Magna Carta ــ منشور آزادی شخصی و سیاسی مردم انگلیس که در سال ۱۲۱۵ میلادی پادشاه انگلستان را وادار به امضاء آن کردند. م

قوانین عالم برای همه یکسان است. اگر غیر از این بود قوانین فیزیک که به موجب آنها، ساختمان‌ها در زمستان پابرجا می‌مانند، ممکن بود در تابستان موجب درهم ریختن‌شان بشود و ما اجباراً رادیوهای خود را هر ماه تنظیم نمائیم.

با خوشحالی، می‌دانیم که اختلاف در گردش زمین بین ایستر[۶] و مایکل ماس[۷] ۱۳۵۰۰۰ مایل در ساعت است فقط به این علّت که اخترشناسان به ما دربارهٔ مدار زمین چنین می‌آموزند. این واقعیت که زندگی در اثر گردش زمین و حرکت آن در فضا به‌طور منظم ادامه می یابد، دلیل موضعی اصل اینشتین است.

اگر قوانین علمی بین پیسا[۸] و کمبریج[۹] یا صبحانه وعصرانه تغییر می‌کردند، علم با پیشرفت بسیار کمی به جلو می‌رفت. در فراسوی زمین، اخترشناسان فقط به این دلیل که اتمها مشخصاً در همان وضعیت دقیقی قرار دارند که بیلیون‌ها سال قبل، در اخترنمائی که اینک بیلیون‌ها سال نوری فاصله دارد، و به همان شکل نیز اکنون در آزمایشگاهی در روی

۶. جشن سالانهٔ مسیحی، که ظهور مجدد مسیح را سه روز پس از به صلیب کشیدن او جشن می‌گیرند و در اوّلین یکشنبه‌ای که بعد از اوّل فروردین (۲۱ مارس) ماه به صورت قرص کامل دیده شود، برگزار می‌شود. یکشنبه ایستر (Easter Sunday) نیز به آن می‌گویند. م

7. Michaelmas

۷. جشن فرشتهٔ میکائیل ، که در روز هفتم مهر (۹ سپتامبر) و اغلب در انگلستان برگزار می‌شود و به آن روز مایکل ماس (Michaelmas Day) نیز گفته می‌شود. م

8. Pisa

9. Cambridge

زمین عمل می‌کنند، می‌توانند عالم و محتویاتش را دریابند. اگر نظم عظیمی از آن نوع که از اصل نسبیت اینشتین مفهوم می‌شود، وجود نداشت، شرایط زندگی در عالم برقرار نمی‌شد.

هر کیفیّت بخصوص عالم، بر تمام اعمال هر اتم اختر و اخترنما مؤثر بوده و به روشنی تمام قوانین طبیعت دربارهٔ ثقل، برق، و نیروهای شبه‌اتمی را دربر می‌گیرد. سرعت نور همواره ثابت و دارای مقدار جادوئی ضریب ثابت «C» است. چرا سرعت نور همیشه ثابت است؟

هرگونه سردرد ملایمی که از اندیشه کردن دربارهٔ این معما بوجود آید، در مقابل این همه منافع عظیم، اندک خواهد بود.

۱۵

سرعت نور

در فضای تهی، تمام نور با سرعتی یکسان حرکت می‌کند.
سرعت نور، از سرعت منبع آن مستقل است.
اینشتین نتیجه گرفت که سرعت ناظر نیز بر سرعت آن (نور) بلا تأثیر است.
هیچ علامت یا انرژی ای نمی‌تواند از نور سریع تر حرکت کند.
در سرعت های بسیار زیاد ۱ + ۱ برابر دو نمی‌شود.

* * *

اغلب روش های عملی اندازه گیری سرعت نور مبتنی بر اصل رادار یعنی پرتاب نور به هدفی در فاصله ای مُعین و اندازه گیری زمان برگشت به نقطهٔ پرتاب، می باشد. اگر دقیق تر بگوئیم این کار باید در خلأ صورت گیرد، زیرا سرعت نور در شیشه کاهش می یابد (بسته به طرز کار عدسی ها) و حتیٰ سرعت آن در هوا در حدود چهل مایل در ثانیه کم می‌شود. برای مقایسهٔ اینکه معلوم شود سرعت نور ارتباطی به جهت آن ندارد، می‌توان از آئینه هائی که نور را به اطراف منحرف می‌سازند استفاده و مشاهده نمود که هیچ اختلافی وجود ندارد.

درک این موضوع که سرعت نور در فضای تهی تحت بیشتر شرایط، ثابت می‌ماند، یکی از دشوارترین جنبه های نسبیت است. این موضوع نخستین فرض اینشتین بود و کاملاً هم به ثبوت رسید. معهذا مطلب

موجب گیج شدن معاصران اینشتین گردیده بود و حق هم به جانب آنها به نظر می‌رسد. در مورد امواج صوتی، همانطور که می‌توان انتظار داشت سرعت صوت بستگی به چگونگی حرکت ناظر در هوای حامل صوت دارد. چنین تغییراتی در مورد نور حادث نمی‌شود.

سرعت دسته‌ای شعاع نورانی را که از پنجرهٔ آزمایشگاه در زمین، وارد می‌شود اندازه می‌گیریم. این سرعت ۱۸۶۰۰۰ مایل در ثانیه است.

اکنون در سفینه‌ای با سرعتی برابر نصف سرعت نور به طرف خورشید پرواز کنید و مجدداً سرعت نور را اندازه بگیرید (بجنبید ــ زیرا فقط یک ربع ساعت وقت دارید که با خورشید برخورد نکنید). باز می بینید که سرعت نور ۱۸۶۰۰۰ مایل در ثانیه است.

اکنون دور زده و با همان سرعت (نصف سرعت نور) از خورشید دور شوید. باز هم نور خورشید با سرعت پایدار ۱۸۶۰۰۰ مایل در ثانیه شما را عقب می‌گذارد. حالا دو همکار دیگر بیابید و هر سه آزمایش را همزمان انجام دهید و از این هم جلوتر رفته هر سه نفر در چنان موقعیت هائی مستقر شوید که یک پرتو مشخص نور، مورد آزمایش هر سه قرار بگیرد، همچون نخی که از سه دانهٔ (تسبیح) عبور می‌کند. بدون توجه به مغایرت در سرعت ها، جهات و تغییر مکان های قرمز و آبی شما سه نفر، مشاهده می‌گردد که نور در هرسه محاسبه دقیقاً با همان سرعت ثابت (۱۸۶۰۰۰ مایل در ثانیه) حرکت می‌کند.

موقعیت را تغییر داده و از جسمی متحرک به عنوان منبع نور استفاده می‌کنیم. بگذارید فضانورد از کنار شما عبور کرده و پرتوی از لیزر برایتان ارسال دارد. پرتو را گرفته و سرعت آن را محاسبه کنید. درحالیکه او (فضانورد) با سرعتی برابر نصف سرعت نور به طرف شما در حرکت است، می بینید که نور با سرعت ۱۸۶۰۰۰ مایل در ثانیه عبور می‌کند.

وقتی هم که فضانورد از شما دور می‌شود علائم نورانی ارسالی او دقیقاً با همان سرعت ثابت به شما می‌رسد.

به نظر می‌رسد که پرتو بخت‌برگشتهٔ نور، بسته به اینکه چه کسی به او می‌نگرد سرعت خود را اجباراً پائین و بالا می برد. علاوه بر این یک پرتو مُعین ناگزیر است که در آن واحد با بیش از یک سرعت حرکت کند. امّا نور فقط مقادیری ذرات وزوز کننده در پی کار خود است تا به چیزی برخورد کرده، آنرا بجهاند یا در آن نفوذ کـرده یـا از آن چیز خارج گشته، انرژی خود را به ذرهٔ باردار واگذار کند. همهٔ آنچه ذرات نور می‌دانند همین است، آنها هرگز چیزی دربارهٔ معادلات نسبیت نیاموخته‌اند.

ویژگی عمدهٔ ذرات نور اینست که: آنها رانندگان سریع و دقیقی هستند.

در فضای تهی آنها هیچگاه از یکدیگر سبقت نمی‌گیرند. بنابراین فضای تهی را می‌توان همچون مکانی که در آن ذرات نور بر طبق نظم خاص خود و نه هرگز جلوتر یا هرگز عقب‌تر از یکدیگر عبور می‌کند، تلقی نمود. مشعلی برافروزید یا اختری را منفجر کنید، بازهم حرکتی دیگر در راه نوری صورت گرفته و نور در میان خط ترافیک اشعهٔ مجهول خورشید و امواج رادیوئی اخترنماهای دوردست در خط مخصوص خود حرکت می‌کند.

هر سرعتی که مشعل شما یا اختر داشته باشد، نور حاصله در شاهراه کیهانی در مسیر خود حرکت نموده و با همان سرعت (بقیهٔ مسافران شاهراه) حرکت می‌کند. برای لحظه‌ای این سئوال طبیعی خود را که چرا باید چنین باشد، به عهدهٔ تعویق بیاندازید. اگر همهٔ ذرات نور می‌دانند که باید با چه سرعتی حرکت کرده و در یک امتداد قرار گیرند، بدین مفهوم می‌ماند که انسان می‌تواند در مقایسه با سرعت نور، سرعت خود

را در پهنهٔ عالم ارزیابی کند. مثلاً مادام که نور با سرعتی ثابت و در هر جهت از برابر شما عبور می‌کند، می‌توانید بکوشید تا حرکت خود را در فضا منطبق ساخته و سپس درخواهید یافت که با توجه به کل ترافیک نوری عالم، شما در حال سکون قرار دارید.

بکوشید این کار را بکنید، متوجه خواهید شد که اجباری برای انطباق حرکت خود ندارید؛ زیرا شما قبلاً در حال سکون قرار گرفته‌اید و همهٔ ترافیک نوری عالم با یک سرعت یکنواخت و درست از برابرتان می‌گذرد. آنگاه می‌گوئید: آه، کوپرنیک دروغ می‌گفت و بعد از همهٔ این حرفها زمین به‌طور ساکن در مرکز عالم قرار دارد. امّا درهمین هنگام صدای فضانورد از رادیو می‌گوید که: «نخیر اینطور نیست، زمین وزوزکنان با نصف سرعت نور از برابرم می‌گذرد.» لحظه‌ای تفکر این نتیجه را بدست خواهد داد که شما در عکس حالتی قرار دارید که نور در آن وضعیت از منابع مختلف خود با سرعت‌های متفاوت حرکت می‌کند.

درست همانگونه که نور در شروع، سرعت خود را با سرعت عمومی ترافیک منطبق نمود، اکنون در پایان، با در نظر گرفتن اینکه چه کسی بر آن نظاره می‌کند، سرعت خود را هماهنگ می‌نماید. نور همه چیز برای همه کس است.

با همهٔ این دنده عوض کردن‌های کیهانی، عالم اینشتین همچنان دمکراتیک باقی می‌ماند. مسأله چنان ظریف رخ می‌دهد که مردمی که به نور می‌نگرند متوجه حرکت آن نیستند. (اسرار هنگامی به بهترین وجه حفظ می‌شوند که کسی نداند آنها تحت محافظت‌اند). در نظریهٔ اینشتین راهی برای مشخص کردن سرعت حقیقی ترافیک کیهانی نور یا اینکه چه کسی در مقایسهٔ با آن در حال سکون است وجود ندارد. تمام ناظرین برابرند. تنها شرایطی‌که در آنها، سرعت نور ممکن است متغیر

به نظر برسد همانهائی هستند که قبلاً ذکر شده است ــ یعنی هنگامی‌که شتاب‌ها یا تأثیرات ثقل در **نسبیت عام** به حساب می‌آید ــ **نسبیت خاص**، با حرکت ثابت در سرعت‌های زیاد مربوط و منافی ثقل است.

سه راز مشخص و در عین حال مربوط به هم دربارهٔ سرعت نور و نقش آن در نسبیت خاص وجود دارد. نخست آنکه نور همیشه درواقع با سرعتی یکنواخت حرکت می‌کند و این سرعت ارتباطی به منبع نور ندارد. دوم: سرعت نور بدون توجه به سرعت ناظر که خود می‌تواند با سرعتی زیاد و ثابت حرکت کند، همواره ثابت به‌نظر می‌رسد. سوم: هیچ چیز نمی‌تواند سریع‌تر از نور حرکت کند.

برای درک این مطلب که نورهمیشه با سرعتی ثابت و بدون ارتباط به منبع خود در فضای تهی حرکت می‌کند، احتیاجی به استدلالی از نوع استدلال اینشتین نیست. عالم برای بررسی مطلب راه مشخص نیرومندی ارائه می‌نماید و همهٔ آنچه در این مورد باید انجام شود مشاهدهٔ اشعهٔ مجهول اختران تپنده است. اشعهٔ مجهول برای بررسی سرعت نور بهتر از نور قابل رؤیت، می باشند زیرا احتمال اینکه در فضای وسیع بین ما و اختران، تحت تأثیر اتمهای سرگردان قرار بگیرند خیلی کمتر است.

علاوه بر این، اختران تپندهٔ منشأ اشعهٔ مجهول با سرعت زیاد حرکت می‌کنند، بطوری‌که هرگونه تأثیر محتمل منبع سرعت نور به مقدار زیادی تقویت خواهد شد.

خواص آنها به همین‌جا پایان نیافته و چنان منظم نورافشانی می‌کنند که سرعت آنها با صحت زیادی به کمک اثر داپلر قابل بررسی است. در سال ۱۹۷۷ کنت برشر[1] فیزیکدانی از انستیتوی تکنولوژی

1. Kenneth Brecher

ماساچوست، مشاهدات اشعهٔ مجهول اختران تپنده را در جهت تأیید اظهار نظر اینشتین در مورد سرعت نور به کار برد و مطلب با اطمینانی بیش از گذشته تأیید شد.

یک اختر تپندهٔ منشأ اشعهٔ مجهول، چنانچه در فصل قبل شرح داده شد، اختر خنثی و متلاشی شده‌ای است که بسیار نزدیک به اختری عادی طی مدار می‌کند. گاز اختر عادی به اختر خنثیٰ برخورد و ایجاد اشعهٔ مجهول می‌کند. اختر خنثیٰ می‌چرخد و لذا مانند فانوس دریائی نور پخش می‌کند. اگر مدار اختر تپندهٔ منشأ اشعهٔ مجهول در ارتباط با زمین متناسب باشد بطوری‌که حاشیهٔ مدار کم و بیش قابل رؤیت باشد، اختر برای مدتی به ما نزدیک شده و در جلوی (اختر عادی) همراه خود می‌گردد و مجدداً از ما با سرعتی زیاد دور می‌شود.

برای لحظه‌ای تصور کنید که اینشتین در اشتباه بود و سرعت نور و اشعهٔ مجهول وابسته به سرعت منشأ آن باشد. (در چنین وضعی) اشعهٔ مجهول که در هنگام نزدیک شدن اختر تپنده به ما، به طرف زمین می‌آیند نسبت به زمانی که این اختر از زمین دور می‌شود با سرعتی کمی بیشتر به زمین می‌رسید. و اگر آن را با چشم مسلح به اشعهٔ مجهول می‌نگریستند تأثیرات خاصی مشاهده می‌شد، مثلاً می‌توانستید ببینید که اختر تپندهٔ منشأ اشعهٔ مجهول به طرف‌تان آمده و سپس ناپدید می‌شود. دلیل این امر آنست که پرتو کندتر اشعهٔ مجهول که در هنگام دور شدن اختر پرتاب می‌شود، پس از گذشت زمان بیشتری به ما خواهد رسید.

هنگامی‌که اشعهٔ مجهول کندتر می‌آیند، با پخش امواج دیگر مسیر آنها قطع می‌گردند. در فاصلهٔ مثلاً یکصد سال نوری اختلاف بسیار کم بین سرعت‌ها به اندازهٔ یک در بیلیون می‌تواند موجب سه ثانیه تأخیر در امواج مجهول «کند» با مقایسهٔ با امواج مجهول «تند» شود. با اختلاف

بیشتر دسته امواج مجهول کند با گروه بعدی امواج مجهول تند عقب گذاشته می‌شوند.

درچنین حالتی با مشاهده کنجکاوانه خواهید دید که یک ستاره به طور همزمان در حال آمدن و رفتن است. این مطلب کمک می‌کند که دیدگاهی کلی از روش کار بدست دهد و دیگر اینکه اگر اینشتین در اشتباه بود، عالم چقدر نامنظم می‌شد.

برِشر در پی یک چنین مطلب و تأثیرات حساستری مثلاً پیچیدگی‌های آشکار مدار یا تأخیرات گرفتگی در هنگام قرار گرفتن اختر تپنده در پشت ستاره همراه، اختران تپندهٔ منشأ اشعهٔ مجهول را مطالعه می‌کرد.

چشمان مسلح به اشعهٔ مجهول برِشر، توسط ماهوارهٔ اهورو[۲] در بالای زمین فراهم گردید. او اطلاعات اخترشناسان در مورد سه اختر تپنده منشأ اشعهٔ مجهول را دقیقاً مورد مطالعه قرار داده و در پی یافتن کوچکترین اشاره‌ای در ظواهر آنان بود. هیچ چیزی دستگیر برِشر نشد و بنابراین تأیید نمود که سرعت نور ثابت است.

روش به‌کار رفته منحصراً، بخصوص در مورد اختر تپندهٔ SMCX-1 صحیح بود. این اختر در فاصلهٔ ۲۰۰,۰۰۰ سال نوری و در تودهٔ کهکشانی نزدیک به ما به نام ابر ماژلانیک[۳] کوچک قرار دارد. او (برِشر) توانست اعلام کند که اگرچه اختر با سرعتی برابر ۲۰۰ مایل در ثانیه بر گرد (اختر عادی) همراه خود می‌چرخد، سرعت اشعهٔ مجهول در هر ثانیه فقط به اندازهٔ پنج اینچ کمتر از ۱۸۶۰۰۰ مایل می باشد. استنباط اینشتین در مورد سرعت نور بدون درنظر گرفتن منشأ آن حتی به اندازهٔ یک

2. Uhuru

3. Small Magelanic Cloub

در بیلیون هم نمی‌تواند اشتباه باشد.

اما چرا این موضوع که نور در فضای تهی با سرعتی یکنواخت حرکت می‌کند، برای اینشتین آنقدر واضح بود؟ وقتی‌که استنباط اساسی خود دربارهٔ سرعت نور را در مقالات اوّلیه‌اش در نظریهٔ نسبیت یادداشت می‌نمود، او به یک چنین نتیجه‌گیری صریح و مطمئنی رسید. در یک مورد به‌طور صریح در پانویسی چنین نوشته است: «اصل ثبات سرعت نور، البته در معادلات ماکسول مستتر است.»

اینشتین معادلات معروف فیزیکدان اسکاتلندی جیمز کلارک ماکسول را که نامبرده از آنها نتیجه گرفته بود که نور تشعشعی برق مغناطیس با سرعت معین C می‌باشد، مشاهده کرده بود. او (اینشتین) به این نتیجه رسید که سرعت نور به هیچ‌وجه بستگی به حرکت منشأ آن ندارد. ساده‌ترین بحث او مبتنی بر این مطلب بود که در پدیده‌های برقی، فرق نمی‌کند که آهن‌ربا از سیم بگذرد یا سیم از آن بگذرد ــ در هر حال تأثیر تغییر دهندهٔ مغناطیس موجب پیدایش جریان برق در سیم می‌شود.

باید از اینشتین ممنون بود، زیرا مغناطیس امروزه همچون بیان نسبیتی نیروی برق مفهوم می‌گردد، یعنی نتیجهٔ بارهای در حال حرکت. و در تشعشع برق مغناطیس، مقداری از مغناطیس تغییردهنده‌باعث مقداری برق تغییردهندهٔ در مجاورت خود می‌گردد که به نوبهٔ خود موجب پیدایش مقدار دیگری برق تغییردهنده شده و همینطور ادامه می‌یابد. این عمل، در پهنهٔ فضای تهی، همواره با سرعتی یکنواخت یعنی سرعت نور صورت می‌گیرد. با محاسبهٔ چه کسی سرعت نور همیشه یکنواخت است؟ با محاسبهٔ همه کس.

این مطلب که نور همیشه از دیدگاه هر ناظری که خود با هر سرعت ثابتی در پهنهٔ عالم حرکت کند، یکنواخت به نظر می‌رسد،

قضیه‌ای متفاوت از مطلب قبلی است و این نخستین استنباط عظیم اینشتین در نظریهٔ نسبیت بود.

وقتی‌که پسربچه‌ای بیش نبود، با تحیر از خود می‌پرسید که اگر او با سرعت نور حرکت کند، نور به نظر او چگونه خواهد آمد ــ و حدس می‌زد که حتیٰ در چنین شرایطی، نور می‌بایستی لزوماً عادی به‌نظر برسد، مانند امواج برق و مغناطیس که در وضع عادی پخش شده و به طریق غیرعادی، در فضا یخ نمی‌زنند. او نتیجه گرفت که قوانین طبیعت و بخصوص قوانین برق مغناطیس ماکسول که سرعت نور را تثبیت می‌کند، باید از نظر هر ناظری بدون توجه به سرعت خود آن (ناظر) یکنواخت باشد.

اینشتین در مقالهٔ مشهور خود راجع به نسبیت خاص تحت عنوان «دربارهٔ برق پویائی اجسام متحرک»[4] نشان داد که طبیعت چگونه این کلک را سوار می‌کند.

اگر قضاوت نسبت به فواصل و فضا و فاصله‌های زمانی برای هر ناظر موضوعی خصوصی تلقی شود، آنگاه سرعت نور برای همه یکنواخت به‌نظر می‌رسد. بنابَراین شما در زمین و من در سفینه‌ای که با نصف سرعت نور حرکت می‌کند می‌توانیم سرعت نور معینی را اندازه گیری و به پاسخی یکسان برسیم. مثلاً تصور کنید همچنان که سفینهٔ من از شما دور می‌شود، شما پرتو لیزر را به طرف پنجرهٔ عقب سفینه‌ام پرتاب می‌کنید.

از نکته‌نظر من این پرتو باید با سرعت معمولی نور به نوک سفینه برسد و از نظر شما که می‌بینید سرعت نسبی من نصف سرعت نور است زمان لازم برای رسیدن به نوک سفینه دو برابر می‌باشد. اگر فرض کنیم

4. On the Electrodynamics of Moving Bodies.

که سفینهٔ من کوتاهتر از آنچه من فکر می‌کنم هست و ساعت من کُند کار می‌کند، این نظرات متناقض هماهنگ می‌شوند. عامل گاما که در فصل قبل مورد بحث قرار داده شد مراقب همه چیز می باشد.

آزمایشات بسیاری در جهت اثبات یکنواخت بودن سرعت نور ــ مستقل از حرکات ناظر ــ به اجراء درآمده است.

مشهورترین آنها آزمایشی بود که توسط آلبرت مایکلسن[5] و با مساعدت ادوارد مُرلی[6] در سال ۱۸۸۰ در کلیولند[7] صورت گرفت. مایکلسن سرعت نور را با صحتی بی‌سابقه اندازه گرفت. او در پی یافتن اختلافی در سرعت نور، اندازه‌گیری‌های خود را در جهات مختلف و با زوایای قائمه نسبت به هر حالت و به کمک حرکت زمین در فضا انجام داد. هیچ اختلافی نیافت. تاریخ‌نویسان نسبیت، اغلب آزمایش «مایکلسن ــ مرلی» را الهام نخستین اینشتین می‌دانند. جرالد هولتن[8] در میان مقالات اینشتین، نامه‌ای یافت که در آن گفته شده بود: «حتی بخاطر نمی‌آورم وقتی‌که نخستین مقاله‌ام را راجع به موضوع نوشتم، به هیچ‌وجه چیزی در این مورد (تجربه مایکلسن ــ مُرلی) می‌دانسته‌ام».

معهذا این (تجربه) موجب جنب و جوش در میان سایر فیزیکدان‌ها شد، و از این نظر نخستین علامتی است که به آنها (فیزیکدان‌ها) می‌گوید در طریق مشاهدهٔ آنها به عالم، چیزی کاملاً غلط وجود دارد، و اینشتین می بایست از این حال و هوای عقیدتی جدید آگاه بوده باشد.

او دربارهٔ سرعت نور نتیجهٔ دقیق دیگری گرفت. وقتی‌که

5. Albert Michelson
6. Edward Morley
7. Cleveland
8. Gerald Holton

سرعت‌های اجسام به سرعت نور نزدیک می‌شود، نمی‌توان آنها را به‌طور آشکار با یکدیگر جمع نمود. دو کهکشان را که با سرعتی معادل ۷۵٪ سرعت نور و در جهات مخالف از زمین دور می‌شوند مجسم کنید. با محاسبهٔ عادی چنین می‌نماید که آنها با سرعتی ۱/۵ برابر سرعت نور از هم فاصله می‌گیرند. در چنان وضعی می‌توان تصور کرد که یکی از آن دو باید از دیگری غیر قابل رؤیت باشد، زیرا نوری که فاصلهٔ بین آن دو را می‌پیماید هرگز به آن نمی‌رسد. امّا در اصل به سادگی دیده می‌شود که آنها هنوز با هم در ارتباط‌اند. مثلاً یکی از آنها پیامی به دیگری می‌فرستد، و در صورت لزوم از طریق زمین این کار میسّر خواهد بود. سرعت‌های کهکشانها نسبت به زمین بر سرعت علامت تأثیر نمی‌گذارند.

در حالیکه در زمین نشسته‌ایم می‌توانیم علامتی از کهکشان A دریافت داریم که می‌گوید: «گرمترین درودها به خاطر روز تولد اینشتین تقدیم می‌شود. لطفاً پیام را به کهکشان B منتقل کنید.» پس از آن، پیامی به این مضمون ارسال می‌داریم: «کهکشان A به مناسبت روز تولد اینشتین به‌شمار درود می‌فرستد.»

می‌دانیم که این پیام می‌تواند واقعاً به مقصد برسد، زیرا ما کهکشان B را می‌توانیم ببینیم. امّا حتیٰ اگر ما و زمین هم در اینجا نبودیم (یا در هنگام رسیدن پیام خواب بودیم) باز هم می‌توانید تصور کنید که پیام کهکشان A وزوزکنان از موقعیت زمین در فضا، بدون هیچ مداخله‌ای توسط ما، عبور و واقعاً به کهکشان B برسد. بنابراین افزودن سرعت‌ها با یکدیگر منجر به پاسخی غلط می‌شود یعنی: سرعتی که در آن A و B از یکدیگر دور می‌شوند باید برای آنها از سرعت نور کمتر به نظر برسد، چه در غیر اینصورت چنین پیامی قابل مبادله نیست.

تفسیر این مطلب چگونه است؟ باید سرعت کهکشان B را آنطور

که از دیدگاه کهکشان A به نظر می‌رسد، محاسبه نمود. اگر وضعیتی پیش بیاید که در آن سرعت بیش از سرعت نور باشد، آنگاه دو کهکشان واقعاً با یکدیگر غیر قابل ارتباط خواهند بود.

برای یافتن پاسخ، نسبیت‌دان، جمع سرعت‌ها را بر عامل مُعینی تقسیم می‌کند (این عالم، گاما نیست امّا چیزی شبیه آنست) که کُند شدن زمان را آنچنان که توسط ما دربارهٔ دو کهکشان قضاوت می‌شود ملحوظ می‌دارد.

از نظر فیزیکی، وضع شبیه موقعیت همان فضانورد ماست که فضای بین اختران را با سرعتی بیش از سرعت نور می پیماید. در مقایسه با برداشت ما از فواصل، می‌توان گفت که فاصله‌ها برای موجودات کهکشان A در سرعت‌های زیاد از جلو کاهش می یابد و متناسب آن کاهش از سرعت کهکشان B برای آنها (ساکنان کهکشان A) کاسته می‌گردد.

عامل تصحیح در حالت دو کهکشان که با سرعتی معادل ۷۵٪ سرعت نور از هم فاصله می‌گیرند تقریباً ٦٤٪ می باشد. حاصل جمع سرعت دو کهکشان (۱۵۰ درصد) را در آن عامل ضرب کنید و خواهید دید که سرعت دوگانهٔ کهکشانهای A و B ۹٦ درصد سرعت نور خواهد شد.

ذکر این نکته قابل توجه است که اگر کهکشانها با سرعتی معادل ۱۰۰٪ سرعت نور از یکدیگر فاصله می‌گرفتند، آنگاه از نظر یکدیگر نه با سرعتی دو برابر سرعت نور، بلکه دقیقاً با سرعت‌های برابر سرعت نور، دور می‌شدند. این موضوع، طبیعتاً ما را به سومین راز سرعت نور راهنمایی می‌کند.

چرا هیچ چیز از نور سریع‌تر حرکت نمی‌کند؟ فیزیکدان‌ها

می‌توانند به سهولت «اجسامی» (مثلاً امواج) را تصور کنند که از نور سریع‌تر حرکت می‌کنند، امّا آنها معمولاً متقاعد می‌شوند که هیچگونه علائم معنیٰ دار یا ذخایر انرژی نمی‌توانند از نور سریع‌تر بروند. خوبست مطلب را با استثنائاتی که به «اثبات قاعده» کمک می‌کند آغاز کنیم.

فضانوردان و کهکشانها، چنانچه دیده‌ایم، می‌توانند فواصلی را که از نظر ما قابل تشخیص باشد، با درنظر گرفتن معیارهای زمانی خود با سرعتی که این تصور را بوجود می‌آورد که آنها بیش از سرعت نور حرکت می‌کنند، بپیمایند. این همان تأثیر کاستن فاصله از جلوست، اگرچه وقتی که آنها فاصله را برای خودشان اندازه می‌گیرند معلوم می‌شود که خیلی آهسته‌تر از نور حرکت می‌کنند.

با حساب زمینی بیشتر اجسام می‌توانند از نور سریع‌تر حرکت کنند امّا هنگامی‌که نور به آهستگی از آب یا مواد دیگر می‌گذرد درواقع درخشش خیره‌کننده در آب «استخر شنای» واکنشگر هسته‌ای[9] مربوط به حرکت امواجی است که در اثر ذرات باردار شبه اتمی که سریع‌تر از نور در آب حرکت می‌کنند ایجاد شده است. این تأثیر بسیار شبیه غرش صوتی (تکان موج صدا) است که با هواپیمای مافوق صوت ایجاد می‌شود که به نوبهٔ خود خیلی نزدیک به موج آب کمانی شکلی (تکان موج آب) است که کشتی بوجود می‌آورد.

در مورد نور، امواجی که اینگونه تولید می‌شوند تشعشع چرنکف نامیده می‌شوند، و این نامگذاری به افتخار پاول چرنکف[10] که در سال ۱۹۷۳ این پدیده را کشف نمود، به‌عمل آمده است. آزمایشگاههای فیزیک انرژی زیاد، منظماً، ازردیاب‌هایی‌که براساس اثر چرنکف ساخته

9. Nuclear reactor
10. Pavel Cherenkov

شده‌اند به منظور تعیین سرعت ذرات استفاده می‌کنند. امّا این ذرّات فقط در آب است که از نور سریع‌تر حرکت می‌کنند و در فضای تهی حتیٰ بسیار آهسته‌تر از نور حرکت می‌نمایند.

دلیل این مطلب که چرا هیچ چیز در فضای تهی، سریع‌تر از نور حرکت نمی‌کند با توجه به دو نکته نظر مختلف روشن می‌شود. نخستین نکته‌نظر، فیزیکی و ریاضی است.

چنانچه جلوتر در همین فصل عنوان شد، هر چیزی که تلاش کند از «سدّ نور» بگذرد یا حتیٰ تا رسیدن به سرعت نور شتاب ببیند، همواره بر مقدار انرژی مکتسبهٔ آن افزوده شده امّا بر سرعت آن به میزان کمتری اضافه می‌گردد و هرچه پیش می‌رود شتاب یافتن آن دشوارتر می‌گردد. اگر مسأله را عمیق‌تر بنگریم، می‌توان گفت که اجسام تا نزدیک شدن به سرعت نور و در خود سرعت نور، دارای انرژی معمولی می‌باشند که متناسب با زمان معمولی است. در سرعت‌های بالاتر آنها دارای انرژی منفی خواهند شد و معلوم نیست که مفهوم آن غیر از برهم زدن آشکار عقاید ما راجع به زمان، چه چیز دیگری خواهد بود.

این موضوع مطلب دیگری را و بیشتر از نکته‌نظر فلسفی به میان می‌آورد. اگر اجسام بتوانند سریع‌تر از نور حرکت کنند، آنها واقعاً خواهند توانست «به زمان گذشته» باز گردند. برای درک این مطلب تصور کنید که جسمی با سرعتی بیش از سرعت نور به طرف شما می‌آید. آشکارا خواهید دید که جسم از شما دور می‌شود و به مسیر خود باز می‌گردد. قبل از آنکه نور از ورود آن به شما اطلاعی بدهد، او در پایان مسیر خود در نزدیک‌تان قرار دارد.

این اثر در مقایسه با سرعت بسیار کندتر صوت، با گلوله‌های مافوق صوت و هواپیما معروفیت دارد.

امّا در مورد نور، حرکتی که خیلی توأم با کارهای اساسی زمان در عالم می باشد، نتایج حاصله بسیار جدی است. مثلاً اگر گلوله‌ای به طرف شما پرتاب شود، از دیدگاه نظریه می‌توانید علامتی سریع‌تر از نور فرستاده و آن را به زمان گذشته هدایت کنید که باعث گردد مانع از تیراندازی شخصی که قبلاً به طرف‌تان تیراندازی کرده است بشود. به عبارت دیگر تمام تجارب ما دربارهٔ علت و معلول و جریان طبیعی زمان به کمک علائم تبدیل به هیچ ــ یا سایر اشکال انرژی یا ماده ــ که سریع‌تر از نور حرکت می‌کنند، می‌شود.

بار دیگر قانون اینشتین عالم را ساده و مرتب نگاه می‌دارد.

معهذا یک راه گریز محتمل در نظریهٔ نسبیت که منجر به هدایت فیزیکدان‌ها شد اینست که آیا ذراتی از نوع بخصوص نمی‌تواند در ورای مرز نور وجود داشته باشد. ذراتی که جرالد فین‌برگ[11] از دانشگاه کلمبیا[12] آنها را تاکیون[13] نامیده است. عقیده بر این بود که این ذرات از هنگام پیدایش خود سریع‌تر از نور حرکت کرده و همواره این کار ادامه دارد. آنها نمی‌توانند از فراسوی «مرز نور» به این طرف آن بیایند، لذا نمی‌توانند از سرعت خود کاسته یا در آرامش معمولی هستی شبه اتمی قرار بگیرند.

به حساب ریاضی، انرژی آنها منفی و انرژی آرمیده یا جرم آنها «موهوم» می باشد. اگر تاکیون‌ها دارای بار الکتریکی بودند، باید تکان امواج نوری چرنکف را بوجود می‌آوردند که با وسائل مربوطه قابل تشخیص می بود. تجربه‌گران بر همان منوال در پی یافتن تاکیون‌ها بوده‌اند، امّا چیزی نیافته‌اند.

11. Gerald Feinberg 12. Columbia University 13. Tachyons

متناوباً، حتیٰ اگر تاکیون‌ها فاقد بار الکتریکی بودند، باید با توجه به اختلافات حاصله در کل مقدار انرژی حاصله در واکنش‌های بین ذرات معمولی شبه‌اتمی، پیدایش آنها محتمل می‌بود.

نتیجه تا حدودی عجیب به نظر می‌آید: ظاهراً ذرات معمولی حاصله از یک واکنش شبه‌اتمی باید نسبت به ذراتی که وارد واکنش می‌شوند انرژی بیشتری داشته باشند، زیرا پیدایش تاکیون‌ها با انرژی منفی، باید به دیگر ذرات انرژی مثبت بدهد. شکارچیان تاکیون‌ها، مجدانه هزاران مورد از تأثیرات متقابل شبه‌ذرات را دقیقاً بررسی و باز هم چیزی نیافته‌اند.

تاکیون‌ها را برای آن متذکر نشدم که امیدی برای وجود یا دست‌یابی به آنها در دلها بوجود آورم، امّا برای اینکه یک بار دیگر نشان دهم که فیزیک‌دان‌ها برای بررسی دقیق نظریهٔ اینشتین به هر احتمالی اهمیت می‌دهند، اگرچه نه در اصل امّا درعمل باز هم مفری وجود دارد و فیزیکدان‌های ذرات عادتاً چنین می‌اندیشند که هر آنچه مشروحاً توسط طبیعت منع نشده است، اجباری است. کافی نیست گفته شود ــ آن چنانکه ممکن است خوشایند کسی باشد ــ که اگر تاکیون‌ها می‌توانستند ذخایر انرژی خود را منتقل کنند و به زمان گذشته بازگردند، جهان تبدیل به مکانی مغشوش می‌شد.

مادام که استدلال اینشتین آنچنان گسترده نشود که دقیقاً نشان دهد چرا تاکیون‌ها بالاخره نمی‌توانند وجود داشته باشند؟ بعضی از نظریه‌پردازان قانع نخواهند شد.

در عین حال استنباطات اینشتین دربارهٔ سرعت نور به‌طور غیرمستقیم در تمام پیش‌بینی‌هایش از معادلهٔ $E=mc^2$ گرفته تا نتایج ظریف ثقل اینشتینی مشخص می‌باشد. برای او مطلب حالت اشراق و

استنباط مستقیم داشت و برای فیزیک و اخترشناسی جدید جنبهٔ بنیادی دارد.

۱۶

آنجا که زمان می‌گریزد

همهٔ ناظرین می‌توانند در انفکاک وقایع فضا زمان هم رأی باشند.
فاصلهٔ طی شده توسط نور معرف زمان است.
یک «خط جهانی» در فضا زمان تاریخ جسم را نشان می‌دهد.
شتاب و ثقل خطوط جهانی را خم می‌کنند.
و نهایت اینکه: فضا تهی نیست، امّا لزج هم نیست.

* * *

آلبرت اینشتین، عالم را قطعه قطعه نساخت تا آن را به حال خود رها ساخته و در معیارهای نارسای فضا و زمان، خویشتن را به نحوی ابهام‌آمیز متحیر سازد. هنگامی‌که چارچوب فضای مطلق و زمان مطلق را درهم ریخت، بنیادی نوین به نام فضا زمان مطلق را جانشین آن ساخت. به هرحال فضا زمان نسبت به اسلاف خود (فضا و زمان) انعطاف پذیرتر (اگر چنین چیزی وجود داشته باشد) و مطلق بودن آن معتبرتر است.

فضا و زمان نیوتنی مانند تختهٔ شطرنجی بود که در آن بازی ماده و انرژی صورت می‌گرفت. فضا زمان اینشتینی، نقشی فعال در بازی به عهده گرفته و حتیٰ ممکن است چنین ملحوظ گردد که مخلوق انرژی می باشد. به هر تقدیر فضا زمان در تاریخ و سرنوشت محتویات عالم کاملاً ذیمدخل است. در میان ارکان نظریهٔ نسبیت موارد ذیل مطلق اند:

سرعت نور، انحنای فضا در مجاورت جسم عظیم و انرژی آرمیدهٔ هر جسم. علاوه بر این تمامی قوانین فیزیک نه به دلیل تغییرناپذیر بودن آنها در اثر پیشرفت‌های تحقیقاتی، بلکه به جهت آنچه قبلاً گفته شد ــ یعنی یکسان بودن آنها در پهنهٔ عالم ــ مطلق‌اند.

اشکال دربارهٔ فضا زمان، اختلاط فضا و زمان را مورد نظر قرار می‌دهد. بیان این مطلب که نظریه‌پردازان نسبیت، راجع به فضا زمان چگونه می‌اندیشند، روشنگر موضوع خواهد بود.

پاره‌ای از تعابیر آنها (یعنی نظریه‌پردازان نسبیت) همچون «واقعه»[1]، «خط جهانی»[2] و «مخروط نور»[3] از دیدگاه خودشان مفهومی کاملاً مشخص دارند. این تعابیر ممکن است به خواننده کمک کنند که درک عمیق‌تری از چگونگی اثر متقابل فضا و زمان در عالم اینشتین بدست آورد.

در محاورهٔ یومیّه، یک «واقعه»، اساساً به مفهوم چیزی است که انجام می‌شود، یعنی آنچه در مکانی مُعین و در لحظه‌ای خاص اتّفاق می‌افتد. هر واقعه با چهار عامل مشخص می‌گردد که سه عامل آن مربوط به فضا و دیگری مربوط به زمان است. مثلاً اگر مسافری به نام براون[4] در ۳٤٦ درجه و ۵۵ دقیقه عرض شمالی (اوّلین عامل ــ فضا) و ۷ درجه و ۲۸ دقیقه طول غربی (دومین عامل ــ فضا)، در هواپیمائی به ارتفاع ۳۰,۰۰۰ پا از سطح دریا (سومین عامل ــ فضا) در ساعت شش و چهارده دقیقه و بیست ثانیهٔ بعدازظهر (به وقت محلّی) روز چهاردهم مارس سال ۱۹۷۹ (چهارمین عامل ــ زمان) جرعه‌ای نوشیدنی را بدست بگیرد می‌تواند واقعه‌ای را در فضا زمان به‌طور وضوح مشخص نموده و درحالیکه

1. Event 2. World-line 3. Light-cone 4. Brown

به شهر برن[5] در زیر پای خود نگاه می‌کند آنرا به سلامتی روز تولد اینشتین بیاشامد.

یک چنین طرحی، با در دست داشتن نقشه‌ها و تقویم‌های مناسب، در اصل می‌تواند هر واقعه‌ای را در جهان مشخص سازد. تا اینجای کار هیچ چیز مرموزی وجود ندارد. می‌توانیم به مطلب ادامه داده و بگوئیم هواپیمای آقای براون ۵۸ دقیقه و ۴۳ ثانیه بعد از میل کردن نوشیدنی اش، در فاصلهٔ ۴۳۰ مایلی برن به زمین نشست. این فاصلهٔ میان دو واقعه را نشان می‌دهد. امّا در اینجا، یک نسبیت‌دان موضوع را با تردید نگاه می‌کند و با تحیّر می پرسد «با محاسبهٔ چه کسی؟». برج مراقبت برن، قبل از دریافت پیام (فرودگاه رُم) نمی‌تواند ورود مطمئن هواپیما را در فرودگاه رُم تأیید کند واین امر با سرعت نور هم حداقل ۰/۰۰۲۳ ثانیه طول می‌کشد. درحالیکه می‌توان پذیرفت که تحت شرایط زمینی، یک چنین مطلبی دلیل وسواس باشد امّا نسبیت‌دان در اطلاق موارد به فراسوی زمین موانع شدیدی را ملاحظه و به ما خواهد گفت که بزودی «فاصلهٔ» بین وقایع را به روش اختلاط فضا و زمان محاسبه خواهد کرد.

این کار را او با تبدیل عوامل زمانی به عوامل فضایی و با فواصلی که نور در زمان‌های مُعینی طی می‌کند انجام می‌دهد؛ آنگاه با زمان چنان برخورد می‌کند که گوئی تقریباً بُعدی دیگر از فضاست. بر این مبنا سفر از برن به رم بیشتر شبیه فاصلهٔ ۶۶۰ میلیون مایلی است که نور در یک ساعت طی می‌کند. برای نسبیت‌دان امتیاز بزرگ مشخص نمودن «فاصله» به روشی مخصوص آنست که این حداقل طریق قابل انجام است. حتیٰ ناظری که در کهکشانی دوردست می باشد می پذیرد که «فاصلهٔ» بین دو

5. Bern

واقعه در زندگی آقای براون همان است که نسبیت‌دان می‌گوید.

در این روش غیرمتعارفِ محاسبهٔ فواصل، ما گذشت زمان را با تصور کردن اینکه آقای براون با سرعت نور سفر می‌کند، به عنوان نمونه می‌پذیریم. او در یک بُعد و به طرف بالا همچنان ادامه می‌دهد و در همان زمان هواپیمایش به اطراف و در ابعاد دیگر پرواز می‌کند. باید تأکید شود که از سفر آقای براون با سرعت نور، هیچ درک واقعگرایانه‌ای وجود ندارد و از عامل زمان به عنوان «بُعد چهارم» باید با احتیاط سخن گفت. این عامل گاهی به عنوان گسترش مخفیانهٔ عالم آشنای سه بُعدی مد نظر قرار می‌گیرد. زمان چیزی بخصوص نیست: به‌طور ساده زمان زمان است و برای سهولت محاسبات ریاضی همچون بُعدی اضافی تلقی می‌گردد. فضا و زمان چیزهائی مشخص‌اند و در معادلات نسبیت به نحوی متفاوت با آنها برخورد می‌شود. معهذا زمان و فضا برهم اثر متقابل دارند و نتایج واقعی کاملاً جذاب و خیره کنندهٔ آن، آنچنان محسوس است که نیازی به کشف اسرار ماوراء الطبیعه دربارهٔ آنها نیست.

روش متداول محاسبهٔ زمان برای نسبیت‌دان‌ها بسیار مفید و منجر به التفات به خط جهانی ــ که مسیر هر جسمی در پهنهٔ جهان چهار بُعدی فضا و زمان است ــ می‌گردد.

مثلاً، می‌توانیم با مسطح ساختن سطح زمین و به کار بردن زمان به عنوان محوری عمودی خط جهانی خود آلبرت اینشتین را ترسیم کنیم. حرکات زمین را درنظر نمی‌گیریم چون شهرهای مختلفی که اینشتین در آنها زندگی کرده است به اطراف حرکت نمی‌کنند، خطوط جهانی آنها مثل خطوط موازی قطار در پهنهٔ فضا زمان و اینشتین همانند قطاری است که از خطی به خط دیگر برود. او در اولم[6] آلمان متولد و در مسیری به

6. Ulm.

ارزش یک سال نوری (یعنی یکسال) و قبل از آنکه خانواده‌اش در مسیر خط جهانی مونیخ (برای سیزده سال) و سپس پاویا[7] و جاهای دیگری چون زوریخ، برن، برلین و... در پی کار برود، به بالا پرتاب شد. تغییر مسیرهای کوچکی چون قایقرانی در کاپوث[8] نزدیک برلین، یا مسافرت به منظور ملاقات (در این خط جهانی) مشاهده می‌شود. سرانجام او به پرینستون[9] مهاجرت و تا هنگام مرگ خود یعنی سن ۷۶ سال و سی و چهار روز که در آنجا بود، از روی اطلاع در امتداد زمان حرکت و فاصله‌ای بیشتر از فاصلهٔ اختر درخشان هیاد[10] را برحسب سال نوری پیموده است.

اینست مفهوم خط جهانی، و نسبیت‌دان با به‌کار بردن آن در فیزیک، بجای شرح حال (بیوگرافی)، عالم را چون کومه‌ای نامنظم از خطوط جهانی مربوط به تمامی ذرات مادی، کوچک یا بزرگ، که با سرعت‌های مختلف در جهات متفاوت وزان‌اند، تصور می‌کند. اگر دو ذره به هم برخورد و دوباره به جای اوّل خود بازگردند، خطوط جهانی آنها نخست به یکدیگر متوجّه و سپس از هم دور می‌شوند.

خطوط جهانی ذرات نور، چنانچه انتظار می‌رود، با در نظر گرفتن اینکه سرعت نور خود بنیاد خطوط جهانی را تشکیل می‌دهد، چیزی مخصوص است. اگر به فشار وارد آوردن بر فضا ادامه داده و سه بُعد آنرا تبدیل به دو بُعد ساخته و بُعد سوم را به زمان اختصاص بدهیم، در این حالت نور با زاویه‌ای ۴۵° در فضای مسطح عبور خواهد کرد.

در چنین حالتی، تمامی انوار وارده از کلیهٔ جهات فضا، به نقطه‌ای مُعین تشکیل مخروطی را می‌دهند که رأس آن نقطهٔ مورد نظر

7. Pavia 8. Caputh 9. Princeton 10. Aldebaran

خواهد بود و همینطور کلیهٔ انواری که چنین نقطه‌ای را ترک می‌کنند به شکل مخروط از آن دور می‌شوند. در آن نقطهٔ «اینجا و اکنون»، گذشتهٔ قابل فهم توسط مخروطی نورانی از «پشت سر» توضیح داده می‌شود.

هیچ اطلاعاتی غیر از طریق قلمرو فضا زمان آن مخروط به کسی منتقل نخواهد شد. نمی‌توان فهمید که آیا اختر ابط الجوزاء[11] (زن جنگجو) «امروز» در حال انفجار است یا خیر زیرا «امروز» در آن سوی مخروطی نوری به فاصلهٔ ۶۰۰ سال نوری قرار دارد.

۶ قرن پس از این و هنگامی‌که آیندگان به قدر کافی در زمان «به پیش» بروند و آن واقعهٔ محتمل را در مخروط نوری آگاهی خود قرار دهند، آنگاه خواهند فهمید که آیا ابط الجوزاء (زن جنگجو)، ۶۰۰ سال قبل از آنها (یعنی امروز) منفجر شده است یا خیر.

(در مخروط نوری فعلی ابط الجوزاء، زمین در موقعیت ۶۰۰ سال قبل خود یعنی هنگام یورش مغولان به نظر می‌رسد.)

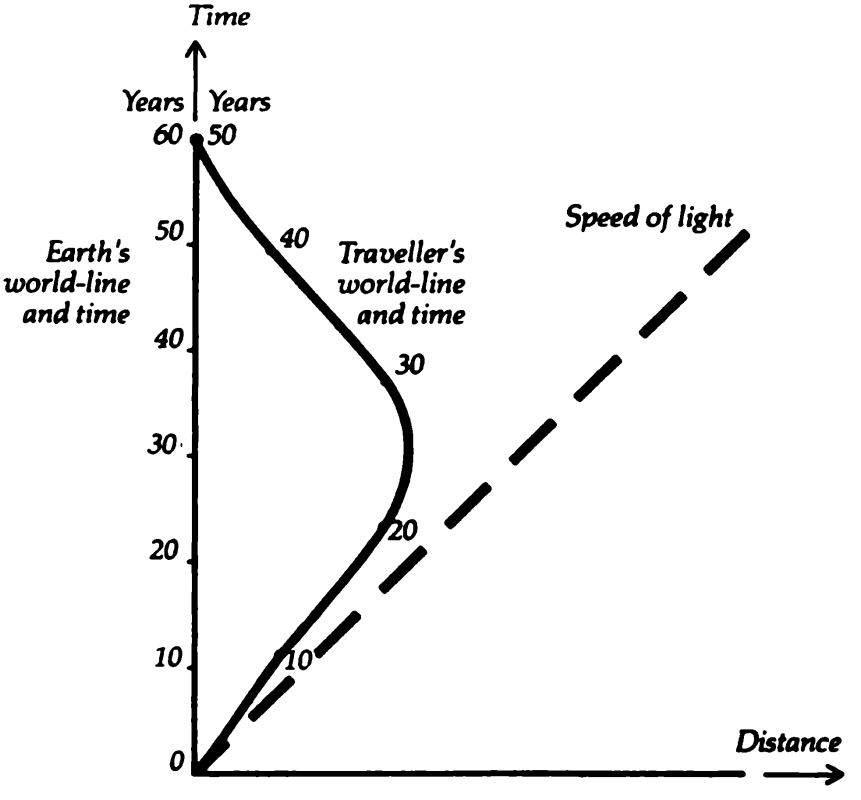
به همین طریق مخروط نوری دیگری که به سوی بالا و «پیش» به سوی زمان است آیندهٔ محتمل را توضیح می‌دهد. نمی‌توان ابط الجوزاء را فردا رؤیت کرد، زیرا نمی‌توان سریع‌تر از نور حرکت کرد. می‌توان علامتی به آن ارسال نمود که ۶۰۰ سال دیگر به آن اختر برسد، چون زمان تقاطع خط جهانی ابط الجوزاء و مخروط نوری آیندهٔ ۶۰۰ سال دیگر می‌باشد. مخروط های نوری ممکن است یادآور «حباب‌های نوری» که در یکی از فصول قبل بیان گردید، باشند. این دو یک چیزند امّا حباب‌ها، اکنون در نمودار فضا زمان نقش مخروطات را ایفا می‌کنند. وسعت بخشیدن مخروط نور، به سادگی به مفهوم گستردن حباب نور همراه

11. Betelgeuse

با گذشت زمان است.

اگر خود را آماده کنید که با سرعتی برابر یک دهم سرعت نور به دیدار اختر ابط الجوزاء بروید خط جهانی شما در داخل مخروط نور قرار گرفته و با محور مرکزی (زمان) زاویه‌ای ٦ درجه می‌سازد و پس از ٦٠٠٠ سال دیگر به اختر ابط الجوزاء می‌رسد.

اگر محور زمان مخروط، معرف خط جهانی زمین باشد، شما نیز نظیر سایر اجسام دارای سرعت زیاد در نزدیک آن، خطی مورب را در گسترهٔ فضا زمان خواهید پیمود. بنابراین، در ارتباط با زمین، مسیرتان تا حدودی بیشتر شبیه نوری خواهد بود که با زاویهٔ ٤٥ درجه گسیل می‌شود. در سرعت نور زمان متوقف می‌شود. هرچه سرعت‌تان بیشتر باشد، زودتر به زاویهٔ ٤٥ درجه می‌رسید و ساعت‌تان در مقایسه با ساعت زمین کندتر کار



خواهد کرد.

خط جهانی همزاد مسافر، در پارادکس دوقلوها، نخست از خط جهانی برادر زمینی خود دور و سپس به طرف آن متوجه و به آن تلاقی می‌کند.

نقاط شروع و رجعت دو نقطه‌ای هستند که دو خط جهانی با یکدیگر تلاقی می‌کنند. آن دو مسیرهای مختلفی را در فضا زمان درنوردیده و از دیدگاه نسبیت‌دان ناسازگاری ساعت‌های آنان تعجب‌آور نیست. شخص نسبیت‌ندان ممکن است در مقابل این واقعیت که مسیر طی شدهٔ توسط مسافر طولانی‌تر امّا زمان آن کوتاهتر است (طرح صفحهٔ قبل) شروع به خاراندن سر و تأمل نماید. این یکی از عجایب طرح زمان فضاست. عامل مشخص در مسیر برادر مسافر منحنی بودن مسیر آن می‌باشد و انحناء، یعنی تغییر در جهت و سرعت، به نوعی شتاب ارتباط پیدا می‌کند.

شتاب همچون ثقل رفتار می‌کند. روش دیگر تقلید ثقل چرخش است، که خود نوعی شتاب می‌باشد. حتیٰ در سرعت ثابت، حاشیهٔ جسم چرخنده به طرف مرکز آن مستمراً شتاب گرفته و در عین حال با سرعت کافی به اطراف می‌رود تا فاصلهٔ ثابت نسبت به مرکز را حفظ کند. توانائی فضانوردان در مقابله با نیروهای ثقل (g) حرفه‌شان، با قرار دادن آنان در موقعیت گریز از مرکز آزمایش می‌شود. این آزمایش، بازی چرخ و فلک وحشتناکی است که فضانوردان را با سرعتی زیاد و با حالتی گردبادگونه تاب می‌دهند تا تأثیر نیروهای ثقل را که بر آنها فشار وارد می‌آورند، احساس کنند. این «نیروی گریز از مرکز» از نیروی ثقل قوی قابل تشخیص می‌باشد، مگر در چنان وضعی که به مسافر حالت بی‌وزنی دست دهد. و دانشمندانی که پیشنهاد ساختن مجموعه‌های بزرگ در مدار

زمین را می‌نمایند وعده می‌دهند که بجای ایجاد شرایط بی‌وزنی، با تنظیم حرکت هر مجموعهٔ فضائی می‌توان نیروئی معادل یک ثقل (g) بر محیط آن وارد نمود به قسمی که اجسام در چنان موقعیتی، کاملاً معمولی رفتار کنند.

در طرح فضا زمان، خط جهانی هر شخص در وضعیت گریز از مرکز، مار پیچی پیرامون خط جهانی مرکز دستگاه گریز از مرکز خواهد بود. زیرا به سبب تغییر مستمر خط جهانی خود، شتابی پیوسته را احساس می‌کند.

درمورد خود ثقل باید گفت، که مسیرهای نور در هنگام عبور از مجاورت اجسام عظیم تغییر می‌کند. ثقل، مخروطات نوری را در مقابله با اجسام عظیمی چون خورشید و زمین اندکی به طرف آن اجسام کج می‌کند. (بنابه تعابیر جلوترمان، حباب نور، تغییر مرکز می‌دهد). و با کج شدن مخروط نور، زمان کُند می‌شود. زاویهٔ بسیار مهم بین خط جهانی مشخص و نورکاهش می یابد، امّا نه به جهت سرعت زیاد بلکه تحت تأثیر ثقل بر نور.

در حاشیهٔ سیاه‌چال، مخروط (نور) با زاویه‌ای ٤٥ درجه کج شده و دورترین کنارهٔ مخروط را با خط جهانی حاشیهٔ سیاه‌چال مرتبط می‌سازد. اگر شما در حاشیهٔ سیاه‌چال قرار داشته باشید، آینده‌تان که اکنون با مخروط نور مشخص می‌گردد، آنگاه کاملاً در اختیار سیاه‌چال قرار خواهد گرفت. و وقتی در داخل سیاه‌چال باشید می بینید که مخروط (نور) خیلی شدیدتر کج می‌شود. نسبیت پیش‌بینی می‌کند که محتویات سیاه‌چال باید در یک نقطهٔ هندسی در مرکز آن متمرکز گردند ــ غربت کامل. تمامی خطوط جهانی متوجه آن نقطه شده و در آنجا متوقف می‌شوند.

با طرح نسبیت، شتاب به نحوی معیّن قابل تشخیص است. آنچه که موجب احساس ثقل در گوش های‌تان می‌شود، نسبت به شتاب موتورها یا گریز از مرکزها یا ثقل نیز واکنش نشان می‌دهد. آنچه را که شما فرضاً احساس ننموده یا تشخیص ندهید، هر اثری از حرکت ثابت در خطی مستقیم در فضای تهی می‌تواند باشد. به عنوان پانوشت مبحث نسبیت خاص، از ذرات شبح مانندِ نور و ماده، که حتیٰ در خالص‌ترین شکل خلأ نیز در غلیان‌اند، می‌توان نام برد.

با فرض وجود آنها، به فوریت محرز نیست که شما نتوانید حرکت ثابت خود را در فضا دریابید.

در وهلهٔ اوّل می‌توان به حق چنین اندیشید که این جهان زیرزمینی فضا، با توجه به سرعت حرکت شخص، متفاوت به نظر خواهد رسید. و در نهایت از دیدگاه فضانوردی که با سرعت ثابت حرکت می‌کند این ذرات شبح مانند موجب افزایش انرژی خواهند شد. بنابراین او (فضانورد) نمی‌تواند به خود بگوید درحالیکه همه چیز از کنارش عبور می‌کنند او در وضعیتی ثابت قرار دارد؟

او می‌گوید: «آها، همهٔ اتمهای سفینه‌ام، بسته به اینکه با چه سرعتی حرکت می‌کنم، قدری تغییر وضع خواهند داد. می‌توانم یک سرعت‌سنج کیهانی بسازم که گذشت زمان را در گسترهٔ فضا به من بگوید.» و اگر حق با فضانورد می بود این موضوع به سهولت نظریه را نابود می‌ساخت.

متوقّع خواهید بود که نورسنج مانند در جلویتان بیش از پشت سر، انرژی‌دار باشد ــ مثل موردی که نورخورشید در هنگام عبور فضانورد از آن عمل کند. درنتیجه فشار وارده بر قسمت جلوی سفینه بیش از عقب آن بوده و موجب کُند شدن سرعت آن می‌گردد. اجسام دیگر نباید حرکات

خود را ادامه دهند بلکه در عوض باید جائی در فضای لزج متوقف گردند. برای اجتناب از چنین فاجعه‌ای، هم از دیدگاه نظریهٔ نیوتن و هم اینشتین می‌توان سئوالی مطرح ساخت. آیا مقدار ذرات شبح مانند نور چنان است که بدون ارتباط به سرعت ناظر همواره ثابت باشد؟ این سئوال تنها یک پاسخ دارد و آنهم مثبت است: برای هردو برابر شدن بسامد نور، ذراتِ آن باید هشت برابر شوند. چنین می‌نماید که این تجمع ذرات آن چیزی است که نظریهٔ کوانتوم پیش‌بینی می‌کند ــ یعنی دقیقاً آن چیزی که برای محافظت نسبیت ضرورت دارد.

می‌توانید شانه‌های خود را بالا انداخته و بگوئید:

«امّا می‌دانیم که زمین بیلیون‌ها سال است بلامانع در مسیر فضایی خود حرکت می‌کند، و لذا باید همینطور هم باشد.» فیزیکدان، بیشتر مرعوب توانائی طبیعت برای ترتیب دادن چنین اعمالی است و در پی یافتن توضیحاتی عمیق‌تر است تا بفهمد که چرا فضا به راحتی چنین ناچسبناک (غیرلزج) می‌باشد. پس از خواندن نغمه‌های تمجیدآمیز نظریهٔ اینشتین و گفتن اینکه چگونه از غرق شدن در فضای لزج نجات یافت، اینک باید خوانندهٔ فیلسوفانه اندیش را برای تکانی نامطبوع آماده ساخت (و آن اینکه) بعد از همهٔ این حرف‌ها، نسبیت خاص نمی‌تواند، به‌طور دربست صحیح باشد! به عقیدهٔ من، استدلالی که ما از آن پیروی کرده‌ایم تا آنجا که مربوط به تشریح نور، زمان و غیره در ارتباط با سفاین فضائی می‌گردد بی‌عیب است. آنچه خطا می‌باشد، کمتر از یکی از فرضیات بنیادین اینشتین نیست یعنی: برای فضانوردی که با سرعت ثابت حرکت می‌کند غیرممکن است بگوید این خود اوست که حرکت می‌کند یا جهان بیرون.

درواقع به نظر می‌رسد که با درنظر گرفتن دموکراسی کیهانی

اینشتین، هرگونه اظهار عقیده‌ای درست می‌باشد. خوبست شعار جُرج ارول[۱۲] را از کتاب قلعهٔ حیوانات[۱۳] پذیرفته و با تغییراتی بگوئیم: همهٔ ناظرین برابرند امّا بعضی‌ها بیشتر برابرند. (اصل گفتهٔ ارول اینست: همهٔ حیوانات برابرند امّا بعضی‌ها بیشتر برابرند ــ م) خوشبختانه به نظر نمی‌رسد که این مطلب بر هیچیک از دست‌آوردهای نسبیت خاص که قبلاً ذکر شد، تأثیر بگذارد. کشفیات اخیر، چیزی ارائه می‌دهند که چندان مغایر نظر اینشتین در مورد چارچوب فضای مطلق، که اینشتین تصور می‌کرد آنرا نابود ساخته است، نیست. حداقل در این ارتباط، عالم اینشتین مقداری از رایحهٔ عالم نیوتن را دربر می‌گیرد.

چگونگی امر در فصل بعد، هنگامی‌که متوجه شویم، فضانورد پرکار ما باچه کلکی می‌تواند سرعت‌سنج کیهانی خود را با استفاده از انفجار بزرگ[۱۴]! سرهم کند، معلوم می‌شود.

12. George Orwell 13. Animal Farm 14. Big Bang

۱۷

عالم ساده

کهکشانها آنچنان از هم می‌گریزند که گوئی انفجاری رخ داده است.

امواج رادیوئی که عالم را فرا گرفته است بقایای انفجار بزرگ است.

از نظر نسبیت عام، ساده‌ترین عالم‌ها قابل انفجار و اضمحلال اند.

اندازه و دوام یک عالم ساده با انرژی آن تعیین می‌شود.

اینشتین می‌توانسته است انفجار بزرگ را پیش‌بینی کند، اما چنین نکرد.

* * *

در کارهای زمینی، ادراک ما از کلمهٔ بزرگ، متوجه چیزی پیچیده می‌شود. مثلاً: یک شهر بزرگ نسبت به یک دهکده غامض‌تر و اقیانوس از گودال پیچیده‌تر است. به نظر می‌رسد که در مورد عالم قضیه برعکس باشد یعنی: بزرگتر ساده‌تر است.

موجودات زندهٔ بسیار کوچک که با هر مقیاس کیهانی غیر قابل ثبت‌اند، به نحوی استثنائی بغرنج و پیچیده‌اند. همانطور که هر کتاب درسی زمین‌شناسی حاکیست، سیارات نیز می‌توانند بسیار پیچیده باشند. اختران بخصوص هنگامی‌که خیلی دقیق نگاه می‌کنیم (همانطور که می‌توانیم به خورشید بنگریم) یا وقتی‌که دوره‌های کامل زندگی‌شان را پی‌گیری می‌نمائیم نسبتاً غامض به نظر می‌آیند.

کهکشان‌ها نقش‌های حیرت‌آوری دارند، از جمله بازوان حلزونی شکوهمند (همانند کهکشان راه شیری خودمان) یا هستهٔ خروشان[1] (مثل M87). امّا در مجموع آنها بندرت از اختران تشکیل دهندهٔ خود پیچیده‌تر هستند. در فراسوی کهکشان‌ها در سلسله مراتب کیهان‌ها، خوشه‌های کیهانی وجود دارند. تا آنجا که می‌توانیم بگوئیم این (خوشه‌ها) بسیار ساده بوده و فقط کهکشان‌هایی بزرگ یا کوچک تحت تأثیر ثقل بزرگترین اعضاء خود، که در حکم کشتی‌های فرماندهٔ خوشه‌هاست با فاصلهٔ زیادی با هم در ارتباط می باشند.

امّا ساده‌ترین آنها ــ که به نحو شگفت‌آوری ساده است ــ کل عالم کائنات است. (عالم) با همهٔ گستردگی نقوش خود، نسبت به زمین که یکی از جزئی‌ترین تشکیل دهنده‌های آن می باشد، دارای پیچیدگی بسیار کمتری است.

دانش فعلی دربارهٔ عالم را، می‌توان به درستی در سه جمله خلاصه کرد: (۱)ــ عالم شامل بیلیون‌ها کهکشان است که از همان هنگام انفجار (فرضی) از یکدیگر در حال فرارند. (۲)ــ علاوه بر کهکشان‌های درخشان، عالم انباشته از تشعشع است و می‌توان آنرا بقایای انفجاری که آغازگر عالم گردید، دانست. (۳)ــ کهکشان‌ها و تشعشع در تمامی جهات بسیار مشابه یکدیگر به نظر می‌رسند و عالم، متلاطم، نامتجانس، یا چرخنده نمی باشد.

این سادگی، تقریباً خدعه‌ای نیست که مخلوق جهل باشد. برعکس، هرچه اخترشناسان تحقیقات زیادتری انجام داده و با دقت بیشتری در پی یافتن پیچیدگی و بی‌نظمی عالم می‌روند، سادگی آن

1. Violent nucleus

بیشتر مشخص می‌شود. البته سئوالات بی‌جوابی نیز دربارهٔ عالم وجود دارند که بعضی از آنها عمیق و گیج کننده و پاره‌ای دیگر آزار دهنده‌اند، زیرا پاسخ‌ها، تقریباً فقط اخترشناسان را قانع می‌کند. امّا می‌توان این پاسخ‌ها را در محدوده‌ای روشن قرار داد. درواقع یکی از عمیق‌ترین سئوالات ممکن است این باشد که چرا عالم منظم است؟

نسبیت آلبرت اینشتین، ابزار استنباط عالم در مقیاس وسیع گردیده است. او نه‌تنها انرژی آفرینش ($E=mc^2$) و قوانین نوینی که بر رفتار اجسام عظیم و دارای سرعت زیاد حاکم‌اند کشف نمود، بلکه معادلاتش منشأ و سرنوشت کل عالم را توضیح می‌دهد. قبل از امتحانِ احتمالاتی که این معادلات بیان می‌کنند، نخست باید ببینیم که نقوش بنیادین عالم، درنظر اخترشناسان خود را چگونه نشان می‌دهند.

در میان تمامی یافته‌های قرن بیستم دربارهٔ اجزاء تشکیل دهندهٔ عالم ــ یعنی کهکشان‌ها، رادیو کهکشان‌ها، اخترنماها، اختران تپنده، ستارگان اشعهٔ مجهول و غیره ــ دو کشف عمده وجود دارد که بر کیهان‌شناسی جدید، یعنی دانش کل طبیعت عالم، تسلط دارد. این دو جزئی نبوده و طرح‌هایی جامع و دربرگیرنده‌اند. یکی از این دو تدریجاً آشکار و دیگری به‌طور ناگهانی پدیدار گردید.

در دو دههٔ سالهای ۱۹۲۰ و ۱۹۳۰، ادوین هوبل[۲] در پشت تلسکوپ یکصد اینچی بر کوه ویلسون[۳]، نزدیک لوس‌آنجلس، شب‌ها و سالهای متوالی ای را گذراند. در جریان این تحقیقات طاقت‌فرسا در مورد حرکات کهکشان‌ها او طرق برآورد فواصل کهکشانی را ابداع و برای ارزیابی سرعت کهکشان‌ها از اثر داپلر، استفاده نمود.

2. Edwin Hubble 3. Mount Wilson

نور یک کهکشان دوردست معمولاً در وضعیت تغییر مکان قرمز ــ به مفهوم کاهش بسامد ــ نشان دهندهٔ این بود که کهکشان مورد نظر از کهکشان راه شیری ما با سرعت زیادی دور می‌شود. این مطلبی به اندازهٔ کافی قابل تعمق و به مفهوم انبساط عمومی عالم بود. حتیٰ جالب‌تر از آن، قانونی بود که دربارهٔ رابطهٔ بین سرعت و فاصله کشف نمود. مطابق «قانون هوبل» سرعت کهکشان‌ها با فاصلهٔ آنها نسبتی ساده را تشکیل می‌دهد و اگر فاصلهٔ کهکشان‌ها دو برابر شود سرعت گریز (کهکشانی) دو برابر می‌گردد. تا ۱۹۲۹ هوبل قانون خود را تا فاصلهٔ شش میلیون سال نوری به ثبوت رسانید.

با ظهور این قانون نتایج تکان دهنده‌ای حاصل شد. قانون هوبل دقیقاً همان چیزی است که از انفکاک اوّلیهٔ کهکشان‌ها از یک نقطهٔ معیّن انتظار می‌رود و بر آن اساس کهکشان‌ها از هم دور شده و سریع‌ترین‌شان، در دورترین موقعیت قرار می‌گیرند. به عبارت دیگر، اگر حرکات کهکشان‌ها را در گذشته ردیابی کنیم، نتیجه می‌گیریم که تمامی آنها در زمان گذشتهٔ معینی، یعنی وقتی که عالم در وضعیتی متفاوت از امروز قرار داشته، می باید درهم انباشته بوده باشند.

نظریهٔ **انفجار بزرگ**، ساده‌ترین و طبیعی‌ترین تفسیر این کشف بود.

(هنوز) مانع بزرگی وجود داشت. هوبل حداکثر عمر عالم را از هنگام انبساط ــ «زمان هوبل» ــ دو بیلیون سال، تخمین زد.

با این فرض که ثقل، سرعت کهکشان‌ها را از هنگام انبساط تقلیل داده است، عالم می باید جوان‌تر از این باشد. امّا قبل از آن مدارک محکمی بدست آمده بود که عمر زمین چندین بیلیون سال بوده و اختران بسیاری وجود دارند که از زمین هم بسیار پیرترند. چگونه ممکن است که زمین از عالم پیرتر باشد؟ به همین دلیل منطقی، با نظریهٔ **انفجار بزرگ** تا

سالهای دههٔ ۱۹۵۰ با احتیاط قابل ملاحظه‌ای برخورد می‌شد. در این سالها شاگردان سابق هوبل شروع به پیدا کردن نقایصی در مقیاس فواصل او (هوبل) نمودند. از آن پس، زمان هوبل در جهت ازدیاد، تجدیدنظر شده و اکنون عمر عالم در حدود ۲۰ــ۱۵ بیلیون سال یا ده برابر برآورد اوّلیهٔ هوبل منظور می‌گردد. با در نظر گرفتن کم شدن سرعت (کهکشان‌ها) عمر عالم از لحظهٔ انبساط ۱۵ــ۱۰ بیلیون سال خواهد بود و این با عمر پیرترین ستارگان (در حدود ۱۰ بیلیون سال) و عمر زمین (که اینک ۴/۵۵ بیلیون سال است) سازگاری دارد.

دلیل مستقیم بر وجود انفجار بزرگ، در سال ۱۹۶۵ و ده سال بعد از مرگ اینشتین، بدست آمد و آن وجود انرژی رادیوئی «سرگردان» در عالم بود که با امواج رادیوئی کهکشان‌ها و اخترنماهای موجود، ارتباطی نداشت. آرنو پنزیاس[۴] و رابرت ویلسون[۵] از کارکنان آزمایشگاههای شرکت تلفن بل[۶] ضمن آزمایشات ایجاد نخستین ارتباطات ماهواره‌ای آن را کشف نمودند. تا جائی که به منافع یک شرکت تلفن مربوط می‌شود، حتیٰ انرژی رادیوئی عالم هم به عنوان عامل «ساکن» یا مداخله گر در مدارات ارتباطی، تلقی می‌گردد.

در هنگامی‌که آنها مشغول آزمایش، با شیپوری بزرگ و گیرنده‌ای بسیار حساس که طراحی آن به منظور گردآوری امواج رادیوئی با بسامد خیلی زیاد (مایکروویو)[۷] صورت گرفته، بودند، پنزیاس و ویلسون متوجه جریان «ساکن» ضعیف امّا لاینقطعی گردیدند که تمامی پهنهٔ آسمان را دربر گرفته است. آنها نمی‌دانستند مسأله را چگونه تعبیر کنند تا اینکه

4. Arno Penzias
5. Robert Wilson
6. Bell Telephone Laboratories.
7. Microwaves

دانشگاه نزدیک به آنها یعنی دانشگاه پرینستون اعلام داشت که انفجار بزرگ می‌تواند دلیل وجود چنین جریانی باشد.

داستان را کوتاه کنیم. فضای تهی، انباشته از انرژی‌ای معادل انرژی تقریباً سه درجهٔ حرارت (« ۳K° ») * بالای صفر مطلق است. انرژی رادیوئی ۳K° شکل فعلی تشعشع، مربوط به روشنائی بزرگی است که وقتی عالم بسیار جوان بود، به وقوع پیوست ــ که احتمالاً نوری قابل رؤیت و به سفیدی نور خورشید بوده است، امّا در اثر انبساط بعدی عالم، اکنون در اثر تغییر مکان قرمز بسیار زیاد، به شکل فعلی درآمده است. می‌توانید دربارهٔ امواج نورانی پخش شده که بسامدشان کاهش می‌یابد، درست به همان ترتیبی که عالم از هنگام روشنائی نخستین تغییر یافته است بیاندیشید. به دلیل اینکه (از هنگام انفجار بزرگ ــ م) تاکنون، تشعشع به‌طور آزادانه‌ای در گسترهٔ عالم جریان داشته است، اخترشناسان از آخرین مرحلهٔ انفجار نخستین دیدگاهی پیوسته دارند. مقدار تشعشع بسیار است. برای هر اتم هیدروژن موجود در عالم در حدود یکصد میلیون ذرات انرژی رادیوئی ۳K° وجود دارد و مقدار کل جرم ــ انرژی‌شان تقریباً یک هزارم جرم کهکشان‌هاست.

اخترشناسان متخصص امواج مایکروویو، به نحو بسیار دقیقی مراقب اوضاع‌اند، امّا در مدت بیش از ده سال، جزئی‌ترین تغییری را در شدت انرژی رادیوئی ۳K° مشاهده ننمودند و در هر جهتی که ردیاب‌های خود را چرخاندند تغییر شدت آن (ناچیز و) کمتر از چند هزارم بود.

دنیس سیاما[8] این اندازه‌گیری که دلیل بسیار نیرومندی در جهت

* سه درجهٔ کلوین. صفر درجهٔ کلوین برابر صفر مطلق یعنی (۲۷۳° c ــ) می‌باشد.

8. Dennis Sciama

یکنواختی قابل ملاحظهٔ عالم در مقیاسی وسیع بدست داد، «صحیح‌ترین اندازه‌گیری انجام شده تاکنون» می‌نامد. درواقع پس از آن هرگونه احتمالی که دال بر چرخش کامل عالم باشد به کنار گذاشته شد. این مفهوم نیز حاصل می‌شود که کهکشان راه شیری ما، در انبساط کلی عالم، نقش متناسبی به عهده دارد. اگر (کهکشان ما) به‌طور سرگردان و با هر سرعت قابل قبولی حرکت می‌کرد، آنگاه انرژی در جهت مختلف آسمان به نحو عمده‌ای تغییر می‌نمود. این موضوع ما را به آنچه که در فصل قبل اشاره شد نزدیک می‌کند یعنی: انرژی رادیوئی $3K^{\circ}$ که فضا را درمی‌نوردد، وسیله‌ای برای اندازه‌گیری هر سرعت ثابت در ارتباط با عالم، در مقیاس وسیع می‌شود و از اینرو آشکارا با روح نسبیت خاص مخالفت می‌نماید.

فضانورد ما، می‌تواند سرعت‌سنجی کیهانی متشکل از یک یا چند شیپور به منظور تعیین انرژی رادیوئی $3K^{\circ}$ و اندازه‌گیری شدت آن با صحت زیاد، بسازد. اکنون اگر او (فضانورد) با سرعت زیاد در هر جهتی بتازد، انرژی مایکروویو با استفاده از اثر داپلر پدیدار گشته و در سمت حرکتش، شدّت انرژی بیشتر و در مسیر طی شده ضعیفتر است. بنابراین می‌تواند سرعت خود را تثبیت نماید.

مثلاً اگر با سرعتی معادل یکصدم سرعت نور حرکت کند، انرژی میکروویو در جلویش (سمت حرکت) تا یک درصد متراکم‌تر به نظر خواهد رسید. اگر سرعتش را افزایش داده و به نصف سرعت نور برساند آسمان جلوی رویش با رنگی قرمز می‌درخشد و او، گرمای آن را احساس خواهد کرد.

تجربه‌گران آزمایشگاه لارنس برکلی[9] در کالیفرنیا دقیقاً یک

9. Lawrence Berkeley Laboratory.

چنین سرعت سنجی برای زمین ساختند. در سالهای ۷۶ــ۱۹۷۷ آنها این سرعت‌سنج را در یک هواپیمای U۲ گذاشته و در بخش‌های فوقانی جو زمین، پرواز کردند. ریچارد مولر[۱۰] و همکارانش، دنبال این هدف بودند که انرژی رادیوئی ۳K° را در جهات مختلف فضا با دقتی‌که پیش از آن سابقه نداشت اندازه‌گیری کنند. (البته، حرکت هواپیمای حامل دستگاه در مقایسه با هرگونه حرکت کیهانی زمین، چیزی کاملاً بی‌اهمیت بود.) آنها مطمئن بودند که مقداری حرکت کشف خواهند کرد. و بالاخره نتیجه این شد که مدارات خورشیدی در راه شیری، با یک هزارم سرعت نور حرکت می‌کند. زمین نمی‌تواند در میان بقایای انفجار بزرگ، کاملاً آرام قرار بگیرد.

تجربه‌گران متوجه شدند که شدّت انرژی رادیوئی ۳K° در جهت صورت فلکی اسد[۱۱] (شیر) به نیرومندترین حالات می‌رسد ــ زیرا در آنجا آسمان یک هزارم درجه از هر جای دیگر گرم‌تر بود. امّا اثرات حرکت زمین بر گرد خورشید و حرکت خورشید در راه شیری می باید در محاسبه منظور گردد. سپس معلوم خواهد شد که راه شیری ــ براساس این نتایج ــ با سرعتی معادل یک پانصدم سرعت نور (تقریباً ۴۰۰ مایل در ثانیه) در جهت تعیین شده توسط صورت فلکی شجاع[۱۲] سیر می‌کند. مشاهدات انجام شدهٔ انرژی رادیوئی ۳K° که توسط بالون و بوسیلهٔ بریان کُری[۱۳] و دیوید ویلکینسون[۱۴]، از پرینستون صورت گرفته سرعتی کمی کمتر پیشنهاد می‌نماید. در هر دو حالت سرعت از آنچه کیهان‌شناسان متوقع بودند، بیشتر و بدین مفهوم است که راه شیری و تمامی همسایگانش

10. Richard Muller 11. Leo 12. Hydra

13. Brian Corey 14.David Wilkinson

(نظیر کهکشان مشهور نزدیک به کهکشان زن با زنجیر «امراءة المسلسله»[۱۵]) محتملاً تحت تأثیر ثقل «اَبَرخوشه»[۱۶]ای از کهکشان‌های بسیار دور قرار می‌گیرند.

منظور از «سیر در گسترهٔ عالم»، دقیقاً چیست؟ چهارچوب مرجعی که تحت نام انرژی رادیوئی $3K^{\circ}$ تعریف شده وجود دارد که به ما نشان می‌دهد ــ هرچند که در شکل گسترده و تغییر مکان قرمز ــ منشأ عالم به ده تا پانزده بیلیون سال قبل باز می‌گردد. دربارهٔ هر گروه بخش‌های مادی که فکر کنیم، می بینیم که آنها با فاصله‌های بیشتر ازهم جدا شده و انبساط مستمرشان مؤید اینست که ظاهراً بخش‌های دورتر با سرعت بیشتری حرکت می‌کنند.

امّا در هر وضعیتی، برای «آرامش»، در مقایسه با کل عالم معیاری وجود دارد. در یک سفینهٔ فضائی مادام که انرژی رادیوئی $3K^{\circ}$ در تمام جهات یکسان باشد، می‌توان حرکت را هماهنگ نموده و سپس در حالت آرامش قرار گرفت. برعکس، «سیر» به مفهوم حرکت نسبت به آن حالت مورد نظرِ آرامش است.

نظریه‌پردازان کیهانی در پی اندازه گیری‌های دقیق‌تری از انرژی رادیوئی $3K^{\circ}$ هستند تا شاید در نواحی نسبتاً کوچکی از آسمان عدم تجانسی بیابند. چنان موردی می‌تواند مؤید تلاطم ماده در انفجار بزرگ باشد، (زیرا) اگر تجانس کامل وجود داشت، نظریه‌پردازان نمی‌توانستند تجمع بعدی ماده را که موجب پیدایش کهکشان‌ها و خوشه‌های کهکشانی گردید توضیح دهند.

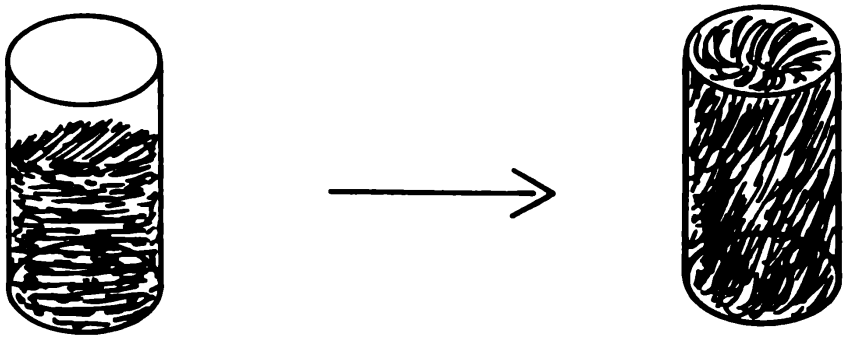
مفهومی دیگر وجود دارد که براساس آن، کیهانشناسی ممکن

15. Andromead 16. Supercluster

است چیزی مغایر با چهارچوب فضائی قبل از اینشتین ارائه ننماید. این مفهوم احتمالاً راز نیوتن[۱۷] را روشن می‌سازد. نیوتن که خود دارای غرایض نسبیت دانی خوبی بود، اجباراً خود را به فضای مطلق مقید ساخت. دلیل مطلب این بود که وقتی سطل آبی را که به نخی بسته شده بود، در آزمایشگاه خود به چرخش درآورد، مشاهده کرد که آب متوجه لبهٔ سطل می‌شود.

آب به طریقی «می‌دانست» که آیا در حال چرخش است یا خیر ــ گوئی نوعی چهارچوب فضای مطلق غیردوار وجود دارد که آب حرکت خود را با آن مقایسه می‌کند. اینشتین منکر فضای مطلق شد، امّا تجربهٔ نیوتن باز هم عملی است. در تفسیری از نسبیت عام می‌توان اثر ایجاد شده در آب سطل را نتیجهٔ عمل بقیهٔ عالم دانست. مثل اینست که ما در داخل کرهٔ توخالی بزرگی که از اختران و کهکشان‌ها درست شده باشد، زندگی می‌کنیم. کاملاً می‌توان تصور کرد که سطل چرخنده در حال آرامش و تمامی اجزاء دیگر عالم بر گرد آن می‌چرخد.

امّا اگرچنین باشد، این واقعیت را که براساس نظریهٔ ثقل اینشتین هر جرم دوار در مقایسه با جرم غیردوار، بر فضا و زمان اثری متفاوت دارد، باید به حساب آورد. سیاه‌چال چرخنده را به خاطر بیاورید



* طرح از مترجم.

17. Newton Mystery

که فضای اطراف خود را با نیروئی وحشتناک درهم می‌پیچید. پوستهٔ بزرگ عالم دوار فرضی با ایجاد تأثیری متناسب موجب می‌شود که آب در سطل فرضاً ثابت به طرف لبهٔ آن متوجّه گردد. باید اضافه کنم که در امتیازات و اهمیت این تفسیر، نظریه‌پردازان هم‌عقیده نمی‌باشند.

از طرف دیگر تجانس قابل ملاحظهٔ عالم به‌طور کلی، به نظریه‌پردازان اجازه می‌دهد که در مورد جریان وقایع حادث شده در خلال انفجار بزرگ هم رأی شده و آنها را کاملاً تأیید کنند. آنها از تشعشع، ماده و ضد ماده، انبساط، و برودتی آشفته سخن می‌گویند. در چند دقیقهٔ نخست بیشترین مقدار ماده توسط ضد ماده نابود و فقط بخش ناچیزی از آن باقی ماند. سرانجام عالم به قدر کافی سرد و اجازهٔ تجمع به ذرات به شکل اتمهای هیدروژن و هلیوم ــ که مادهٔ خام عالم را تشکیل می‌دهند ــ داده شد. پرتو نورانی بزرگی که همزمان با تشکیل اتمها پدیدار شد، منشأ احتمالی انرژی رادیوئی $3K^{\circ}$ می‌تواند باشد.

طی فرایندی که کاملاً مشخص نیست، اتمها به صورت اختران و کهکشان‌ها متمرکز شدند. عالم به رشد خود ادامه داده و کهکشان‌ها از هم دورتر و دورتر شدند. به‌طور خلاصه عالم همچون تجمع وسیع متراکم انرژی آغاز و سپس رو به رشد نهاد. اکتشافاتی که چنین چهره‌ای از عالم نمودار ساختند، غیرعادی بودند. درست همانقدرغیر عادی که دانشمندان متوجه شدند برای بیان چنین عالمی ضرورتی برای نگریستن به جاهای خیلی دور نیست.

تمامی داستان، قبلاً در نظریهٔ ثقل اینشتین، مفهوم بود. در کیهان‌شناسی نسبیتی، انرژی عالم به وجود آورندهٔ فضا و زمان است.

وقتی‌که فیزیکدان‌ها و اخترشناسان در نقش خداوند ظاهر می‌شوند، تلاش می‌کنند «طرح» کلی عالم را به نحوی تصور کنند که

منشأ و سرنوشت تمامی اتمها، اختران، و کهکشان‌های آن را دربر بگیرد، معهذا از منشأ مواردی جزئی نظیر زمین و خورشید اجتناب می‌ورزند. تاکنون هیچکس این بازی را با مهارت آلبرت اینشتین انجام نداده است و یا به عبارت دیگر، وی عالم را آنچنان بد هم وصله پینه نکرده است.

در لحظه‌ای بحرانی در سال ۱۹۱۷، هنگامی‌که مکاشفات ریاضی موجب اطمینان خاطر او دربارهٔ داستان کیهانی که قبلاً ساخته و پرداخته بود، می‌شد و در عین حال ظریف‌تر از آن بود که قابل قبول به نظر آید، دیگر حوصلهٔ اینشتین سر رفته و کار را تمام کرد. مردی که جرأت یافته بود با زمان شیطنت کند و بنویسد $E=mc^2$، از آشکار ساختن آغاز زمان و پایان محتمل آن مشمئز شد. او می‌توانست صرفاً بنویسد، $E = ۱/۱۸ \times D$. در این معادلهٔ بسیار ساده E انرژی کل عالم و D حداکثر قطر آن می‌باشد. معمولاً انرژی و فاصله با واحدهای متفاوتی محاسبه می‌شوند امّا در این مورد می‌توان آنها را به یکدیگر تبدیل ساخت. (مثلاً، فاصلهٔ مربوط به یک واحد انرژی E برابر یک چهارم قطر سیاه‌چالی با جرم یا انرژی آرمیده E است و عدد ۱/۱۸ که سه چهارم عدد پی می‌باشد به دلایل ضروری هندسی منظور می‌شود.).

اگر جزئیات را کنار بگذاریم، می‌توان اظهار داشت که نظریهٔ قدیمی ثقل اینشتین احتمالی غیرعادی را فریاد می‌کشید، یعنی اینکه حداکثر قطر عالم فقط بستگی به مقدار انرژی آن دارد و نه هیچ چیز دیگر.

امّا داستان به همین جا ختم نمی‌شد. «حداکثر قطر»، در داستان کیهانی، معرّف فقط یک لحظه است و از این نظر شبیه به اندازهٔ حداکثر قطر شُش کسی که نفس عمیق می‌کشد، یعنی معیاری برای لحظه‌ای معیّن و غیر قابل دوام.

براساس نظریهٔ ثقل عدم آرامش عالم واقعاً غیر قابل اجتناب و باید منبسط و یا منقبض شود زیرا اگر تمام محتویات آن پراکنده و ساکن باشند، ثقل متقابل آنها به فوریت موجب تجمع شان می‌گردد.

بازهم با محاسبات سادهٔ اعجاب‌آور ریاضی، نظریه موجب تکمیل داستانی که آنرا می‌خواهم عالم ساده بنامم، می‌گردد. این عالم به نحو بسیار جزئی شروع و خودبخود و بسیار سریع قطر آن بزرگ می‌شود. سپس رشد آن متوقف و متلاشی شدن آن آغاز می‌گردد. با سرعت بیشتر و بیشتر کاهش یافته و یک بار دیگر چنان شدیداً کوچک می‌شود که تمامی محتویات آن در غوغائی عظیم نابود می‌گردد.

معادلات اینشتین تفسیری نوین از تکوین و نتایج آن ارائه می‌نماید. عجیب‌ترین بخش این داستان آنست که نه فقط حداکثر قطر عالم بلکه تمامی مقیاس زمانی وقایع، صرفاً بستگی به مقدار انرژی آن دارد. عالم ساده‌ای را که انرژی آن برابر انرژی آرمیدهٔ خورشید باشد تصور کنید. مطابق معادلات این عالم کوچک خودبخود رشد کرده تا حداکثر قطر آن به چیزی کمتر از یک مایل (تقریباً ۱۳۷۰ یارد) برسد و سپس در آن حالت همزمان (با خورشید) متلاشی می‌شود. اگر انرژی‌ای، برابر انرژی خورشید بر انرژی عالم افزوده شود، قطر آن به اندازهٔ چهار هزارم ثانیهٔ نوری و عمر کلی آن به قدر ۶/۶ هزارم ثانیه افزوده خواهد شد. برای اینکه دامنهٔ عمر عالم به اندازهٔ یک دورهٔ عمر هفتاد سالهٔ بشری اضافه شود، انرژی سیصد میلیون میلیون (۳×۱۰^{۱۴}) اختر لازم است که در آن مفهوم، دوران عمرِ هریک از ما بوجود تقریباً یک هزارم کهکشان مدیون می‌شود.

آنچنانکه امروزه برخی کیهان‌شناسان فرض می‌کنند، تصور کنید که انرژی کل عالم ما ۳×۱۰^{۲۳} برابر انرژی آرمیده خورشید باشد.

آنگاه با استفاده از ساده‌ترین فرمول‌های اینشتین حداکثر قطر آن تا حدود چهل هزار میلیون سال نوری (۴×۱۰^{۱۰}) قابل گسترش خواهد بود. با این حساب دامنهٔ عمر عالم از زمان تکوین انفجاری تا فرا رسیدن تراکم نهائی آن در حدود شصت و سه هزار میلیون سال (۶۳×۱۰^{۹}) می‌شود. به حسابی دیگر می‌توانیم تخمین بزنیم که ما در یک ششم مسیر عمر عالم قرار گرفته‌ایم و عالم هنوز هم سریعاً در حال گسترش است. این تخمین‌ها در سال ۱۹۱۷ برای اینشتین معلوم نبود، امّا کل داستان آنجا در میان معادلاتش قرار داشت.

اگر اینشتین فقط قدری دیگر تحمل کرده بود، ضربت کاری خود را در همین‌جا نواخته بود. او می‌توانست سیر قهقرائی کهکشان‌ها را که ادوین هوبل ده سال بعد اعلام نمود، پیش‌بینی کند و بسیار جلوتر از هرکس دیگری می‌توانست انفجار بزرگ را به عنوان منشأ عالم به همگان اعلام کند. امّا در ۱۹۱۷ هیچکس تصور نمی‌کرد که عالم یک چنان چیزی باشد. همه تصور می‌کردند که عالم چیزی ساکن است. درواقع، اینشتین وقتی‌که انتظام گیتی را چنین متفاوت و آشکارا بی‌معنیٰ تصویر نمود، نسبت به سلامت نظریهٔ خود متوحش شد. لذا از روی عمد انعطافی به نظریهٔ خود داد تا اجباراً عالمی کمتر شورانگیز را بیان کند.

اینشتین، بعدها آکنده از ندامت بود و سرهم‌بندی آن زمان را، بزرگترین بلاهت زندگی خود نامید. چنانکه خواهیم دید، مادام که اخترشناسان آیندهٔ بلندمدت عالم را بهتر می‌توانند پیش‌بینی کنند، مقداری سرهم‌بندی هم لازم خواهد بود. امّا قبل از بررسی تغییرات احتمالی، بگذارید، ابتدائی‌ترین عوالم اینشتینی را بیشتر بشناسیم.

عالم ساده، به نوبهٔ خود استنباطی جذاب بوده و بنیادی برای بحث پیرامون عوالم جانشین بوجود می‌آورد. علاوه بر این ممکن است

ثابت شود عالمی که در آن سکونت داریم دقیقاً عالمی ساده است.

گفتم که عالم مثل دستگاه تنفس دچار اتساع و انقباض مجدد می‌گردد. برخی اخترشناسان شکاک گاهی خواهند گفت که ما انبساط عالم را نمی‌توانیم ببینیم. آنچه مشاهده می‌شود دور شدن کهکشان‌ها و اخترنماهاست. از نظرگاههای تردیدآمیز، ممکن است فضای تهی قبلی، در دوردست‌ها موجود بوده و کهکشان‌ها به درون آن حرکت کنند (کُمدین معروف پترکوک[۱۸] با اعلام اینکه «من متخصص عالم و هرآنچه دربرگیرندهٔ آنست می باشم» برای چنین طرز تفکّر تردیدآمیزی مسأله‌ای معنیٰ دار ایجاد نمود). در مورد عالم ساده مسأله چنان (که مرد دیّن فکر می‌کنند ــ م) نیست. در فراسوی عالم نه فضا و نه زمان هیچکدام وجود ندارد مگر اینکه متعلق به عوالمی کاملاً جداگانه باشند. زمان باانفجار بزرگ که خالق آن (زمان) می باشد آغاز و در غوغایی بزرگ[۱۹] پایان خواهد یافت. فضا نیز مخلوق محتویات عالم بوده و توسط آنها تعریف می‌شود.

فضای بین کهکشانها رشد می‌نماید امّا اتمها و کهکشانها خیر. اگر چنین بود ما متوجه هیچگونه رشدی نمی‌شدیم زیرا خود و تمامی وسایل‌مان نیز رشد می‌نمودند و این فقط در صورتی امکان داشت که نیروهای طبیعت با گذشت زمان ضعیف‌تر می‌شدند، که می‌دانیم نظریهٔ نسبیت عام آنرا منع می‌کند. با توجه به موقعیت مستحکم ما در فضا و زمان، ما در میانهٔ عالم قرار داشته و لذاانفجار بزرگ را آنطور که از «جائی دیگر» بتوان به آن نگریست نمی بینیم. انفجاربزرگ در تمامی پیرامون ما به وقوع پیوسته و ما را به این مطلب (پس و پیش شدن غریب عالم) که به نظر می‌رسد عالم در فشرده‌ترین حالت خود، بزرگترین چیزی است که ما

18. Peter Cook

می‌توانیم ببینیم، راهنمائی می‌کند. وضع ما شبیه آن سوسکی است که در نان کشمشی در حال انبساط در تنور، قرار گرفته است. کشمش‌ها معرف کهکشان‌های دیگرند که در تمامی جهات از ما دور می‌شوند.

ما یا هرگونه سوسک‌های دیگر، با این فریب که در مرکز مردهٔ عالم رو به انبساط قرار داریم، گرفتاریم.

بعد از آنکه انبساط پایان یافته و انقباض شروع شود، چه اتفاق می‌افتد؟ به‌طور کلی می‌توان گفت مثل اینست که فیلمی را تحت نام انفجار بزرگ و حالت انبساط به عقب برگردانیم. کهکشان‌ها به طرف یکدیگر حرکت کرده و نور آنها به جای تغییر مکان قرمز در وضعیت تغییر مکان آبی دیده خواهند شد. انرژی رادیوئی $3K^{\circ}$ که در فضا پخش شده‌اند، مجدداً به حالتی «گداخته» درمی‌آیند. سرانجام کهکشان‌ها در یک تجمع بزرگ اختران، درهم می‌جوشند. از آنجا که فواصل بین اختران بسیار زیاد است، حتیٰ تحت چنین شرایطی با یکدیگر برخورد ننموده و در عوض در حرارت متمرکز کنندهٔ تخریب، بخار خواهند شد. مدتها قبل از فرا رسیدن این مرحله، هرگونه آثار حیات در گسترهٔ عالم، خاموش خواهد شد. نهایتاً عالم به صورت مقادیری تشعشع کاهنده که سیاه‌چال‌ها، چون دانه‌های فلفل در آن می‌مانند تغییر شکل داده که درچنین وضعی به استناد ساده‌ترین نظریه، تبدیل به یک نقطهٔ نهائی یانقطهٔ «غربت»[۲۰] خواهد شد.

سهولت عالم ساده تقریباً چیزی است باشکوه. چون انرژی آن مختص تمامی سرگذشت آن می باشد، به نحوی کامل با تعریف خودش، قابل نفوذ و انتشار است. همان کمیت (انرژی) ممکن است طبیعت

20. Singularity

اتمها و نیروهای مؤثر در اتمها و بین اتمی‌اش را به نحوی مشخص نماید که در عالمی با انرژی مادی متفاوت به نحوی ظریف یا ریشه‌ای متفاوت باشد.

دانشِ ارتباط بین انرژی کلی فضا زمان و ذرات و نیروهای عالم هنوز بسیار ناقص بوده و نمی‌توان هیچ چیز مُعینی در آن مورد عنوان ساخت.

این حقیقت که کمیتی منفرد، یعنی انرژی، کل سرگذشت و تاریخ فضا زمان عالم ساده را بیان می‌دارد، بدین مفهوم است که، از دیدگاه ریاضی، عالم مثل نقطه‌ای تنها بر قطعه‌ای کاغذ می باشد.

تمامی آنچه بر تاریخ عالم گذشته و هر آنچه در آینده و فواصل دوردست آن به وقوع می پیوندد، در آن مفهوم می‌گنجد. اگر از دیدگاه مسافرانی که با سرعت نور حرکت می‌کنند بر فضا بنگریم، فضای عالم اساساً نقطه مانند است. آنها می‌توانند فضا را به زمان صفر منتقل کنند، زیرا در چنان سرعتی زمان متوقف شده و کل کائنات از هر جهتی و کاملاً به سمت جلو تقلیل می یابد. همانطور که قبلاً هم متذکر شده‌ام، فقط به سبب وجود مادهٔ کند شونده ــ انرژی منجمدــ است که زمان و فضای قابل اندازه گیری بوجود آمده و درخانهٔ کیهانی ما، مقداری جا هم به ما داده می‌شود تا شلاق‌ها و کهکشان‌های خود را به جنبش درآوریم.

این مطلب که دورهٔ خالص عالم صفر است، امری نامحتمل نیست. زمانی‌که صرف انبساط عالم شده است، می‌تواند در دورهٔ بازیابی، همچون «زمان منفی» تلقی گردد. بعضی از نظریه‌پردازان دربارهٔ احتمال بازگشت زمان به عقب در خلال دوران انقباض به طرف **غوغای بزرگ**، اندیشه می‌کنند. اگر چنین باشد، آنطور که مایکل بری[۲۱] از دانشگاه

21. Michael Berry

بریستول[۲۲] آنرا بیان می‌دارد: «نور توسط اختران جذب شده واز چشمها خارج می‌شود.». افراط‌آمیزتر از این، عقیدهٔ جان تایلر[۲۳] از دانشکدهٔ کینگ[۲۴] لندن است که می‌نویسد: مردگان از گورهای خود برخاسته، رشدی منفی را آغاز و نهایتاً به بطن مادران خود بازمی‌گردند. معکوس ساختن جهت آشنای زمان البته چیزی است که به سختی می‌توان بدان اعتبار بخشید و از طرفی نمی‌توان آن را از ذهن هم خارج نمود، زیرا هنوز نظریه‌پردازان به قدر کافی راجع به زمان نمی‌دانند، بخصوص که از زمان اینشتین، نه برای فلسفه که برای فیزیک خود مسأله‌ای شده است. راجر پن‌رُز از اکسفورد، بحثی پیرامون زمان معکوس کیهانی مطرح و می‌گوید که ثقل خودش، جهت زمان را با تمایل ضروری ماده در انباشته شدن تثبیت می‌کند.

جهت فعلی زمان در سمت بی‌نظمی رو به تزاید کیهانی است. مولکول‌های شکر که به‌طور تصادفی در فنجان چای ریخته می‌شوند، در مقایسه با بلورهای خالص شکر موقعیت ذاتی بعدی بلورها را نشان می‌دهند (چیزی که با استفاده از بلورهای شکر مشاهده نمی‌شود ــ م). زندگی و دیگر مجموعه‌ها به نحوی موضعی موجب افزایش نظم می‌شوند (مثلاً در تبلور مجدد شکر) امّا اینکار منحصراً به قیمت ایجاد افزایش بی‌نظمی یا «آنتروپی»[۲۵] در جائی دیگر تمام می‌شود. در قلمرو ثقل، علیرغم ظواهر آن مادهٔ انباشته شده در اختران، از مادهٔ پخش شده در فضا بی‌نظم‌تر است.

یک سیاه‌چال (که عادتاً دیگر بدان متوسل می‌شویم) تمامی نظم

22. University of Bristol
23. John Taylor
24. King's Kolleye
25. Entropy

و اطلاعات اجسامی را که در آن سقوط می‌کنند، نابود ساخته و ماده را کاملاً بی‌هویت می‌نماید.

پن‌رُز استدلال می‌کند که تمایل به انباشته شدن ثقل معرّف اینست که ماده می‌تواند در حال انبساط و یا انقباض باشد، بنابراین جهت زمان بلا تغییر باقی مانده و چنان است که ما اینک آنرا نظاره می‌کنیم. به عبارت دیگر: عالم واقعی، گوئی علیرغم عالم ساده، دقیقاً در حال تحول است.

درنتیجه، انقباض نمی‌تواند یک «رجعت» دقیق انبساط بوده و شرایط ایجاد **غوغای بزرگ**، بسیار پیچیده‌تر ازانفجاربزرگ خواهد بود.

فقدان تقارن ممکن است برای جلوگیری از بازگشت زمان به عقب کافی باشد. تقریباً همان‌طور که از نظر علمی عجیب بوده و علامت دیگری است دال بر اینکه هنوز باید خصوصیت واقعی زمان را دریابیم، ارتباط زمان با انرژی نیز همان قدر حیرت‌آور است. در عالم ساده، انرژی آرمیدهٔ خورشید چیزی در حدود ٦ هزارم ثانیهٔ زمان کیهانی است. و این آن چیزی است که با گفتن زمان به مفهومی عمیق‌تر نوعی انرژی است و نه چیز دیگر ــ در ذهن خود داشتم.

آنطور که بعضی اخترشناسان پیشگام تصور می‌کنند، اگر عالم واقعاً برای همیشه دوام داشته باشد، ارتباط بین اجزاء آن ضعیف خواهد بود.

۱۸

منتخبی از سرگذشت‌ها

نظریه‌پردازان مطمئن نیستند که آیا عالم مضمحل می‌شود یا خیر:
عالم ساده، «مسدود» و نابود شدنی است.
عالم «باز» برای ابد میل به انبساط دارد.
فضا در عوالم «باز» و «مسدود» به‌طوری متفاوت منحنی می‌شود.
هر نیروی غیر منتظرهٔ کیهانی می‌تواند پیش گوئی‌ها را تغییر دهد.

* * *

آلبرت اینشتین، عالم ساده‌ای را که هم‌اکنون شرحش را دادم، خراب کرد. در مقاله‌ای که در ۱۹۱۷ تحت عنوان «**ملاحظات کیهان‌شناختی پیرامون نظریهٔ نسبیت عام**»، منتشر و در معادلات خود یک «ثابت عالمگیر» را معرفی ساخت. بعدها آنرا «ثابت کیهان‌شناختی» نامیدند و در فیزیک به معنی نیروئی کاملاً ناشناخته (از نظر علم) است که متقابلاً بر اثر ثقلِ بین کهکشانها تأثیر گذاشته و نوعی ماشین ضد ثقل کیهانی است. (خود) اینشتین دربارهٔ ثابت فوق چنین گفته است: «این تعبیری است لازم و فقط به این منظور که پخش شبه‌ساکن[1] ماده را، آنسان که ضرورتِ واقعیت سرعت‌های پائین اختران ایجاب می‌کند، میسّر سازد.»

سرعت پائین اختران واقعیتی است؛ امّا آنچه اینشتین دربارهٔ آن

1. Quasi-static

چیزی نمی‌دانست سرعت بالای کهکشان‌های دوردست بود. تا سال ۱۹۱۵ با مطالعات وستوسلیفر[۲] اخترشناس معلوم شده بود که مقدار زیادی از سحابی‌های بیرونی در حال دور شدن از ما می باشند، امّا حتیٰ (هنوز) معلوم نبود که آنها درواقع کهکشان‌هائی عظیم شبیه راه شیری می باشند.

تا اواخر دههٔ ۱۹۲۰ هنوز عقیدهٔ هوبل پذیرفته نشده بود. به موجب نظر هوبل، کهکشان‌ها همه‌شان در حال دور شدن‌اند و هرچه دورتر باشند، سریع‌تر دور می‌شوند. یک کشیش تیزهوش بلژیکی به نام ژرژ لومتر[۳] از آنچه هوبل می‌گفت آگاه بود و تا سال ۱۹۲۷ با استفاده از نسبیت عام می‌کوشید عالمی در حال انفجار را بیان دارد.

با استنباط ما این یک عالم کاملاً ساده نبود، امّا الکساندر فریدمان[۴] روسی مدتها در انتظار آن بود، ولی لومتر **انفجار بزرگ** را به نحوی قطعی، در دستور کار علم قرار داد.

دو دههٔ سالهای ۱۹۳۰ تا ۱۹۵۰ اوج نمایشی بود که نقش خداوند در آن بازی می‌شد. نظریه‌های فراوانی که غالباً دچار تغییر هم می‌شدند به منظور توضیح عوالم ممکنه آفریده شد و در بیشتر آنها **انفجار بزرگ** جائی را اشغال می‌کرد. امّا یک رقیب موجه نظریهٔ **انفجار بزرگ**، نظریهٔ **حالت پایدار**[۵] بود که در سال ۱۹۴۸ توسط هرمان باندی[۶]، توماس گُلد[۷] و فرد هویل[۸] پیشنهاد شد. آنها، این اکتشاف هوبل را، که عالم همه‌جا درحال انبساط است پذیرفته و معهذا درصدد ارائهٔ طرحی بودند که عالم را به نحوی غیر قابل تغییر و در «حالت پایدار» توضیح دهد و این کار را با توسّل به پیدایش ماده و کهکشان‌های جدید انجام دادند. به موجب

2. Vesto Slipher 3. Georges Lemaitre 4. Alexander Friedmann
5. Steady state 6. Herman Bondi 7. Thomas Gold 8. Fred Hoyle

این فرایند، فضاهائی که در اثر دور شدن کهکشان‌ها خالی می‌مانند، مجدداً انباشته می‌شوند. این نظریه برای آنان که از پاسخ دادن راجع به منشأ عالم همواره شانه خالی می‌کنند، دارای دلخوشی‌های فیلسوفانه‌ای بود، چه بر آن اساس عالم ابدی و از نظر وسعت نامحدود بود. و نیز بر طبق این نظریه، عالم در همه جا و از نظر همه کس کم و بیش یکسان بوده و با نگاه کردن به صحنهٔ گیتی نمی‌توان گفت که کجا و در چه زمانی قرار داریم.

انفجار بزرگ در برابر **حالت پایدار** با رقابتی شدید توسعه یافت و از نظر اخترشناسی، به جهت اینکه برای تداوم فنون و عقاید، حدی قایل است معقول به نظر می‌رسد. یکی از نتایج جانبی آن، آزمایش دقیق تاریخ عناصر شیمیائی و طرز تشکیل آنها در اختران می باشد که در تفسیر اوّلیهٔ **انفجاربزرگ** این موضوع در نظر گرفته نمی‌شد. در جریان این رقابت، کیهان‌شناسی از یک شاخهٔ نظریه بازی ریاضی، به علمی حقیقت‌یاب تبدیل شد.

تلسکوپ‌های بسیار حساس به منظور دستیابی به هرگونه تغییر در سرنوشت عالم، تا دوردست‌ها را کاویدند. هرچند که ظاهراً نظریهٔ **انفجار بزرگ** برنده به نظر می‌رسید. امّا نبرد شانه به شانه تا کشف انرژی رادیوئی $3K^{\circ}$ ادامه داشت. از این ضربت سختی که بر پیکر (نظریهٔ) **حالت پایدار** وارد شد، دیگر هرگز نتوانست به خود آید و (لذا) تنها رقیب سرسخت غیر اینشتینی از دور بازی خارج شد. **نظریهٔ حالت پایدار** تا سال ۱۹۶۸، (یعنی) بیست سال پس از تولدش، دیگر مرده بود.

عالم پایدار نیست. هرچند که نتیجهٔ مشاهدات از ساده بودن عالم به دور بود، معهذا همچون قضاوتی مشخص به کار گرفته شد. رادیو کهکشان‌ها و اخترنماهای دوردست مراحل اوّلیهٔ عالم، نسبت به آنهائی

که نزدیک اند بسیار متراکم‌تر بوده **وانفجاربزرگ** به صورت انرژی مایکروویو $3K^{\circ}$ در زمینهٔ عالم، در تمامی اطراف مشتعل می باشد.

(آنچه گفته شد) بدین معنیٰ نیست که پس باید دیدگاه اینشتینی موضوع درست باشد. مثل این می‌ماند که گفته شود، «حال که آشپز مرتکب جنایت نشده، پس پیشخدمت این کار را انجام داده است.». چنین می‌نماید که هنوز هیچکس طرحی بهتر و واقعی‌تر برای عالم ارائه ننموده است. معهذا مرگ نظریهٔ **حالت پایدار**، عملاً اخترشناسان کیهان‌شناخت اندیش را آزاد ساخت تا تلاش‌های خود را در جهت صحت دیدگاه اینشتینی یعنی عالم در حال انفجار، بیشتر و دقیق‌تر متمرکز سازند.

در اواخر دههٔ ۱۹۷۰ بدون هیچگونه تصمیم گیری اوّلیه ای، رقیبی جدید پا به میدان گذاشت. شمار اندکی از اخترشناسان در این تردیدند که با در نظر گرفتن مجموع جهات داستان تاکنون، عالم سادهٔ بیان شده توسط آن معادلاتی که موجب هراس اینشتین گردید، از عالمی که در آن زندگی می‌کنیم، تقریباً غیر قابل تشخیص است.

هر چیزی که به عالم آغاز شده با **انفجاربزرگ** مربوط می‌شود، در تمامی جهات به نحوی یکنواخت منبسط و تدریجاً کند می‌شود. سئوال اساسی اینست که آیا این انبساط آنقدر که موجب **غوغای بزرگ** گردد، کند خواهد شد یا خیر.

یکصد سال پس از تولد اینشتین مسألهٔ بزرگ کیهان‌شناسی همین است. با دیدگاه نظریهٔ اینشتین برداشت‌های ساده‌تر عالم می‌تواند با **انفجاربزرگ** آغاز و انبساط و برودت آن برای ابد و تا مدتها پس از احتراق آخرین ستاره و انفجار واپسین سیاه‌چال تداوم یابد. به هرحال، هنوز بیلیون‌ها سال وقت است تا آینده را نظاره کنیم. تفسیر سنتی قانون ثقل

اینست که «هرچه بالا می‌رود، باید پائین بیاید.». این تفسیر به‌طور موضعی بوسیلهٔ هواپیما تکذیب شده، و اخترشناسان اینک متحیرند که آیا از نظر کیهانی صحت آن پایدار خواهد ماند یا خیر. آیا کهکشان‌هائی که هم اکنون «بالا» رفته و از یکدیگر دور می‌شوند، سرانجام مجدداً «پائین» آمده و برخوردی مهیب پدید خواهند آورد؟ آیا عالم گداخته یا منجمد خواهد شد؟ این سئوالات هرچند نه کاملاً دقیق، امّا تقریباً شبیه این مسألهٔ فنی است که آیا عالم «باز» یا «مسدود» است. بگذارید تفاوت (این دو را) در فضای تابیدهٔ عالم به مقیاس وسیع، در مقابله با اثرات موضعی اخترانِ منفردش بیان کنیم. عالم ساده‌ای که جلوتر از این شرح داده شد، عالمی «مسدود» است. اگر پرتو لیزری بسیار نیرومندی را در فضای عالم «مسدود» پرتاب کنید، سرانجام می‌تواند متوجه پشت سرتان شده و کلهٔ شما را از پشت بسوزاند. بیلیون‌ها سال وقت لازم است تا بتوان چنین عالمی را درنوردید (شاید بیش از دوران عالم). این بوم رنگ[۹] کیهانی ویژگی خیره کنندهٔ فضای منحنی را نشان داده و تفاوتی نمی‌کند که پرتو لیزر به چه سمتی پرتاب شود.

توانائی نور را با این موضوع همراه ساخته و مدار کاملی از عالم بسازید که درک آن قدری در مورد توزیع کهکشان‌ها دشوارتر می‌شود. اگر کهکشان‌ها به سادگی، شبیه قطعات بمبی که در فضای از پیش موجود عادی پرتاب می‌شوند، بودند. در هر لحظه می‌شد برای عالم حدودی که به وسیلهٔ سریع‌ترین کهکشان‌ها مشخص می‌گردید، قائل شد، و منظرهٔ

9. Boomerang

۹. وسیلهٔ سرگرمی، متشکل از چوبی خمیده که پس از پرتاب به طرف پرتاب کننده باز می‌گردد. م

پیرامون این کهکشان‌ها با صحنهٔ اطراف کهکشان‌هائی که کندتر حرکت می‌کنند، کاملاً متفاوت می‌بود، و اخترشناسانی که بر مسیر مشتعل کهکشان‌ها و در امتداد خط حرکت آنها نگاه می‌کردند چیزی نمی‌دیدند زیرا هیچ کهکشانی در جلوی آنها وجود نمی‌داشت. امّا حتیٰ در میان کهکشان‌هائی که کندتر حرکت می‌کنند، تفاوت‌هائی مشاهده شده و در جلوی آنها کهکشان‌های کمتری نسبت به عقب‌شان دیده خواهد شد.

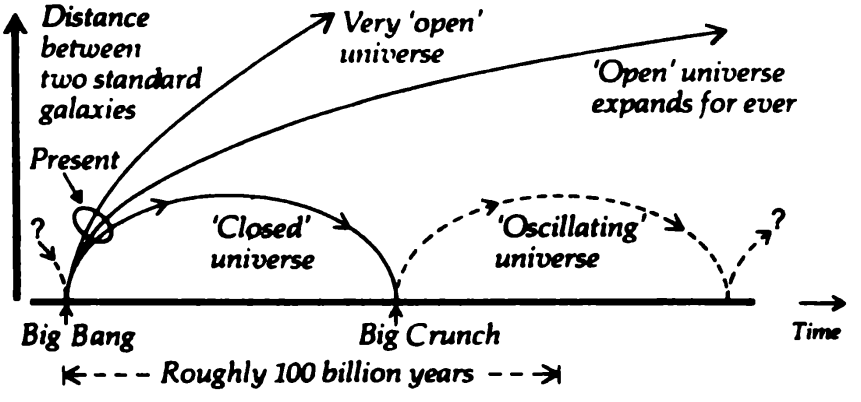
در قلمرو «محدود امّا بی‌پایان» عالم مسدود قضیه ابداً چنین نبوده و بدان معنیٰ حدودی برای عالم وجود ندارد. حتیٰ اگر شمار کهکشان‌ها نامحدود هم نباشد، تمامی کهکشان‌ها در تمام جهات دارای همسایگانی مساوی هستند. چطور چنین چیزی مقدور است؟ برای شروع، طرح سادهٔ قطعات بمب را به حال خود رها کرده و ذهن خود را به فضای در حال انبساط متمرکز می‌سازیم. کهکشان‌های دوردست که به نظر ما با سرعتی بسیار زیاد دور می‌شوند ترسیم کنندگان مسیر مشتعل (کهکشانی) نیستند. آنها به سرعت از ما دور می‌شوند، زیرا فضای وسیعی بین ما و آنان وجود دارد و لذا انبساط فضا بوجود آورندهٔ سرعت زیاد می‌گردد. اکنون فضانورد ما در پی تحقیق حدود عالم به سفری خیالی می‌پردازد.

او فاصله‌ای بیش از قطر محاسبه شدهٔ عالم را طی و هنوز هیچ تغییر وضعی مشاهده نمی‌کند و کهکشان‌ها فقط به راه خود، پیوسته ادامه می‌دهند. سرانجام او شروع به تشخیص برخی کهکشان‌ها می‌نماید، (زیرا) آنها را قبلاً از سمت مقابل‌شان دیده است. هرچند که او به سختی کوشیده است خط سیری ثابت را تعقیب کند، معهذا همچون پرتو نور دایره‌ای کامل را طی می‌نماید. پیچیدگی فضا زمان، عالم بسته را قادر می‌سازد که به روشی که در هندسهٔ معمولی غیرممکن می‌باشد، از پشت خود را تا کند. کهکشان‌های دوردست مستقر در جهات مقابل فضا بیش

از آنچه قابل تصور باشد به هم نزدیکند.

مکاشفهٔ نخستین اینشتین، مبتنی بر «مسدود» بودن عالم در چنین روالی بود. گفته می‌شود که یک عالم مسدود دارای انحناء «مثبت» فضا می باشد. (در چنین عالمی) نور همانگونه که در برابر جسمی عظیم نظیر خورشید (بدرون) خم می‌شود و ثقل متقابل کهکشان ها (و سایر اجزاء تشکیل دهندهٔ عالم) میل دارد آنها را به طرف یکدیگر و به سوی غوغای بزرگ براند. اما احتمال «انحنای منفی» هم وجود دارد و آن بیشتر شبیه وضعیت دستگاه گریز از مرکز، یعنی جائی که اجسام از مرکز به بیرون پرتاب می‌شوند، می باشد. در چنین عالمی نور به طرف بیرون خم شده و تمایلی به بازگشت به نقطهٔ حرکت خود نشان نمی‌دهد و کهکشان ها میل دارند که تا ابد به سفر خود ادامه دهند. عالمی که دارای انحناء منفی است «باز» نامیده شده و از عالم مسدود اساساً به دلیل نامحدود بودن دامنه و بی‌شمار بودن تعداد کهکشان ها متفاوت می باشد.

کسی که می‌خواهد در نقش خداوند ظاهر شود، هنوز باید با چیزی علاوه بر انحناء فضا دست و پنجه نرم کند و آن ثابت کیهان‌شناختی اینشتین است که معادل نیروئی اضافی و عالمگیر می باشد. پیشتر، آنرا «ماشین ضد ثقل کیهانی» نامیدم امّا اگر



می‌خواهید، این ثابت می‌تواند بجای تضاد با ثقل موجب تقویت آن گردد. می‌تواند به جانب «بیرون» یا «درون» عمل کند. این انتخاب‌ها احتمالات کیهانی را بغرنج می‌سازد. اگرچه یک عالم باز نامحدود با انحناء منفی فضا متمایل به انبساط ابدی است، معهذا اگر نیروئی به اندازهٔ کافی قدرتمند از درون به مقابلهٔ آن برخیزد، ناگزیر به تخریب خواهد گردید. یا اینکه به اندازهٔ معینی منقبض و مجدداً منبسط شده و ظهور غوغای بزرگ را به تأخیر می‌اندازد. به همین طریق، هنگامی‌که عالم محدود و مسدودی با انحناء مثبت فضا تمایل به تخریب دارد، چنانچه نیروئی به قدر کافی پرقدرت از برون به مصاف آن وارد شود به ناچار والی الابد منبسط می‌گردد. حالت جالبی به نام «عالم مردّد» وجود دارد که نیروی بیرونی درست متناسب (نیروی عالم) می‌باشد و در آن عالم منبسط شده، سپس کند و بالاخره انبساط آن متوقف و آنگاه تحت تأثیر نیروی بیرونی حرکت آن مجدداً آغاز و انبساط آن برای همیشه ادامه می‌یابد.

نسبیت‌دان‌های متعصب[10]، عالم ساده، محدود و مسدود را که مآلاً منجر به تخریب عالم می‌گردد ترجیح می‌دهند. آنها از ثابت کیهان‌شناختی و نیروی ناشناخته‌ای که (این ثابت) نمایندهٔ آن می‌باشد، متنفرند، هرچند که خود اینشتین هم از ابداع چنین چیزی متأسف بود. با اینهمه، آن نیرو نهایتاً امکان وجود دارد. و اگرچه قضاوت ظریفانه[11] کمک نیرومندی به تفکر نظریه‌پردازی می‌نماید، مطمئناً نمی‌تواند به صورت حَکَم نهائی در علوم اظهار وجود کند. درعین حال نظریه‌پردازان می‌توانند نواهای خود را در مورد انحناء و ثابت کیهان‌شناختی هم‌سو

10. Pure-minded relativists 11. Aesthetic Judgement

ساخته و تمامی عالم های با سرنوشت های متفاوت را که با دانسته های کنونی ما دربارهٔ عالم بی ارتباط نیست، توضیح دهند.

مطلب به نحو آزاردهنده ای بی‌نتیجه به نظر رسیده و سپس هنر معماری فعلی عالم را به صورتی متناسب منعکس می‌سازد. مسألهٔ تصمیم گیری در این مورد که آیا عالم در غوغائی بزرگ گداخته شده و یا در انبساطی بی پایان منجمد می‌شود، حتیٰ در سطحی نظریه‌پردازانه، دشوار است. وظیفهٔ اخترشناس عملی، که با نظارهٔ عالم درصدد حل مسأله می باشد، همچنان سهمگین باقی می‌ماند.

۱۹

قضاوت بر سرنوشت

اخترشناسان مطمئن نستند که آیا عالم نابود خواهد شد یا نه.
روش های متعددی وجود دارد که به موجب آنها ثقل ممکن است باعث توقف انبساط گردد
تمامی روش ها، دارای موانع عملی و فکری هستند.
به طور برابر، شواهد فعلی انبساطی بی پایان را تأیید می‌کند.
عالم رو به اضمحلال، می‌تواند موجب تولد عالمی جدید گردد.

* * *

برای تصمیم گرفتن اینکه آیا آسمان سقوط خواهد کرد یا نه، اخترشناسی دورهٔ ۱۹۸۰ کفایت می‌کند. مستقیم‌ترین طریقی که متوجه شویم آیا کهکشان‌ها در مسیر خود رو به توقفند یا نه، اینست که ببینیم به چه میزان سرعت خود را از دست می‌دهند. روشی نامستقیم‌تر، احتمال اندازه گیری انحناء فضا در مقیاسی وسیع می باشد. پس از آن نوبت به کوشش هائی می‌رسد که برای تخمین تراکم انرژی بخصوص انرژی آرمیده یا جرم، در عالم، صورت می‌گیرد. اگر (انرژی) به قدر کافی زیاد باشد، باید ثقل موجب توقف کهکشان‌ها و کشیدن آنان در یکدیگر شود.

مجدداً می‌توان پراکندگی کهکشان‌ها در فضا را، مطالعه و تراکم (انرژی) را استنباط نمود. بالاخره، مطالعات مربوط به فراوانی اتمهای مخصوص عالم که از روی آن اصولاً می‌توان تراکم انرژی انفجار بزرگ و از

آنرو سرنوشت عالم را پیش‌بینی نمود، یکی از غیرمستقیم‌ترین روش‌ها به شمار می‌رود. در عمل، حتیٰ مستقیم‌ترین روش‌های اصولی، گرفتار زنجیرهٔ استنباطات مختلف می‌شوند. دربارهٔ هریک از این روش‌ها، به موقع خود سخن خواهم گفت.

اندازه‌گیری آهستگی (قضاوت فعلی: حالت نوسانی) ــ که «پارامتر آهستگی»[1] خوانده می‌شود؛ این روش در اصل، با مشاهدهٔ موشکی که در راه خود به طرف فضا، در حال نبرد با ثقل زمین بوده و هنوز سرنوشت گریز به فضا یا سقوط آن به زمین نامعلوم است، تفاوت ناچیزی دارد. موضوع به قدر کافی ساده است، امّا نمی‌توانید هیچ کهکشانی که در حال کاهش سرعت باشد پیدا کنید؛ درعوض، بین سرعت مشاهده شدهٔ کهکشان دوردست و آنچه که در صورت نبود آهستگی، مورد توقع است، تفاوت‌هائی را می‌توانید بیابید. موضوع به نحو آزاردهنده‌ای بغرنج می‌شود، زیرا آهستگی سریع نیست و فواصل و دامنه‌های زمانی دربر گیرندهٔ (مرحلهٔ آهستگی ــ م) بسیار عظیم است. اندازه‌گیری سرعت یک کهکشان دوردست با استفاده از تغییر مکان قرمز داپلر به قدر کافی آسان است. مطلب اینست که در فواصل بزرگ، اخترشناسان معمولاً با **فرضِ فقدان آهستگی**، فاصلهٔ هر کهکشان را از روی تغییر مکان قرمز آن محاسبه می‌نمایند. اگر شما در پی یافتن آهستگی باشید، محتاج به روش مستقلی برای ارزیابی فواصل خواهید بود. بنابراین باید مجدداً متوجه روش ادوین هوبل گردید، که سرعت‌های کهکشان‌ها را اندازه گرفت و کشف کرد که چطور این سرعت‌ها با اضافه شدن فاصله زیاد می‌شوند. او خود اندامی فرضی را که مدام در حال بزرگ شدن

1. Decceleration Parameter

می‌باشد، در رفتار کهکشان‌ها متوجه شد. باید اینطور فرض کرد که کهکشان‌ها در همه‌جا یکسانند به‌طوری که مثلاً درخشان‌ترین کهکشانِ یک خوشهٔ دوردست کهکشانی، درست همانقدر نور می‌دهد که نزدیکترین کهکشان در خوشهٔ کهکشانی مجاور، نه بیشتر و نه کمتر. آنگاه می‌توان با توجه به درخشندگی آن کهکشان از زمین، فاصله‌اش را اندازه گرفت. حداقل دو تأثیر وجود دارد که ممکن است با اثر گذاشتن بر درخشندگی کهکشان موجب مغشوش شدن این روش گردد. یکی آنست که کهکشان‌های مستقر در فواصل دور به نحوی پراهمیت از کهکشان‌های مجاور جوان‌ترند، و دلیل آن زمانی است که برای رسیدن به نور آنها به ما، لازم است.

اگر کهکشان‌ها در مراحل اوّلیهٔ تحوّل خود، ذاتاً درخشان‌تر یا تاریک‌تر بودند، تخمین‌های مربوط به فاصله‌شان نمی‌توانست معتبر باشد. دیگری تأثیر عدسی کیهانی است که در روش بعدی تخمین سرنوشت عالم مؤثر و ممکن است کهکشان‌های دوردست را نزدیک‌تر و درخشان‌تر نشان بدهد.

اخترشناسان پیشتاز، بهترین تلاش‌های خود را انجام داده‌اند، امّا تاکنون دست‌آوردهای آنان برای اندازه‌گیری روند آهسته شدن چندان قابل اعتبار نبوده است. در ۱۹۶۸ چنین نتیجه‌گیری شد که کهکشان‌ها متوقف شده و سقوط می‌کنند. در سال ۱۹۷۶ توافق دیگری به دست آمد و به موجب آن ــ عالم، «باز» و درحال انبساط ابدی بود ــ هرچند که اخترشناسان چینی، از مخالفان عمدهٔ این وحدت نظر بودند.

تا سال ۱۹۷۸، در پایگاههای مشاهداتی بزرگ آمریکا دیدگاهها تغییر یافته و گروههای متعددی توافق داشتند که نهایتاً انبساط عالم ممکن است منجر به آنچنان آهستگی گردد که سریعاً آنرا منقبض نموده و

غوغای بزرگ را سبب شود. پرتوهای مخصوصی که از اخترنماهای بسیار دور خارج می‌شوند، در یکی از تجزیه و تحلیل‌های جک بالدوین[۲]، از دانشگاه کمبریج، مورد استعمال ظریفی پیدا کرده‌اند. امّا با وجود چنین برگه‌ای که در میان اخترشناسان دست به دست می‌شود، عاقلانه آن خواهد بود که حتیٰ تازه‌ترین نتایج، در حال حاضر با احتیاط تلقی شود.

انحناء فضا (هنوز بدون قضاوت) ــ خورشید مثل یک ذره‌بین عمل می‌کند. همانطور که در آزمایش مشهور نظریهٔ ثقلی اینشتین معلوم شد، خورشید نوری را که از کنار آن می‌گذرد منحرف و بدان وسیله موقعیت‌های اختران دورتر را به جلو می‌راند.

(یک عدسی دستی همان کار را انجام داده و مثلاً جوانب حشره را از هم دورتر ساخته و باعث بزرگ به نظر آمدن آن می‌شود). در تفسیر اینشتین این تأثیر عدسی، مربوط است به (تأثیر) فضای منحنی در مجاورت خورشید.

اگر عالم به‌طور کلی دارای انحناء مثبت ــ که به مفهوم عالم «مسدود» و اضمحلال محتمل نهائی است ــ باشد، آنگاه فضای تهی نیز باید همچون ذره‌بین رفتار کند. نتیجه آن خواهد بود که کهکشان‌های دوردست بزرگتر و روشنتر از آنچه هستند، به نظر خواهند رسید.

خطی از کهکشان‌های هم‌اندازه با درخشندگی یکسان را تصورکنید که با فواصل زیاد شونده از زمین دور می‌شوند. نخست زمینهٔ آنها عادی است یعنی: هرچه کهکشان‌ها دورتر باشند، کوچکتر و کمرنگ‌تر مشاهده می‌شوند. سپس در فاصله‌ای در حدود پنج هزار میلیون (۵×۱۰^۹) سال نوری تأثیر ذره‌بینی عالم مسدود (اگر ما مسکون در چنین عالمی

2. Jack Baldwin

باشیم) شروع به کار نموده و کهکشان‌های بسیار دور در خط کهکشانی مورد بحث به وسعت و روشنائی کهکشان‌های نزدیک به زمین به نظر می‌رسند. امّا فواصل مورد شمول، حتیٰ بزرگتر از بیشترین اندازه‌های روند آهسته شدن بوده و اینجا، نیز مشکلات فراوانی همراه تحول کهکشان‌ها پیدا می‌شوند. با این روش قضاوت بر سرنوشت عالم و اجزاء آن تاکنون موفقیتی بدست نیامده است.

تراکم عالم (قضاوت فعلی: عدم نابودی عالم) ــ در یک عالم متراکم با مقداری ماده و انرژی در هر مکعب سالِ نوری آن (یعنی مکعبی که یال آن یک سال نوری است ــ م)، اثر کلی متقابل ثقل که بر اجزاء آن (عالم) عمل می‌کند، میل به تغییر از انبساط به انقباض عالم دارد. اگر عالم کمتر متراکم باشد، سرعت کهکشان‌ها آنها را به جلو رانده و با توجّه به کاهش مستمر اثر متقابل ثقل، گریز کهکشان‌ها تا بی‌نهایت ادامه می‌یابد. با معیارهای زمینی تراکم قطعی بسیار اندک و براساس یکی از برآوردها، لازم است که (تراکمی) تقریباً معادل جرم کرهٔ زمین، در هر هزار مکعب سال نوری (حجمی بسیار وسیع) وجود داشته باشد تا نابودی عالم را باعث شود. امّا با معیارهای کیهانیِ دارای فضاهای تهی معین بین کهکشانی، این تراکمی است بسیار زیاد.

تراکم کهکشان‌های قابل رؤیت و اجزاء آنان تقریباً یک سی ام ($۱/۳۰$) آنچه مستلزم نابودی عالم است، می‌باشد، البته صرف‌نظر از آن نیروی «غیرمنتظرهٔ»* مرموزی که ممکن است به کمکشان بشتابد. اجزائی غیرقابل رؤیت به شکل گاز نازک بین کهکشانی در تراکم عالم وجود دارند، امّا نمی‌توانند آنقدر تراکم را بالا ببرند که مانع انبساط ابدی

* منظور ثابت کیهان‌شناختی است که در فصل قبل از آن صحبت شد. م

بشوند. این مطلب امکان دیگری است برای آنهائی که عالم را مسدود و با سیاه‌چال‌های پراکنده در گسترهٔ فضا فرض کرده و بر دستجات ذرات نوترینو[3] که فضا را اشغال نموده‌اند جرمی قائلند، معمولاً اینطور فرض می‌شود که این ذرات (نوترینوها) فاقد جرمند. احتمالاً نویدبخش‌ترین نشانهٔ «جرم مفقوده»، چنانچه هم‌اکنون بیان شد از گروههای کهکشانی بدست می‌آید.

کهکشان‌های مجتمع (قضاوت فعلی: عدم اضمحلال عالم) ــ بیان پیشین مبتنی بر ساده بودن عالم به نحوی مشخص و یکنواخت هنگامی درست است که بخواهیم آنرا در مجموعه‌های کهکشانی ارائه کنیم. در مجاورت ما، (عالم) به طرزی ساده غیریکنواخت است یعنی ما بر توده‌ای از ماده در ناحیه‌ای از فضا و تحت سیطرهٔ مادهٔ آتشین عظیمی به نام خورشید قرار گرفته‌ایم. محیط ستاره‌ای، کهکشانی همچون راه شیری ما، نسبت به فضاهای تاریک بین کهکشانی بسیار متفاوت است. بنابراین، عالم به‌طور موضعی، درواقع بسیار متلاطم می‌باشد. در اواخر دههٔ سالهای ۱۹۷۰، گروهی به رهبری کیهان‌شناسی به نام جیمز پیبلز[4] (متولد کانادا)، در دانشگاه پرینستون، انتشار کهکشان‌های عالم را مطالعه نمودند. در ابتدا کهکشان‌ها به‌طور کاملاً تصادفی به نظر می‌آیند، گوئی خداوند قلم‌موی نقاشی خود را به تکان درآورده، و اجازه داده است قطراتی از مادهٔ درخشان (نقاشی اش) به‌طور دلخواه پراکنده شود.

مطالعهٔ دقیق‌تر سلسله مراتب روشن کهکشان‌هائی را که به صورت خوشه‌های کهکشانی، و خوشه‌هائی را که به شکل اَبَرخوشه‌ها، مجتمع شده‌اند، نشان می‌دهد. نتیجهٔ کاملاً ساده‌ای از تجزیه و

3. Neutrino 4. James Peebles

تحلیل‌های پیبلز و همکارانش که دلیل غیرمستقیمی بر تراکم مادهٔ عالم می‌باشد، بدست آمده است. آنها دریافتند که در عالم واقعی، فواصل کهکشانی خوشه‌ها تا ۶۰ میلیون سال نوری هم ممکن است از هم دور شوند. آنها خوشه‌ها را در مُدلی تقلیدی از عالم به کمک رایانه تشکیل و متوجه شدند که برای بازسازی آنچه قبلاً (در عالم واقع) مشاهده شده است، کهکشان‌ها را باید بسیار عظیم‌تر از آنچه معمولاً تصور می‌شد، فرض کنند ــ تقریباً به قدر کفایت عظیم امّا نه آنچنان که موجب توقف انبساط عالم گردد. مسأله اینست که چرا کهکشان‌ها، از آنچه که باید باشند، با معیارهای متداول، سنگین‌تر به نظر می‌رسند.

هیدروژن سنگین (قضاوت فعلی: عدم اضمحلال عالم) ــ نظریهٔ ایجاد سبکترین عناصر در **انفجار بزرگ**، مرتبط است با آن نوع فیزیک هسته‌ای که بر بنیادی درست، پی‌ریزی شده باشد. عناصر اصلی، معمولاً هیدروژن و هلیوم‌اند، امّا گاهی مقدار قابل ملاحظه‌ای هیدروژن سنگین (دوتریوم) نیز در پهنهٔ عالم وجود دارد که تقریباً به‌طور اساسی، در **انفجار بزرگ** تولید شده‌اند. حال، اگر در زمان **انفجار بزرگ**، عالم خیلی متراکم می‌بود، پس مقدار هیدروژن سنگین باید بسیار کمتر از آنچه مشاهده می‌شود، باشد ــ (زیرا) برای تولید هلیوم بیشتر باید سوخته باشد.

محاسبات کاملاً دقیق به نظر رسیده و بازگو کنندهٔ اینست که تراکم عالم از زمان **انفجار بزرگ** به بعد، در مقایسه با سرعت انبساطی که برای نابودی آن (عالم) لازم است، بسیار پائین بوده است.

هرچند که این استدلال ممکن است گاهی دور از ذهن به نظر برسد، امّا برخی کارشناسان، آنرا همچون دلیل نیرومندی برای سرنوشت عالم ملاحظه می‌کنند، زیرا مقدار متناسبی از هیدروژن سنگین فراوان را مد نظر قرار داده و موجد بحثی دقیق و اغواکننده می‌گردند. امّا نظریهٔ انفجار

بزرگ می‌تواند نظریه‌ای ناقص به حساب آید.

اظهارنظرهای متناقض در مورد سرنوشت کهکشان‌ها، به اشکالات موجود علمی ارتباط پیدا می‌کند. آن کیهان‌شناسانی که بنا به گفتهٔ مارتین ریز[5] «بخاطر ترس باطنی از برخوردهای فضائی، عالم مسدود را ترجیح می‌دهند»، یقیناً عیب آن را باور ندارند. اینک آیا مسأله به چندین دههٔ دیگر کشیده شود و یا با کشف مهیجی ــ قابل مقایسه با انرژی رادیوئی $3K^{\circ}$ کیهان ــ مشخص گردد، موضوعی است که در آینده معلوم می‌شود. یک پیشرفت قابل ملاحظهٔ نظریه‌پردازانه، ظهور عالم جزئی «ثابت کیهان‌شناختی» به طریقی کاملاً غیر منتظره است ــ نکته‌ای که مجدداً به آن خواهیم پرداخت.

هرچند که آینده عالم هنوز مطلبی قابل بحث است، اما به نظر می‌رسد که منشأ عالم و تاریخ آن تاکنون، هم از نظر جزئیات تکاملی و هم از دیدگاه معادلات اینشتین به خوبی توضیح داده شده باشد. طی نیم قرن، نظریه‌پردازان و مشاهده کنندگان، استنباط ما را دربارهٔ مکان زندگی ما در گیتی، چنان متحول ساخته‌اند که تا حدودی با انقلاب پیشینی که از کپرنیک تا نیوتن رخ داد، رقابت می‌کند.

قبل از انفجار بزرگ چه وضعی بود؟ با شالوده‌ای صرفاً منطقی، نباید چنین سئوالی مطرح شود. اگر زمان با انفجار بزرگ آغاز شد، واژهٔ «قبل» بی‌معنیٰ است. اما تصور انسان به منطق محدود نمی‌شود و طرح چنین سئوالی کاملاً طبیعی است. درواقع این سئوال نقطهٔ اتصال تمامی افکار علمی، فلسفی و مذهبی است.

اگر واضح‌تر سخن گفته باشیم، آیاخداوند فقط گفت «بگذار

5. Martin Rees

روشنایی باشد» (به مفهوم اشعهٔ گاما) و انفجار بزرگ در پی آن به وقوع پیوست؟ یا اینکه انرژی از «جائی دیگر» آمد؟ مثلِ (واژهٔ) «قبل» (عبارت) «جائی دیگر»، نیز معنی دقیقی ندارد، معهذا همهٔ ما مقصود این سئوال را درمی یابیم.

حتیٰ کیهان‌شناسی که کمترین توجه را به مسائل غیرعملی داشته باشد، باز هم، گاهی با این سئوال گیج و مبهوت می‌شود، زیرا انفجار بزرگ چنان کورهٔ احتراقی بود که ممکن است بقایای اطلاعات مربوط به «گذشتگانِ» تمامی آن انرژی را نابود ساخته باشد. اینکه انرژی انفجار بزرگ از «کجا» آمد، همچون محتویات سیاه‌چال مطلبی نامعلوم است. تحقیق پیرامون «قبل» ازانفجار بزرگ ممکن است نامحتمل باشد، زیرا هیچ روش متداول علمی نمی‌تواند در جستجوی چنین برگه‌ای باشد، مگر اینکه پدیدهٔ روشن کنندهٔ جدیدی که بقایای این دگرگونی بوده و اطلاعاتی از آن کورهٔ بهت‌آور همراه داشته باشد، به منصهٔ ظهور برسد.

یک راه حل مسأله با استفاده از خود آن پیشنهاد می‌شود. گر عالم ما، عالمی ساده یا چیزی نظیر آنست، مآلاً باید در غوغائی بزرگ دچار اضمحلال مجدد شود؛ آنگاه به سهولت کامل می‌توانید تولد عالمی جدید را از درون خاکسترهای عالم (کهنه ــ م)، با انفجار بزرگ جدیدی تصور نموده و این عمل الیٰ غیرالنهایه تکرار شود. موانع فنی در سر راه یک چنین عالم تکرار شونده‌ای (یو-یو)[6] است، امّا مقبولیت قابل توجیهی، نیز برای آن وجود دارد. کمترین فایدهٔ آن اینست که به ذهن های کنجکاو سرنخی می‌دهد مبنی بر اینکه سئوال «قبل» از(انفجار بزرگ) چه پیش آمده است، ممکن است کاملاً غیر قابل جواب نباشد. با اینهمه پاسخ این سئوال

6. Yo-Yo universe

ممکن است «هیچ» باشد. آنطور که جان ویلر[7] اظهار داشته است، ساختن عالمی ساده به مفهومی که انرژی به کار رفته در تکوین آن صرف اضمحلال آن بشود، هیچ ارزشی ندارد. عوالم قابل درک ناچیز و عالم ما یکی از شمار عالم های متعددی است که به طور خودبخود، ظاهر می‌شوند.

تظاهر کردن به اینکه عالم مذهبی در این حس کنجکاویِ پیرامون انتظام گیتی دخالت ندارد، بیهوده خواهد بود. در جلوی من نوشته های یک روحانی کاتولیک که آشکارا از انبساط نامحدود عالم پشتیبانی نموده و «اعتقاد بوجود خالق و خلقت یک باره و ابدی» دارد، قرار گرفته است.

هندوها، بودائی ها، مارکسیست ها و بسیاری از ملحدین، عالم تکرار شونده (یو-یو) را ترجیح می‌دهند. شرقی ها به سبب اینکه (چنین عالمی) با اعتقادشان مبنی بر دوره های بی پایان (حیات) و دیگران به این جهت که به خود می‌گویند، این (عالم)، مشکل خلقت اوّلیه را تا حدودی بیرون از دامنهٔ دید حل کرده است، به آن نظر مساعد دارند این ترجیحات، البته در جوار ارزیابی علمی مسأله قرار دارد، امّا من بدان علّت به ذکر آنها پرداختم که شور و اشتیاق دانشمندان را در پیشگوئی آیندهٔ بلندمدت عالم نشان دهم. مذهب تحت چنین عنوانی وارد این بازی نمی‌شود، امّا شخص مذهبی ای که در پی یافتن معنی زندگی است، یقیناً در آن دخالت می‌کند.

7 John Wheeler

۲۰

دیدگاه نامناسب

اینشتین، در مذهب و سیاست «میانه‌رو» بود.
از نظر علمی، دربارهٔ پیوستگی در طبیعت، متعصب بود.
فیزیک اتمی مبتنی بر عدم پیوستگی در طبیعت است.
اینشتین نمی‌توانست «نایقینی» فیزیک اتمی را تحمل کند.
عقاید او (اینشتین) از جریان اکتشافی عمده‌ای، اشتقاق یافت.

* * *

آلبرت اینشتین بدون پیوند با هیچگونه مذهبی، تمایلی مذهبی نشان می‌داد. گفته‌های اندیشمندانه‌اش دربارهٔ **خداوند**، «**ذات قدیم**»، منعکس کنندهٔ احترام عمیق او برای طبیعت است. او نکته‌نظرهای موجز خود را طی تلگرامی به روزنامه‌نگاری یهودی در سال ۱۹۲۹ (چنین) بیان داشت: «من به **خدای اسپینوزا**[1]، که خود را در توازن هر آنچه موجود است، آشکار می‌سازد معتقدم، امّا به **خدای** ذیعلاقه در سرنوشت و رفتار انسان‌ها اعتقادی ندارم.».

با روخ اسپینوزا عدسی ساز و فیلسوفی یهودی بود که اعتقاد داشت خداوند و عالم مادی غیر قابل انفکاکند. او اندیشه‌های انسانی ما را همچون پاره‌های اندیشهٔ خداوندی می‌دید (و می‌گفت) هرچه بهتر به

1. Baruch Spinoza

طرزکار عالم پی ببرید به خداوند نزدیکتر می‌شوید، و اظهار می‌داشت که «طبیعت اندیشه اقتضا می‌کند که اجسام را از دیدگاه بدون زمانِ معین استنباط کنیم، (sub specie aeternitatis)».

نوشته‌های اسپینوزا در انتظار اقدام تهورآمیز فیزیک و کیهان‌شناسی جدید بود و از اینرو احترامی که اینشتین برای بدعت‌گذار قرن هفدهم (منظور اسپینوزاست ــ م) قائل بود، غیر قابل تعجب می باشد. معهذا همین تدیّن ملایم هم در نهایت برای اینشتینِ فیزیکدان به صورت سنگ لغزنده‌ای درآمد.

نظریات اینشتین وسیعاً مورد رقابت قرار گرفت. یک فیزیکدان نازی، کار اینشتین را «نظریه‌های وصله‌کاری شده‌ای، متشکل از مقداری علوم قدیمه و اضافات دلبخواه» نامید. نظریهٔ «جهودی» نسبیت، در آلمان هیتلری رسماً مردود اعلام گردید.

رهبران مذهبی سرسخت که از شکست کلیسا در موارد گالیله و داروین هیچ درسی نیاموخته بودند، اینشتین را مورد حمله قرار دادند. وقتی یک کاردینال آمریکائی اظهار داشت که نسبیت باعث ایجاد «تردیدی عالمگیر دربارهٔ خداوند و خلقت الهی» گردیده است، مورد حمایت واتیکان قرار گرفت. و آن روزنامه‌نگار یهودی‌که اینشتین تلگرام معروف خود دربارهٔ اسپینوزا را برایش فرستاده بود، او را متهم به الحاد نمود. در اتحاد جماهیر شوروی دیدگاههای اینشتین تا بعد از مرگ استالین کاملاً مورد قبول نبود و مثلاً **دائرةالمعارف شوروی**[۲] در سال ۱۹۲۵ اظهار نظر کرده بود که نسبیت از نکته نظر ماتریالیسم دیالکتیک غیر قابل قبول می باشد.

2. Soviet Encyclopaedia

تضاد غیر قابل درکی که در اثر عقاید اینشتین ظاهر شد، نشانهٔ اینست که امحاء منازعهٔ قدیمی بین تحقیق علمی و تعصب هنوز بسیار دور است. اگر او (اینشتین) در زمان یا مکان دیگری زندگی کرده بود، به سهولت امکان داشت که در معرض مخاطرهٔ مرگ در اردوگاه کار اجباری، یا بیمارستان روانی قرار گیرد. طبق معمول (آن زمان) او به همراه بسیاری از تواناترین معاصران خود، به منظور تقویت جبههٔ مقابل هیتلر از اروپای فاشیست گریخت. نازی‌ها با بحث مکرر پیرامون یهودیت اینشتین او را به مظهر امید و غرور یهودیان جفا کشیده تبدیل ساختند. سیدنی دِرل[3] از دانشگاه استانفورد از تجربهٔ خود در مورد جوانان یهودی آمریکا و جاهای دیگر که با الهام از نمونهٔ اینشتین می‌کوشیدند خود را دانشمند سازند، با من سخن گفت و امروزه بسیاری از دانشمندان پیشتاز جهان، اصلاً یهودیند.

شرکت اینشتین در رها ساختن انرژی هسته‌ای بر روی زمین، برای این (مردِ) آرامش‌طلب پیشین دردناک بود.

در خلال جنگ جهانی اوّل و در برلین، اینشتین جوان، با کمال شجاعت دست به امضاء یک «بیانیهٔ» ضد جنگ «به اروپائیان» زد و پس از آن خویشتن را در کار خویش مدفون ساخت. درحالیکه مردان جوان اروپائی یکدیگر را در جبهه‌ها به مسلسل می‌بستند، او به نقطهٔ اوج نظریهٔ ثقل خود رسید. آنطور که خود به دوستی نوشت: «من به آرامی مطالعات و اندیشه‌های صلح‌جویانهٔ خود را دنبال و فقط احساس تأسف و انزجار می‌نمایم.».

قبل از فرا رسیدن سال ۱۹۳۹ اینشتین به عنوان پناهنده‌ای که از دست نازی‌ها گریخته بود، در آمریکا زندگی می‌کند. در برلین،

3. Sidney Drell

دانشمندان شکافت اورانیوم را تازه کشف کرده و این کار کاملاً تصادفی و در بدترین لحظهٔ ممکن صورت گرفته بود. فیزیکدانان هسته‌ای، همه جا سریعاً، هم در پی احتمال دست‌یابی به بمب اورانیوم، و هم در اندیشهٔ نتایج وحشتناک چنین بمبی اگر نخست در دست هیتلر قرار می‌گرفت، بودند. مسأله این بود که دولت‌های غیر از آلمان را که مشغول مسائل سیاسی و نظامی زمان بودند، وادار به جدی بودن «بمب اتمی» بنمایند و اینشتین به عنوان دانشمند برگزیده‌ای که مطلب را برای رئیس جمهور ایالات متحده بیان کند، انتخاب شد.

در اوت ۱۹۳۹ نامه‌ای به فرانکلین روزولت را امضاء و توجه رئیس جمهور را به احتمال «بمب‌های بسیار نیرومند» جلب کرد و در مورد علاقهٔ آلمان نسبت به ذخایر اورانیوم به او هشدار داد. این نامه که تأکیدی بر پافشاری‌های دیگران بود، تا حدودی مؤثر واقع شد. روزولت گفت: «این مطلب مستلزم عمل است». حتیٰ باز هم در سال ۱۹۴۰ به‌ناچار نامه‌های بیشتری دربارهٔ پی‌گیری موضوع به دولت آمریکا نوشت. خدمت جنگی خود او، مشاورت در اختراعات نظامی نیروی دریائی آمریکا بود. امّا اینشتین هرگز به اسارت نظامی‌گری (میلیتاریسم) درنیامد.

در مارس ۱۹۴۵، دو سه هفته قبل از مرگ روزولت، مجدداً نامه‌ای مبتنی بر معرفی لئوسیلارد[۴] طراح نامهٔ سال ۱۹۳۹ به او نوشت.

4. Leo Szilard

۴. فیزیکدان مجاری‌الاصل که به آمریکا گریخت و از فعالان برجستهٔ نیروی هسته‌ای و در عین حال مخالف کاربرد مخرب این نیرو بود. قبل از پایان جنگ جهانی دوم مورد سوءظن و ایذاء مقامات آمریکائی قرار گرفت و مخالف استعمال بمب در ژاپن به منظور ختم جنگ بود. ماهنامهٔ Discover در شمارهٔ اوت ۱۹۸۵ خود گزارش جالبی دربارهٔ او تهیه کرده است که توسط اینجانب به فارسی ترجمه و محتملاً منتشر خواهد شد. م

سیلارد، مصرانه کنترل بین‌المللی بر سلاح‌های هسته‌ای را از رئیس جمهوری درخواست می‌کرد.

آنطور که مورخین رسمی آمریکا به سادگی نوشته‌اند: «در این زمان هیچ اتفاقی رخ نداد.». اینشتین آنقدر زنده ماند که آزمایشات مربوط به بمب هیدروژنی را که در مقایسه با بمب اتمی انرژی (mc^2) بسیار عظیم‌تری رها می‌ساخت، در اوائل سالهای دهه ۱۹۵۰ ببیند. بنابراین مردی که موجب روشنائی جهان شده بود، زندگی اش در سایهٔ ابر قارچ (اتمی) پایان یافت. دور روز قبل از مرگش در سال ۱۹۵۵، اینشتین بیانیه‌ای را که بوسیلهٔ برتراند راسل تهیه شده بود امضاء کرد. این بیانیه اینطور پایان می یافت:

«ما به عنوان انسانها، از انسانها استدعا می‌کنیم: انسانیت خود را بخاطر آورده و بقیه را فراموش کنید. اگر بتوانید چنین کنید، راه به سوی بهشت جدیدی گشوده است، و اگر نتوانید خطر نابودی عالمگیری فراراهتان قرار دارد.»

بنابراین، اینشتین در میان امواج خشمگین زندگی قرن بیستم، همچون پیامبر خستگی ناپذیر تعقل، به اینسو و آنسو پرتاب شد. تقویت متقابل علوم و آزادی اندیشه، موجب شکل دادن سیاست جهان نوین شده است، اگرچه وقتی که اعتبارات تحقیقاتی مورد بررسی قرار می‌گیرد، ندرتاً ذکری از این موضوع به میان می‌آید. نامناسب بودن یک دیدگاه (از نظر دیگران ــ م)، مجوزی برای ترک عقیده‌نیست، بلکه چارهٔ منحصر به فرد در مقابله با ویروس حرص و ولع می باشد. به عقیدهٔ من، این تصادفی نیست که یکی از برجسته‌ترین نظریه‌پردازان نسبیت، یعنی آندره ساخارف[5]، به صورت رهبر مخالفان در اتحاد شوروی درآمده است.

5. Andrei Sakharov

اگر اصولاً بتوان به تجزیه و تحلیل نبوغ پرداخت، به نظر می‌رسد که نبوغ اینشتین ترکیبی از نمونه‌های کاملاً عادی (نبوغ) بوده باشد. او نسبت به عقاید متداول که با آموزش اجباری مدارس آن روز تأثیر بدی در اذهان باقی می‌گذاشت، تردیدی معقول نشان می‌داد، و با کنجکاوی شدید کودکانهٔ خود نسبت به کارهای طبیعت متحیر و استنباط بسیار خوبی از آن اعمال داشت. او با دیدن و نه حرف زدن می‌اندیشید.

به عنوان یک فیزیکدان، ریاضیاتِ اینشتین نه ضعیف بود و نه برجستگی ویژه‌ای داشت؛ او معمّاهای ریاضی لذّت می برد امّا به حساب بی‌توجه بود. او مردی درون‌گرا و برایش راحت‌تر بود که با خویشتن خویش اندیشه کند تا همراه دیگران.

اینشتین، هرگز آرام نگرفت و با مسائلی که دیگران رها ساخته بودند، درآویخت و آنگاه که کار به اشکال برمی‌خورد تسلیم نگردیده، و به سئوالات آسان‌تر رو نمی‌آورد. بسیاری از مردم و بویژه دانشمندان به درجات مختلف دارای چنین خصوصیاتی هستند.

این ویژگی‌ها در شخصیت اینشتین جوان به شکل معجونی از توانائی خارق‌العاده متجلی بود. ارسطو گفته است: تحیّر آغاز فلسفه است. مورخ پیشتاز علوم، جرالد هولتون[6] از دانشگاه هاروارد معتقد است که تصورات دانشمندان بزرگ در مراحل بسیار نخستین زندگی‌شان شکل می‌گیرد و به عنوان نمونه اشتیاق خود اینشتین را در سن چهار سالگی به یک قطعه آهن‌ربا ــ که منجر به مطالعهٔ او دربارهٔ تأثیر «میدان‌ها» شد ــ ذکر می‌کند. یکی از ویژگی‌های میدان مغناطیسی یا ثقل اینست که در فضا پیوسته به نظر آمده، تدریجاً با دور شدن از منبع خود، تأثیر آن تقلیل

6. Gerald Holton

می‌یابد. توجه او به پیوستگی در طبیعت، هنگامی‌که روی معجزهٔ روشنفکرانهٔ نسبیت کار می‌کرد، به نحو مطلوبی برایش مفید واقع شد. بدبختانه این برتری اشراق‌گونه با دیدگاه اتمی طبیعت در تضاد و او را به امتناع از مفاهیم فیزیک اتمی ــ یعنی موضوع مهم دیگر نمایان شده در فلسفهٔ طبیعی قرن بیستم ــ هدایت نمود.

او نقطهٔ کور وحشتناک دیگری را که به نحوی غیرقابل قیاس، از اشتباه خود کردهٔ ثابت کیهانی با اهمیت‌تر بود روشن نمود و نهایتاً نمی‌توان این مورد را خطا به حساب آورد. آن نقطهٔ کور نظریهٔ کوانتوم بود. اگرچه او را در پایه‌گذاری این نظریه در سالهای اوّلیه کمک کرد، معهذا نتوانست مکانیک کوانتوم را که بعدها متحول شده و کار عالم را به دیدهٔ تردید می‌نگریست، بپذیرد.

از جهتی مخالفت شدید او، حداقل بحث اعتقادات خداپرستانه‌اش در یک عالم، کامل بود و مذهب ملایم او بالاخره موجب خدشه‌دار شدن استدلالش گردید. او متعصبانه می‌گفت: «خداوند تاس‌بازی نمی‌کند.»

نیلز بور[7] پاسخ می‌داد که «امر و نهی به خداوند را متوقف کنید». این نظریه‌پرداز دانمارکی نظریهٔ کوانتوم، و همکاران برجسته‌اش به اینشتین پشت کرده و نشان دادند که خداوند درواقع تاس‌بازی نموده و در هر اتم و هر میلیمتر مکعب فضای تهی، میزهای بازی خود را قرار داده است. مکانیک کوانتوم با شکوفا شدن در نظریه‌های ضد ماده، فیزیک هسته‌ای، برق و نیروهای شبه‌اتمی، پیشرفتی شکوهمند نموده و از باغ‌های مصفای نسبیت بسیار گسترده‌تر و پربارتر شده است. بیشتر

7. Niels Bohr

ادراک دقیق ما، از عالم و زندگی در آن ریشه دارد و سرمنشأ آگاهی جدیدی در مورد انتظام گیتی می باشد. عقیدهٔ فیلسوف‌مآبانهٔ نیرومند «تقارن شکسته» در مکانیک کوانتوم سالهای دههٔ ۱۹۷۰ با قدرت تمام و به طرز قابل توجّهی در تعریف استفن وین برگ[8] اظهار وجود کرد. مطابق این تعریف، تکاملی ساده، برای ایجاد لحظهٔ گریزنده در انفجار بزرگ وجود داشت که منجر به «شکستگی» و ایجاد عالم مادی پیچیده‌تر و قابل سکونت‌تر گردید. به نظر نمی‌رسید که اینشتین در آرزوی چنان تکامل بی‌ثمری بوده و آنرا دریابد.

روی برگرداندن او از نظریهٔ کوانتوم موجب سترون شدن کار خود اینشتین گردید. او، سی سال آخرین زندگی خود را در تلاش متحد ساختن ثقل و برق گذراند، امّا برق با اتکاء بر نظریهٔ کوانتوم کاملاً قابل توضیح است. بهتر این است که بگوئیم، زمان برای آنچه اینشتین در تلاش آن بود نامناسب بوده و مکاشفه ای که به عنوان یک فیزیکدان، همه چیز را برایش ممکن ساخته بود، اینک وسیلهٔ شکست او شده بود.

تقریباً تا بیست سال پس از مرگ اینشتین پیشرفت زیادی در آشتی دادن نظریهٔ ثقل و نظریهٔ کوانتوم حاصل نشد. اینشتین جوان، امّا نه اینشتین رسیده به اوج خود، می‌توانسته است چیزی در اندیشهٔ خود سر و صورت داده باشد. امّا به هرحال مطلبی برملا نشد. مثل بسیاری از فلاسفهٔ بعد از خود، اینشتین توانا، قربانی تجانسی بی‌معنیٰ شد. او در بین «نایقینی» به مفهوم شبه‌اتمی و آماری آن و «نایقینی» دربارهٔ علّت و معلول که حقاً از آن تنفر داشت، گیج شد.

دانشمندان نیز همچون تمامی افراد دیگر می‌توانند نسبت به عقاید

8. Steven Weinberg

خود کلّه‌شق باشند، امّا خود علم، هرگاه موقعیت اقتضا کند نابود شده و تغییر می‌یابد. جریان مستمر جوانانی که همواره در پی مخالفت با معلّمین خود می‌باشند، علم را زنده نگاه می‌دارد. اینشتین جوان خود چنین شخصی بود و تعبیری نادرست خواهد بود، اگر به منظور تجلیل از نظریه‌های او، هر آنچه عرضه کرده است، حُکمی مقدس تلقی گردد. درست است که چه در حرف و چه در عمل و به نحوی آرام کوشش‌های زیادی در جهت رد نظریات او، بیش از هر نظریهٔ دیگری در تاریخ علوم صورت گرفته است. معهذا اینک نقاط ضعف نسبیت را می‌دانند. هرچند که او نسبت به عقاید خود اطمینان زیادی داشت، امّا آسیب‌پذیری نهائی خود را پذیرفت.

دربارهٔ نوشته‌ای تحت عنوان «**یکصد دلیل بر ضد اینشتین**» با خشکی اظهار داشت:

«یکی کفایت می‌کند.»

۲۱

خَلَفِ اینشتین

نظریهٔ کوانتوم کلید فیزیک اتمی است.
نسبیت و نظریهٔ کوانتوم در قلمروهای کوچک مغایر یکدیگرند.
پیشرفت بزرگ آینده باید این دو را آشتی دهد.
تلاش‌های فعلی در برگیرندهٔ «رقصنده‌ها»[1] و «آبَرثقل» می باشد.
هرچه پیش آید، کار بزرگ اینشتین، ماندنی است.

* * *

پس از مواجههٔ معروف با نیلز بور در سال ۱۹۲۷، طی کنفرانسی در بروکسل، درحالی‌که آلبرت اینشتین دربارهٔ **ذات قدیم** مِن‌مِن می‌کرد، بور همچون پیشتاز غیر قابل بحث فیزیک نظری ظهور کرد. امّا شکاف فلسفی بین اینشتین و بور مظهر چیزی عمیق‌تر و به مفهوم شکافی عمیق در طرز استنباط (عالم) بود. نظریهٔ ثقل و نظریهٔ کوانتوم بدون درگیری با هم، با یکدیگر تداخل نموده و در یک نقطهٔ مُعینی ــ واقعاً یک نقطه ــ با هم مغایرت دارند. بر طبق نسبیت عام، ثقل الی الابد غیر قابل توقف است. در داخل یک سیاه‌چال، یا یک عالم نابود شونده محتویات میل به نابودی و هیچ شدن دارند ــ از نکته نظر هندسی، غربتی در فضا زمان، که در آن مقادیر عظیم جرم، فضای صفر را اشغال می‌کند. هر چند که نظریهٔ

1. Twistors

اینشتین مؤید این نظر می باشد، امّا خودش از آن بیزار بود.

اینک مکانیک کوانتوم عالم مقتدری است که از نابودی ممانعت بعمل می‌آورد و مثلاً براساس آن بیان می‌شود که چرا اتمهای عادی به جای اضمحلال و نقطه‌ای شدن، تحت تأثیر نیروی برق ــ که مطابق نظریه‌های قرن نوزدهم باید چنین باشندــ حجم مُعینی از فضا را اشغال می‌نمایند. ذرات شبه‌اتمی، مثل مرزبانانی که از مرز محافظت می‌کنند، امّا این ذرات در این معنی که در آن واحد، همه‌جا حضور دارند مرزبانانی تمام‌عیار و هوشیارند.

به دلیل تردیدی ریشه‌دار دربارهٔ موقعیت (دقیق) ذرات شبه‌اتمی، آنها به یک مفهوم گستره‌ای از فضا را دربر می‌گیرند. حدود این گستره، خود به هیچوجه مورد تردید نیست و دقیقاً مشخص است.

بنابراین، مطلب مربوط به سیاه‌چال‌ها و غربت‌هاست. اگر سیاه‌چال‌هائی بسیار کوچک را تصور کنید، آنگاه به جرم مُعینی از ماده که بخاطر بنیان‌گذار نظریهٔ کوانتوم، یعنی ماکس پلانک[2] آنرا جرم پلانک می‌نامند، می‌رسیم. قطر سیاه‌چال جرم پلانک، معادل تردید دربارهٔ موقعیت آن می‌باشد. درنتیجه سیاه‌چال نمی‌تواند بیش از این موقعیت فضائی خود را حفظ کند. جرم پلانک تقریباً ده میلیونیم گرم است. سیاه‌چال چنان جرمی به تراکم بسیار بالای مُعین ماده نظیر آنچه در نابودی غربت یا مرحلهٔ بسیار نخستین انفجار بزرگ می باید وجود داشته باشد، ارتباط پیدا می‌کند. در چنین فاصله و تراکمی، فیزیک دچار بحران می‌شود و نظریهٔ نسبیت یا کوانتوم (یا هردو) باید متلاشی شود.

تا جائی که مربوط به غربت در مرکز سیاه‌چال می‌شود، می‌توانید

2. Max Planck

مسأله را کنار بگذارید، (زیرا) موضوع واقعاً خارج از دسترس می باشد. امّا انفجار بزرگ را می‌توان دید ــ از جهتی در میانهٔ آن بسر می بریم ــ و در اصل نظریهٔ نسبیت، انفجار بزرگ «غربت عریان» نامیده می‌شود. اگر عالم واقعاً در یک نقطهٔ هندسی شروع شده بود (چیزی که هیچکس مجبور به قبول آن نیست)، آنگاه فیزیکدان‌ها دقیقاً نمی‌دانستند که از لحظهٔ نخست تا زمانی که انبساط موجب کاهش تراکم به کمتر از نصف سیاه‌چال جرم پلانک گردید، چه اتفاقی رخ داده است. نظریهٔ **انفجار بزرگ**، پیش‌بینی می‌کند که این مرحله فقط 10^{-43} ثانیه (یک ثانیه تقسیم بر عدد یک با چهل و سه صفر در جلویش) بعد از شروع انبساط از حالت غربت، به طول انجامیده است

آیا این فاصلهٔ زمانی که ما از آن بی خبریم، بسیار اندک نیست؟ اگر شما یک فیزیکدان باشید که سعی کنید عالم را در عمیق‌ترین سطوح آن طراحی کنید، خیر. و حتی کسی که دربارهٔ سیاه‌چال‌ها و**انفجاربزرگ** مردد است نمی‌تواند از اضمحلال نظریهٔ فیزیکی ــ بویژه نسبیت ــ در تراکم‌های بسیار زیاد یا فواصل بسیار کوتاه مرتبط با جرم پلانک، اجتناب نماید. به عنوان اشاره به اینکه در قلمروهای بسیار کوتاه ممکن است چه اتفاقی رخ بدهد، برخی نظریه‌پردازان در این تردیدند که ثقل ذاتاً (در چنین مواردی) بسیار نیرومندتر ــ درواقع درست به نیرومندی نیروی برق ــ می‌شود و این مفهومی متفاوت از نسبیت عام است.

هدف بزرگ فیزیک، درک عالم به کمک تعابیری هرچه ساده‌تر می باشد. فیزیکدان با نگریستن به اطراف خود، همه جور مواد و همه گونه نیروهای عالم بر آنها را می بیند. در ابتدا مطلب اعجاب‌آور به نظر رسیده و از زمانی که یونانی‌ها تلاش کردند مفهومی برای عالم پیدا کنند تا زمان حال، وضع در بیشتر ادوار بر همین منوال بوده است. امّا با فرا رسیدن قرن

بیستم، پیشرفتی عالی نصیب و معلوم شد که همهٔ مواد از اتمها، و اتمها به نوبهٔ خود از ذرات شبه‌اتمی که جرمی تولید شده به وسیلهٔ طبیعت است تشکیل یافته‌اند. فهرست نیروهای کیهانی، بسیار اندک و به شرح ذیل است:

ثقل، نیروی برق (مشتمل بر مغناطیس)، نیروی هسته‌ای نیرومندی که قطعات هستهٔ اتمی را بهم متصل می‌سازد و نیروی به اصطلاح ضعیفی که در تبدیل یک ذرهٔ شبه‌اتمی به ذره‌ای دیگر دارای نقشی کلیدی است. با در دست داشتن این ترکیبات و نیروها هر چیزی قابل توضیح می باشد.

آنگاه مشکل بعدی ظاهر شد. «چرا؟» و به چه دلیل عالم ما این اشکال بخصوص ذرات و نیروها را بر هر گونه‌ای دیگر ترجیح داده و پذیرفته است؟

آنها چگونه با یکدیگر و با طبیعت بنیادین فضا، زمان و سرگذشت کیهانی، مربوط می‌شوند؟ اختلاف فاحش بین نظریهٔ نسبیت و کوانتوم، بزرگترین مانع در یافتن پاسخ این سئوالات می باشد.

در سال ۱۹۷٤، با کشف تئوریک استفن هاوکینگ[3]، دال بر انفجار سیاه‌چال‌ها، گامی بزرگ در جهت ادغام نظریهٔ ثقل با دیگر بخش‌های فیزیک برداشته شد. مطابق نظریهٔ کوانتوم، ثقل بسیار نیرومند می‌تواند به نوبهٔ خود موجب درهم فشردن ذرات مادی در بیرون فضای تهی بشود. بعد از کنفرانس معروف آزمایشگاه روترفورد[4] انگلستان که هاوکینگ نظریهٔ خود را در آنجا اعلام نمود، یک نسبیت‌دان آمریکائی به نام جان ویلر چنین اظهار نظر کرد: «هندسه، خداحافظ».

3. Stephen Hawking

4. Rutherford Laboratory

منظور جان ویلر این بود که عقاید اینشتین دربارهٔ فضا برای آشتی دادن نظریهٔ ثقل و نظریهٔ کوانتوم نامناسب می‌باشد، زیرا در قلمروهای بسیار کوچک، خود قوانین هندسی (نیز) نباید صدق کند.

فضا «کف‌آلود»[5] و غیر قابل پیش‌بینی می‌شود. براساس عقیدهٔ راجر پن‌رُز، از دانشگاه اکسفورد، آغاز اضمحلال هندسه در فواصل بسیار کوچک (میکروسکوپیک) بسیار بیشتر از فواصلی است که به جرم پلانک ــ یعنی در حدود قطر هستهٔ هر اتم ــ مربوط می‌شود. تحقیق پیرامون چیزی عمیق‌تر از هندسه، راهنمای پن‌رُز شد تا طرح «رقصنده‌های» خود را بنیاد بگذارد و آن برنامه‌ای است نظری که به موجب آن آثار موجودیت‌های ریاضی، که تا حدودی شبیه ذرات شبه‌اتمی رفتار می‌کنند، جانشین خطوط فضا زمان سنتی، می‌شوند.

این ذرات «رقصنده‌ها» هستند که دارای انرژی بوده و چرخ می‌زنند. با اینها (ذرات) پن‌رُز می‌تواند نقشهٔ فضا زمان متداول را طرح و همچنین از ترکیبات چرخنده‌ها ذرات معمول شبه‌اتمی را بسازد. آنها دربر گیرندهٔ ذرات حاوی نیروهای کیهانی هستند.

شروع این طرح از نظر یک نظریه‌پرداز پیشگام نسبیت، گامی نویدبخش، تلقی می‌شود.

مسأله را از دیدگاهی متضاد و با چشم نظریه‌پردازان فیزیک ذره‌ای می‌نگریم. بزرگترین مسألهٔ آنها، وجود تنگنائی متداول است که در آن محاسباتشان نیروهای بین ذرات را به طرز نامحدودی نیرومند پیش‌بینی می‌کند. با حذف این تنگنا، در یافتن طرز کار طبیعت، گشایشی پیدا می‌شود. بسیاری از اشخاص باهوش و مشتاق، به (این)

5. Foamy

تحقیق پیرامون قوانین بازی کیهانی، پیوسته‌اند. امیدوارم ذکر نام اشخاص بخصوصی چون پترفان نیوون هویزن[6] هلندی، سر جیوفرارا[7] ایتالیائی و دانیل فریدمن[8] آمریکائی (که در این راه تلاش می‌کنند) موجب ایجاد تبعیض در اشاره به نام افراد نگردد. این اشخاص در موقعیتی عالی و به مناسبت یکصدمین سالگرد تولد اینشتین نظریهٔ «اَبَرثقل» را بوجود آوردند. به نظر می‌رسد این نظریه، ارتباط مؤثری بین ثقل اینشتینی و نظریهٔ ذرات کوانتوم ایجاد می‌کند. ویژگی این نظریه به طرز رفتار ذرات آن مربوط می‌شود و یک رشته تفاوت‌های عمیق بین ذره‌ای متداول تا پایان دههٔ سالهای ۱۹۷۰ را از بین می برد.

ترکیبات پایدار مادی اساساً متشکل از الکترون‌ها و کوارک‌ها می باشند. آنها می‌توانند به صورت ذرات پرانرژی‌تر ذیربط، تغییر شکل دهند. امّا طبیعت به آسانی و با محاسبه‌ای بسیار دقیق از آمار آنها در کنار یکدیگر مطلع می باشد. اگر الکترونی ایجاد کنید، باید یک ضد الکترون هم بسازید تا حساب دفتر کل طبیعت متوازن باقی بماند. ویژگی بسیار عمدهٔ دیگر این ذرات پایدار، اینست که فضا را اشغال نموده، و در نتیجه اتمهای دارای الکترون‌های زیادتر، نسبت به اتمهای دارای الکترون‌های کمتر از نظر فیزیکی بزرگتر هستند.

ظاهراً این ذرات حامل نیرو، از ذرات دیگر نظیر ذرات نور همراه برق یا «مزون‌ها»ی حاوی نیروی هسته‌ای، کاملاً متفاوت می باشند. آنها معجونی از ماده و ضد ماده‌اند ــ مثلاً یک ذرهٔ نور را می‌توان متشکل از یک الکترون و یک ضد الکترون که با مشارکت هم کار می‌کنند، تصورنمود. طبیعت در مورد آنها سخت گیر نیست. هر وقت که بخواهید،

6. Peter Van Nieuwenhuizen 7. Sergio Ferrara 8. Daniel Freedman

می‌توانید با روشن کردن کبریت، ذرات نور را ایجاد کنید. این قابلیت دسترسی به آنها، به عنوان ذرات حامل نیرو، به حسب ضرورت، از آنها ذراتی متناسب ساخته است. علاوه بر این بسیاری از ذرّات حامل نیرو بدون هیچ محدودیتی می‌توانند در فضا انباشته شوند.

مطابق نظریهٔ «اَبَرثقل» و علیرغم انتظارات پیشین، این دو نوع از ذرات، و ذرات حامل نیرو تماماً متغیرهای یکدیگرند، یعنی در اصل و طی مراحلی هریک از آنها را می‌توان به دیگری تبدیل ساخت. اگر قواعد مشخصی که بر سرنوشت ذرّات حاکمند، وجود نداشته باشد، این مسأله موجب هرج و مرجی عالمگیر خواهد شد. چنین می‌نماید که این قوانین مشخص به نحوی نزدیک با این واقعیت که عالم دارای سه بعد فضایی و یک بعد زمان می باشد، ارتباط دارد.

اکنون می‌توانید برای عالم نسخه‌ای بپیچید. از ثقل شروع و ذره‌ای حامل نیرو به نام گراویتون را به آن تخصیص و (مثلاً) هشت ذرهٔ پایدار نوظهور را «گراویتون‌ها» می‌نامیم. آنگاه تمامی این ذرات قابل تبدیل به ذرات دیگر خواهند بود. درواقع با توجه به نظریه، وجود ۵۶ شکل دیگر ذرات پایدار (کوارک‌ها، الکترون‌ها و نظایر آنان) و ۹۸ نوع ذرات دیگر حامل نیرو (مثلاً نور) مجاز به نظر می‌رسد.

در اصل، این ذرات پیش‌بینی شده، تمامی اشکال مادی شناخته شده و دیگر نیروهای کیهانی را دربر می‌گیرند.

در عمل این شمار ذرات پیش‌بینی شده، با ذرّات شناخته شده متناسب نیست. اینکه آیا نظریهٔ «اَبَرثقل» ناقص است یا فیزیکدان‌ها شمارش ذرات را به طریق ناموجهی انجام می‌دهند، قضاوت دربارهٔ آن هنوز زود است.

فرض کنید (نظریهٔ) اَبَرثقل درست باشد، پس تکلیف مفاهیم

نظریهٔ ثقل اینشتین چه می‌شود؟ نکتهٔ عجیب دیگر، هم‌آوائی کامل نسبیت عام، با این نظریه و به علت وجود گراویتون به عنوان ذره‌ای که از نظر مکانیک کوانتومی عامل ثقل محسوب می‌گردد، می‌باشد. همانطور که قبلاً گفتم، می‌توان ثقل و تغییر شکل فضا زمان را به کمک تأثیر متقابل گراویتون‌ها بیان و به همان پاسخ‌های اینشتین رسید. امّا اَبَرثقل وسعت یافته و با معرفی «گراویتون‌ها» نظریهٔ اینشتین را مورد مطالعهٔ دقیق قرار می‌دهد. اینها (گراویتون‌ها) ذرات مادّی پایداری هستند که تاکنون بدست نیامده‌اند. ممکن است جرم آنها بسیار سبک و دستیابی به آنها به جهت تأثیر وسیعاً ضعیف و متقابلشان با سایر ذرات، غیرممکن باشد. برعکس ممکن است چنان سنگین باشند که با نسل موجود شتابگرها، امکان تولید آنها موجود نباشد.

شاید تکان دهنده‌ترین دست‌آورد (نظریهٔ) اَبَرثقل ظهور مجدد الزامی ثابت کیهان‌شناختی اینشتین، در معادلات باشد. بخاطر بیاورید که اینشتین، در سال ۱۹۱۷ برای اینکه مانع از انفجار عالم نسبیتی خویش بشود، این ثابت را معرّفی و آنگاه که هوبل نشان داد، عالم درواقع درحال انفجار می‌باشد، از این بابت به تلخی متأسف شد. ثابت کیهان‌شناختی که با نیروی نوظهوری در عالم مربوط می‌شود. از دیدگاه اَبَرثقل، به شکلی مرتبط با نیروی برق و نیروهای شبه‌اتمی متجلی می‌شود.

چنین استنباط می‌شود که بین قوانین شبه‌اتمی فیزیک و طرح کلی عالم همبستگی عمیقی وجود دارد. براساس نظریهٔ اَبَرثقل نیروی جدید کیهانی به «درون» عمل کرده و بوجود آورندهٔ عالمی است که از لحاظ اندازه محدود و قابل اضمحلال می‌باشد. همانطور که تاکنون دیده‌ایم بیشتر شواهد اخترشناسی مؤید چیزی دیگر و عالمی نابود نشدنی

است که این مشکل را حل نمی‌کند. همانند تفاوت‌های موجود در تعداد ذرات، این حالت هم، چنان وضعی است که موجب هیجان علم می‌گردد. همچنانکه اینشتین، جانشین ماکسول و نیوتن شد، یک قرن تمام بعد از تولد اینشتین، زمان آن فرا رسیده است که نابغه‌ای دیگر جای او را بگیرد. در اواخر دههٔ سالهای ۱۹۷۰ فیزیک و اخترشناسی سرشار از کشفیات و عقاید نوین است. نابغهٔ جدید را نمی‌توانیم به غیر از انجام حرکت روشنگرانهٔ جدیدی، راهنمائی کنیم. امّا نقطهٔ ارتباط بین نظریهٔ کوانتوم و نسبیت مثل میلهٔ برق گیر حساسی است که در بخش‌های فوقانی میدان علم مستقر و با درخششی همچون آتش سنت الموº، ما را به یافتن راه خروج بزرگ دعوت می‌کند. البته کاملاً محتمل است که فیزیک آینده، تلاشی دسته‌جمعی بوده و به روش مکانیک کوانتوم ــ که به جای غولی تنها (چون اینشتین)ــ محصول تلاش فکری ٦ نفر شبه اینشتین بود، پیش برود. معهذا، من در این مورد تردید دارم و معتقدم که نتیجه گیری[۱۰]های بزرگ در اندیشه‌های مجرد شکل می‌گیرد.

به‌طور خلاصه، اینشتین در حال حاضر پشت سر گذاشته شده و تمامی آنچه لازم است، دیدگاه جامع نوینی است که بانظر او هم‌طراز باشد و این دیدگاه باید به‌زودی ظهور کند.

کار بزرگ اینشتین، ماندنی است. بدون تردید برخی از ادلّه و

9. St. Elmo

۹. آتش سنت‌المو، نور یا آتش درخشانی که دریانوردانی آنرا چون راهنما و حامی بر بالای سر خود می‌پندارند و به آن احترام می‌گذارند. این نام مأخوذ از نام ایتالیائی st.Eransmus دریانورد میهن‌پرست و مورد احترام دریانوردان مدیترانه‌ای می‌باشد، به چراغ‌های خطری که در قسمت‌های مختلف هواپیمای اکتشافی مناطق سردسیر نصب می‌شوند نیز اطلاق می‌گردد. (م)

10. Syntheses

پیش‌داوریهای او که مورد مخالفت واقع شده، و یا جای خود را به بنای مستحکم‌تری داده‌اند، همچون کنجکاویهائی تاریخی تلقی خواهند شد. اما هیچ چیز هرگز، زحمات سالهای ۱۷ ــ ۱۹۰۵ را از بین نخواهد برد.

آنگاه نظیر طفلی که با دانه‌های درخشان فراوانی بازی می‌کند، او ماده و انرژی و فضا و زمان را درهم آمیخته و از آنها کمربندی برای عالم تدارک می‌بیند. حتیٰ در چنین قرن بدبینانه‌ای، می‌توانیم آن سخنانی را که ادموند هالی[۱۱] فیزیکدان، درمورد دوستش اسحٰق نیوتن گفت، با اطمینان در مورد اینشتین جوان به کار ببریم:

«نزدیکتر به خدایان، می‌توان به جاودانگی رسید.»[۱۲]

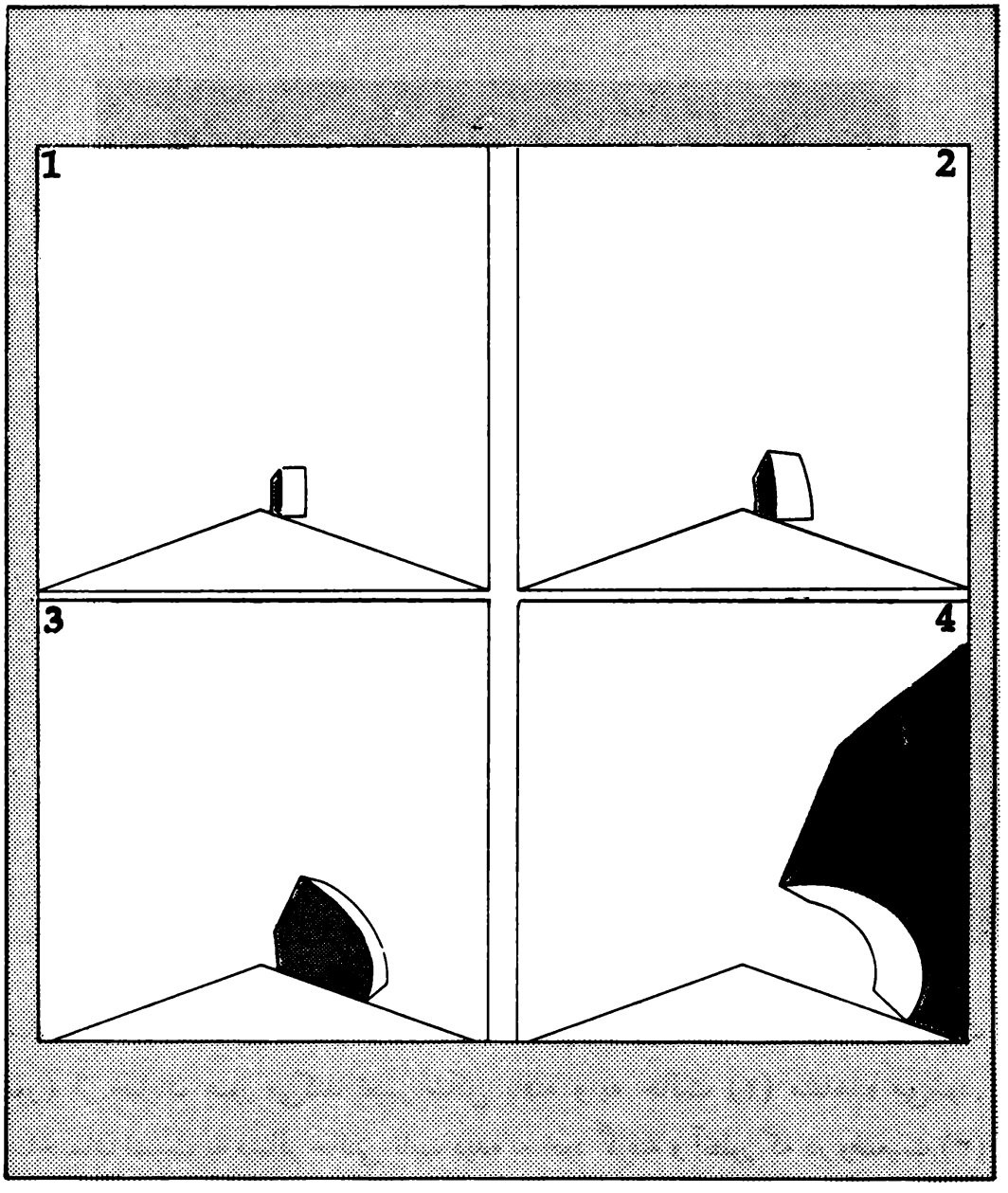
11. Edmund Halley 12. «Nearer the gods no mortal may approach.»

تصاویر

ساختمان حالت (۱) به نظر مسافری که با سرعت زیاد (کسری بزرگ از سرعت نور) از خیابان عبور می‌کند تغییر شکل یافته و به حالت (۲) مشاهده می‌شود. ساختمان نسبت به مسافر حالتی تاب دیده به خود گرفته و آنطور که در وضعیت (۳) دیده می‌شود دیوار نزدیک آن کوتاه و دیوار بیرونی کشیده به نظر می‌رسد. آنگاه، مسافر از حوالی گوشهٔ ساختمان به دیوار دور (پشت) (حالت ٤) می‌نگرد. مثلاً، اگر مسافر با سرعتی معادل نصف سرعت نور حرکت کند، او (مسافر) پیرامون گوشه را در وضعیتی که ٦٠ درجه تغییر مکان داده باشد می بیند. در سرعت‌های بیشتر و وقتی هم که فاصلهٔ ساختمان بامسافر هنوز بسیار زیاد است، این حالت زودتر ظاهر می‌شود.

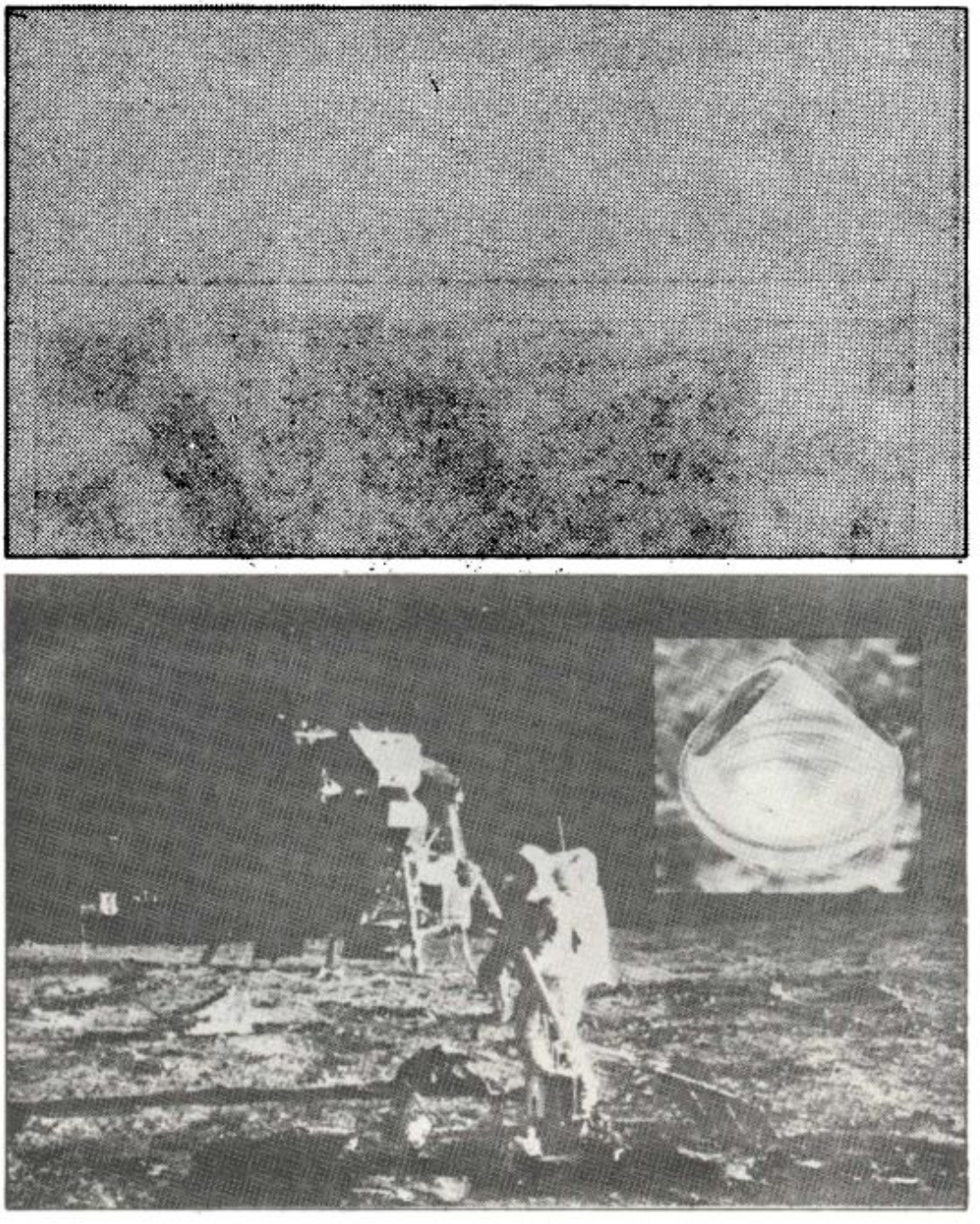
(طرح ها از فیلم رایانه ای مکعب ها «کیوبز» ساختهٔ ادوین اِف تایلر[1])

1. Edwin F.Taylor



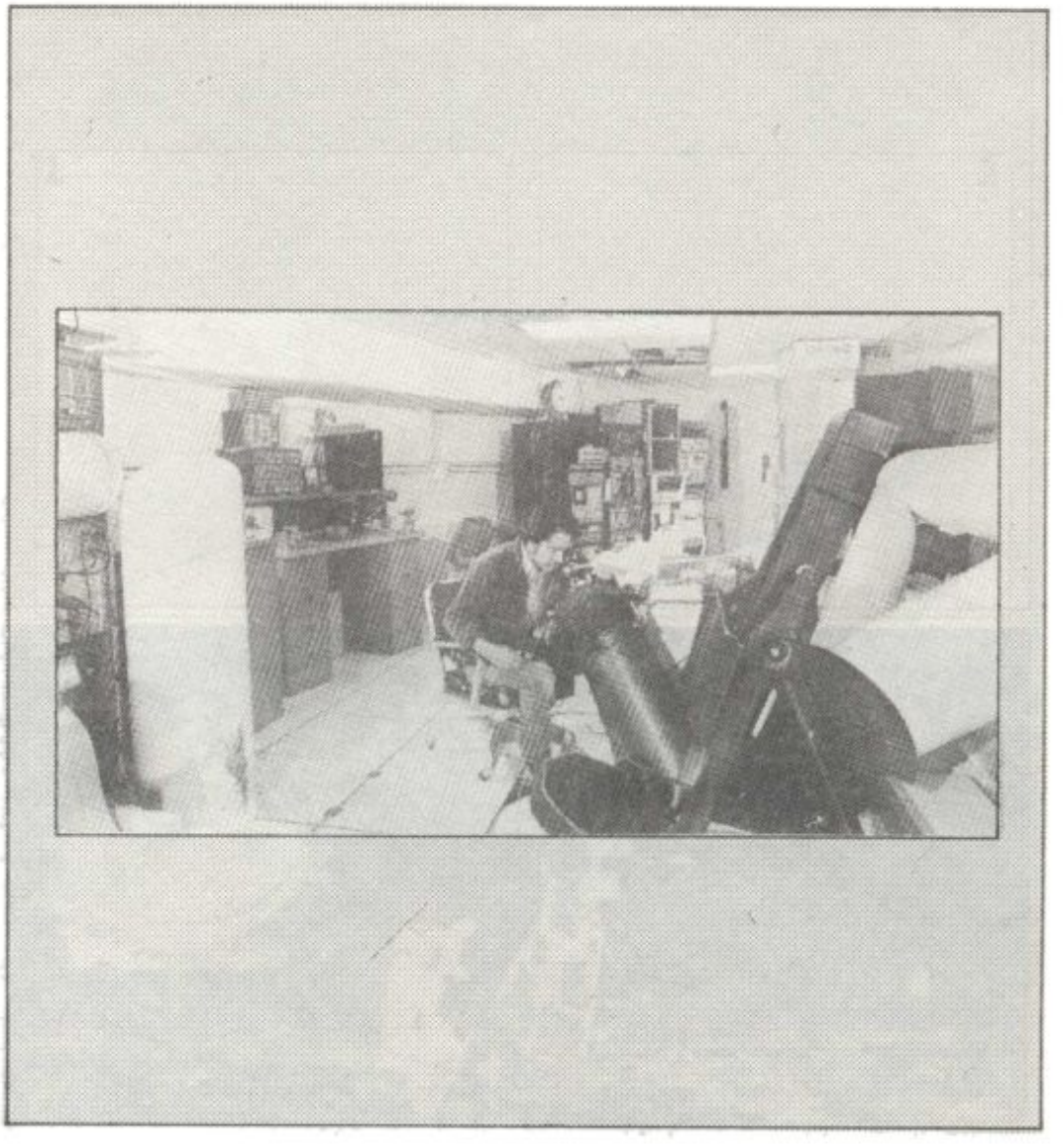
ابرکوچک ماژلانی[1]، یکی از نزدیکترین کهکشان‌هائی است که دارای منشأ تپندهٔ اشعهٔ مجهول بوده و به نام SMCX-1 خوانده می‌شود. کنت برشر[2]، بعد از مطالعهٔ امواج این اختر و دیگر اختران تپندهٔ منشأ اشعهٔ مجهول که از فواصل بسیار دور می‌آیند اعلام داشت که تغییر سرعت نور، کمتر از سرعت لاک پشت می باشد.
(عکس از پایگاه مشاهداتی رویال ادینبورو[3])

1. Small Magellanic Cloud
2. Keneth Brecher
3. Royal Observatory, Edinburgh



تجهیزات نصب شده توسط فضانوردان آپولو ۱۱ بر سطح ماه که مشتمل بر جعبه‌ای شیبدار، قابل رؤیت در وسط عکس می‌باشد. این بازتابگر لیزری متشکل از بازتابگر زاویه‌ای ــ شبیه آنچه در گوشهٔ فوقانی سمت راست عکس دیده می‌شود ــ بوده، و نور لیزر پرتاب شده از زمین را در مسیر برگشت، منعکس می‌نماید.
(عکس‌ها از: ناسا[1] و پرکین المر[2] [عکس فوقانی سمت راست])

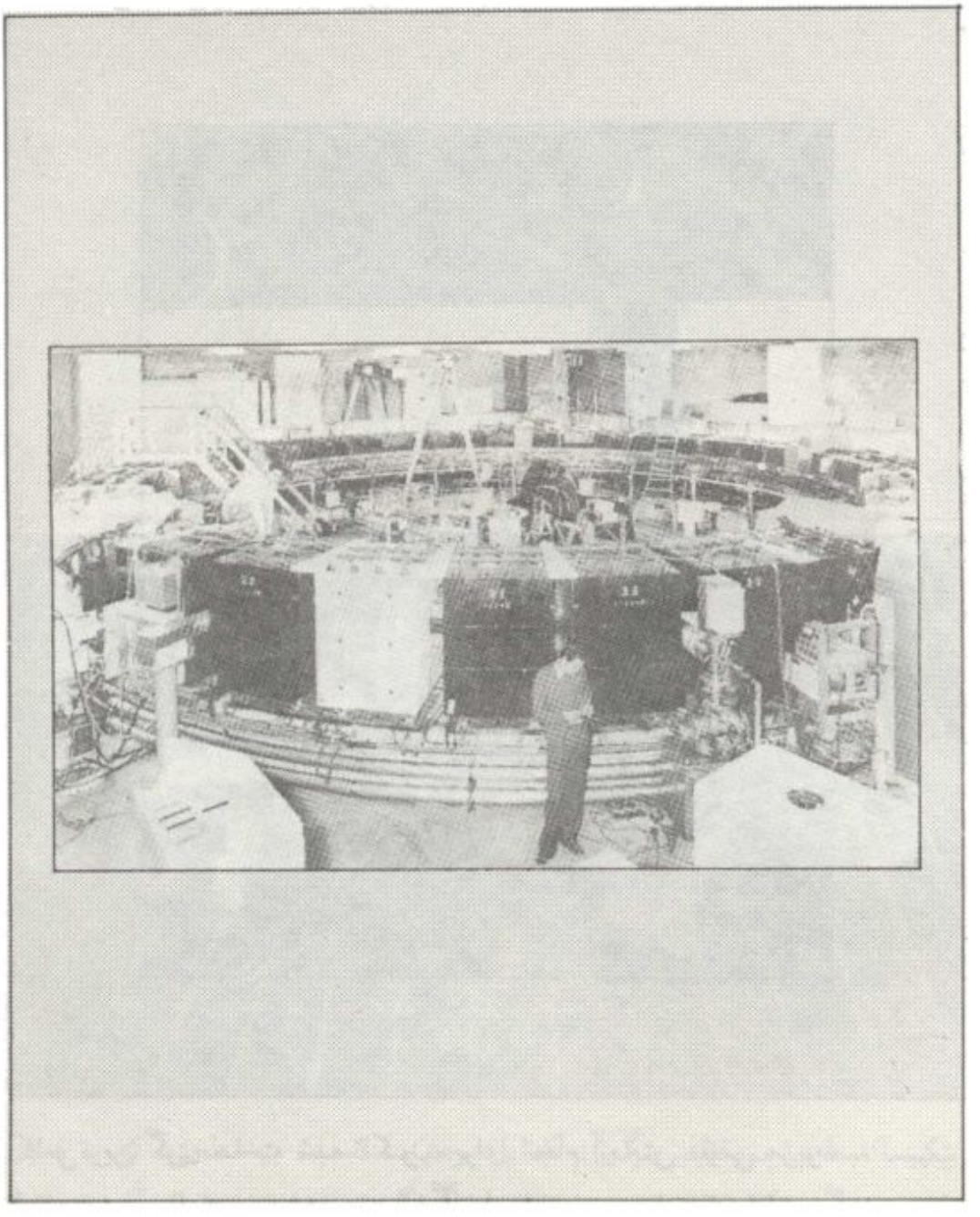
1. NASA 2. Perkin-Elmer



در پایگاه مشاهداتی مک‌دونالد[1] دانشگاه تکزاس، با استفاده از یک تلسکوپ مشاهداتی ۱۰۷ اینچی، لیزر امواج نور را به ماه ارسال و ناظر تلسکوپ را به سوی یکی از بازتابگرهائی که قبلاً بر سطح ماه نصب شده است متمرکز می‌سازد. تجهیزات الکترونیک موجود در انتهای اطاق مشاهده، زمان برگشت ذرات نور را تا بیش از یک بیلیونیم ثانیه محاسبه می‌نماید. در انجام این تجربه که یکی از دقیق‌ترین آزمایشات مربوط به نظریهٔ ثقل اینشتین می باشد، ده آزمایشگاه همکاری داشتند.

(عکس از: جوآن ویلیامز[2])

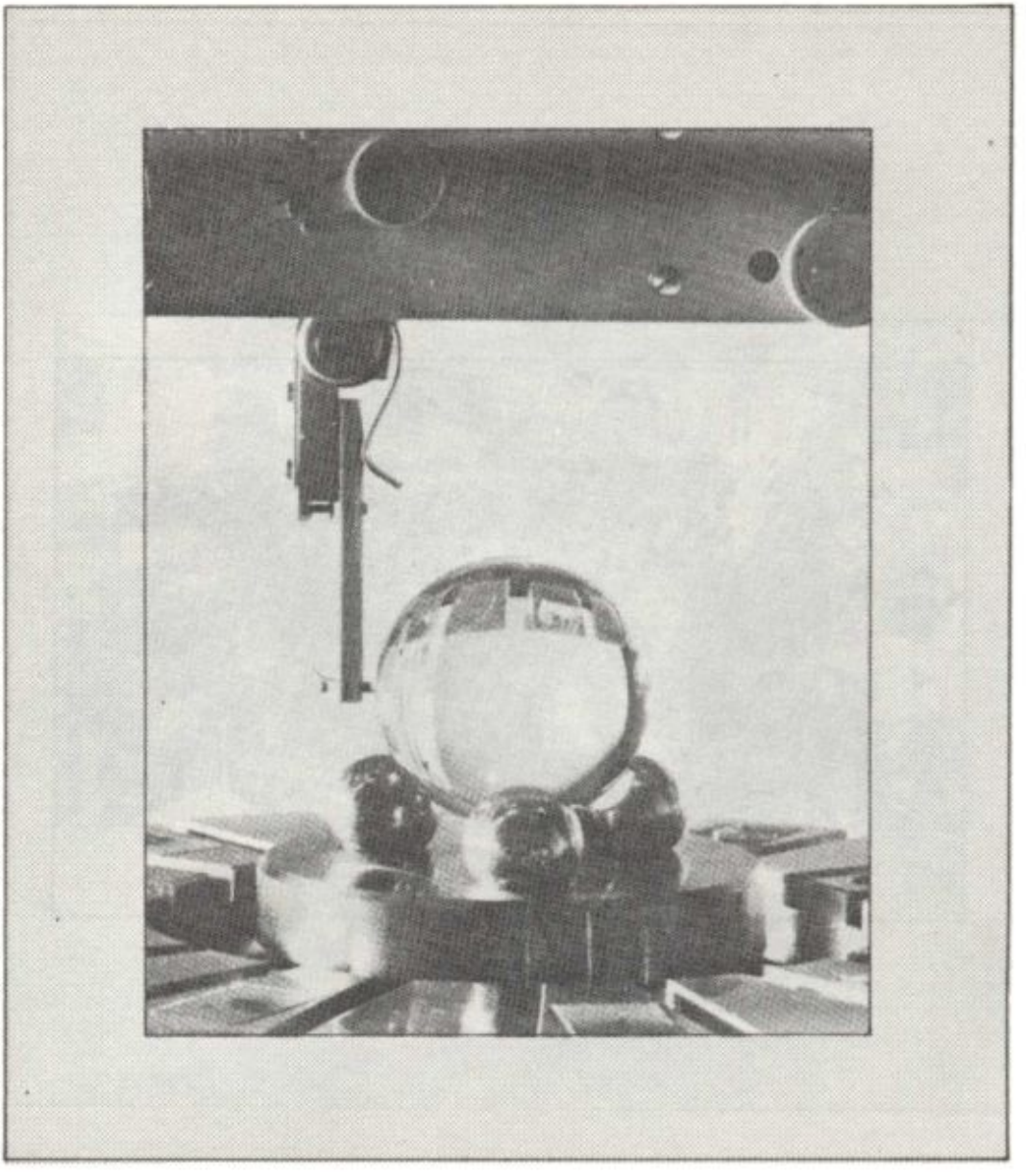
1. McDonald Observatory 2. Joan Williams



افزایش طول عمر ذرات ــ معادل با ازدیاد عمر انسان تا ۲۰۰۰ سال ــ در حلقه‌ای برق مغناطیس در آزمایشگاه سِرن[1] نزدیک ژنو صورت گرفت. «موآن»های ناپایدار که نزدیک به سرعت نور حرکت می‌کنند نسبت به ذرات مشابه درحال سکون، عمرشان سی بار بیشتر است.

(عکس: سرن[3])

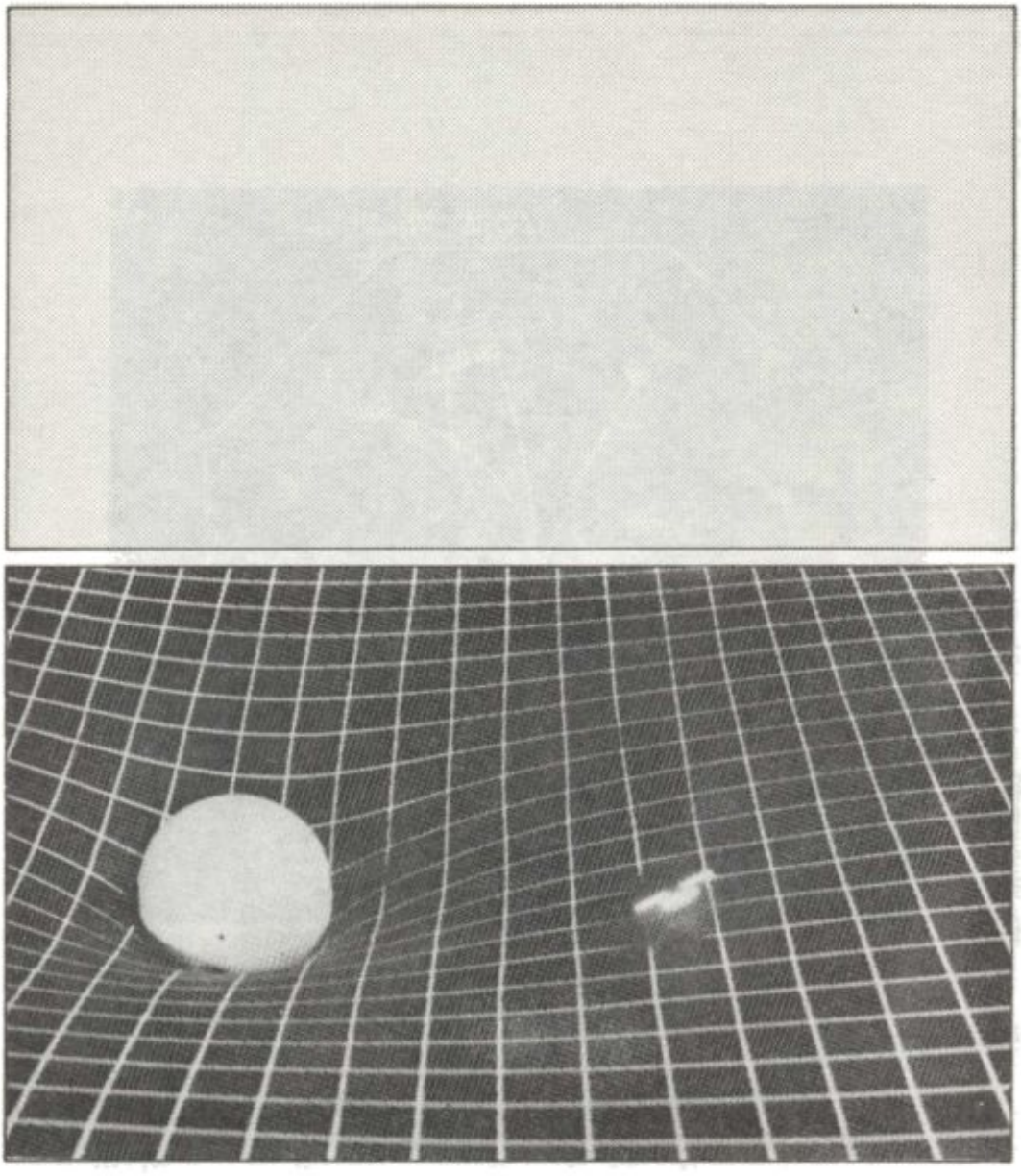
1. CERN



کامل‌ترین گوی ساخته شده تاکنون، برای انجام آزمایش دقیقی مربوط به نسبیت اینشتین در سالهای ۱۹۸۰، در دانشگاه استانفورد مورد امتحان قرار می‌گیرد. چهار عدد از این گوی‌های ساخته شده از کوارتز گداخته که ورقه‌ای نازک و آبَر هادی، آنها را می‌پوشاند به عنوان گردش‌نما (جیروسکوپ) در هواپیمائی که بر گرد زمین مدار پیمائی می‌کند، مستقر می‌شود. این آزمایش بدین منظور طراحی شده است که تأثیر گردش زمین در ایجاد کششِ بسیار جزئی بر فضا را معلوم کند.

(عکس: فرانسیس اِوریت[1])

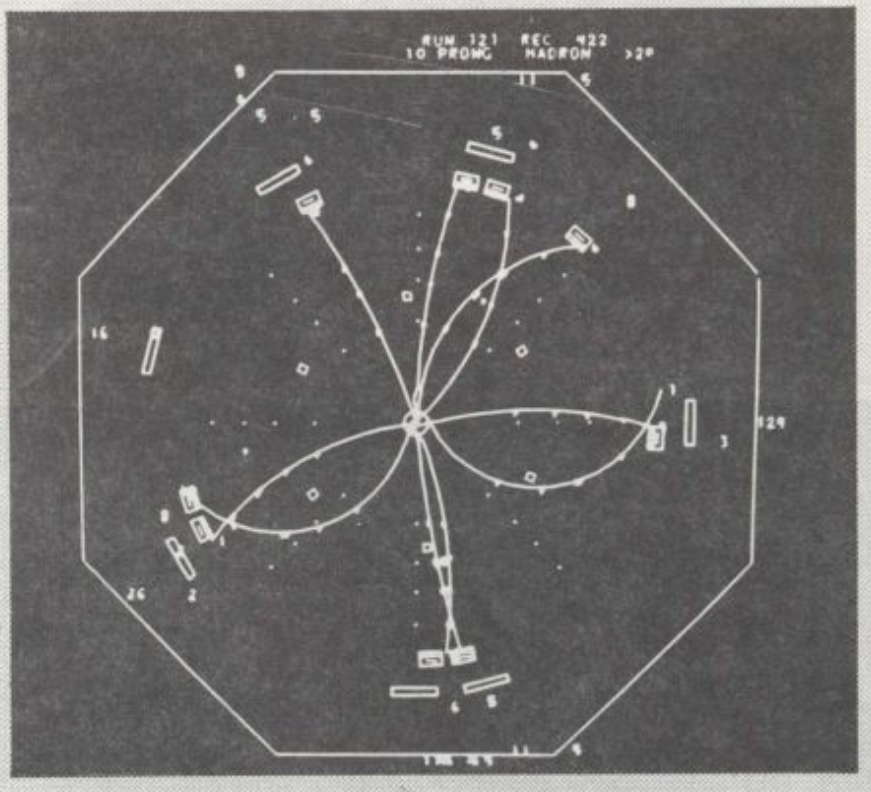
1. Francis Everitt



یک کاسه ساچمه (بلبرینگ)، که با سرعتی مناسب، بر سطحی که به نحوی مقتضی تغییر شکل یافته باشد بغلتد، نمایانگر گردش مداری سیاره بر گرد خورشید خواهد بود. فضای منحنی اغلب به صورت چنین ورقه‌ای لاستیکی نمایش داده می‌شود، امّا این عکس نمای برجسته‌ای از یک قسمت فیلم تلویزیونی بی.بی.سی است که در آن مسیر انحراف در حالتی سفت و به شکل «میز مخزن‌دار» درهم پیچیده‌ای نشان داده می‌شود. گوی بزرگ معرّف خورشید می باشد.

(عکس: جوآن ویلیامز[1])

1. Joan Williams



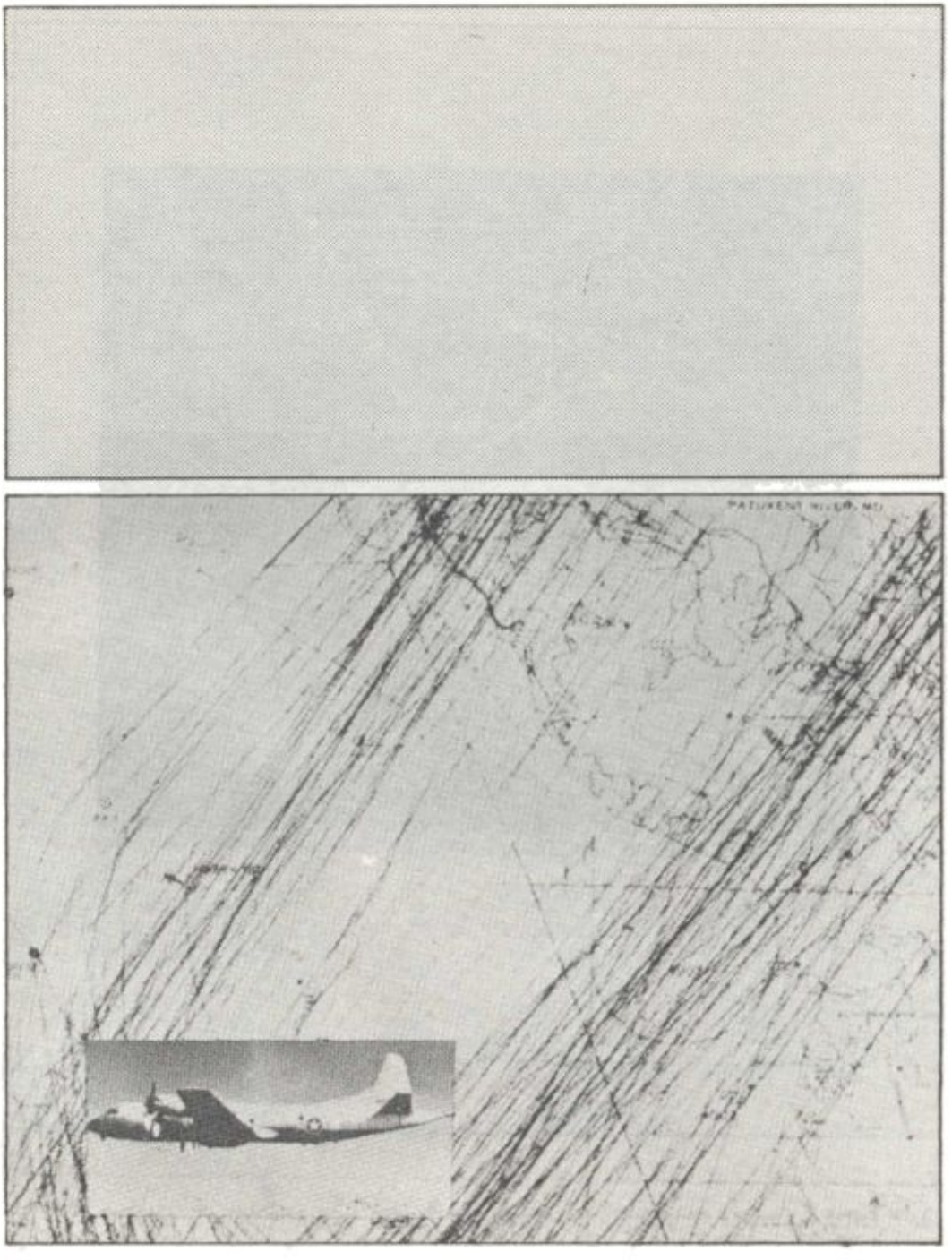
پیدایش ماده در مرکز شتابگر افقی استانفورد[1] ثبت می‌شود. نخست از برخورد یک الکترون و یک ضد الکترون مجموعه‌ای از ذرات جدیدالولاده که ذاتاً بسیار سنگین‌ترند بوجود می‌آید. مطابق معادلهٔ $E=mc^2$ انرژی جنبشی به انرژی آرمیدهٔ ماده تبدیل می‌شود.

(عکس: مرکز شتابگر افقی استانفورد)

1. Stanford Linear Accelerator Center

در مرکز سحابی خرچنگ، یک اختر شدیداً تپنده، یا اختر تپنده (پولسار) وجود دارد که در هر ثانیه سی بار، گسیل نور می‌نماید. به عنوان بقایای اختر عظیمی که انفجار آن در سال ۱۰۵٤ میلادی رؤیت شده است، این سحابی همچون قطعات پراکندهٔ آوار، در فضا حرکت نموده و اختر تپنده، حلقهٔ مرکزی نابود شدهٔ آن اختر می باشد. یک چنین انفجار مشابهی می‌تواند بجای اختر تپنده، سیاه‌چالی ایجاد کند.
(عکس: پایگاههای مشاهداتی هَیل[1])

1. Halle Observatories

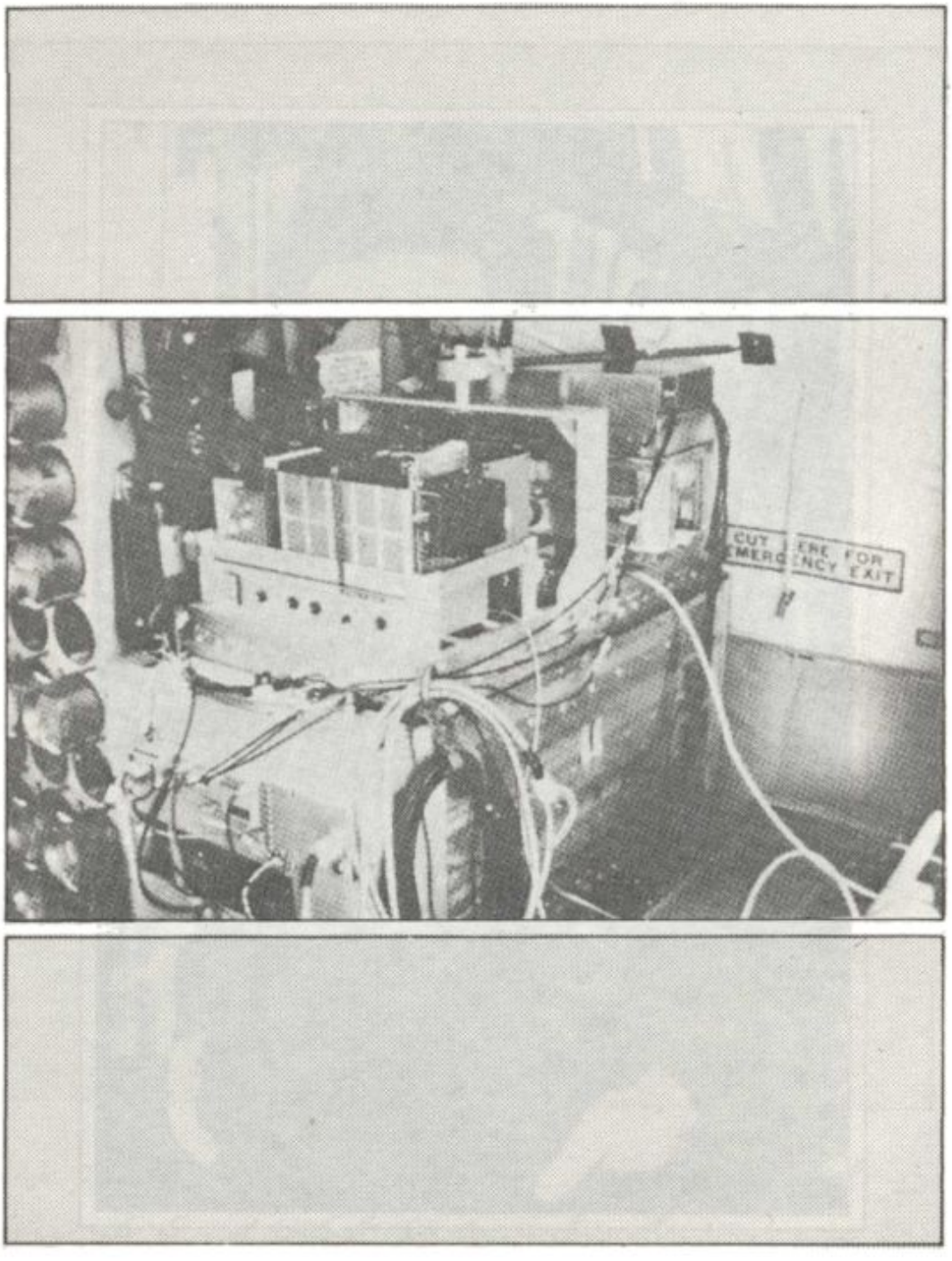


نقشه‌ای که مسیر مکرر یک هواپیمای ضد زیردریائی نیروی دریایی آمریکا (که درعکس بزرگ شده است) را در پرواز بر فراز خلیج چساپیک[1] به منظور بررسی پیش‌بینی‌های اینشتین دربارهٔ اثرات ثقل بر ساعت‌ها، نشان می‌دهد.

(عکس: کارُل آلی[2])

1. Chesapeake Bay

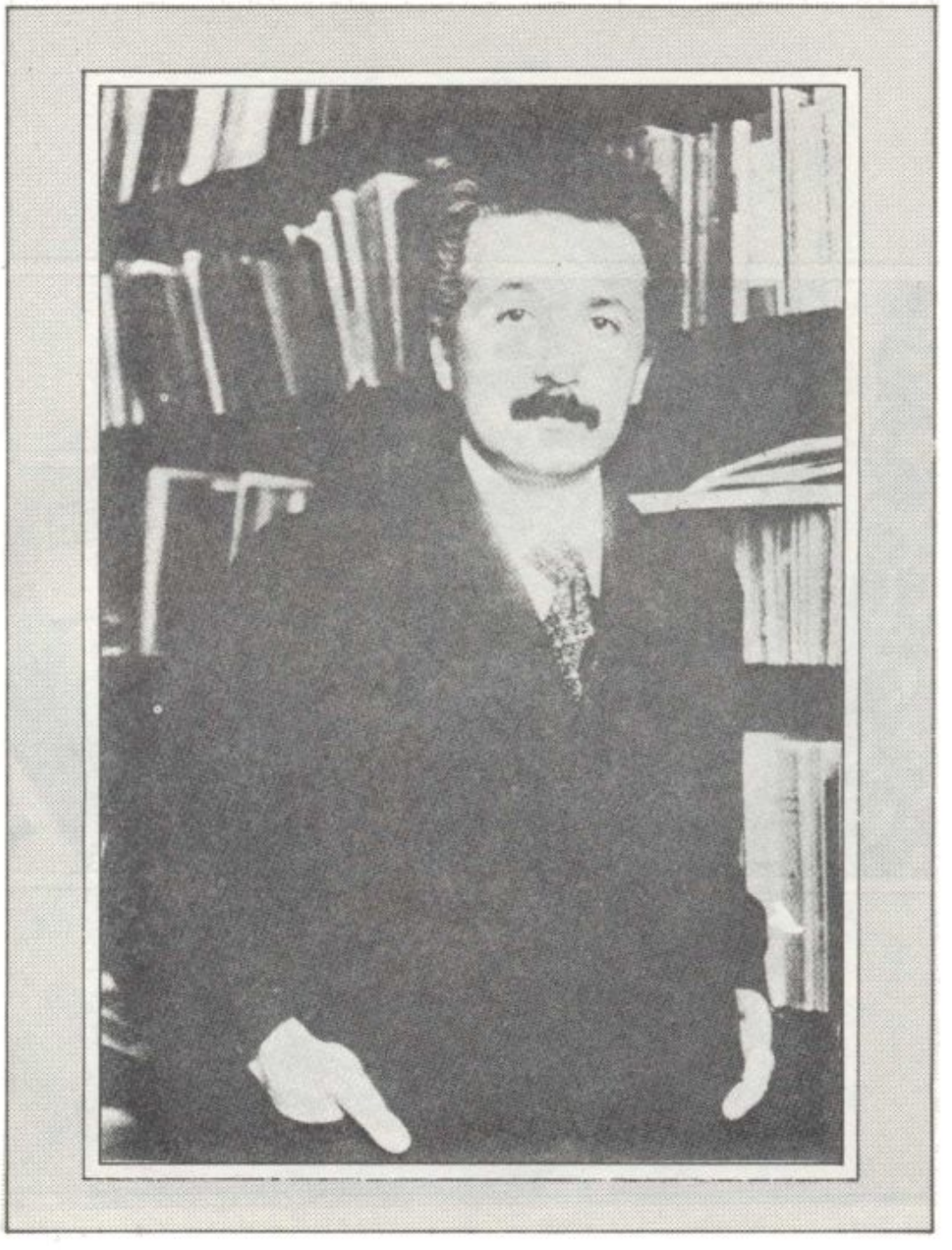
2. Carroll Alley



جعبهٔ کار گذاشته شده در هواپیما، محتوی ساعت‌های اتمی، تثبیت شده در محیطی کاملاً دقیق. پنج پرواز هواپیما، ثابت کرد که ساعت‌ها در ارتفاع بالا که تأثیر ثقل ضعیف‌تر است، تندتر کار می‌کنند.

(عکس: کارُل آلی)

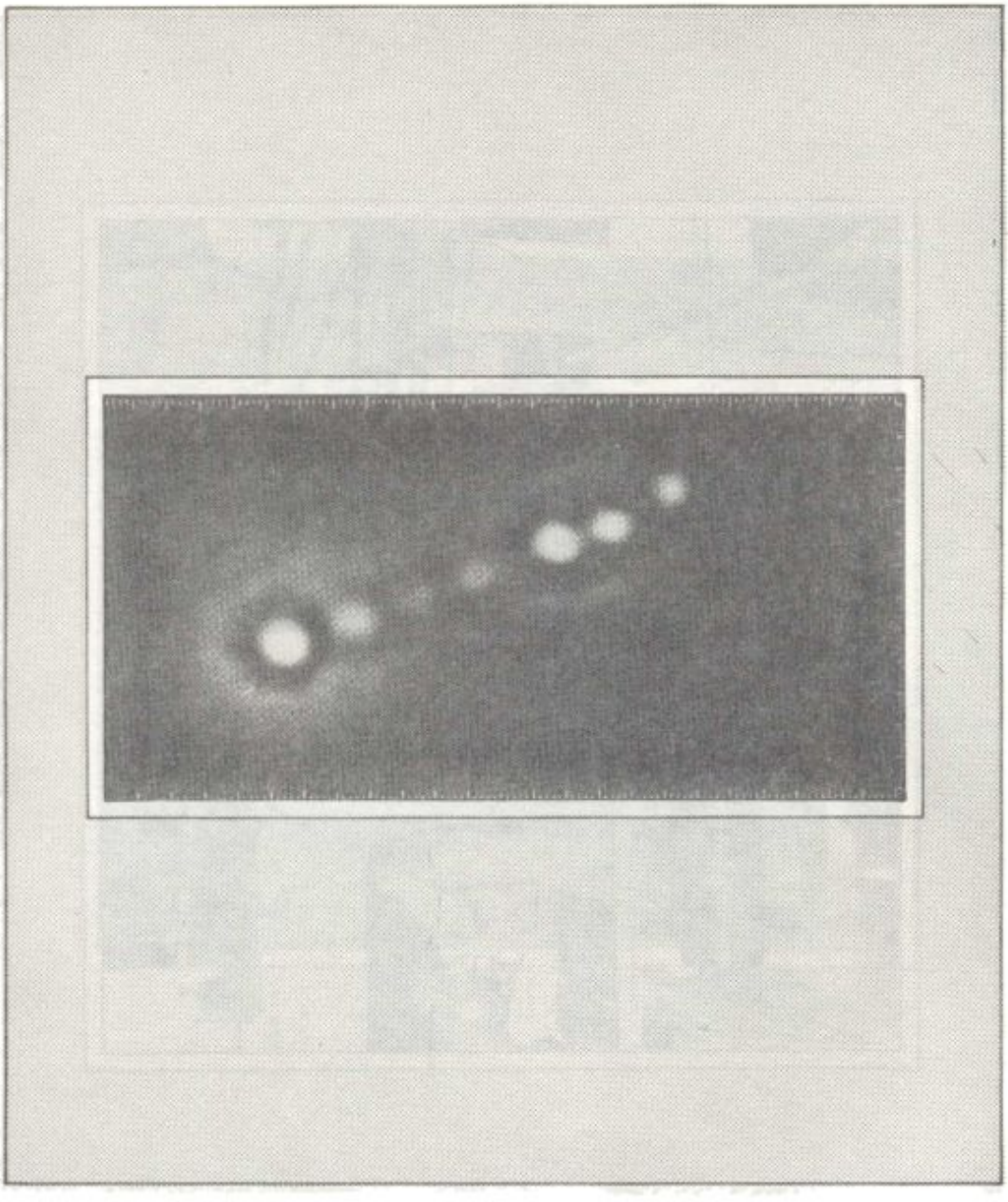
1. Carroll Alley



آلبرت اینشتین در اوج اقتدار خود در سال ۱۹۱۶ و هنگامی‌که تازه نظریهٔ ثقل خود را تکمیل کرده بود. فیزیکدان‌های همکارش از عقاید او متعجب بودند، امّا اینشتین با اطمینانی کامل در انتظار قضاوت طبیعت باقی ماند.

(عکس: مخزن عکس رادیو تایمزِ هولتون[1])

1. Radio Times Hulton Picture Library

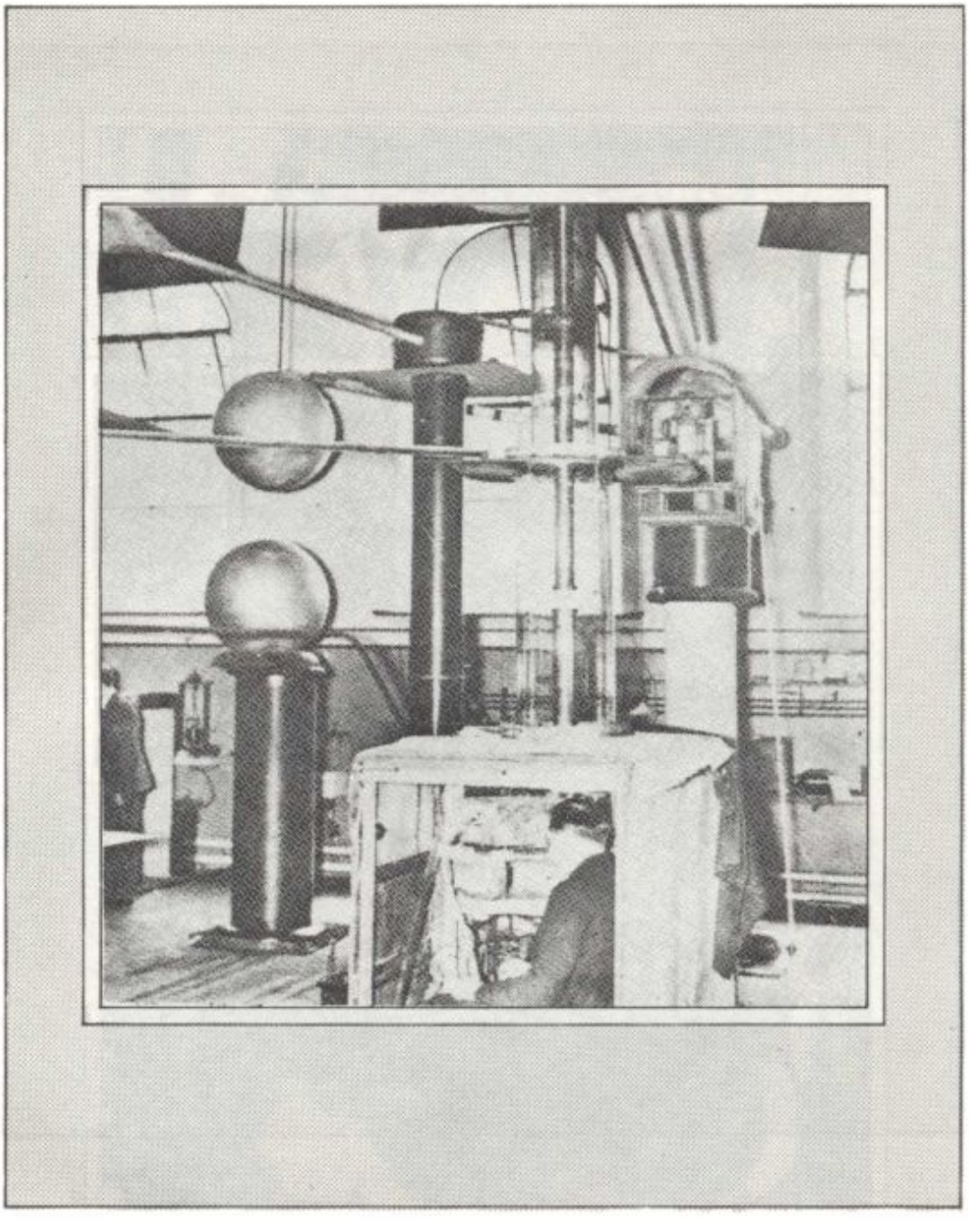


شش گره گازی روشن قابل رؤیت که از کهکشان طوفانی M87 به صورتی فواره مانند خارج شده‌اند. گره بزرگ و تنها، مرکز کهکشان است که گفته می‌شود محتوی سیاه‌چالی فوق‌العاده عظیم می‌باشد. هاله‌های تاریک با روش مخصوص ابداعی هالتون آرپ[1] و جین لُر[2] برای ایجاد این تصویر بسیار روشن و غیرمعمول فوارهٔ کهکشان M87 مصنوعاً اضافه شده است.

(عکس: هالتون آرپ)

1. Halton Arp.

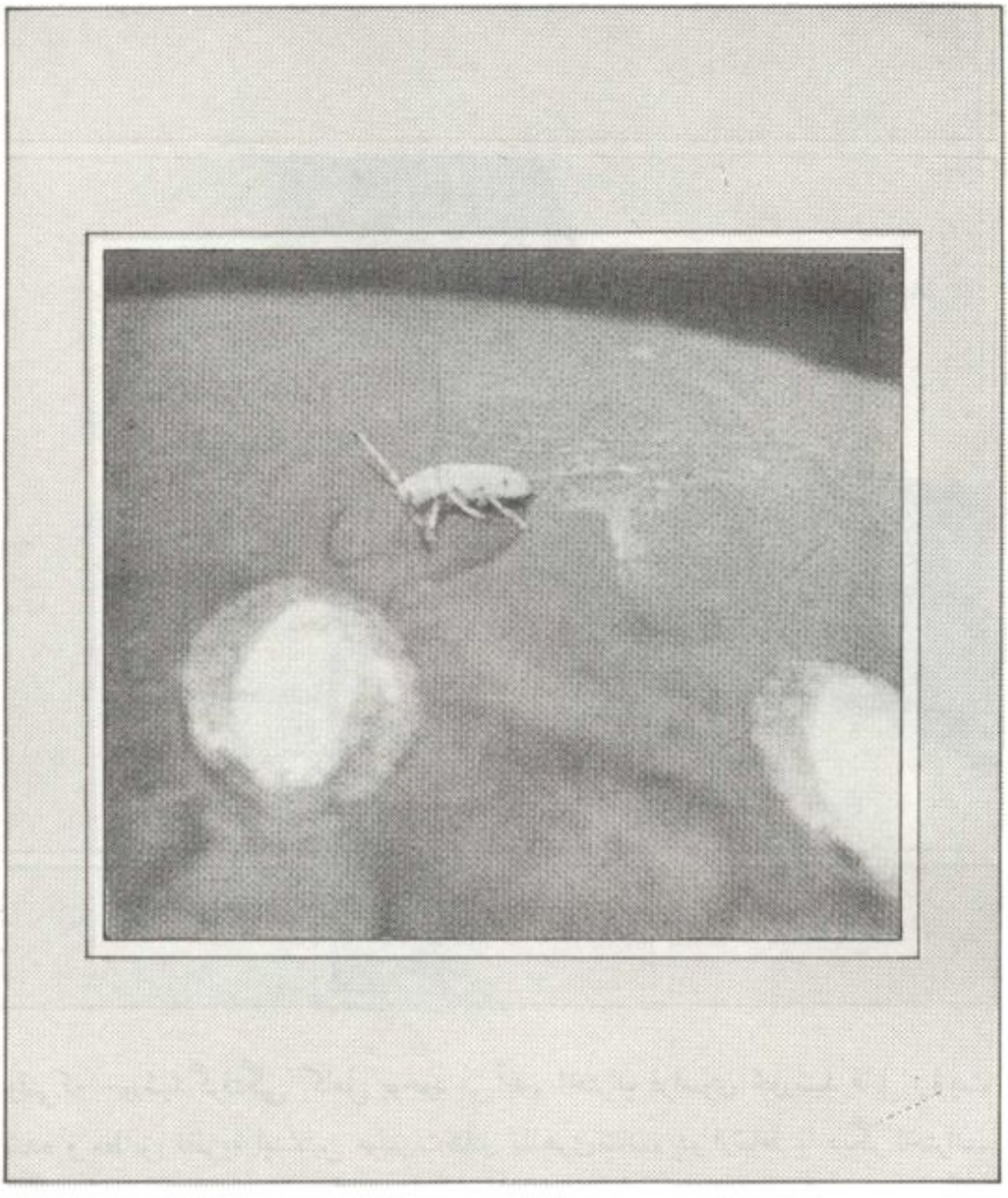
2. Jean Lore



یک شتابگر ذرهٔ بنیادین، ساخته شده توسط جان کاک کرافت[1] و همکار ایرلندی‌اش، در ارنست والتون[2] کمبریج در اوایل سالهای ۱۹۳۰. این دستگاه تغییرات هسته‌ای بوجود آورد که برابری جرم و انرژی را در فرمول $E=mc^2$ اینشتین روشن ساخت.

(عکس: آزمایشگاه کاوندیش[3])

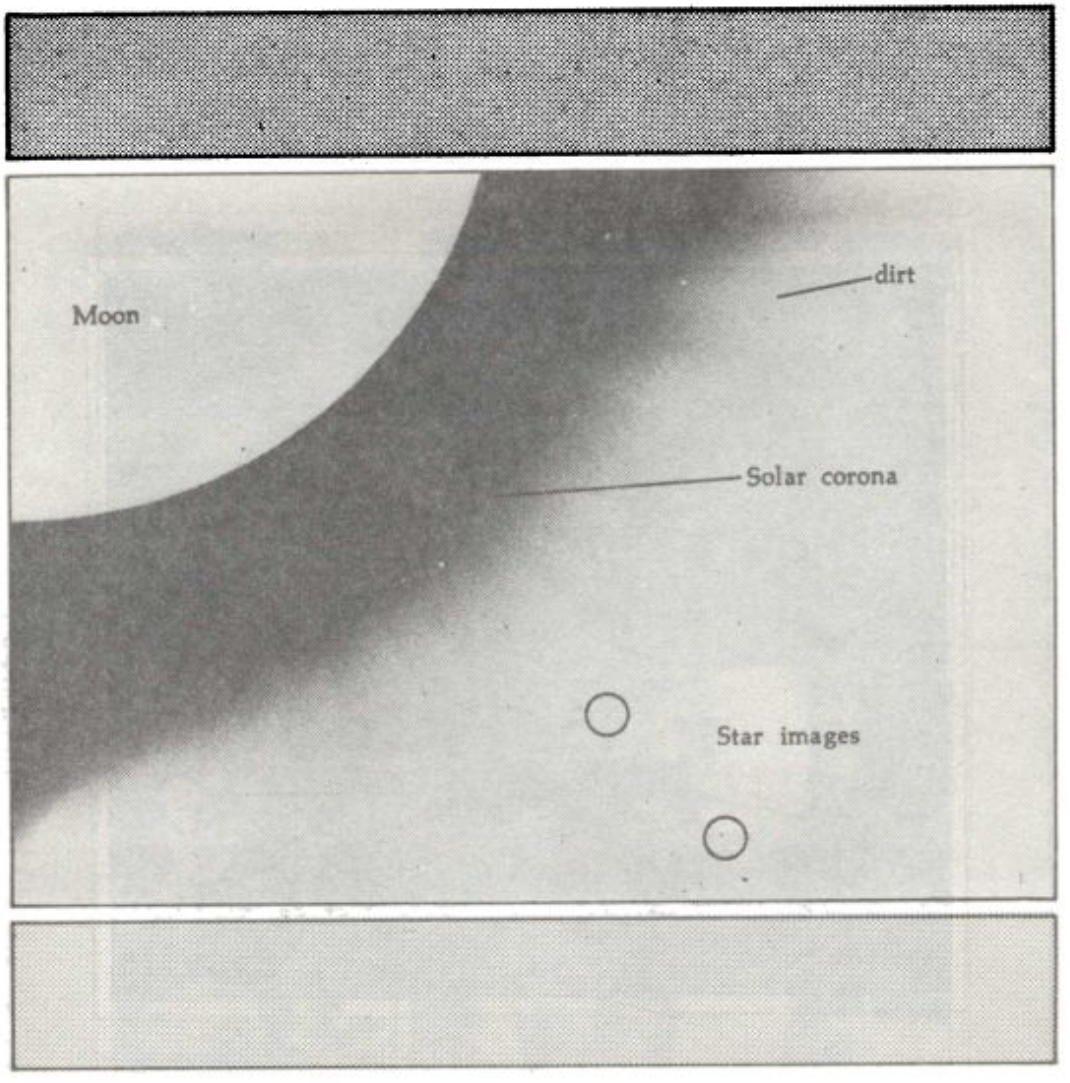
1. John Cockcroft 2. Ernest Walton 3. Cavendish Laboratory



یک حشره (ساس) که بر بادکنکی آراسته با نقش‌های کهکشانی می‌خزد، حرکات مسافر فضائی را در عالمی «مشخص امّا نامحدود» نشان می‌دهد. حشره ممکن است در مسیری که مستقیم به نظر می‌رسد حرکت و معهذا وقتی مسیر خود را به پایان می‌رساند ناآگاهانه، عالمِ (بادکنک) را دور زده و به نقطهٔ شروع حرکت خود برسد.

(عکس: جوآن ویلیامز[1])

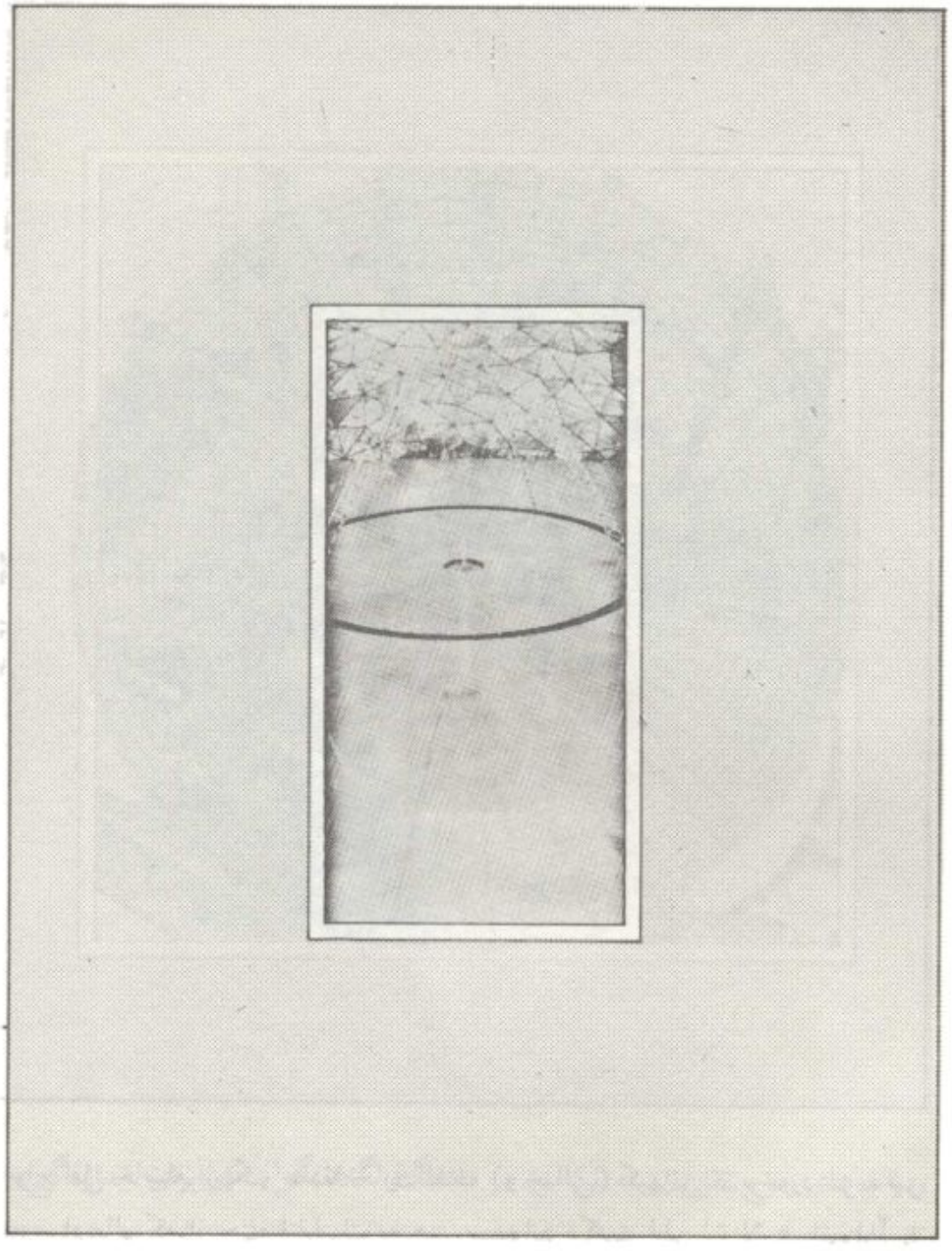
1. Joan Williams



وقتی‌که خورشید گرفتگی کامل بوجود می‌آید، اخترانِ فراسوی خورشید قابل رؤیت شده و مطابق نظریهٔ اینشتین موقعیت‌های ظاهری‌شان، در ارتباط با دیگر اختران، تحت تأثیر ثقل خورشید، اندکی تغییر می‌یابد. در این عکس منفی که توسط پایگاه مشاهداتی رویال گرینویچ[1] از روی یکی از فیلم‌های عکاسی تاریخی مأموریت‌های سال ۱۹۱۹ تهیه شده است، بخش تاریک ماه، سفید و قرینه (برآمدگی) روشن خورشید تاریک و ریشه‌دار دیده می‌شود. موقعیت فرضی دو اختر هم مشخص، و نقطه‌های سیاه‌نسبت‌به شیارها و لکه‌ها به سهولت قابل تشخیص نیست.

(عکس: پایگاه مشاهداتی رویال گرینویچ[1])

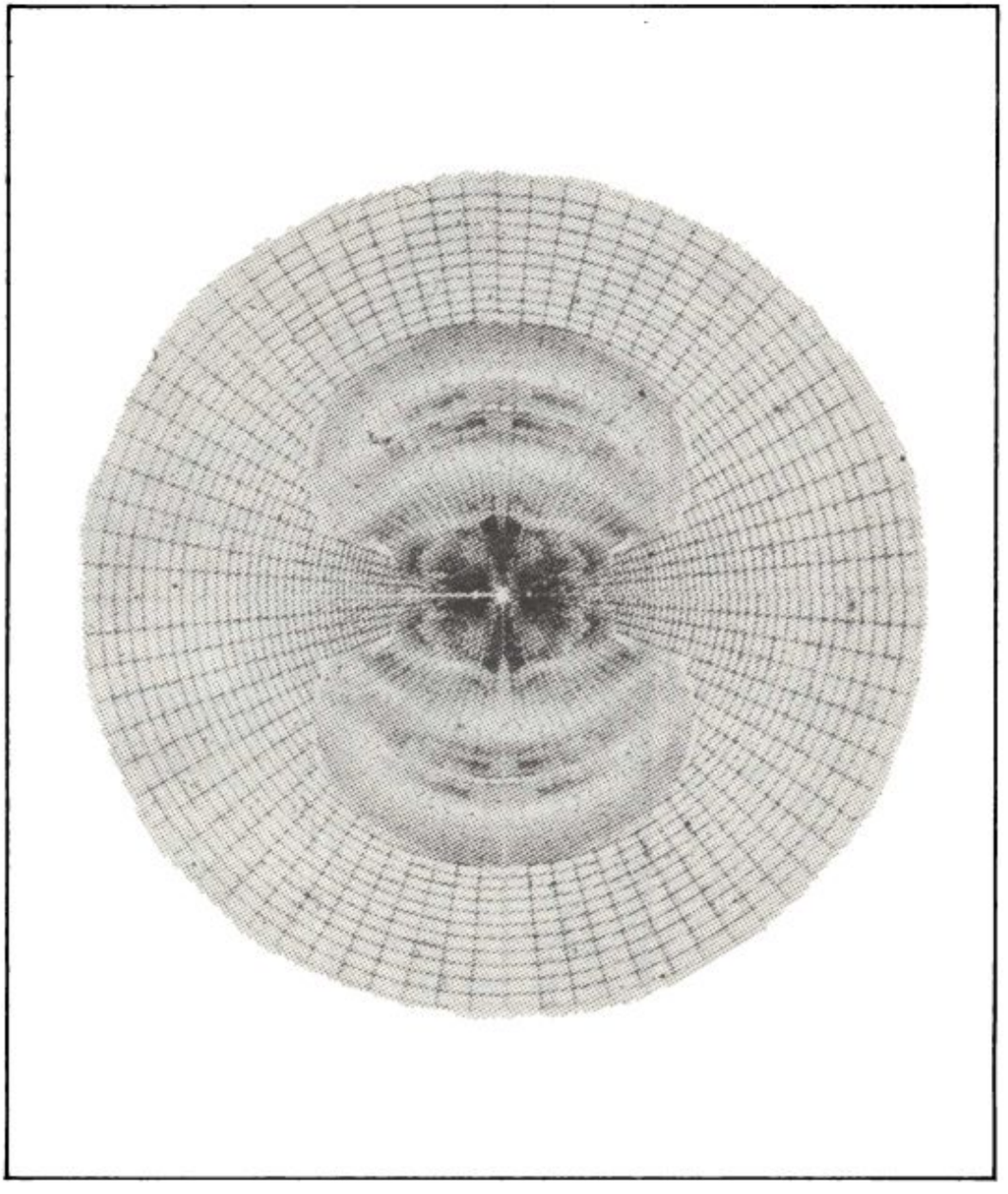
1. Royal Greenwich Observatory



رادیوتلسکوپ هی ستک[1] در ماساچوست، در آزمایشات مهم نسبیت عام بویژه ردیابی راداری اجتران به کار گرفته شده است. این بشقاب یکصد و بیست پائی در داخل گنبد محافظی که امواج رادیوئی از آن عبور می‌کنند قرار گرفته است.
(عکس: آزمایشگاه لینکلن[2])

1. Haystack

2. Lincoln Laboratory

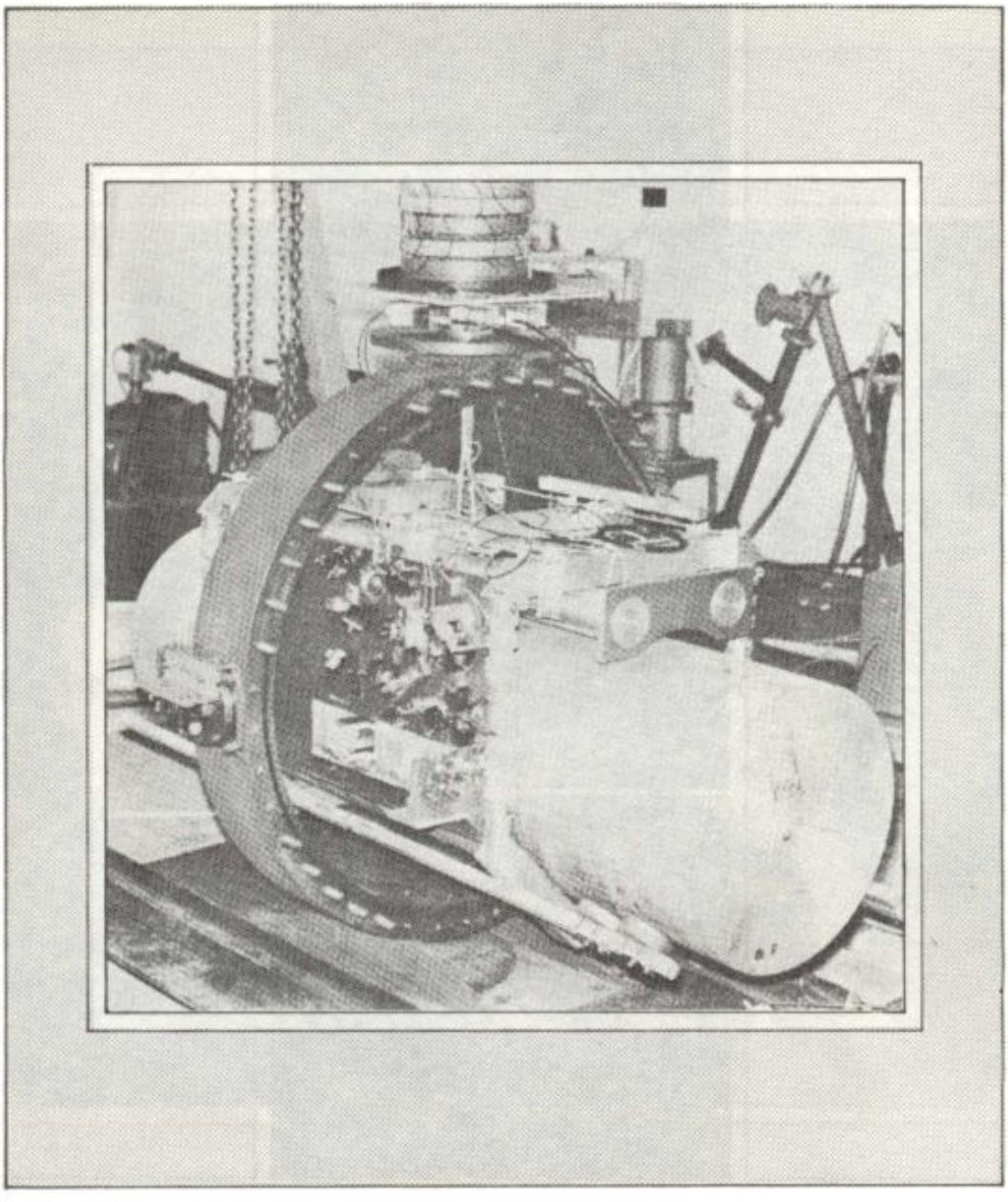


امواج ثقل حاصله از یک حادثهٔ خارق‌العاده (و خیالی) کیهانی ــ برخورد سر به سر دو سیاه‌چال که از چپ و راست به هم رسیده‌اند. کِنت اِپلی[1] و لاری اِسمار[2] با استفاده از رایانه، خطوط میزان انحناء متغیر فضا را که تشکیل تشعشع می‌دهند ترسیم نمودند. یک چنین برخوردی می‌تواند حدود یک هزارم انرژی آرمیدهٔ سیاه‌چال‌ها را به امواج ثقل تبدیل کند.

(عکس: لاری اِسمار و کِنت اِپلی)

1. Kenneth Eppley

2. Larry Smarr



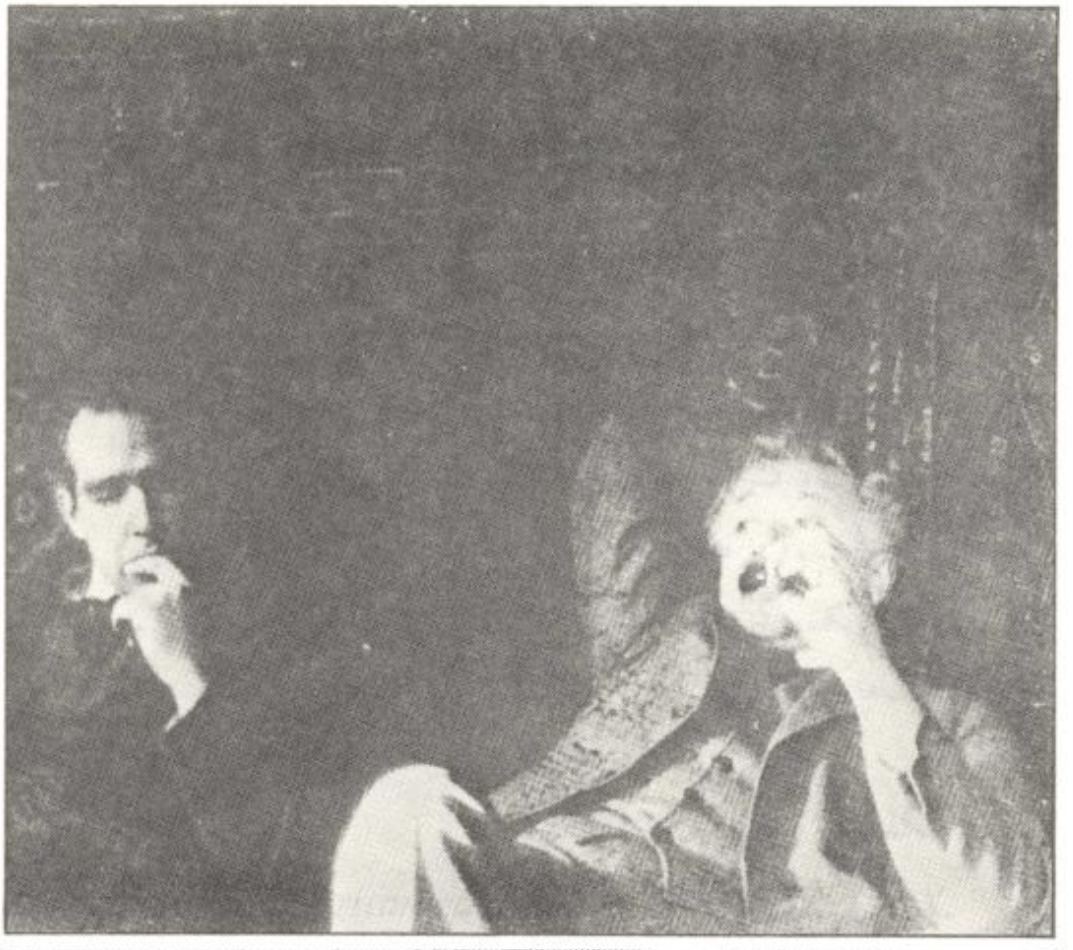
ردیاب‌های موج ثقل رو به تکامل در دانشگاه گلاسگو[1]، که برای اندازه‌گیری تغییرات بسیار جزئی در جداسازی دو جسم ــ دو استوانهٔ فلزی پشت به پشت، در اوایل کارــ از پرتوهای لیزر استفاده می‌کنند. مجموعه‌ای از آینه‌ها و عدسی‌ها در کنار استوانه‌ها مشاهده می‌شود. پرتو لیزر طوری پرتاب می‌شود که بازتاب‌های فراوان ایجاد، و بدان وسیله حساسیت در اندازه‌گیری حرکات جزئی افزایش یابد.
(عکس: رونالد درور[2])

1. University of Glasgow 2. Ronald Drever

نمونه های رایانه ای کهکشان ها. عکس بالائی پخش کاملاً تصادفی کهکشان ها و عکس میانی، تجمع آنها را با توجه به کشش های متقابل بین کهکشانی نشان می‌دهد. تصویر پائینی نقشهٔ واقعی بسیار بهتری از کهکشان ها ارائه می‌کند. جیمز پیبلز[1] و همکارانش در دانشگاه پرینستون با انجام چنین مطالعاتی نتیجه گرفتند که تراکم ماده بیشتر از آن چیزی است که قبلاً تصور می‌شد.

(عکس ها: جیمز پیبلز[1])

1. James Peebles



آلبرت اینشتین و نظریه‌پرداز دانمارکی نیلز بور ، یکدیگر را شدیداً تحسین می‌کردند، امّا در عقاید خود پیرامون نظریهٔ کوانتوم که در آن اینشتین مهاجم و بور مدافع بود، به نحوی سرسختانه مخالف هم بودند. در این کشمکش بزرگ، در اواخر سالهای دههٔ ۱۹۲۰، بور پیروز شد.

(عکس: پال اِهرنفِست[2]، با اجازهٔ هیأت امناء بنیاد اینشتین)

1. Neils Bohr

2. Paul Ehronfest

مراجع و مآخذ ترجمه و پانویس ها

الف ــ فارسی:

۱. آسمان‌نما (نقشه)، از انتشارات سازمان نقشه برداری کشور.

۲. شناخت مقدماتی ستارگان، ترجمه و اقتباس: توفیق حیدرزاده، گیتاشناسی.

۳. فرهنگ مُعین، دکتر محمد مُعین، انتشارات امیرکبیر.

٤. واژگان فیزیک، زیر نظر سیّد محمّد امینی. مرکز نشر دانشگاهی.

۵. واژه‌نامهٔ فیزیک، گروه تخصصی فیزیک. مرکز نشر دانشگاهی.

٦. یادداشت‌های شخصی مترجم.

ب ــ انگلیسی و فرانسه:

1. Encyclopedia Britanica volumes: VI, VIII, IX, X.

2. The American Heritage Dictionary.

3. Petit Larousse Illustré, Publie sous la Direction. De Claude Augé. Paris. Librairie Larousse. 1900.

مؤسسهٔ خدمات فرهنگی رسا

تهران - خیابان شهید مطهری، تقاطع خیابان دکتر مفتح، ساختمان ۲۳۴ تلفن ۸۳۹۹۵۰

بها ۸۰۰ ریال