فیزیک جهان ما

رضا علی‌خواه

فیزیک جهان ما

رضا علی‌خواه

انتشارات فرشته

سرشناسه	:	علی‌خواه، رضا، ۱۳۷۳-
عنوان و نام پدیدآور	:	فیزیک جهان ما/ رضا علی‌خواه ؛ ویراستار بنفشه کاظمی.
مشخصات نشر	:	تبریز: انتشارات فرشته، ۱۴۰۰.
مشخصات ظاهری	:	۲۲۳ ص.: مصور (رنگی).
شابک	:	978-622-7805-42-0
وضعیت فهرست نویسی	:	فیپا
یادداشت	:	کتابنامه: ص. [۲۲۱] - ۲۲۳.
موضوع	:	فیزیک -- تاریخ
موضوع	:	Physics -- History
موضوع	:	فیزیک
موضوع	:	Physics
رده بندی کنگره	:	QC۷
رده بندی دیویی	:	۵۳۰/۰۹
شماره کتابشناسی ملی	:	۸۵۲۷۷۹۷

- نام کتاب: فیزیک جهان ما
- نویسنده: رضا علی‌خواه
- ویراستار: بنفشه کاظمی
- ناشر: فرشته
- نوبت چاپ: اول ۱۴۰۰
- تیراژ: ۱۰۰۰ جلد
- شابک: ۰-۴۲-۷۸۰۵-۶۲۲-۹۷۸
- قیمت: ۱۴۰۰۰۰ تومان

تلفن مرکز فروش:

۰۹۳۵۴۳۴۷۸۴۴

فهرست

مقدمه ۶

فصل اول: قوانین ۸

فصل دوم: فیزیک کلاسیک ۳۴

فصل سوم: نظریه نسبیت ۷۸

فصل چهارم: فیزیک کوانتوم ۱۳۷

فصل پنجم: فیزیک ذرات ۱۶۳

فصل ششم: تولد کیهان ۲۰۵

تقدیم به دوست مهربان و بزرگوارم مهندس زلفعلی نژادرضا که مشوق اصلی من در خلق این اثر بوده است. رفیقی که جرئت نوشتن را به من القا کرد تا از آوردن آموخته‌هایم بر روی کاغذ نهراسم و از یاد دادن آن‌ها به دیگران احساس شعف و خوشبختی کنم.

مقدمه

کتاب حاضر، تاریخ فیزیک و مفاهیم آن را از آغاز یعنی از دوران یونان باستان تا امروز به تصویر می‌کشد و نظریه‌ها و مفاهیمی را که در این دوره‌ی ۲۰۰۰ ساله توسط دانشمندانی از ارسطو گرفته تا نیوتون و آینیشتین کشف و مطرح شده‌اند مرور می‌کند. در این کتاب ابتدا به قوانین طبیعت و ماهیت آن‌ها پرداخته شده است و در ادامه فیزیک کلاسیک، نظریه نسبیت، مکانیک کوانتوم، مدل استاندارد فیزیک ذرات و در نهایت نظریه مهبانگ ارائه می‌شود. فیزیک کلاسیک همانی است که ما در زندگی روزمره مدام با آن سر و کار داریم. از پرتاب یک سنگ تا ترمز کردن یک ماشین همه و همه به این شاخه مربوط می‌شوند. نظریه نسبیت آینیشتین مکمل فیزیک نیوتونی است و زمانی به میدان می‌آید که قوانین نیوتون تحت شرایطی خاص از جمله سرعت‌های بالا و گرانش‌های شدید قادر نباشند پدیده‌ها را توضیح دهند. همچنین فیزیک‌دانان، امروزه بسیاری از پدیده‌های کیهان‌شناسی نوین را با کمک معادلات مربوط به این نظریه توضیح می‌دهند. مکانیک کوانتوم با دنیای ریز ذرات زیر اتمی کار دارد و قوانین عجیب و غریب و رفتار دور از انتظار آن‌ها را بر پایه‌ی احتمالات بیان می‌کند. اتفاقات دنیای کوانتوم به قدری نامعقول و غیرمنطقی است که بسیاری از

دانشمندان متخصص در این حوزه از همان زمان شکل‌گیری این نظریه تا به حال در درک ماهیت ذرات ماده مشکل داشتند و هریک به نحوی اعتراض خود را بیان نموده‌اند. مدل استاندارد ذرات زیر اتمی نیز نظریه‌ای بر آمده از کوانتوم است که با کمک شتاب‌دهنده‌های غول‌پیکر، انواع گوناگون ذرات بنیادی ماده و ویژگی‌های متنوع آن‌ها را دسته‌بندی و مطالعه می‌کند. فصل آخر این کتاب به بحث درباره‌ی چگونگی تولد کیهان و انبساط آن تحت عنوان مهبانگ و نظریه‌ای به نام تورم می‌پردازد و نحوه‌ی آغاز جهان را در ۱۳/۷میلیارد سال پیش بررسی می‌کند.

بدیهی است علیرغم تلاش بنده در ارائه‌ی مطالبی عاری از اشتباه، احتمال لغزش وجود دارد. لذا از خوانندگان گرامی خواهشمندم نکات و تذکرات خود را از طریق ایمیل www.alikhahreza2168@gmail.com با این جانب در میان بگذارند.

رضا علی‌خواه

پاییز ۱۴۰۰

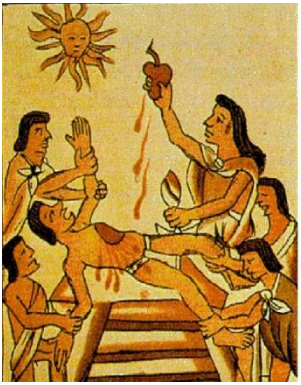
فصل اول: قوانین

حکومت الهه‌ها و شیاطین

در گذشته انسان‌ها چرایی و ماهیت پدیده‌های طبیعی را فراتر از حد درک و فهم خود می‌دانستند. و علت آن‌ها را به نیروهای ماورایی و عجیب وغریب نسبت می‌دادند. در افسانه وایکینگ‌ها، دو گرگ به نام های اسکول و هتی، به ترتیب ماه و خورشید را دنبال می‌کنند. وقتی گرگ‌ها هرکدام از آن‌ها را بگیرند گرفتگی رخ می‌دهد. زمانی که این پدیده رخ می‌دهد مردم روی زمین برای آزاد کردن آن‌ها دست به کار می‌شوند. آن‌ها هر قدر که بتوانند صدا ایجاد می‌کنند تا بلکه با ترساندن گرگ‌ها، خورشید و ماه را نجات دهند. در فرهنگ‌های دیگر نیز افسانه‌های مشابهی وجود دارند. به عنوان مثال در حدود ۵۶۰۰ سال پیش از میلاد حضرت مسیح(ع) آتش‌فشان کوه مازاما در اورگن فوران کرد و سنگ‌ها و خاکستر‌داغ ناشی از آن برای سال‌ها بر زمین فرو ریخت. این فوران باعث شد سال‌ها باران ببارد و در دهانه آتش فشان آب جمع شود که امروزه به دریاچه‌ی کراتر معروف است. سرخپوست‌های کلامات در اورگن افسانه‌ای دارند که به خوبی با تمام جزئیات زمین‌شناسی این رویداد مطابقت دارد. بر طبق این افسانه لیائو خدای عالم زیرین عاشق دختر زیبای فرمانروای کلامات می‌شود. دختر به او پشت‌پا زده و لیائو تصمیم می‌گیرد با به آتش کشیدن کلامات انتقام بگیرد. خوشبختانه بر طبق این افسانه اسکول خدای جهان بالا دلش برای مردم می‌سوزد و با رقیب پایینی خود می‌جنگد. در نهایت لیائو زخمی شده و به درون کوه مازاما سقوط می‌کند. بر اثر آن سوراخ بزرگی ایجاد می‌شود، همان دهانه‌ای که سرانجام با آب پر شده است.

امروزه این داستان‌ها اگر چه برای ما خنده‌دار به نظر می‌رسند با این حال

روزگاری همین‌ها جزء فرهنگ و اعتقادات راسخ مردمان آن سرزمین‌ها به حساب می‌آمدند و همه‌ی جنبه‌های زندگی ایشان را تحت‌الشعاع قرار داده بودند. در زمان‌های باستان نسبت دادن رویدادهای طبیعت به شیاطین بدذات و خدایان مهربان امری رایج بود. در واقع عدم آگاهی نسبت به رویدادهای طبیعی باعث شده بود که مردم قدیم خدایان متعددی اختراع کنند. این الهه‌ها و شیاطین بر همه‌ی کارها و اتفاقات روزمره آن‌ها حکمرانی می‌کردند و انسان‌ها برای یک زندگی بدون دردسر و آرام ناچار بودند آن‌ها را از خود راضی سازند. به تصور مردمان قدیم زمانی که خدایان راضی و خشنود بودند انسان‌ها در وضعیت آب و هوایی مساعد در صلح و آرامش و رها از فجایع و امراض طبیعی زندگی می‌کردند. اما اگر ناراضی بودند در این صورت خشکسالی، جنگ و بیماری‌های همه‌گیر همه جا را فرا می‌گرفتند. در هر قوم و قبیله‌ای انسان‌ها بر پایه همین تصورات برای جلب محبت خدایان مراسمات خاصی را در قالب پرستش این موجودات فراطبیعی بر پا می‌کردند. این گونه آیین‌ها از روشن کردن آتش، کوبیدن طبل، رقصیدن و آواز خواندن گرفته تا هدیه دادن مقداری از محصولات زراعی خود همچون گندم و کشتن حیوانات اهلی و حتی قربانی کردن افراد برای خدایان را شامل می‌شد.

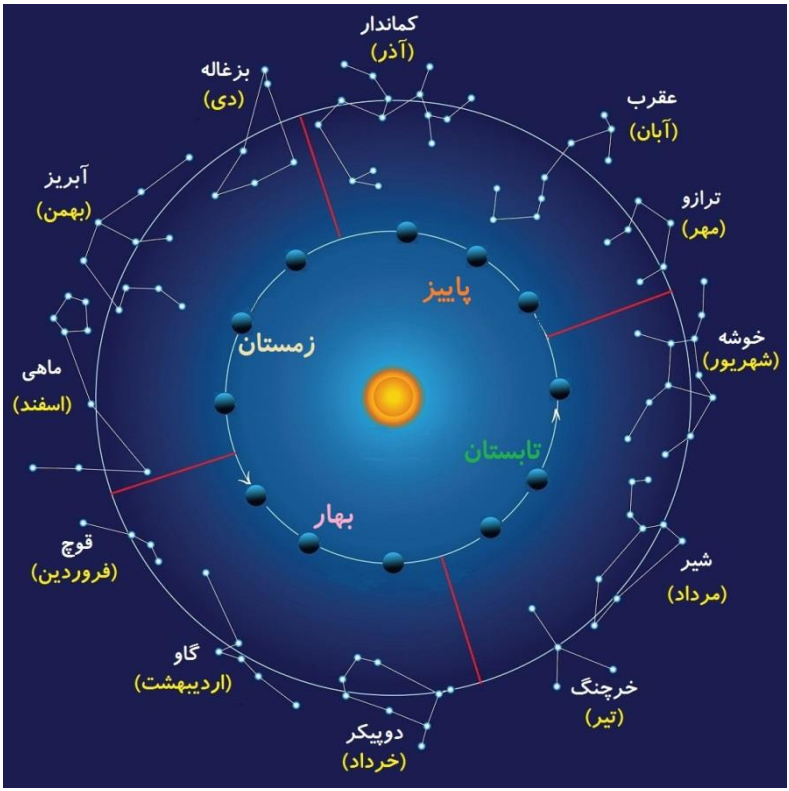


سمت راست: معبد هرمی کوکولکان متعلق به تمدن مایا در آمریکای مرکزی.
سمت چپ: تصویر نقاشی از مراسم قربانی کردن انسان بر نوک معبد هرمی در تمدن مایا. آنان با تقدیم خون و قلب قربانی به خدای خورشید سعی می‌کردند رضایت او را جلب کرده و بدین ترتیب مصیبت خورشید گرفتگی را برطرف سازند.

اولین اخترشناسان

انسان‌ها به تدریج متوجه نظم و الگویی تکراری درباره‌ی طبیعت و رخدادهای طبیعی شدند. انسان‌ها برای اولین بار دریافتند که خورشید و ستارگان آسمان بر اساس یک الگوی تکرار شونده حرکت می‌کنند. با وجود این‌که هنوز ابتدایی‌ترین ساعت‌ها اختراع نشده بود آنان با توجه به موقعیت خورشید در آسمان می‌فهمیدند که چه موقعی از روز است. اگر خورشید بالای سرشان بود و نصف آسمان را طی کرده بود می‌فهمیدند که هنگام ظهر است و نصف روز سپری شده است. اگر خورشید از این هم بیش‌تر به طرف غرب رفته بود متوجه می‌شدند که شب نزدیک است و باید برای در امان ماندن از شر حیوانات درنده به آشیانه‌ی خود در غارها برگردند و قبل از تاریکی آتش روشن کنند. آدمیان هر شب با نگاه کردن به آسمان و دنبال کردن صورت‌های فلکی (گروهی از ستارگان که در شکل های خاص به نظر می‌رسند) به تدریج متوجه شدند که هریک از این صور فلکی در فصل‌های متفاوتی ظاهر می‌شوند به گونه‌ای که هر فصل برای خود صورت فلکی مشخصی داشت . بنابراین آن‌ها می‌توانستند به محض دیدن صورت فلکی خاصی در آسمان از فرا رسیدن هر فصل و رخداد پدیده‌های مربوط به آن فصل آگاهی یابند. برای نمونه در حدود ۳۰۰۰ سال پیش از میلاد، مصریان از ظهور ستاره‌ها در آسمان، زمان سیلاب‌های نیل را پیش‌بینی می‌کردند و به این طریق می‌توانستند زمان مناسب برای شخم‌زدن زمین‌ها، کاشت به موقع بذرها و برداشت محصولات و کوچ را پیش‌بینی کنند. در آن زمان رصد ستارگان و بهره‌بردن از آسمان به عنوان یک تقویم دستاورد بزرگی برای بشر به حساب می‌آمد که کار هر کسی نبود. در هر قوم و قبیله یا تمدنی تنها عده‌ی معدودی از

افراد قادر به این کار بودند. این‌ها اولین اخترشناسانی بودند که در جامعه‌ی آن روزگار به دلیل داشتن قدرت پیش‌گویی مقام و منزلت بالایی در بین مردم پیدا کرده بودند و اغلب در کنار پادشاه به عنوان مشاور نقشی حیاتی ایفا می‌کردند. در آن دوران علم تجربی در مرحله جنینی خود به سر می‌برد و هنوز بسیاری از تمدن‌ها به شدت تحت تأثیر مذاهب و اسطوره‌های زمانه‌ی خود بودند. هر چند اخترشناسانِ نخستین به پاره‌ای از الگوهای طبیعی پی برده بودند، اما همچنان اکثر مردم و نیز پادشاهان و بزرگان قبایل این پدیده‌ها را به ارواح و موجودات متافیزیکی ربط می‌دادند و سعی داشتند حتی از قدرت این موجودات به نفع خود استفاده نمایند.



متاسفانه جهل بشر نسبت به چیستی و چرایی این پدیده‌ها سبب گردید این رصدگران در تصور عموم مردم و به خصوص پادشاهان، به عنوان جادوگر و غیب‌دانانی تلقی شوند که علاوه بر قدرت پیش‌بینی فصل‌ها و زمان سیلاب‌ها قادر به غیب‌گویی درباره‌ی اتفاقات آینده نیز باشند. بر اساس این تصور غلط اولین اخترشناسان به عنوان طالع‌بینان و کاهنانی شناخته شدند که قدرت‌هایی ماورایی داشتند و می‌توانستند از روی موقعیت ستاره‌ها و اجرام آسمانی، آینده و سرنوشت دولت‌ها و افراد را نیز از همان ابتدا بخوانند و البته چنان‌که انتظار می رود پیش‌بینی این افراد بیچاره در ۵۰ درصد مواقع غلط از آب در آمده و مورد مجازات پادشاهان قرار می‌گرفته‌اند.

حکومت قوانین

اکثر محققان و مورخان آغازگاه فلسفه و علم را منطقه‌ی یونیه می‌دانند. این منطقه‌ی ساحلی زمانی در گذشته پذیرای انواع کشتی‌ها و گذرگاه و محل تلاقی فرهنگ‌های یونانی، بین‌النهرینی، مصری و لیدیایی بود. خود اهالی یونیه بسیار اهل سفر کردن و مردمی دارای استقلال فکری بودند. همین امر آنان را در معرض ایده‌های متفاوت و اندیشه‌های گوناگون قرار می‌داد و می‌توانستند بدون آن‌که به اسطوره‌ها متوسل شوند، سؤالات و نظرات فلسفی خود درباره ماهیت جهانی هستی را به صورت واقع‌بینانه مطرح کنند. شرایط فرهنگی و فکری حاکم بر یونیه زمینه‌ی مناسبی فراهم کرده بود تا برای اولین بار اندیشمندانی از این منطقه سربرآورند و دریابند که جهان دارای نظمی درونی است.

نخستین تغییر اساسی در بینش انسان نسبت به طبیعت حدود ۲۶۰۰ سال قبل با ظهور فردی به نام تالس از شهر میلیتوس یونیه آغاز شد. او نخستین کسی بود که به توضیح رویدادهای طبیعی بدون توسل به علل مافوق طبیعی

پرداخت و کوشید بدون در نظر گرفتن افسانه‌ها و موجودات ماورایی جهان را از راه مشاهده و تفکر عاقلانه درک کند و در نهایت این ایده را مطرح نمود که طبیعت از اصول ثابتی تبعیت می‌کند که قابل کشف هستند. یکی دیگر از فیلسوفان یونیه‌ای فیثاغورث بود که شاگرد تالس بود. او ۲۲ سال از عمر خود را در خارج از سرزمین‌های یونان صرف آشنایی با افکار و علوم کاهنان مصری، بابلیان و مغ‌های ایرانی(روحانیان، طالع‌بینان و جادوگران) کرده بود. او نیز همچون استادش به ایده‌ی قابل فهم بودن جهان اعتقاد داشت و علاوه بر آن به این نتیجه رسیده بود که بسیاری از پدیده‌های طبیعی از قوانین هندسی و روابط عددی ریاضی تبعیت می‌کنند. در واقع او برای اولین بار ریاضی را ابداع کرد و کوشید قوانین حاکم بر طبیعت را به زبان ریاضی بنویسد و فرمول‌بندی کند. تالس و فیثاغورث جرقه را زده بودند اما بشر هنوز در ابتدای راه بود. بعد از این دو نفر، اشخاص بسیاری در طول تاریخ از ارسطو و دموکریتوس تا گالیله و نیوتون و بسیاری افراد دیگر هر یک به نوبه‌ی خود با مشاهده و تفکر در طبیعت سعی نمودند تا جهان به این عظمت و پیچیدگی را در قالب قوانین و روابط ریاضی تفسیر کنند و نظریاتی ارائه دهند که بعضا ناقص و اشتباه نیز بودند.

پیش‌بینی‌پذیر بودن جهان

امروزه بسیاری از دانشمندان حوزه‌های علوم به این نتیجه رسیده‌اند که تقریبا همه‌ی پدیده‌های جهان هستی پیش‌بینی پذیراند. این به آن معنیست که وقتی پدیده‌های تکراری محیط اطراف خود مثل طلوع و غروب خورشید یا سقوط سنگ و یا نحوه رشد یگ گیاه را مشاهده می‌کنیم می‌توانیم مدلی برای هرکدام بدست آوریم و با استفاده از این مدل رفتار همان پدیده‌ها را در آینده نیز پیش‌گویی کنیم. برای مثال الگویی که برای حرکت خورشید بدست آورده‌ایم از شرق به غرب است یا در مورد سنگ پرتاب شده این مدل به شکل یک مسیر

سهمی است.

الگویابی در طبیعت

چنان‌که پیش‌تر گفته شد بشر الگویابی و پیش‌بینی پدیده‌ها را از عصر حجر آغاز کرده بود اما این الگویابی از زمان گالیله شکلی جدی به خود گرفت به طوری که از آن موقع به بعد انسان‌ها بنا به روش علمی در کشفیات این الگوها دقیق‌تر شدند و همچنین توانستند به جنبه‌های پیچیده و گسترده و جدیدتری از الگوهای طبیعت دست یابند.

انسان‌ها در گذر زمان دریافتند که برای کشف دقیق‌تر الگوهای طبیعت تنها مشاهده کردن پدیده‌ها کارساز نیست بلکه باید قوانین بنیادی حاکم بر جهان را نیز شناخت و از چگونگی کارکرد آن‌ها آگاه شد. قوانین طبیعی که خود جزئی از جهان‌اند شکل دهنده‌ی جهان ما و تعیین‌کننده‌ی چگونگی رفتار آن هستند. این قوانین به حدی مهم‌اند که دانشمندان مادی‌گرا و ناخداباور آن‌ها را به جای پروردگار هستی و به عنوان مدبر و تنظیم‌کننده‌ی هر چیزی در جهان قلمداد می‌کنند که بعدا در این باره سخن خواهیم گفت.

قطاری را در نظر بگیرید که روی ریل حرکت می‌کند. بیننده‌ای که از دور آن را تماشا می‌کند ریلی نمی‌بیند. به تصور او چرخ‌های باریک این وسیله روی زمین حرکت می‌کنند و هر لحظه ممکن است به اطراف بپیچند و قطار را واژگون کنند. این فرد که از وجود ریل‌های فولادی زیر قطار بی‌اطلاع است، برای علت ادامه‌ی مسیر قطار ممکن است به افسانه و یا مواردی از این دست روی آورد. ممکن است فکر کند که یک موجود ماورایی هرلحظه با دستان نامرئی خود تک‌تک چرخ‌های دو طرف قطار را در امتداد دو خط موازی نگه داشته است و از تصادف آن جلوگیری می‌کند. شاید هم تصور نماید که بیگانگان فضایی با تکنولوژی بسیار پیشرفته و خارج از درک او این کار را به نحوی درک ناشدنی

انجام می‌دهند. مشکل این شخص ناشی از عدم شناخت او از پدیده‌ای به نام ریل‌هاست. در واقع اگر چنان‌که او از نزدیک و با دقت بیش‌تری نگاه کند ریل‌ها را می‌بیند و درمی‌یابد که مسیر حرکت قطار همواره در راستای ریل‌ها خواهد بود و نمی‌تواند از مسیر اصلی‌اش منحرف شود. او که از علت واژگون نشدن قطار آگاهی یافته است با دیدن امتداد ریل‌ها به دانش دیگری نیز دست خواهد یافت که این دانش قدرت پیش‌بینی مسیر قطار است. در این مثال پدیده‌های جهان اطراف ما در حکم قطار و قوانین حاکم بر آن همان خطوط راه‌آهن‌اند. همچنان که قطار از ریل‌ها تبعیت می‌کند تمام پدیده‌های طبیعی نیز از قوانین طبیعت پیروی می‌کنند و نمی‌توانند از آن‌ها تخطی نمایند. این ما هستیم که روز به روز به ریل نزدیک‌تر می‌شویم و قوانین طبیعت را بهتر و دقیق‌تر درک می‌کنیم و به تبع آن می‌توانیم الگوهایی بیابیم و آینده‌ی جهان و رخدادهای طبیعت را بر اساس این الگوها پیش‌بینی نماییم.

در جهان ما مصداق یکی از آن ریل‌ها قانونی به نام قانون گرانش و مکانیک حرکت است. این قانون در همه جای جهان ما یکسان عمل می‌کند و تعیین‌کننده الگوی حرکت همه‌ی اجسام دارای جرم از توپ‌های فوتبال روی زمین تا شهاب سنگ‌ها و کهکشان‌های غول‌پیکر آن سوی جهان است. کره‌ی زمین و دیگر سیارات منظومه‌ی شمسی ۵ میلیارد است که بر اساس همین قانون گرانش در مسیرهایشان حول خورشید باقی‌اند و خود خورشید و سیارات اطرافش نیز از همان زمانِ بوجود آمدنشان در مدار معینی که گرانش سیاهچاله مرکزی برایش تعریف کرده است به دور کهکشان راه شیری در حال قدم‌روی هستند.

ما از این قانون که حدود سیصد سال قبل توسط نیوتن کشف و فرمول‌بندی شده است باخبریم و به کمک آن می‌توانیم حرکت پیچیده‌ی هر شیء را در کیهان توضیح دهیم و سرعت و موقعیت و مسیر دقیق اجرام آسمانی را در آینده یا گذشته به راحتی پیش‌بینی نماییم. ما بر اساس این قانون می‌توانیم به شرط

داشتن حالت اولیه یک شیء موقعیت و سرعت آن را در هر زمانی در آینده و حتی در گذشته محاسبه کنیم. منظور از حالت اولیه؛ مکان و مقدار سرعت و جهت حرکت کنونی جسم است. برای مثال اگر اکنون بخواهیم مسیر دقیق یک سنگ پرتاب شده و مکان دقیق افتادن آن را بر زمین محاسبه کنیم بایستی بدانیم این سنگ هم‌اکنون در چه نقطه‌ای است و در کدام جهت و با چه سرعتی به پیش می‌رود؟!! به همین ترتیب فیزیک‌دانان می‌توانند با کمک معادلات گرانش و حرکت، مدار دایره‌ای یا بیضی هر سیاره و ستاره و مسیرهای حرکت خطی یا سهمی‌وار شهاب‌های سرگردان و ماهواره‌ها را محاسبه و پیش‌بینی کنند. برای مثال با در دست داشتن موقعیت و جهت و میزان سرعت کنونی یک شهاب سرگردان (حالت اولیه شهاب)، قادرند محل برخورد یا عبور آن را بعد از ۱۰۱ سال و ۱۰ روز و ۴ ساعت و ۷ دقیقه و ۱۰ ثانیه به خوبی پیش‌بینی کنند و برعکس قادرند نقطه‌ای از فضا را که شهاب‌سنگ زمانی در گذشته مثلا در ۲۱ ماه قبل در آن جا بود را نیز پیدا کنند.

دنباله‌دار هالی

یک نمونه از اولین پیش‌بینی‌های دقیق در تاریخ بشر به سال ۱۶۸۲ بر می‌گردد. در آن زمان دنباله‌داری از آسمان بالای انگلستان گذشت و ادموند هالی ستاره‌شناس را مجذوب خود نمود. هالی که هم عصر نیوتون بود در همان سال به دیدار نیوتون رفت و پس از صحبت با وی در کمال شگفتی دریافت که آیزاک نیوتون قانونی کشف کرده است که دست طبیعت را می‌خواند. او در آن سال از قوانین نیوتون استفاده نمود و همچنین بعد از مشورت با خود نیوتون توانست الگوی دقیقی برای مسیر آن دنباله‌دار کشف کند و در نهایت به این نتیجه رسید که بر طبق محاسباتش همین دنباله‌دار بعد از ۷۵ سال یعنی در تاریخ ۱۷۵۸ دوباره از فراز انگلستان عبور خواهد کرد. سال ها پس از مرگ هالی؛ این دنباله‌دار

مطابق پیش‌بینی وی در روز کریسمس سال ۱۷۵۸ بازگشت و به اسم دنباله‌دار هالی معروف شد. گفتنی است که هر قدر اطلاعات ما از حالت اولیه بیش‌تر و دقیق‌تر باشد پیش‌بینی ما نیز دقیق‌تر خواهد بود. اندازه‌گیری حالت اولیه نیازمند تلسکوپ‌ها و ابزارهای پیشرفته و دقیق است که خوشبختانه ما اکنون دارای چنین ابزارهایی هستیم و در نتیجه قادریم شرایط اولیه اجرام را هر روز دقیق‌تر از روز قبل بدست آوریم و الگوها را بهتر و دقیق‌تر از قبل بیابیم.

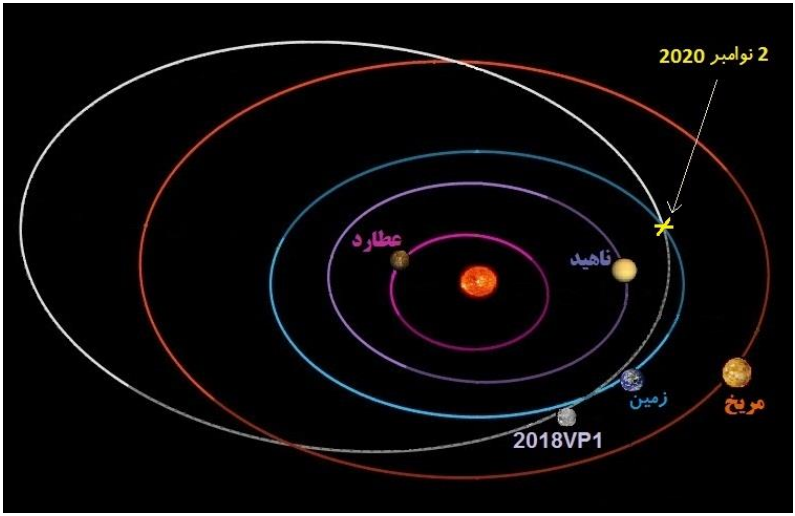
پیش‌بینی برخورد شهاب‌سنگ‌ها

یکی از مواردی که توانایی امروزه بشر در درک دقیق‌تر الگوهای طبیعت را نشان می‌دهد؛ پیش‌بینی برخورد شهاب‌سنگ‌ها به زمین در آینده است. هر از چند گاهی اخباری در مورد احتمال برخورد شهاب‌سنگی غول‌پیکر به زمین از زبان ناسا منتشر می‌شود و در روزنامه‌ها و اینترنت جنجالی به پا می‌کند. خوشبختانه همه‌ی شهاب‌هایی که در تاریخ چند هزار ساله‌ی بشر به زمین رسیده‌اند آنقدر کوچک بوده‌اند که یا در جو سوخته‌اند و یا در اثر برخوردشان به زمین چندان خسارت مالی و جانی نداشته‌اند. اما با این حال در یک مقیاس زمانی هزاران تا میلیون‌ها سال آینده باید خود را برای برخورد صد در صدی با یک دنباله‌دار یا شهاب‌سنگ عظیم‌الجثه آماده کنیم. اکثر دانشمندان بر این باورند که ۶۵ میلیون سال پیش یک جسم غیرزمینی با قطر حدودا پانزده کیلومتر در یوکاتان پنسیلوانیای مکزیکو با زمین برخورد کرده که در نتیجه گودالی با دهانه‌ی ۲۸۰ کیلومتر از آن بجا مانده است. این برخورد آنقدر گرد و غبار به اتمسفر فرستاد که مانع از ورود نور خورشید شده و زمین را تاریک کرد و به این ترتیب دما تا حد انجماد پایین آمده و در نتیجه زندگی گیاهی و شکل غالب حیات آن زمان یعنی دایناسورها در طول کم‌تر از یک سال از میان رفتند.

در درون منظومه‌ی شمسی، جایی که زمین قرار دارد در حدود ۱۰۰۰ تا

۱۵۰۰ سیارک با قطری برابر یک کیلومتر یا بیش‌تر و همین‌طور میلیون‌ها خرده سیارک با قطری در حدود ۵۰ متر یا بیش‌تر وجود دارند. این موضوع ناخوشایند است اما شرایط دیگر مثل گذشته نیست؛ چرا که ما به قوانین طبیعت و الگوهای آن آگاهیم و می‌توانیم آینده را بخوانیم و قبل از وقوع برخورد راه حلی برای آن بیابیم. برای مثال در رصد خانه اخترفیزیک اسمیت سونین در کمبریج روزانه ۱۵۰۰۰ سنگ آسمانی رصد می‌شود که از میان آن‌ها ۴۲ سیارک شناسایی شده‌اند و مدارشان به صورتی است که خطری بالقوه برای زمین به حساب می‌آیند و احتمال دارد که هر کدام زمانی در آینده به سوی زمین شیرجه روند. مشهورترین آن‌ها مربوط به خرده سیارک 1997XF11 است که در سال ۱۹۹۷ توسط اخترشناسان شناسایی شد و سال بعد موجب وحشت آن‌ها شد. آن‌ها که به‌درستی قوانین طبیعت اعتقاد راسخ داشتند بعد از محاسباتشان به این نتیجه رسیدند که این جرم یک کیلومتری در سی سال آینده یعنی در سال ۲۰۲۸ خود را بر زمین خواهد کوبید. این خبر به سرعت در رسانه‌ها منتشر گردید و منجر به بروز نگرانی‌های جهانی شد. پیش‌بینی مدار این خرده سیارک مشروط به دانستن تمام حالات اولیه بود که خوشبختانه دانشمندان در این مورد یک اشتباه جزئی داشتند. ایشان به زودی متوجه شدند که خرده سیارک دیگری در آن حوالی وجود دارد که با جاذبه‌ی ناچیزش باعث می‌شود خرده سیارک XF11۱۹۹۷ مسیری غیر از چیزی که آنان پیش‌بینی کرده بودند را طی کند و بنابراین با فاصله‌ی مطمئنی از کنار زمین رد شود. البته طبق محاسبات آن‌ها خطر این جرم کاملا رفع نشده است؛ چرا که طبق پیش‌بینی‌شان این خرده سیارک در ۱۶ مارس ۲۸۸۰ از فاصله ی نزدیک‌تری نسبت به زمین عبور خواهد کرد و در نتیجه احتمال کم ولی غیر صفری وجود دارد که این سنگ آسمانی باعث یک فاجعه شود. چنان‌که شبیه‌سازی‌های رایانه‌ای انجام گرفته در دانشگاه کالیفرنیا در سانتاکروز نشان می‌دهند که با فرض برخورد این جرم به اقیانوس موجی به

ارتفاع ۱۲۰ متر ایجاد خواهد کرد و اغلب مناطق ساحلی را در سیلابی ویرانگر فرو خواهد برد.



خرده سیارک 2018 VP1 (با قطر دو متر) در ۳ نوامبر سال ۲۰۱۸ کشف شد و بر اساس محاسبات معلوم شد این جرم یک روز قبل از انتخابات ریاست جمهوری امریکا در دو نوامبر سال ۲۰۲۰ به احتمال ۱ در ۲۴۰ به زمین برخورد خواهد کرد. این درحالی بود که در تاریخ مذکور این خرده سیارک از فاصله ۴۲۰ هزار کیلومتری زمین (علامت ضربدر) رد شد.

جبرگرایی علمی و انسان

ما از کاهنان مصری ، اخترشناسان بابلی و فیلسوفان یونانی ۷۰۰۰ سال پیش جلوتریم و در این مدت ۷۰۰۰ ساله به قدرت و دقت پیش‌بینی بالایی دست یافته‌ایم اما صبر کنید دقت پیشگویی ما در این تمدن ۷۰۰۰ ساله در مقایسه با قدرت پیش‌بینی یک تمدن بیگانه‌ی یک میلیون ساله بسیار پیش پا افتاده است.

غیر از قانون گرانش قوانین دیگری وجود دارند که بر جنبه‌های دیگر طبیعت حاکم‌اند که ما اکنون بیش‌تر آن‌ها را می‌دانیم. از این میان می‌توان به آهنگ (الگوی) سوختن ستاره‌ها، الگوی حرکت صفحات پوسته‌ی زمین و قوانین فیزیولوژیک حاکم بر بدن جانداران اشاره کرد. اما متاسفانه هنوز تجهیزات و علم ما به حدی نیست که تمام حالات اولیه پدیده‌ها را بدانیم و آینده‌ی جهان را به صورت صد در صد از روی این قوانین بخوانیم. این در حالیست که اگر پیشرفتمان تا یک میلیون سال آینده ادامه یابد آنگاه با در اختیار داشتن اَبَرکامپیوترهای قوی کوانتومی و تجهیزات بسیار پیشرفته‌ی علمی این کار مطمئنا میسر خواهد شد.

برای مثال:

- خواهیم توانست شکل، جنس و بزرگی یک کوه را در ۲۵۰ سال آینده با دقت صد در صد بگوییم.
- چگونگی تصادم دو کهکشان راه شیری و آندرومدا را شبیه‌سازی کنیم.
- شمایل و جزئیات (محل قرارگیری ستارگان و سیارات، جنس و تناوب مداری ستارگان، سیارات و خرده‌سنگ‌ها) کهکشان حاصل را با دقت یک سانتی‌متر ببابیم.
- قیافه‌ی ۶ سالگی یک نوزاد را از همان ابتدای جنینی‌اش رسم کنیم.
- محل برخورد یا عبور یک سیارگ سرگردان را بعد از ۱۰۱ سال و ۱۰ روز و ۴ ساعت و ۷ دقیقه و ۱۰ ثانیه و ۶ میکر ثانیه و ۱۶ نانو ثانیه با دقت یک میلی‌متر با دقت صد در صد بیابیم.

طبق نظر استیون هاوکینگ جهان پیش‌بینی‌پذیر ما جایی است که جبرگرایی علمی بر تمام فرآیندهای فیزیکی حاکم است و انسان نیز به عنوان یک پدیده‌ی فیزیکی از این امر مستثنا نیست. او می‌گوید: ما گمان می‌کنیم قادریم آنچه را انجام می‌دهیم خود انتخاب کنیم در حالی که این تصوری باطل است. دانش ما

در مورد اساس مولکولی زیست‌شناسی نشان می‌دهد که فرآیندهای بیولوژیکی بدن ما نیز از طریق همان قوانین فیزیک و شیمی اداره می‌شود و بنابراین فعالیت‌های ما نیز به اندازه مدار یک شهاب‌سنگ مشخص و معلوم هستند. تجربیات اخیر عصب‌شناسی از این ایده حمایت می‌کنند که این مغز فیزیکی ماست که با پیروی از قوانین شناخته شده‌ی علمی، فعالیت‌های ما را تعیین می‌کند.

از نظر او اگر رفتار ما نیز از طریق قوانین فیزیکی تعیین شوند؛ آنگاه تصور این‌که اختیار چگونه عمل می‌کند مشکل است. بنابراین به نظر می‌رسد ما چیزی جز یک ماشین زیستی نیستیم و مفهوم اختیار تنها یک خیال باطل است. به نظر هاوکینگ پش‌بینی رفتار انسان از روی قوانین طبیعت کاری ممکن است اما به دلیل پایین بودن سطح تجهیزات علمی بشر تعیین خروجی این فرآیند چنان پیچیده است و تعداد متغیرهای آن چنان زیاد است که عملا پیشگویی و محاسبه، آن را غیرممکن می‌سازد. مثلا فرض کنید فردی تفنگی در دست گرفته است و آن را به اردکی در حال پرواز نشانه رفته است. حال برای این‌که ما بر طبق قوانین طبیعی سرنوشت اردک را در ۵ ثانیه آینده محاسبه کنیم باید حالات اولیه‌ی هزاران تریلیون تریلیون مولکول بدن انسان، اتم‌های تفنگ و گلوله، مولکول‌های هوا، جهت باد، میزان دمای محیط، اتم‌های اردک و هزاران حالت اولیه‌ی دیگر را محاسبه کنیم. مدت زمان این محاسبه با کامپیوترهای امروزی چندین میلیارد سال طول می‌کشد تا سرنوشت یک اردک در چند ثانیه بعد را بیابیم.

بسیاری با این‌که قبول دارند جبرگرایی علمی بر فرآیندهای فیزیکی حاکم است اما بر خلاف هاوکینگ در مورد انسان‌ها استثنا قائل می‌شوند. زیرا عقیده دارند ما دارای اختیاریم. برای مثال دکارت جزو این دسته از افراد بود که ذهن انسان با دنیای فیزیکی تفاوت داشته و از قوانین آن تبعیت نمی‌کند. از دیدگاه او

انسان از دو بخش تشکیل شده است. بدن و روح. بدن انسان یک ماشین معمولی است در حالی که روح تابع قوانین فیزیکی نیست. دکارت به آناتومی و فیزیولوژی بسیار علاقه مند بود و عضو کوچکی را در مغز به نام غده‌ی صنوبری جایگاه اصلی روح می‌دانست. او عقیده داشت این غده محل شکل‌گیری تمام افکار ما و چشمه‌ی جوشان اختیار است.

معجزه و تخطی از قوانین طبیعت

از ابتدا و هم‌زمان با ظهور ایده‌ی قوانین طبیعت سعی شده است مفهوم خداوند با آن‌ها سازگار شود و به دنبال آن دو پرسش اساسی در این باره مطرح گردد:

منشا این قوانین چه هستند؟

آیا استثنایی هم برای قوانین وجود دارد، مثلا معجزه؟

پاسخ کپلر، گالیله، دکارت و نیوتون این بود که "این قوانین کار خدا هستند" و در مقابل این جواب پرسش دیگری از سوی مادی‌گرایان مطرح می‌شود مبنی بر این‌که خداوند را چه کسی آفریده است؟!!

در پاسخ به سوال دوم نیز نظرات کاملا متفاوتی وجود دارند. افلاطون و ارسطو تاثیرگذارترین نویسندگان یونان باستان عقیده داشتند استثنایی برای قوانین وجود ندارد. اما اگر از منظر کتب آسمانی همچون انجیل ، تورات و قرآن بنگریم خواهیم دید که خداوند نه تنها قوانین را ایجاد کرده بلکه قادر است در صورت تمایل در پاسخ به دعای بندگان و همچنین برای اثبات پیامبری رسولانش به مردم و بعضا جهت تنبیه مردمان سرزمینی استثنائاتی در ماهیت قوانین قائل شود. این عقیده تنها مربوط به روحانیون نیست بلکه برخی دانشمندان نیز در طول تاریخ به معجزه اعتقاد داشته و دارند. برای مثال آیزاک نیوتون خود تا حدی به معجزه اعتقاد داشت و معتقد بود که سیارات گرچه طبق

قوانین گرانش در مدارهایشان ثابت‌اند اما با این حال خداوند هر از چند گاهی باید اختلالات جزئی پیش آمده در مدار اجرام آسمانی را تصحیح کند تا مبادا جهان به تدریج در اثر این اغتشاشات کوچک از نظم خارج شود.

در مقابل این دانشمندان افرادی نیز بودند که معجزات را باور نداشتند. برای نمونه پیر سیمون لاپلاس آشکارا جبرگرایی علمی را مسلم می‌شمرد و وجود هیچ استثنائی را در طبیعت نمی‌پذیرفت. به اعتقاد دانشمندانی چون لاپلاس قوانین طبیعت زمانی قانون شمرده می‌شوند که همیشه و در همه جای جهان به یک شکل عمل کنند و تغییرناپذیر باشند و همچنین موجودات ماورالطبیعی مثل خدا (در صورت وجود داشتن) در ماهیت این قوانین دخالت ننمایند. این ایده وجود معجزه و نقش خالق را منتفی می‌داند و به این معنیست که یا خدایی وجود ندارد تا معجزه‌ای انجام دهد و یا اگر هم وجود داشته باشد در امور پدیده‌ها و کارکرد جهان دخالتی نمی‌کند. این افراد معتقدند که جهان مانند ساعتی است که خداوند آن را در همان ابتدای خلقتش به صورت بسیار دقیق کوک کرده و سپس آن را به حال خود رها نموده است.

ما مسلمانان بنا به آیات قرآن کریم و روایات معصومین (ع) در پاسخ سوال اول؛ قوانین طبیعت و ماهیت ثابت و کارکردشان را قبول داریم اما معتقدیم که نمی‌توان جهان و قوانین حاکم بر آن را موجوداتی مستقل از خداوند در نظر گرفت. نه تنها جهان خالقی دارد بلکه وجود و دوام و کارکردش در هر لحظه به او وابسته است. در واقع جهان تجلی خداوند متعال و مظهر وجود اوست و در هر ثانیه و ساعت وجودش را به او مدیون است. در مثالی ناقص اگر خداوند را به عنوان اقیانوسی تصور کنیم آنگاه جهان به مثابه‌ی امواج آن است که از اقیانوس ناشی می‌شوند. این به این معنیست که اگر خدایی نباشد و یا اگر برای یک ثانیه خداوند جهان را فراموش کند آنگاه جهان به جای خراب شدن در یک لحظه محو خواهد شد و موجودات معنی و موجودیتشان را از دست خواهند داد.

در پاسخ به سوال دوم باید گفت که اولا هر پدیده‌ی ناشناخته و عجیب و غریبی نمی‌تواند معجزه باشد. چه بسا قوانینی وجود دارند که فعلا از حوزه ی علم و آگاهی ما خارج‌اند و ما در مواجه با آن‌ها تصور می‌کنیم که معجزه‌ای روی داده است. با این حال ما مسلمانان و دیگر پیروان ادیان ابراهیمی با استناد به آیات و روایات معتقدیم که خداوندی که خود خالق قوانین است قادر به تغییر آن‌ها به صورت دائمی یا موقتی است. اما به نظر می‌رسد که خداوند قادر مطلق بهتر از هرکسی می‌داند که بایستی این کار را به صورت محدود در زمانی معین و مکانی خاص بر روی یک پدیده انجام دهد تا بر پدیده‌های دیگر و در زمان‌های دیگر تاثیری نداشته باشد.

زبان طبیعت

اگر چه تالس و فیثاغورث اولین کسانی بودن که برخی پدیده‌های طبیعت را به صورت ریاضیات نگاشتند اما رشد انفجاری علم و شناخت دقیق‌تر طبیعت بر پایه‌ی ریاضیات از قرن هفدهم و توسط گالیله آغاز شد. گالیله که مطمئن بود که طبیعت به صورت ریاضی طراحی شده است می‌گوید: فلسفه‌ی طبیعت در کتاب بزرگی نوشته شده است که همواره جلوی چشمان ماست. ما نمی‌توانیم آن را بفهمیم مگر این‌که حروفی را که این کتاب با آن نوشته شده است را بدست آوریم و زبان آن را یاد بگیریم. این کتاب به زبان ریاضیات نوشته شده و حروف آن اعداد و اشکال هندسی‌اند که بدون کمک آن‌ها ممکن نیست حتی یک کلمه از آن را درک کنیم.

امروزه همه‌ی دانشمندان معتقدند که برای درک جزئیات پدیده‌های طبیعت و معرفی آن به دیگران به ریاضیات و ابزارهای ریاضی نیاز دارند. آن‌ها وقتی قانون و الگویی را کشف می‌کنند آن را به صورت شکل یا عدد نشان می‌دهند. از طرفی چون طبیعت دارای قوانین و الگوهای به خصوصی است پس شکل‌ها و اعداد

ریاضی کشف شده از طبیعت نیز منحصر به فردند و این منظور را می‌رسانند که همه‌ی اجزای طبیعت از جمله انسان‌ها، جانداران، نباتات، جامدات، اتم‌ها، کهکشان‌ها، نیروها و انرژی‌ها به تعبیری مثل هم‌اند و با همه‌ی تنوع‌هایی که در جهان وجود دارد به نظر می‌رسد که همه‌ی آن‌ها در تعداد اندکی شکل هندسی و اعداد ریاضی ظاهر می‌شوند.

در اینجا چند نمونه از این الگو ها و ثابت‌های به خصوص را به صورت اجمالی بررسی خواهیم کرد:

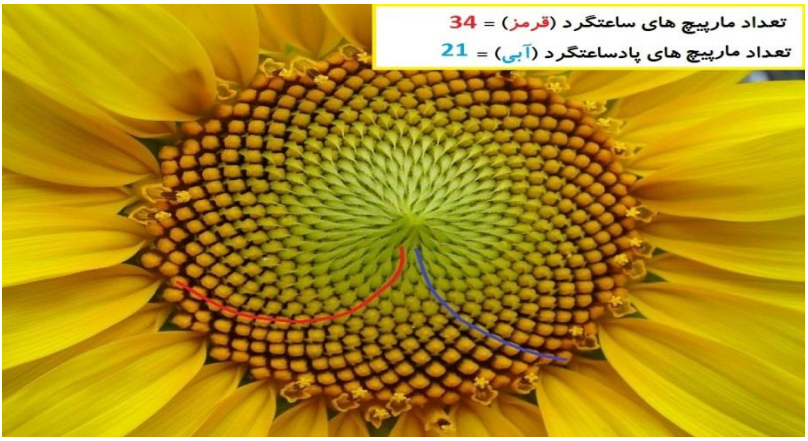
فیبوناچی

برخی تصور می‌کنند که ریاضیات زاده‌ی ذهن آدمی و امری قراردادی است. اما بیش‌تر دانشمندان معتقدند که انسان‌ها ریاضیات را از خود ابداع نکرده‌اند بلکه همه‌ی آن را از طبیعت کشف نموده‌اند. جهان هستی جای باشکوه و بی‌نهایت پیچیده‌ای است که در آن می‌توان بین پدیده‌های به‌ظاهر نامربوط، رابطه‌ای پیدا کرد. به عبارت دیگر در طبیعت الگوها و دنباله‌های مشابهی تکرار شده‌اند که به کمک ریاضی قابل توضیح‌اند. یکی از این‌ها دنباله‌ی عددی فیبوناچی است که امروزه به طور گسترده و در ابعاد گوناگون در طبیعت می‌بینیم. توالی اعداد این دنباله به صورتی‌اند که با جمع کردن دو عدد قبلی در هر مرحله عدد بعدی بدست می‌آید:

۰, ۱, ۱, ۲, ۳, ۵, ۸, ۱۳, ۲۱, ۳۴ ...

کل این توالی بارها و بارها در طبیعت از یک شکل به شکل دیگر با نظمی حیرت‌انگیز تکرار می‌شود. برای نمونه اگر به نحوه‌ی نوزیع دانه‌ها در گل آفتابگردان نگاه کنیم متوجه می‌شویم که دانه‌ها مثل مارپیچ‌هایی هم مرکز رشد کرده‌اند. حالا اگر تعداد پیچش‌هایی که در جهت ساعتگرداند و همچنین تعداد پیچش‌های پادساعتگرد را بشماریم متوجه می‌شویم که در ۹۵ درصد مواقع دو

عدد بدست آمده مثلا ۲۱ و ۳۴ مربوط به اعداد دنباله‌ی فیبوناچی هستند.



اما دنباله ی فیبوناچی بیش‌تر به خاطر نسبت بین دو عدد متوالی آن معروف است. یعنی با تقسیم هر کدام از اعداد این دنباله (به جز سه تای اول) به عدد ماقبل خود به مقداری در حدود 1.618 دست می‌یابیم که به آن عدد فی یا نسبت طلایی یا نسبت الهی می‌گویند چرا که به نظر می‌رسد خداوند بر روی بسیاری از آفریده‌هایش از ابعاد دی‌ان‌ای گرفته تا مارپیچ کهکشان‌ها این نسبت را به نوعی اعمال نموده است.

1 ÷ 1 = 1 2 ÷ 1 = 2 3 ÷ 2 = 1.5 5 ÷ 3 = 1.66 8 ÷ 5 = 1.6 13 ÷ 8 = 1.625

21 ÷ 13 = 1.615 34 ÷ 21 = 1.619 55 ÷ 34 = 1.617 89 ÷ 55 = 1.618

شکل: هرچه اعداد فیبوناچی بزرگ‌تر باشند، یا به عبارت دیگر هرچه در این دنباله به سمت بی‌نهایت حرکت کنیم، نسبت آن‌ها به 1.618 یا همان عدد فی نزدیک‌تر می‌شود.

در زیر به تعدادی از این موارد اشاره شده است:

الف) نسبت طلایی در تک‌تک اعضای ظاهری بدن انسان رعایت شده است.

برای مثال اگر فاصله سر تا کف پا را تقسیم بر فاصله‌ی ناف تا کف پا کنیم عدد 1.618 بدست می‌آید. همچنین اگر کل قد فرد را تقسیم بر فاصله‌ی ناف تا کف پای وی کنیم باز هم این عدد حاصل می‌شود. بر اساس تحقیقات انجام شده در سال‌های اخیر هر چقدر مقدار عدد فی بدست آمده از چهره و بدن فردی دقیق‌تر باشد آن شخص زیباتر به چشم می‌آید. مثلا وقتی بینی کسی زیباتر از بقیه به نظر برسد حتما نسبت طول بینی به پهنای آن دارای نسبت طلایی دقیق‌تری است.

نقاط دیگری از بدن انسان که دارای نسبت طلایی هستند به شرح زیر است:

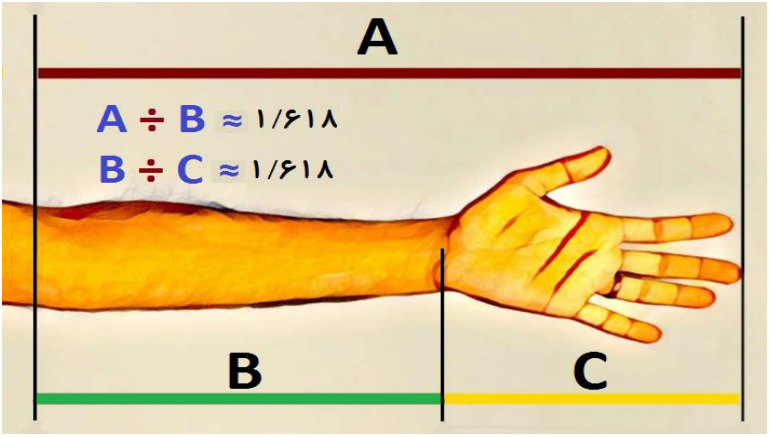
نسبت فاصله نوک انگشتان تا آرنج به فاصله‌ی مچ تا آرنج

نسبت فاصله مچ تا آرنج به فاصله‌ی نوک انگشتان تا مچ

نسبت فاصله شانه تا بالای سر به اندازه سر

نسبت فاصله ناف تا بالای سر به فاصله شانه تا بالای سر

نسبت فاصله ناف تا زانو به فاصله زانو تا پاشنه پا



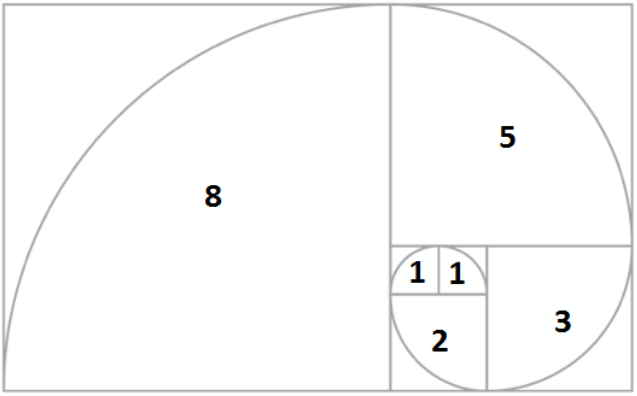
ب) نسبت طول مولکول دی‌ان‌ای (۳۴ آنگستروم) به عرض آن (۲۱

آنگستروم) برابر عدد فی است.

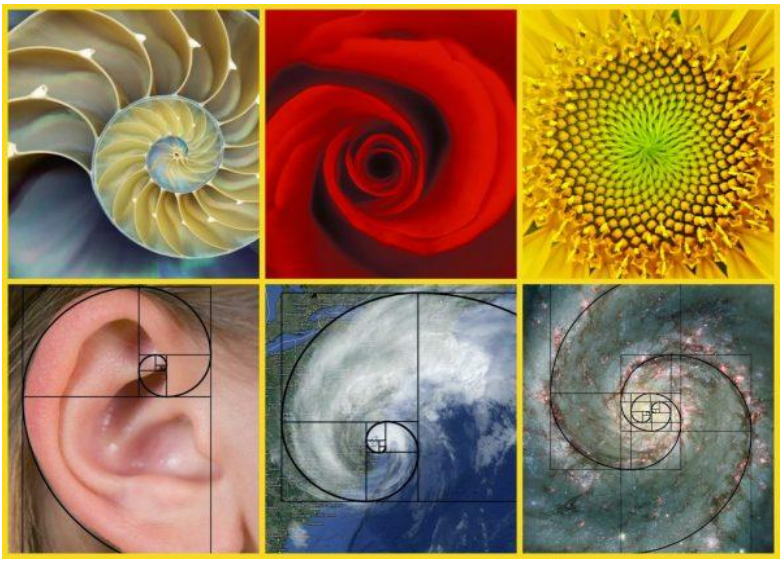
ج) نسبت تعداد مارپیچ‌های پادساعتگرد به مارپیچ‌های ساعتگرد در اکثر گل‌های آفتابگردان صرف نظر از مقدار عددی‌شان برابر 1.618 است. این در حالی است که این نسبت غیر از آفتابگردان در آناناس، گل کلم، میوه درخت کاج(مخروط) و بسیاری گیاهان دیگر نیز دیده می‌شود.

مارپیچ طلایی

اگر بر اساس اعداد فیبوناچی، تعدادی مربع(ظلع هر مربع یکی از اعداد دنباله است) کنار هم رسم کنیم و سپس آن‌ها را طوری در کنار یکدیگر قرار دهیم که هر مربع جدید، یک ضلع مشترک با مربع‌های قبلی داشته باشد، مستطیلی به وجود می‌آید که به آن مستطیل طلایی می‌گویند. حال اگر قطر هر یک از این مربع‌ها را به صورت یک منحنی پشت سر هم به یکدیگر متصل کنیم در نهایت داخل این مستطیل یک مارپیچ شکل می‌گیرد که به آن مارپیچ طلایی گفته می‌شود.



این مارپیچ نمادی است که رشد و حرکات کائنات و اشکال آن را نشان می‌دهد. عنکبوت شبکه تارهای خود را به صورت اسپیرال لگاریتمی می‌بافد. رشد باکتری‌ها دقیقاً براساس رشد منحنی فیبوناچی است. هنگامی که سنگ‌های آسمانی با سطح زمین برخورد می‌کنند، مسیری اینچنینی را طی می‌کنند. صدف حلزون، گوش انسان، شاخ‌های جانوران، دم آفتاب‌پرست، چیدمان گلبرگ‌های بسیاری از گیاهان، موج‌های دریاها، گردبادها و مارپیچ‌های کهکشانی و بسیاری پدیده‌های دیگر از این مارپیچ الهی تبعیت می‌کنند.



فیزیک‌دانان در مطالعه ی جهان غیر از دنباله فیبوناچی ثوابت عددی دیگری نیز کشف نموده اند که دوام جهانمان به شدت به مقدار آن‌ها وابسته است.

$\Sigma = 0.007$: آهنگ تبدیل ماده به انرژی را در واکنش‌های هسته‌ای

خورشید و ستارگان دیگر نشان می‌دهد.

$\Omega \approx 1$: تقریبا برابر یک: تعیین‌کننده چگونگی پایان یافتن جهان در یک خردش عظیم یا انجماد بزرگ است.

$N = 10^{-36}$: نسبت قدرت بین دو نیروی گرانش و الکترومغناطیس را نشان می‌دهد.

$\lambda = 10^{-120}$: اهنگ انبساط جهان و میزان شتاب آن را نشان می‌دهد.

$Q = 0.00001$: میزان نوسانات مربوط به چگالی و بافت عالم را نشان می‌دهد.

$n = 3$: تعداد ابعاد مکانی فضا را در جهان بزرگ مقیاس نشان می‌دهد.

فصل دوم: فیزیک کلاسیک

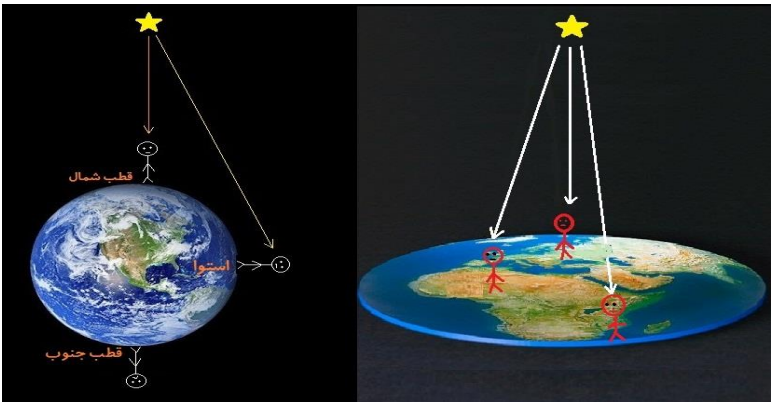
مدل کیهان‌شناختی کلاسیک

ارسطو

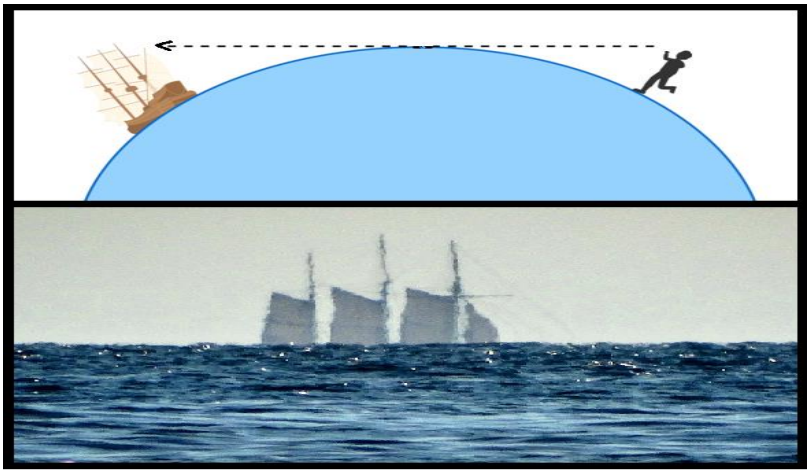
اگرچه فیثاغورث اولین بار کروی بودن زمین را مطرح کرده بود؛ اما این ارسطو بود که برای نخستین بار با آوردن سه دلیل تجربی و قانع‌کننده نشان داد که زمین نه یک سطح صاف، بلکه جسمی کروی است.

الف) در هنگام ماه گرفتگی، وقتی زمین بین خورشید و ماه قرار می‌گیرد سایه‌ی زمین بر روی ماه می‌افتد و همواره این سایه شکلی گرد دارد در حالی که اگر زمین سطحی تخت بود سایه‌اش بر روی ماه دراز و باریک دیده می‌شد.

ب) او دریافته بود اگر زمین تخت باشد آنگاه بایستی ستاره‌ی شمال از همه جای سطح زمین تقریبا به یک زاویه در بالای سر دیده شود در حالی که این‌طور نبود. زیرا فردی که در قطب شمال زندگی می‌کرد آن ستاره را بالای سر خود می‌دید اما مردمی که در استوا بودند ستاره‌ی شمال را در افق مشاهده می‌کردند و از طرفی افراد ساکن نیمکره‌ی جنوبی اصلا قادر به دیدن آن نبودند.



ج) سومین دلیلی که ارسطو برای کروی بودن زمین بیان کرد این بود که وی متوجه شده بود که وقتی یک کشتی از دریا به سمت ساحل نزدیک می‌شد فردی که در ساحل چشم انتظار آن بود، ابتدا بادبان‌های آن را می‌دید و سپس بدنه کشتی را مشاهده می‌کرد در حالی‌که اگر زمین مسطح بود بایستی کل ساختمان کشتی از دور دیده می‌شد.



ارسطو که علامه دهر زمان خودش بود. به اعتقاد وی کره‌ی زمین به صورت ثابت و بی‌تحرک در مرکز عالم قرار گرفته بود و همه‌ی کرات از جمله خورشید، ماه، سیارات و ستارگان در مدارهای کروی از شرق به غرب بر گرد آن می‌گردیدند و سرعت‌های متفاوتی نسبت به هم داشتند.

آریستارخوس

صد سال پس از ارسطو، ریاضیدان و منجم بسیار سرشناسی با نام آریستارخوس از اهالی اسکندریه نظریه‌ای مطرح کرد که بر طبق آن خورشید ثابت بوده و زمین به دور خود و هم به دور خورشید می‌گردید. همچنین وی عقیده داشت که ستارگان نیز خورشیدهایی مانند خورشید ما هستند که در فاصله‌ی بسیار دوری سکنا گزیده‌اند و در جای خود ثابت‌اند. آریستارخوس از طریق مشاهداتی که از اندازه سایه زمین بر روی ماه در حین خورشید گرفتگی انجام داده بود به این نتیجه رسید که قطر خورشید ۷ برابر قطر زمین و همچنین فاصله‌ی این دو از هم ۲۰ برابر فاصله‌ی ماه تا زمین است. محاسبات عددی آریستارخوس اشتباه ولی در عین حال ارزشمند بودند زیرا او به بزرگی اندازه خورشید نسبت به زمین پی برده بود. پی نوشت : (اندازه واقعی قطر خورشید ۱۰۹ برابر قطر زمین و نیز فاصله آن از زمین ۳۹۷ برابر فاصله ماه تا زمین است). آریستارخوس معتقد بود که همواره اجسام کوچک‌تر به دور اجسام بزرگ گردش می‌کنند بنابراین برایش غیرقابل قبول بود که یک جسم بزرگ‌تر مثل خورشید به دور یک جسم کوچک‌تر همچون زمین بگردد. او نظریه زمین مرکزی که ارسطو یک قرن پیش از او عنوان کرده بود را رد کرد و به جای آن نظریه‌ی خورشید مرکزی را مطرح ساخت. بر طبق ایده‌ی انقلابی آریستارخوس سیاره زمین یک سیاره‌ی معمولی در میان تعداد بسیار زیادی سیاره بود و انسان‌ها نیز نه موجوداتی خاص در مرکز جهان بلکه تنها یکی از ساکنین معمولی این کیهان به

شمار می‌رفتند. متاسفانه مدل کائنات آریستارخوس را که درست بود هیچ‌کس جدی نگرفت و این مدل تا زمان کوپرنیک به مدت ۲۰ قرن به فراموشی سپرده شد. از جمله دلایلی که باعث شدند نظریات آریستارخوس به فراموشی سپرده شوند به قرار زیر است؟

الف) بیش‌تر نوشته‌های آریستارخوس گم شده بود.

ب) این نظریه مخالف نظرات ارسطو بود.

ج) اخترشناسان آن موقع فکر می‌کردند اگر زمین طبق گفته‌ی آریستارخوس حول خورشید بگردد باید ستاره‌ها در آسمان تغییر موقعیت دهند و شکل و اندازه‌ی صورت‌های فلکی عوض شود. این در حالی بود که آنان از فاصله‌ی میلیاردها کیلومتری زمین و ستارگان آگاه نبودند و نمی‌دانستند که به خاطر فواصل بسیار طولانی بین آن‌ها نمی‌توان این اختلاف منظر را با چشم غیرمسلح تشخیص داد.

۵ قرن بعد، فیلسوف و اخترشناس یونانی به نام بطلمیوس اندیشه‌ی زمین مرکزی ارسطو را به صورت یک مدل کیهان‌شناختی کامل درآورد. در مدل بطلمیوس زمین به صورت کره‌ای ساکن و ثابت در مرکز گیتی قرار گرفته است که اطراف آن را ۹ عددکره‌ی تو در تو مثل لایه‌های پیاز احاطه کرده‌اند. بطلمیوس هر یک از این پوسته‌های کره‌ای نامرئی را که مثل شیشه بودند فلک نامید. او معتقد بود که هر یک از اجرام شناخته شده‌ی آن روزگار شامل ماه، عطارد، زهره، خورشید، مریخ، مشتری و زحل به سطح این پوسته‌ها چسبیده‌اند که با گردش فلک به دور زمین آن جرم آسمانی نیز به گرد زمین می‌چرخد. در این مدل، ستارگان در هشتمین و بیرونی‌ترین پوسته با نام فلک ثوابت قرار دارند که مانند میخ بر پیکر آن کوبیده شده‌اند که همگی باهم در آسمان به گرد زمین می‌چرخند. هرگز معلوم نشد که فراتر از فلک ثوابت (فلک هشتم) چه چیزی قرار داشت. اما خود بطلمیوس به این معتقد بود که خداوند و فرشتگان در خارج از

آخرین فلک زندگی می‌کنند.

مدل کیهان‌شناختی بطلمیوس با این‌که ناقص و نادرست بود ولی در آن زمان طبیعی به نظر می‌رسید، چون اولا مردم حرکت زمین را زیر پاهایشان حس نمی‌کردند و همچنین این مدل می‌توانست موقعیت اجرام سماوی را تا حدودی پیش‌بینی نماید و به همین خاطر از سوی عموم و نه به صورت کامل پذیرفته شد. کلیسای کاتولیک نیز این را به عنوان تصویری از جهان که با کتاب مقدس همخوانی داشت برگزید. با این‌که هیچ آیه‌ای از کتاب مقدس مستقیما به ایده‌ی بطلمیوس و قرار داشتن زمین در مرکز جهان نپرداخته است، با این حال کلیسا معتقد بود که تفسیر آیات انجیل به گردش همه‌ی اجرام آسمانی به دور زمین اشاره دارند(طرح بزرگ صفحه‌ی ۳۷). از نظر کلیسا حتی اگر از کتاب مقدس هم چشم‌پوشی کنیم باز هم طبیعی است که ما در مرکز جهان باشیم چون از آنجایی

که انسان‌ها اشرف مخلوقات و برترین افریده‌های خداوندند پس باید جایگاه آن‌ها نیز در کائنات از همه برتر بوده باشد. یکی دیگر از دلایلی که کلیسا آن زمان از مدل کیهانی بطلمیوس استقبال کرد این بود که بر طبق این مدل خداوند و فرشتگان می‌توانستند در خارج از فلک هشتم در مکانی دور سکنا گزینند و همچنین به اندازه ی کافی جا برای بهشت و جهنم وجود داشته باشد.

نظریه زمین مرکزی بطلمیوس همچنان به قوت خود ادامه داشت تا این‌که در سال ۱۵۱۴ میلادی یک کشیش لهستانی بنام نیکولاس کوپرنیک مدل ساده‌تری از جهان مطرح کرد. بر اساس این مدل او، خورشید مرکز جهان در نظر گرفته شده بود و دیگر کرات و سیارات از جمله زمین به شکل در مدارهایی کاملا دایره‌ای با سرعت ثابت به دور آن می‌چرخیدند. کوپرنیک در آغاز به خاطر ترس از حکم ارتداد کلیسا مدل خود را مخفی نمود و یافته‌هایش را در کتابچه‌ای کوچک بین دوستانش توزیع کرد اما پس از سال‌ها تحقیق و مطالعه‌ی بیش‌تر، سرانجام شرح کامل نظریه خود را در کتابی به نام ناراتیو پریما (گردش افلاک آسمانی) در سال ۱۵۴۳چاپ کرد. وی در همان روزی که یک نسخه از کتاب گردش افلاک آسمانی را که تازه چاپ شده بود، در دست گرفت، درگذشت و هرگز نفهمید که نظریاتش در آینده چه انقلابی در ستاره‌شناسی ایجاد خواهد کرد.

نظریات کوپرنیک هنوز جدی گرفته نشده بود تا این‌که دو ستاره‌شناس به نام‌های یوهان کپلر و گالیلئو گالیله آشکارا از مدل کوپرنیک پشتیبانی کردند. گالیله درست ۶۵ سال پس از مرگ کوپرنیک شب هنگامی آسمان را با تلسکوپی که به تازگی اختراع شده بود رصد کرد. وی در هنگام مشاهده‌ی مشتری دریافت که چندین قمر کوچک، گرد آن در گردش‌اند. او از مشاهده‌ی خود به این نتیجه رسید که همه‌ی اجرام آسمانی برخلاف اندیشه‌ی ارسطو و بطلمیوس بر گرد زمین نمی‌چرخند چنان که قمر مشتری به جای چرخش به دور زمین به دور

سیاره‌ی خود یعنی مشتری می‌چرخید و بنابراین این احتمال وجود داشت که اجرام دیگری نیز باشند که بر گرد اجرام دیگری غیر از زمین می‌چرخند. یوهان کپلر نیز تئوری کوپرنیک را اصلاح کرد و گفت که مسیرهای گردش سیارات به گرد خورشید نه دایره‌ای کامل بلکه بیضی است.

فیزیک کلاسیک

همه‌گیری طاعون در سال ۱۶۶۵ آخرین دوره‌ی شیوع طاعون خیارکی و در عین حال مرگبارترین آن در انگلستان بود.این بیماری که توسط جوندگان به انسان انتقال می‌یافت بیش از ۱۰۰ هزار نفر را به کام مرگ فرستاد. اقدامات شدیدی از جمله: روشن کردن آتش برای پاکسازی هوا، کشتن سگ و گربه‌های بیچاره، قرنطینه کردن دهات آلوده وتعطیلی مدارس و دانشکده‌ها از مواردی بودند که برای جلوگیری از گسترش بیماری انجام گرفت. نیوتون که در آن هنگام ۲۲ سال داشت به خاطر بسته شدن دانشکده کمبریج مجبور شد لندن را ترک کرده و نزد خانواده‌اش به ملک روستاییشان در لینکن‌شایر برگردد. او با خود تعدادی کتاب ریاضی و هندسه و دکارت را که به آن‌ها علاقه‌مند بود به همراه داشت و از همه مهم‌تر فرصتی برای اندیشیدن به فیزیک و درک قوانین حاکم بر آن به دست آورده بود.

نیوتون در حد فاصل دنیای پیش از علم و عصر مدرن زندگی می‌کرد و تلاش‌های خود او بود که باعث طی این گذار شد. در زمان قرون وسطی دنباله‌دارها از نظر مردم نشانه‌هایی بودند که مرگ پادشاهان را پیشگویی می‌کردند. برای مثال زمانی که دنباله‌دار بزرگ سال ۱۰۶۶ برفراز انگلستان دیده شد، باعث ترس و وحشت سربازان آنگلوساکسون در سپاه شاه هارولد گردید. هارولد در مقابل نیروهای مهاجم ویلیام به سرعت شکست خورد و به این ترتیب طبق پیش‌بینی آن دنباله‌دار، ویلیام فاتح پایه‌های ایجاد انگلستان جدید را بنا کرد.

دنباله‌دار مشابهی این بار در سال ۱۶۸۲ زمانی که نیوتون ۳۹ ساله بود بر فراز انگلستان دیده شد و دوباره در سراسر اروپا ترس و وحشت پراکند. به نظر می‌آمد همه‌ی مردم از کشاورز تا پادشاه با مشاهده‌ی این میهمان ناخوانده مسخ شده بودند و در این فکر بودند که اینبار چه اتفاقی خواهد افتاد؟ آیا این نشانه‌ای از شیوع دوباره‌ی طاعون بود؟ یا از وقوع جنگی خانمان‌سوز خبر می‌داد؟ غافل از این‌که آیزاک نیوتون ۳۹ ساله حدود ۲۰ سال پیش با کشف قانون گرانش و قوانین سه گانه‌ی حرکت، جواب را پیدا کرده بود اما هنوز آن را منتشر نکرده بود.

در همان زمان ستاره‌شناس ثروتمندی به نام ادموند هالی که یافته‌های نیوتون را مطالعه کرده بود با دیدن آن دنباله‌دار متحیر شد و با شور و شوق فراوان در صدد مطالعه‌ی آن برآمد. او که به دیدار نیوتون رفته بود از او پرسید: «*چه نیرویی می‌تواند مسیر حرکت دنباله‌دار را کنترل کند؟*» نیوتون با خونسردی پاسخ داد که *دنباله‌دارها نیز همچون سیارات منظومه شمسی بر طبق قانون گرانشی که خود بیست سال پیش آن را ارائه کرده بود در مسیرهای بیضی شکل، حول خورشید گردش می‌کنند.* او انتظار نداشت حتی در خواب بشنود که راز اجرام آسمانی، آنچه در گذشته به نیروی‌های ماورایی نسبت داده می‌شد اکنون به وسیله‌ی یک قانون ساده‌ی ریاضی قابل محاسبه باشد. هالی دریافت که اگر مدار حرکت دنباله‌دار بیضی باشد، پس باید بتوان حساب کرد کی دوباره از فراز شهر لندن خواهد گذشت. وی با جستجو در سوابق پیشین، دریافت که دنباله‌دارهای دیده شده در سال‌های ۱۵۳۱، ۱۶۰۷، ۱۰۶۶ و ۱۶۸۲ در واقع همین دنباله‌دار بوده‌اند. او با محاسبه‌ی دوره تناوب مداری این دنباله‌دار پیش‌بینی کرد که همین جرم در سال ۱۷۵۸ مجددا باز خواهد گشت.

پرینسیپیا

ادموند هالی که از کشف مسیر حرکت دنباله‌دار شادمان بود سخاوتمندانه

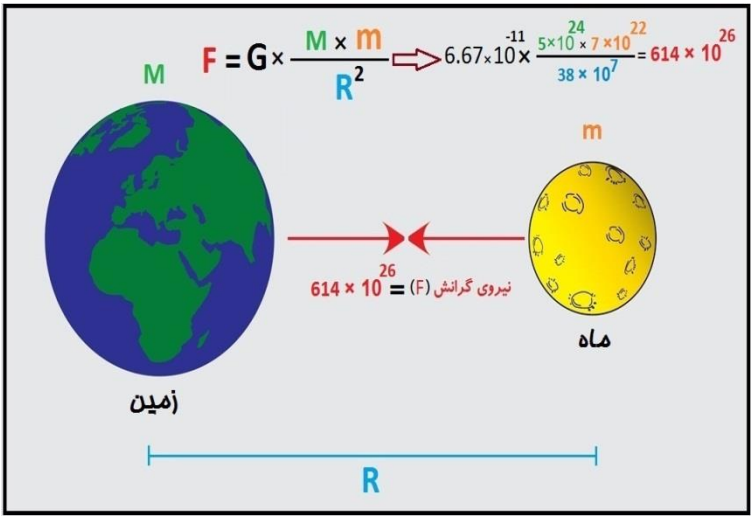
پیشنهاد کرد که هزینه‌های انتشار نظریات نیوتون را بپردازد. سرانجام نیوتون در سال ۱۶۸۷ با تشویق و سرمایه‌گذاری هالی کتاب حماسی خود را با نام *اصول ریاضی فلسفه طبیعی* در سه جلد به چاپ رسانید. این کتاب که به پرینسیپیا نیز معروف است به عنوان یکی از مهم‌ترین آثار منتشر شده در تاریخ علم بشر محسوب می‌شود. مهم‌ترین فرمولی که در کتاب پرینسیپیا برای توصیف طبیعت نوشته شده است قانون گرانش نیوتون نام دارد. این قانون به همراه دیگر قوانین حرکت نیوتون به جز شرایط خاصی که بعدا به آن‌ها خواهیم پرداخت؛ در همه جای جهان ما صادق‌اند و به اندازه‌گیری نیروی گرانش و حرکت اجسام می‌پردازند. ما اکنون به کمک قوانین و معادلات نیوتون می‌توانیم حرکت پیچیده‌ی هر شی را در کیهان توضیح دهیم و سرعت و موقعیت و دوره‌ی تناوب دقیق اجرام آسمانی را در آینده یا گذشته پیش‌بینی کنیم. دیگر نیازی نیست که اخترشناسان هر شب پشت تلسکوپ بنشینند و از راه آزمون و خطا موقعیت سیارات و اقمار منظومه‌ی شمسی را به دست آورند. اکنون دانشمندان به لطف معادلات گرانش نیوتون قادرند ماهواره‌های‌شان را با دقت صد در صد در مدار هر سیاره و ستاره‌ای قرار دهند و کاوشگرهای فضاییشان را با درصد خطای بسیار کم در مسیر دلخواه خود به کرات منظومه شمسی و فضاهای بین ستاره‌ای هدایت نمایند.

معادله گرانش نیوتون

نیروی گرانش نیوتون با حرف F نشان داده می‌شود و بیانگر مقدار نیروی کششی بین دو یا چند جسم است. مقدار این کشش، بین دو سنگی که روی زمین قرار گرفته‌اند بسیار ناچیز ولی بین بدن ما و کره‌ی زمینی که رویش ایستاده‌ایم قابل اندازه‌گیری است و سبب احساس سنگینی می‌شود. نیروی گرانش علاوه بر این‌که اشیا و موجودات را بر سطح سیاره نگه می‌دارد در حفظ

ماهواره‌ها بر گرد سیارات و همچنین گردش سیارات در مدار ستارگان نیز نقش اساسی بازی می‌کند. این نیرو ستارگان را در مدارهایی بر گرد سیاهچاله‌های مرکزی حفظ می‌کند و باعث انسجام کهکشان‌ها می‌شود. از طرفی کهکشان‌ها نیز به لطف این نیرو در مدارهای خاص خود در داخل خوشه‌های کهکشانی بر گرد مرکز جرم خوشه می‌گردند و گاهی با هم تصادف کرده و به یک کهکشان بزرگ‌تر تبدیل می‌شوند. با توجه به شکل ... ما با کمک معادله‌ی گرانش نیوتون می‌توانیم اندازه‌ی نیروی کششی بین ماه و زمین را بدست آوریم. در این معادله دو حرف M و m که در صورت کسر قرار گرفته‌اند به ترتیب جرم سیاره زمین و جرم قمر ماه را شامل می‌شوند و حرف R به توان۲ به فاصله‌ی بین این دو کره مربوط می‌شود که در مخرج کسر جای گرفته است. حرف G ثابتی است موسوم به ثابت جهانی گرانش و مقدار آن دال بر شدت نیروی گرانش در بطن جهان ماست. شصت سال از مرگ نیوتن گذشته بود که هنری کاوندیش با ترازوی بسیار حساس خود در آزمایشگاه موفق شد به صورت تجربی مقدار این ضریب را بدست آورد که برابر با 6.67×10^{-11} نیوتون بود. در واقع این ضریب بیان می‌کند که اندازه‌ی نیروی جاذبه بین دو وزنه‌ی یک کیلویی با فاصله‌ی یک متری از هم برابر 6.67×10^{-11} نیوتون است. با کمی دقت متوجه می‌شوید که مقدار ضریب جاذبه عدد خیلی کوچکی است که این به معنای ضعیف بودن نیروی گرانش در جهان ما است. در واقع از بین ۴ نیروی اصلی شناخته شده در جهان ما نیروی گرانش از همگی ضعیف‌تر است. برای مثال نیروی الکترومغناطیس یک آهنربا یک میلیون میلیون میلیون میلیون میلیون میلیون بار قوی‌تر از جاذبه‌ی زمین است. شاید سوال پیش آید که اگر نیروی گرانش به این حد ضعیف است پس چرا ما نمی‌توانیم روی ماه بپریم؟ جواب این است که جرم عظیم زمین این ضعف را جبران می‌کند و به ما اجازه این‌چنین کاری را نمی‌دهد.

با توجه به شکل زیر اگر جرم ماه و زمین را به ترتیب $\mathbf{m=7\times10^{22}}$ و $\mathbf{M= 5 \times 10^{24}}$ کیلوگرم و فاصله‌ی بین آن‌ها را $R= 38\times 10^{7}$ متر در نظر بگیریم؛ آنگاه طبق فرمول زیر، میزان نیروی جاذبه‌ی بین آن‌ها 614×10^{26} نیوتون خواهد بود. یعنی هر کدام از این کرات دیگری را با نیروی 614×10^{26} نیوتون به سمت خود جذب می‌کند.



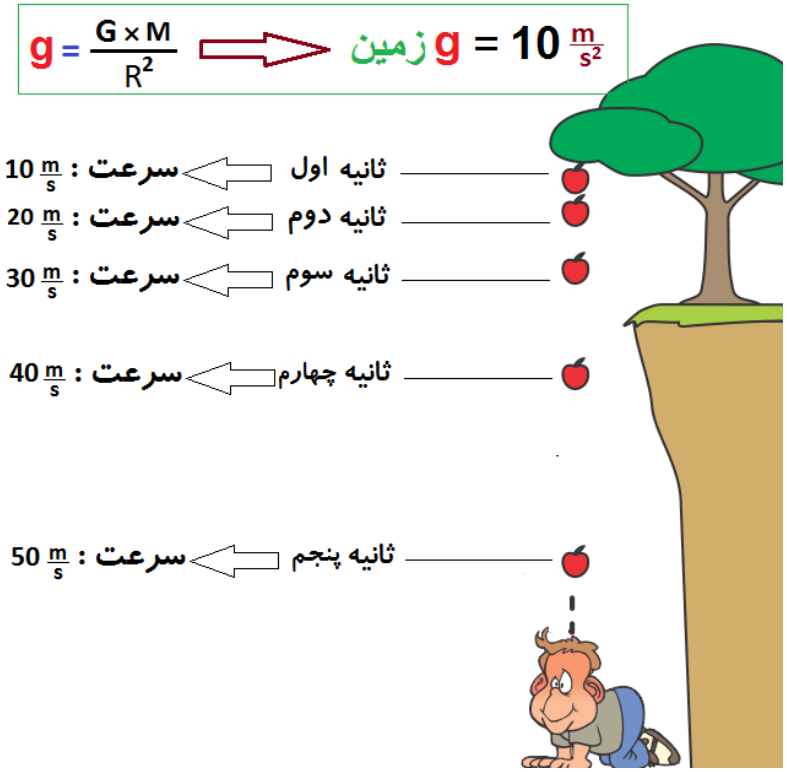
با دقت در معادله نیروی گرانش همیشه مقدار جرم‌ها را در صورت کسر و مقدار فاصله در مخرج گذاشته می‌شود و این به آن معنی است که اندازه‌ی جاذبه‌ی بین دو جسم با مقدار جرم آن‌ها رابطه‌ی مستقیم و با مجذور فاصله‌شان رابطه‌ی عکس دارد. یعنی هر چقدر جرم دو جسم بیش‌تر باشد شدت نیروی کشش بین آن‌ها قوی‌تر می‌شود و برعکس. از طرفی هر چقدر فاصله‌ی بین دو جسم بیش‌تر باشد شدت جاذبه‌ی بینشان به مراتب ضعیف‌تر خواهد بود و برعکس. برای مثال با فرض ثابت بودن فاصله، اگر جرم کره‌ی ماه را یک

میلیارد تریلیون بار کاهش دهیم (جرم یک انسان ۷۰ کیلوگرمی) مقدار نیروی جاذبه‌ی آن‌ها نیز یک میلیارد تریلیون بار کاهش یافته و به 614×10^5 نیوتون خواهد رسید. همچنین اگر فاصله‌ی ماه و خورشید افزایش یافته و به دو برابر فاصله‌ی قبلی خود برسند آنگاه نیروی جاذبه‌ی بینشان چهار برابر ضعیفتر شده و به 153×10^{26} نیوتون خواهد رسید.

شتاب گرانش

آیزاک نیوتون وقتی در سال ۱۷۸۷ نظریه خود را می‌نوشت گالیله سال ها قبل از او به شتاب جاذبه‌ی زمین پی برده بود. گالیله دریافته بود که همه اجسام چه سبک و چه سنگین با شتاب ثابتی سقوط می‌کنند ولی دلیل آن را نمی‌دانست. تا این‌که نیوتون فهمید ستارگان، سیارات و حتی خرده سنگ‌ها هر کدام در اطراف خود میدانی گرانشی ایجاد می‌کنند. هر چیزی که در محدوده‌ی این میدان قرار بگیرد با شتاب ثابتی به سمت مرکز آن ستاره یا سیاره کشیده شده و بر روی آن سقوط می‌کند. این کشش اکنون به شتاب گرانشی یا گرانش سطحی معروف است و به مقدار جرم و شعاع آن ستاره یا سیاره بستگی دارد و با حرف لاتین g نشان داده می‌شود. مقدار این شتاب در نزدیکی سطح زمین 9.81 متر بر مجذور ثانیه است که در این کتاب آن را به صورت تقریبی ۱۰ متر بر مجذور ثانیه در نظر گرفته‌ایم. این به آن معناست که وقتی جسمی را از ارتفاعی رها می‌کنیم، صرف‌نظر از تأثیر مقاومت هوا در هر ثانیه سرعتش به مقدار ۱۰ متر بر ثانیه افزایش می‌یابد و در آخر با حداکثر سرعتی که کسب کرده است به سطح زمین برخورد می‌کند.گالیله اولین کسی بود که با رها کردن اجسام از بالای برج کج پیزا به این نتیجه رسیده بود که مقدار این شتاب برای همه‌ی اجسام یکسان است. یعنی اگر ما یک وزنه‌ی یک کیلویی، یک پر و یک اتم را هم‌زمان از بالای برج میلاد رها سازیم (در شرایط خلاء) هر سه هم‌زمان و با

سرعتی یکسان بر زمین برخورد خواهند کرد. از آنجا که اجرام آسمانی شتاب گرانش(g) ویژه‌ای دارند معادله‌ای برای محاسبه‌ی آن موجود است که به مقدار جرم و شعاع آن جرم بستگی دارد. برای مثال اگر اندازه‌ی جرم و شعاع خورشید را بدانیم با این معادله، مقدار شتاب گرانش آن را ۲۷۴ متر بر مجذور ثانیه محاسبه خواهیم کرد. این به آن معناست که اندازه گرانش سطحی خورشید ۲۷ برابر از شتاب گرانش زمین بیش‌تر است.



بی‌وزنی مصنوعی

یوری گاگارین اولین انسانی بود که در سال ۱۹۶۰ با سفینه‌ی وستوک ۱ اتحاد جماهیر شوروی به فضا سفر کرد و صدوهشت دقیقه در حالت بی‌وزنی در مدار زمین گردش کرد. یک سال بعد گرمان تیتوف روسی دومین انسانی بود که توسط سفینه‌ی وستوک ۲ به فضای خارج از جو زمین رسید. او بعد از گذشت ۲۵ ساعت از ماموریتش اولین انسانی بود که توانست در فضا بخوابد و نیز اولین انسانی بود که علائم و نشانه‌های تهوع، سرگیجه و سردرد را که ۵۰ درصد افراد در شرایط بی‌وزنی به آن دچار می‌شوند تجربه کرد. ناسا که می‌خواست در این رقابت فضایی گوی سبقت را از روس‌ها ببرد؛ طی پروژه‌ی مرکوری شروع به آموزش فضانوردن خود کرد. آمریکایی‌ها پس از شنیدن مطالبی درباره‌ی کار تیتوف مصمم بودند شرایط بی‌وزنی مصنوعی را بر روی زمین اجرا ایجاد کنند و از این طریق افراد خود را از لحاظ جسمی برای فضانوردی در آینده آماده نمایند. برای این کار ناسا از پرواز یک هواپیمای جنگی معمولی با نام سی۱۳۱ در مسیری هذلولی بهره برد. در این روش مسافران هواپیما برای مدتی قریب ۲۵ ثانیه دچار بی‌وزنی می‌شوند. این احساس واقعی است و هرچند مدت آن کوتاه است اما وقتی ۲۰ یا ۳۰ بار تکرار می‌شود، اثرات فیزیولوژیک آن مانند حالتی خواهد بود که در فضا اتفاق می‌افتد. به همین دلیل هواپیمای سی۱۳۱ را اتاقک استفراغ نامگذاری کردند و از آن پس به همه‌ی هواپیماهایی که به این منظور مورد استفاده قرار می‌گرفتند اطلاق شد. اتاقک استفراغ جایی است که می‌توان با سقوط به طرف زمین همه‌ی اثرات گرانش را حذف کرد. در واقع خلبان با اطلاع از شدت جاذبه‌ی سیاره زمین، شتاب و سرعت حرکت هواپیما به سمت پایین را طوری تنظیم می‌کند که مقدار آن دقیقا معادل شتاب کشش سیاره‌ی زمین باشد. در واقع هواپیما باید با شتابی معادل ۹٫۸۱ متر بر مجذور ثانیه به سمت پایین حرکت کند تا اثر گرانش زمین خنثی گردد. گفتنی است که هواپیما مثل آسانسوری که سیمش پاره شده سقوط نمی‌کند چرا که در این صورت کنترل آن

دشوار خواهد بود. برای آن‌که این اتاقک استفراغ تحت کنترل باشد، باید حرکت آن هم رو به جلو و هم رو به پایین باشد.

بی‌وزنی فضانوردان در اتاقک استفراغ هواپیمای KC-135 متعلق به سازمان هوافضای ناسا

جاذبه‌ی مصنوعی

اتاقک استفراغ فرصت مناسبی را برای فضانوردان پدید می‌آورد تا بدین وسیله قبل از رفتن به فضا بدن خود را به شرایط بی‌وزنی عادت دهند و آموزش‌های لازم را ببینند. چنان‌که در سال ۱۹۶۹ هر سه فضانورد آپولو ۱۱ که روانه‌ی ماه شده بودند، پس از ۸ روز زندگی در فضای بیرونی بدون هیچ اثر سوئی از بی‌وزنی به زمین بازگشتند. نیل آرمسترانگ و باز آلدرین اولین انسان‌هایی بودند که در این ماموریت غرورآفرین بر سطح ماه گام نهادند و نامشان را در تاریخ اکتشافات فضایی جاودانه کردند. امروزه با پیشرفت صنعت فضایی و موشکی، فضانوردان اوقات طولانی‌تری به مدت چند ماه را در فضا سپری می‌کنند و طبیعتا در آینده سفرهای بس طولانی‌تر از این را نیز تجربه خواهند کرد. این در حالی است که دانشمندان روند این سفرها را نگران‌کننده ارزیابی می‌کنند؛ زیرا هرچه انسان در بی‌وزنی باشد ماهیچه‌های بیش‌تری آسیب

می‌بینند یا از بین می‌روند. بنابراین فضانوردانی که در آینده به مریخ یا سفرهای فضایی دورتری می‌روند، به مدت یک سال یا بیش‌تر در معرض بی‌وزنی قرار خواهند گرفت که این امر در هنگام بازگشت به زمین ممکن است منجر به معلولیت جسمی در آن‌ها گردد. دانشمندان چندین سال است که برای حل این مشکل به دستگاه‌های ورزشی ویژه ماموریت‌های فضایی متوسل شده‌اند. برای مثال فضانوردان ایستگاه فضایی بین‌المللی به منظور جلوگیری از تحلیل رفتن استخوان‌ها و ماهیچه‌هایشان مجبورند روزانه چند ساعت از وقت خود را به ورزش کردن روی این دستگاه‌ها اختصاص دهند. این روش اگر چه مؤثر است اما نمی‌تواند جایگزین جاذبه‌ی زمین باشد. محققان بر این باورند که جسم ما طی فرگشت با محیطی دارای شتاب گرانش ۱۰ متر بر مجذور ثانیه سازگار شده است بنابراین اگر مدتی از عمرمان را در محیطی که میزان جاذبه آن صفر یا کم‌تر از جاذبه زمین است بگذرانیم، دچار اختلالات جسمی و حتی روانی خواهیم شد. بر اساس تحقیقات انجام شده، حضور طولانی‌مدت در محیط بدون جاذبه علاوه بر کاهش توده استخوانی و تحلیل رفتن قدرت بافت عضلانی مشکلات دیگری همچون اختلال در ناحیه گوش میانی، از دست دادن تعادل، تاری دید، ضعیف شدن سیستم ایمنی و کم‌خونی را نیز به دنبال خواهد داشت.

سانتریفیوژ نیروی هوافضا

راه‌حل پیشنهادی دانشمندان صنعت هوافضا برای حل مشکل بی‌وزنی، استفاده از دستگاه‌های سانتریفیوژ جهت ایجاد جاذبه‌ی مصنوعی در فضاپیماها و سیارات است. سانتریفیوژ دستگاهی است که با چرخش خود حول یک محور، نیروی گریز از مرکزی را ایجاد می‌کند که میزان این نیرو به سرعت چرخش آن دستگاه بستگی دارد. چندین سال است که از نسخه‌های بزرگ‌تر این دستگاه‌ها در آزمایشگاه‌های بخش فیزیولوژی نیروی هوافضای کشورهای مختلف برای

چرخاندن انسان با سرعت زیاد استفاده می‌شود. این دستگاه ها با چرخش خود شتابی برابر با شتاب جاذبه‌ی زمین و حتی چند برابر بیش‌تر از آن را برای فرد داخل خود شبیه‌سازی می‌کنند. هدف از این کار قرار دادن فضانوردان و خلبانان هواپیماهای جنگی تحت نیروهای شدید گرانشی است که افراد حین برخاست و فرود فضاپیماها و همچنین هنگام مانور سنگین جنگنده‌ها در حین عملیات دچارش می‌شوند. 711 HP یکی از سانتریفیوژهایی است که در دانشکده پزشکی هوافضای واقع در پایگاه نیروی هوایی رایت پترسون کشور آمریکا برای تعلیم و ممانعت از بیهوشی خلبان‌ها حین عملیات و همچنین جهت تحقیق درباره اثرات نیروی g بر فیزیولوژی بدن انسان از آن استفاده می‌شود. در انتهای بازوی 711 HP کابینی وجود دارد که فرد در داخل آن قرار گرفته و بر روی صندلی می‌نشیند. بازوی سانتریفیوژ به وسیله‌ی انرژی الکتریکی می‌چرخد و نیروی گریز از مرکزی را به واسطه‌ی شتاب گردشش ایجاد می‌کند. این نیرو از طریق صندلی به بدن شخص وارد می‌شود و وی را به روی آن میخکوب می‌کند.

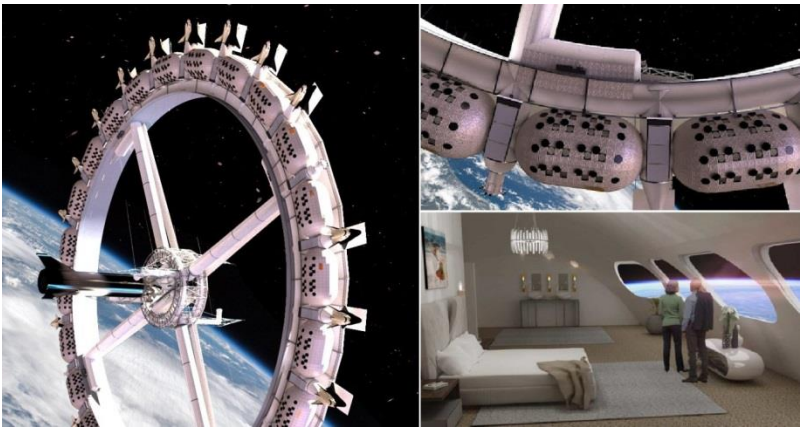
حداکثر شتابی که این دستگاه می‌تواند ایجاد کند ۲۰۰ متر بر مجذور ثانیه است. این به آن معناست که این چرخنده قادر است نیرویی ۲۰ برابر شدیدتر از گرانش سیاره زمین (20g) را بر انسان وارد کند و بدین ترتیب محیط گرانش هر سیاره‌ای را شبیه‌سازی نماید. برای مثال مشتری دارای گرانش سطحی ۲۵ متر بر مجذور ثانیه است. در واقع شدت جاذبه‌ی این سیاره دو و نیم برابر سیاره‌ی ماست و به صورت 2.5g نوشته می‌شود. یک انسان در شرایط 2.5g بازوهایش را دو و نیم برابر سنگین‌تر احساس می‌کند و بلند شدن از صندلی برایش دشوار است. فرض کنید به کمک این دستگاه به سیاره‌ای برویم که ۴ برابر سیاره مشتری جرم داشته باشد ولی شعاع آن فقط ۵۰ درصد از مشتری بزرگ‌تر باشد لذا گرانش سطحی آن به ۴ برابر زمین می‌رسد. در 4g شرایط برای یک انسان معمولی که قبلا آموزش ندیده باشد خیلی سخت می‌شود این فرد می‌تواند حرف

بزند اما نمی‌تواند بازوهایش را تکان دهد. نفس کشیدن مشکل خواهد بود زیرا قفسه‌ی سینه و هر جزء دیگر بدن او وزنی ۴ برابر نرمال خواهند داشت. در 5g ظرف حدود یک دقیقه بعد، خون دیگر به مغز نمی‌رسد چون قلب بیمار قادر به پمپاژ آن نخواهد بود و لذا فرد به حالت غش می‌افتد و میدان دید وی در حدی مختصر محدود می‌شود. در حد کمی مانده به 6g قیافه‌ی سرنشین این دستگاه به گونه‌ای تغییر می‌کند که اسباب خنده و سرگرمی بینندگان را فراهم می‌آورد. با توقف چرخش سانتریفیوژ در پایان این آزمایش، کم شدن یکباره‌ی گرانش از افزایش آن نیز سخت‌تر است، زیرا حواس انسان در این لحظه طوری مختل می‌گردد که حس می‌کند در حال پرت شدن به جلوست. نیروی هوایی ناتو تحمل شتاب 9g را برای خلبان‌ها اجباری کرده است چنان‌که یک خلبان F16 طبق قانون برای دریافت مجوز خلبانی باید چندین بار از پس چنین نیروی خشنی برآید. البته گفتنی است که این تداوم نیروی g در سانتریفیوژ است که حال آدم را بد می‌کند در حالی‌که خلبان‌های جت‌های جنگنده در هنگام تیک‌آف یا در هنگام فرود بر روی ناو هواپیمابر تنها برای چند ثانیه چنین شتاب‌های سنگینی را سپری می‌کنند و برخلاف سانتریفیوژ، مدت زمان این حالت دلهره‌آور در هواپیما کم‌تر است.

فضاپیماها و ایستگاه‌های فضایی دارای جاذبه

ایده‌ی استفاده از نیروی گریز از مرکز برای ایجاد جاذبه مصنوعی اولین بار در سال ۱۹۰۳ توسط کنستانتین تسیولکوفسکی دانشمند روسی مطرح شد. (ایده استفاده از موشک برای ارسال ماهواره به مدار زمین نیز نخستین بار توسط وی مطرح شد) او که به عنوان یکی از بنیان‌گذاران دانش موشکی و فضانوردی به شمار می‌رود مقالات زیادی درباره‌ی استفاده از سوخت مایع برای موشک‌ها، موشک‌های چند مرحله‌ای، قرار دادن ماهواره در مدار، ساخت سفینه‌ها و ایستگاه فضایی و فرستادن انسان به فضا منتشر نمود. وی در یکی از طرح‌های خود به تشریح یک ایستگاه فضایی چرخان پرداخته است و عقیده داشت ساخت یک ایستگاه فضایی شبیه به دونات یا چرخ دوچرخه می‌تواند به هنگام چرخش و استفاده از نیروی گریز از مرکز، جاذبه‌ی مصنوعی ایجاد کند تا فضانوردان به جای معلق ماندن در ایستگاه فضایی بتوانند شرایط جاذبه در کره زمین را تجربه کنند. این ایده که در زمان او چیزی علمی تخیلی محسوب می‌شد جدی گرفته نشد و به فراموشی سپرده شد. این طرح چند سال بعد توسط دانشمند مشهور

آلمانی‌تبار با نام ورنر فون براون که بعد از جنگ جهانی دوم به آمریکا خدمت می‌کرد، مشهور شد و سر زبان‌ها افتاد. ساخت چنین ایستگاهی در آن زمان بسیار سخت و هزینه بر بود و موافقان زیادی نداشت. چنان‌که ساخت و نگه‌داری ایستگاه فضایی بین‌المللی کنونی از سال ۱۹۹۸ تا سال ۲۰۱۵ حدود ۱۵۰ میلیارد دلار هزینه داشته است و آن را به گران‌ترین ساخته‌ی دست بشر تبدیل کرده است. با این وجود امروزه با پیشرفت روز افزون علم و روی کار آمدن فناوری‌های فضایی پیشرفته امکان ساخت چنین ایستگاه فضایی چرخانی از نظر دانشمندان و سرمایه‌گذاران شرکت‌های فضایی راحت‌تر از گذشته خواهد بود. امروزه برخی شرکت‌های خصوصی و دولتی در حال تحقیق و توسعه برای ساخت انواع ایستگاه‌های فضایی و فضاپیماهای دارای جاذبه هستند تا انسان‌ها را در محیطی مجهز به انواع امکانات رفاهی به سوی فضا روانه کنند. برای مثال بنیاد Gateway Foundation یکی از این موسسات است که قصد دارد اولین هتل فضایی چرخان را تا سال ۲۰۲۷ افتتاح نماید و این ایستگاه فضایی را به افتخار دانشمند ایده‌پردازش، هتل فضایی ورنر فون براون نامگذاری نماید. ایستگاه دوار فون براون در صورت ساخته شدن نه تنها محیطی برای تحقیقات علمی خواهد بود، بلکه همچون یکی کشتی تفریحی انواع امکانات رفاهی همچون اتاق خواب، رستوران، کافه، شهربازی و ... را برای گردشگران در خود جای خواهد داد. منطقی است که فضاپیماهای آینده نیز به چنین امکاناتی مجهز باشند تا مدت زمان طولانی سفر برای خدمه سفینه حوصله‌بر و خسته‌کننده نباشد.

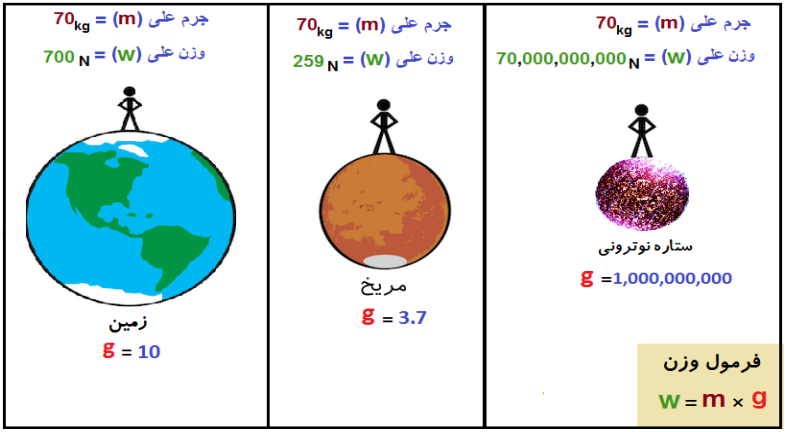


وزن

جرم و وزن اگر چه به هم مرتبط‌اند ولی در واقع دو چیز کاملا متفاوت هستند. شدت جاذبه (g) کره‌ی زمین به گونه‌ای است که افراد بین جرم و وزن تفاوتی قائل نمی‌شوند به طوری که اغلب مردم این دو واژه را از یک کمیت می‌دانند و هر دو را با واحد کیلوگرم مشخص می‌کنند. جرم (m) به مقدار ماده تشکیل‌دهنده یک جسم مربوط می‌شود و خاصیت ذاتی و درونی آن محسوب می‌گردد. مقدار جرم یک جسم در همه‌ی جای کیهان ثابت است و با واحد کیلوگرم مشخص می‌شود. وزن (w) مسئله‌ی دیگری است. وزن اجسام نه تنها به جرم آن‌ها بلکه به شدت میدان گرانشی‌ای که در آن حضور می‌یابند نیز بستگی دارد و با واحد نیوتون مشخص می‌شود. در واقع مقدار وزن یک جسم بسته به جایی‌که در آن قرار می‌گیرد فرق می‌کند. برای مثال آدمی با جرم ۷۰ کیلوگرم روی زمین وزنی حدود ۷۰۰ نیوتون دارد ولی وزن همین آدم در مریخ ۲۵۹ نیوتون و در فضای میان ستاره‌ای 0 نیوتون است.

با دقت در معادله شکل زیر در می‌یابیم که برای محاسبه‌ی وزن (w) یک جسم به دو کمیت نیاز داریم. اولی مقدار جرم آن جسم (m) و دومی مقدار شتاب

گرانش (g) سیاره یا ستاره‌ای است که آن جسم بر روی سطحش قرار گرفته است.



سرعت فرار

هرستاره و سیاره‌ای شدت جاذبه و به طبع آن سرعت فرار مخصوص به خود را دارد. سرعت فرار یک سیاره به این معنی است که یک جسم مانند سنگ یا گلوله حداقل با چه سرعتی می‌تواند از کشش جاذبه‌ی آن سیاره فرار کند و خود را به فضای بیرون از میدان جاذبه‌ی آن برساند. سرعت فرار وابسته به جرم و شعاع آن جرم آسمانی می‌تواند کم یا زیاد باشد. وقتی ما از روی زمین سنگی را به بالا یا به سمت افق پرتاب می‌کنیم در نهایت بعد از طی چند متر سقوط می‌کند. حتی قوی‌ترین انسان روی زمین نیز قادر نیست سنگ را به چنان سرعتی پرتاب نماید که به فضای بیرون برسد. صرف نظر از مقاومت هوا حتی یک تپانچه نیز قادر به این کار نیست و حداکثر می‌تواند گلوله را به ارتفاع ۵

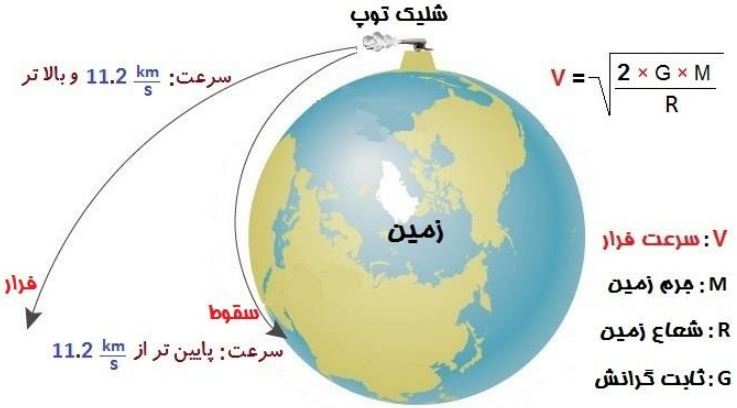
کیلومتری از سطح زمین برساند.

اندازه سرعت فرار در سیاره زمین حدود ۱۱ کیلومتر بر ثانیه یا ۴۰۰۰۰ کیلومتر بر ساعت است. و هر چیزی که سرعت اولیه‌اش کم‌تر از این باشد قبل از رسیدن به فضا سقوط خواهد کرد. اگر فضاپیماها هنگام برخاست از زمین، دارای سرعت اولیه‌ی ۱۱٫۲ کیلومتر بر ثانیه بودند، دیگر لازم نبود با خود سوخت اضافی حمل کنند. در واقع موتور قدرتمند فضاپیماها و موشک‌های ماهواره بر به طور مداوم با سوزاندن سوخت شیمیایی و ایجاد نیروی پیشرانش، قادرند با سرعتی کم‌تر از ۴۰ هزار کیلومتر بر ساعت خود را به فضای خارج از گرانش زمین برسانند.

با استفاده از فرمولی که در شکل زیر آمده است می‌توان مقدار سرعت فرار از سطح هر جرم آسمانی را محاسبه کرد. در این معادله حرف G مبین ثابت جهانی گرانش، حرف M مربوط به جرم سیاره‌ی مورد نظر و حرف R شعاع آن را نشان می‌دهد. طبق این معادله، مقدار سرعت فرار از سطح یک جرم آسمانی با جرمش رابطه‌ی مستقیم و با شعاع آن رابطه‌ی عکس دارد. یعنی هرچقدر جرم یک سیاره بیش‌تر و شعاع آن کوچک‌تر باشد سرعت فرارش بیش‌تر خواهد بود. مثلا فرض کنید جرم زمین از مقدار کنونی‌اش بیش‌تر ولی شعاعش کوچک‌تر می‌بود آنگاه گریختن از سطحش به مراتب سخت‌تر می‌شد. ستارگان نوترونی مثال خوبی برای این فرض هستند. این اجرام آسمانی شعاعی برابر ۱۰ کیلومتر و جرمی حدود ۱٫۴ تا ۳ برابر جرم خورشید دارند. در واقع مثل این است که کره‌ی زمین را به اندازه‌ی یک شهر کوچک کنیم و جرمش را ۵۰۰ هزار برابر افزایش دهیم. آنگاه سرعت فرار از سطح این هیولا ۲۴۰ هزار کیلومتر بر ثانیه یا ۸۶۴ میلیون کیلومتر بر ساعت خواهد بود. شدت نیروی گرانش قوی یک ستاره‌ی نوترونی به قدری است که؛ مقدار انرژی لازم برای رسیدن به ارتفاع یک میلی‌متری سطح آن از مقدار انرژی لازم برای یک فضاپیما جهت رها شدن از محدوده گرانش

زمین بیش‌تر است.

حال اگر اندازه شعاع زمین را ثابت نگه داشته و جرمش را افزایش دهیم آنگاه میزان سرعت فرار از سطحش به همان نسبت بیش‌تر خواهد شد. کوتوله‌های سفید برای این فرض مثال خوبی هستند. شعاع این اجرام آسمانی تقریبا هم اندازه‌ی زمین ولی جرمشان چندین هزار برابر زمین است. یکی از مشهورترین کوتوله‌های سفید، ستارهٔ شعرای یمانی B است که جرمش ۴۹۵ هزار برابر زمین است. سرعت فرار از سطح این ستاره ۶ هزار کیلومتر بر ثانیه یا ۲۱٫۶۰۰٫۰۰۰ کیلومتر بر ساعت است.



گردش مداری اجرام آسمانی

پیش‌تر گفتیم که دو جسم بسته به مقدار جرم و فاصله‌شان همدیگر را جذب می‌کنند. شدت این نیرو بین دو سیب بسیار کم است اما بین سیب و زمین کشش قابل ملاحظه‌ای وجود دارد که می‌تواند سیب را بر سطح سیاره بکوبد.

قدرت این جاذبه بین اجرام بزرگی مانند اقمار، سیارات و ستاره‌ها از این هم زیادتر است. این موضوع سؤالی را در ذهن نیوتون برانگیخته بود مبنی بر این‌که؛ اگر سیب روی زمین می‌افتد پس چرا ماه روی زمین سقوط نمی‌کند؟ چرا سیارات منظومه‌ی شمسی روی خورشید نمی‌افتند؟

نیوتون دریافت که دلیل برخورد نکردن اجرام آسمانی حرکت گردشی آن‌ها حول یکدیگر است. در واقع اگر سیاره‌ای در حالت ساکن باشد جذب خورشید می‌شود و بعد از مدتی بر روی آن خواهد افتاد. اما چرخش این سیاره به دور خورشید نیروی گریز از مرکزی (نیروی جانب مرکز) را در جهت مخالف نیروی گرانش به وجود می‌آورد. مقدار این نیرو به عواملی چون فاصله سیاره تا خورشید، سرعت گردش سیاره و جرم آن بستگی دارد و برخلاف نیروی جاذبه‌ای که سیاره را به سمت خورشید می‌کشد نیروی گریز از مرکز سعی دارد سیاره را از مدار خارج کند و آن را از خورشید دور سازد. شرط ثابت بودن مدار سیارات این است که اندازه‌ی نیروی گریز از مرکز با نیروی جاذبه برابر باشد. به عبارت دیگر اگر سرعت حرکت یک سیاره از حد معینی بیش‌تر باشد از مدار خارج شده و به فراسو پرتاب می‌شود و اگر سرعتش از این حد کم‌تر باشد به تدریج ارتفاع کم می‌کند و در مسیری مارپیچی در نهایت بر سطح ستاره‌اش سقوط می‌کند. برای فهم بهتر این موضوع، توپی را به انتهای یک فنر ببندید و سر دیگر فنر را در دست خود بگیرید. اگر توپ را به عنوان سیاره زمین و خود را خورشید فرض کنید آنگاه فنر بین شما و توپ در حکم نیروی گرانش بین خورشید و زمین خواهد بود. تا زمانی که توپ ساکن باشد فنر در حالت فشرده خواهد بود و توپ را به شما می‌چسباند. اما اگر توپ در مسیری دایره‌ای شکل حول شما بچرخد نیروی گریز از مرکز سعی می‌کند توپ را از شما دور کند. هر چقدر سرعت گردش توپ بیش‌تر باشد میزان کشیدگی فنر و فاصله گرفتن توپ از شما بیش‌تر خواهد بود البته باید توجه داشت که علاوه بر سرعت گردش توپ، مقدار جرم توپ و فاصله‌ی

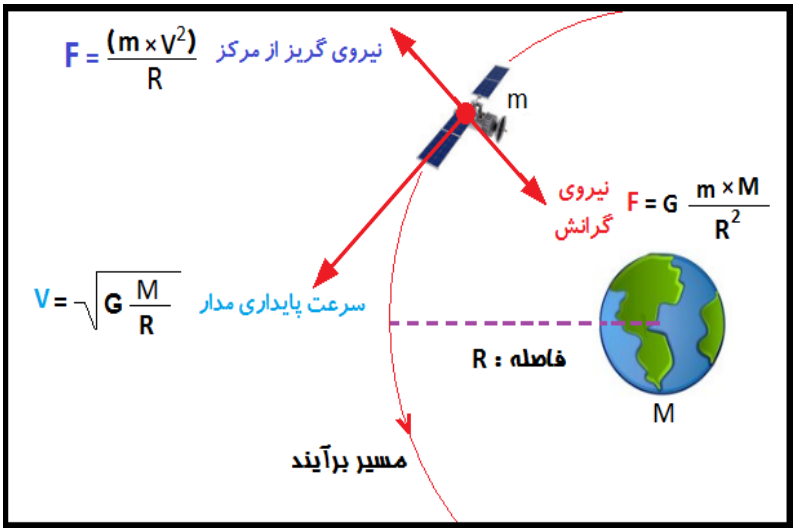
لحظه‌ای آن از شما نیز بر میزان کشیدگی فنر مؤثر است. تا جایی‌که اگر سرعت دوران توپ از یک حد معین بیش‌تر شود منجر به پاره شدن فنر و پرتاب توپ به فراسو می‌گردد.

سرعت پایداری مدار ماهواره

مهندسین هوافضا با کمک قوانین حرکت مداری نیوتون قادرند ماهواره‌ها را در مدارهای ثابتی حول زمین یا سایر اجرام شناور سازند. برای این کار ابتدا ارتفاع مداری ماهواره قبل از پرتاب مشخص می‌شود. برای قرار دادن ماهواره‌ها در مدار از موشک‌های دو مرحله‌ای استفاده می‌کنند. به این صورت که موتور مرحله‌ی اول در مسیری سهمی شکل، ماهواره را به ارتفاع مداری از پیش تعیین شده می‌رساند و از آن جدا می‌شود. اکنون ماهواره برای این‌که سقوط نکند باید با سرعت مشخصی که به آن سرعت مداری می‌گویند در امتداد این مسیر دایره‌ای و مماس بر آن حول زمین حرکت کند. بنابراین موتور مرحله‌ی دوم ادامه‌ی کار را بر عهده می‌گیرد و ماهواره را به سرعت مورد نظر(سرعت پایداری مدار) می‌رساند و سپس از آن جدا می‌گردد. برای مثال ماهواره‌ای که برای گردش در ارتفاع ۱۶۰ کیلومتری از مرکز زمین طراحی شده است باید سرعتی برابر ۲۸ هزار کیلومتر در ساعت داشته باشد. در این سرعت است که نیروی جاذبه با نیروی گریز از مرکز خنثی می‌شود و ماهواره می‌تواند در کمال آرامش مسیر خود را طی کند. از آنجا که در خلا نیروی مقاومت هوا صفر است؛ بنابراین ماهواره می‌تواند سال‌ها با همان سرعت اولیه‌ای که در ابتدا کسب کرده است گردش کند. با این حال سرعت و ارتفاع ماهواره هر از چند گاهی در اثر برخورد با ذرات رقیق غبار یا تحت تاثیر گرانش خورشید و ماه، افزایش یا کاهش می‌یابد. به این منظور مهندسان سازنده‌ی این وسیله پیشرانه‌های کوچکی را در اطراف آن تعبیه کرده‌اند تا در صورت نیاز این پیشرانه‌ها بلافاصله با اعمال نیرویی ناچیز در جهتی

خاص، مسیر ماهواره را تصحیح کرده و مانع از سقوط یا پرتاب آن به خارج از مدار گردند.

همان‌طور که در معادله‌ی سرعت پایداری مدار ماهواره می‌بینید حرف R (فاصله ماهواره از مرکز زمین)در مخرج کسر قرار گرفته است و این معنی را می‌دهد که هر چقدر ارتفاع ماهواره از زمین بیش‌تر باشد به سرعت گردش کمی نیاز خواهد داشت و از طرفی قرار گرفتن حرف M (جرم زمین) در صورت کسر بیانگر این است که هرچقدر جرم یک سیاره بیش‌تر باشد ماهواره‌ی حول آن باید با سرعت بیش‌تری گردش نماید. به همین خاطر است که اجرام دور سیاهچاله‌ها با سرعت سرسام‌آوری دور آن‌ها گردش می‌کنند. برای مثال ستاره S4714 با سرعت ۸۶،۴۰۰،۰۰۰ کیلومتر بر ساعت حول سیاهچاله غول‌پیکر موجود در مرکز کهکشان راه شیری گردش می‌کند.



گردش اجرام کیهان در مداری پایدار

همه می‌دانیم که اجرام آسمانی هریک به نوبه‌ی خود حول یک جسم پرجرم‌تر از خود می‌گردند. ماه از همان زمان تشکیلش با سرعتی برابر ۳،۶۵۹ کیلومتر در ساعت به دور زمین در حال گردش بوده است و هر ۲۷ روز و ۴۳ دقیقه یک دور کامل این مسیر را می‌پیماید. خود سیاره زمین از ابتدای تاریخ پیدایشش از چهار و نیم میلیارد سال قبل با سرعت ۱۰۰،۰۰۰ کیلومتر بر ساعت دور خورشید را طی می‌کند و بعد از ۳۶۵ روز و ۵ ساعت و ۴۸ دقیقه و ۴۶ ثانیه دوباره سر جای اولش باز می‌گردد و یک سال را تمام می‌کند. مریخ کمی دورتر از ما قرار گرفته است و سال آن طولانی‌تر است. ۶۸۷ روز زمینی طول می‌کشد تا سیاره‌ی سرخ بتواند مدارش را به طور کامل طی کند. هر چه در منظومه‌ی شمسی دورتر برویم مدارهای گردش اجرام بزرگ‌تر شده و سال طولانی‌تر می‌شود. در مورد نپتون که دورترین سیاره‌ی منظومه‌ی شمسی است این مدت ۶۰،۰۰۰ روز یا ۱۶۵ سال زمینی طول می‌کشد. سایر سیارات منظومه‌ی شمسی همچون عطارد، زهره، مشتری، زحل و اورانوس نیز با گردش خود به دور خورشید سال خود را تکمیل می‌کنند و با توجه به اندازه‌ی مدارشان مدت زمان گردشی متفاوتی دارند.

کل منظومه‌ی شمسی نیز در مداری بسیار وسیع در حال گردش است. منظومه‌ی شمسی ما تنها یکی از حداقل ۲۰۰ میلیارد منظومه‌ی ستاره‌ای موجود در کهکشان راه شیری است و همه‌ی این منظومه‌ها دارند با سرعت خاص خود به دور سیاهچاله‌ی بزرگی که در مرکز کهکشان واقع است می‌گردند. تقریبا ۲۲۵ میلیون سال طول می‌کشد تا منظومه‌ی خورشیدی ما با سرعت ۲۲۰ کیلومتر در ثانیه یا ۷۹۲،۰۰۰ کیلومتر در ساعت یکبار دور مرکز کهکشان بگردد که این مدت سال کهکشانی نامیده می‌شود. از زمان پیدایش زمین در چهار و نیم میلیارد سال پیش تاکنون سیاره ما ۲۰ بار دور مرکز کهکشان خودگردش کرده و لذا می‌توان گفت ۲۰ سال کهکشانی را پشت سر گذاشته است. علاوه بر سیارات و

ستاره‌ها، کهکشان‌ها نیز در حال گردش و حرکت‌اند. برای مثال کهکشان راه شیری ما به همراه ۳۵ کهکشان دیگر (آندرومدا – ماژلان کوچک – ماژلان بزرگ و ...) در دسته‌ای به نام کهکشان‌های گروه محلی جای گرفته است و به صورت مداوم در حال گردش در مداری حول مرکز ثقل این دسته است. در واقع کهکشان ما و کهکشان‌های دیگر گروه محلی مثل سیارات و ستارگان گردش دایره‌ای شکل منظمی ندارند و در ظاهر به نظر می‌رسد که به صورت تصادفی در کنار هم به این‌طرف و آن‌طرف می‌روند. ولی واقعیت این است که همه‌ی این کهکشان‌ها حول نقطه‌ای مشخص می‌گردند که این نقطه بر اساس قوانین نیوتون به عنوان مرکز سنگینی تمام گروه به حساب می‌آید و باعث می‌شود مثل جرمی بسیار سنگین همه‌ی کهکشان‌ها را حول خود اسیر کند و از دور شدنشان از یکدیگر جلوگیری نماید.

اسپوتنیک ۱ و ۲

۱۷ اکتبر سال ۱۹۵۷ روزی مهم و فراموش نشدنی در تاریخ اکتشافات فضایی بشر به حساب می‌آید. این روزی بود که اتحاد جماهیر شوروی برای اولین بار در تاریخ بشر ماهواره‌ای کروی شکل به قطر حدودا نیم متر با نام اسپوتنیک ۱ را به فضا ارسال کرد و آن را با موفقیت در مدار زمین قرار داد. این موضوع برای ارتش آمریکا یک کابوس وحشتناک بود. در واقع روس‌ها که دیرتر از آمریکایی‌ها وارد عرصه‌ی انرژی هسته‌ای شده بودند بمب‌های اتمی و هیدروژنی خشن‌تر و سنگین‌تری را ساخته بودند بنابراین می‌بایست موشک‌های بالستیک بین قاره‌ای قدرتمندتری می‌ساختند تا بتوانند این بمب‌ها را از فراز اقیانوس به سمت اهدافی در آمریکای شمالی شلیک کنند و ظاهرا با پرتاب اسپوتنیک ۱ به موفقیت بالایی در این زمینه دست پیدا کرده بودند. روس‌ها بعد از پرتاب نخستین ماهوه تصمیم داشتند اولین کشوری باشند که اینبار نخستین

موجود زنده‌ای را همراه یک ماهواره به مدار زمین ارسال می‌کردند. از آنجایی‌که هنوز فناوری لازم برای برگشت امن ماهواره به زمین را نداشتند تصمیم گرفتند به جای انسان ماده سگی با نام لایکا را که از خیابان‌های مسکو گرفته بودند در داخل ماهواره‌ی اسپوتنیک ۲ و در یک سفر بازگشت ناپذیر به مدار ۹۳۷ مایلی سطح زمین برسانند. یک ماه از پرتاب اسپوتنیک۱گذشته بود که ماهواره‌ی اسپوتنیک ۲ از مکانی مخفی در قزاقستان راهی آسمان شد. این ماهواره درون کپسولی مخروط قرار داشت و ۶ برابر از دوست قبلی‌اش سنگین‌تر بود و می‌توانست هر یک ساعت و ۴۲ دقیقه یکبار زمین را دور بزند و هر بار اطلاعاتی درباره‌ی اثرات میکروگرانشی و اوضاع جوی و همچنین علائم حیاتی لایکا به زمین مخابره نماید.

۱ – موشک 8K71Ps حامل اسپوتنیک۲: (طول =۲۹ متر)– محفظه مخروطی شکلی که ماهواره اسپوتنیک ۲ و جایگاه سگ لایکا درون آن جای گرفته‌اند. ۳ – لایکا پس از ۶ روز در اثر تمام شدن اکسیژن موجود در مخازن تنفسی فضاپیما جان باخت و با مرگ خود راه را برای ماموریت‌های فضایی سرنشین‌دار هموار نمود.

یک شکست افتضاح

به دنبال این موضوع آمریکا نیز تصمیم گرفت در همان سال و در پاسخ به اسپوتنیک ۱ و ۲ ماهواره‌ای را با نام ونگارد به مدار ارسال کند. گروهی از دانشمندان علوم موشکی به سرپرستی فون بروان که بعد از جنگ جهانی دوم از آلمان به آمریکا رفته بودند از دولت درخواست کردند موشک حامل این ماهواره را طراحی کنند اما آیزنهاور رئیس جمهور وقت ایالات متحده که می‌خواست این پروژه کاملا آمریکایی باشد پیشنهاد آنان را رد نمود و در نتیجه نیروی دریایی این کشور مسئولیت طراحی و ساخت موشک را بر عهده گرفت. آمریکا بر خلاف شوروی که پرتاب ماهواره را در خفا و بدون اطلاع همه انجام داده بود تصمیم گرفت ماهواره ونگارد را جلوی چشم تمام رسانه‌ها روانه‌ی آسمان کند. ساعت ۱۰ صبح بود و برای نخستین بار پرتاب یک موشک از تلویزیون‌های آمریکا پخش می‌شد. شمارش معکوس آغاز شد: ۱۰ – ۹ – ۸ – ۷ – ۶ – ۵ – ۴ – ۳ – ۲ – ۱ – پرتاااب... ستونی از آتش زیر موشک شعله‌ور شد و موشک بسیار کند از جای خود برخاست در حدود چند ثانیه بعد عقب عقب برگشت و همچون الاغی که زیر باری سنگین می‌نشیند ته موشک به زمین خورد و منفجر گردید. این لحظه‌ی ناامیدانه و تحقیرآمیزی بود که آمریکایی‌ها تا به آن روز تجربه نکرده بودند. فون بروان طراح مشهور موشک V2۴ آلمانی‌ها بود که هیتلر در خلال جنگ جهانی دوم لندن را زیر رگبار این موشک‌ها به زانو در آورده بود. براون که اکنون در خدمت آمریکایی‌ها بود، بعد از شکست پروژه‌ی ونگارد اجازه یافت موشک آمریکایی ردستون را بر اساس موشک‌های V2 طراحی نموده و ماهواره‌ی اکسپلورر را سوار بر آن به مدار پرتاب نماید. آمریکا بعد از پرتاب این ماهواره به فکر ایجاد سازمان فضایی ملی خود تحت نام ناسا افتاد و در نهایت این سازمان در ۲۹ ژوئیه ۱۹۵۸ توسط آیزنهاور رییس جمهور وقت، تأسیس گردید. حال دولت آمریکا شروع به تخصیص بودجه‌هایی کلان به سازمان ناسا و

پروژه‌های فضایی کرده بود و این موضوع باعث ایجاد رقابتی سخت در حوزه هوا و فضا بین ایالات متحده و اتحاد جماهیر شوروی شده بود.

رقابت فضایی بین دو ابر قدرت

بعد از رزولت، جان اف کندی در حالی به مقام ریاست جمهوری آمریکا رسیده بود که روس‌ها همچنان پیشتاز مسابقه‌ی فضایی بوده و چندین بار عنوان نخستین را در چندین نوع ماموریت از آن خود کرده بودند:

- نخستین ماهواره
- نخستین حیوان در فضا (لایکا)
- نخستین جسمی که با سطح ماه برخورد کرد
- نخستین فرود فضاپیمای بی‌سرنشین بر سطح ماه
- نخستین انسان در فضا (یوری گاگارین)
- نخستین زن فضانورد در فضا (والنتینا ترشکوا)
- نخستین فضاپیمای مدار گرد خورشید
- نخستین فضاپیمای چندسرنشین‌دار در مدار زمین
- نخستین راهپیمایی فضایی انسان
- ارسال نخستین فضاپیما به سوی دیگر سیارات: گذری از کنار زهره
- گرفتن نخستین تصاویر از پشت ماه که همیشه از دید ساکنان زمین پنهان است

کندی که می‌دانست چیزی جز فتح ماه نمی‌تواند آن همه دستاورد روس‌ها را از اعتبار کم کند و قدرت و عظمت آمریکا را نشان دهد؛ در روز ۲۵ مه سال ۱۹۶۱ در برابر مجلس ایالات متحده به ملت آمریکا قول داد تا پیش از پایان این دهه انسان را بر سطح ماه فرود آورده و سپس او را به سلامت به زمین بازگرداند.

ماموریت آپولو ۱۱

در ژوئیه سال ۱۹۶۹ همان‌طور که کندی قولش را داده بود سه فضانورد سوار بر فضاپیمای آپولو ۱۱ که بر نوک موشک ۱۱۰ متری ساترن ۵ بسته شده بود زمین را به مقصد ماه ترک کردند و بعد از ۴ روز و ۶ ساعت در سطح ماه فرود آمدند. ساترن ۵ به عنوان سنگین‌ترین و قدرتمندترین موشک ساخت بشر تا امروز، توسط ورنر فون براون طراحی و ساخته شده بود و وظیفه داشت فضاپیمای ۳۶ متری آپولو ۱۱ را تا مدار ماه حمل کند. دکتر براون علاوه بر ساخت این موشک سه مرحله‌ای، چگونگی فرود فضاپیما را نیز بر سطح ماه طرح‌ریزی کرده بود. روشی که او برای فرود بر سطح ماه طراحی کرده بود احتیاج به مانوری به نام ملاقات و اتصال داشت. روال کار به این صورت بود که ابتدا موتور شماره ۱ کل مجموعه را به ارتفاع معینی از سطح زمین رساند و بعد از اتمام سوختش از آن جدا شد. بلافاصله بعد از این مرحله موتور شماره ۲ روشن شد و فضاپیما را از جو خارج نمود و در نهایت بعد از اتمام سوختش از آن جدا گردید و مثل موتور قبلی داخل اقیانوس سقوط کرد. سپس موتور مرحله‌ی ۳ شروع به کار کرد و با مصرف مقدار قابل توجهی از سوختش، کل فضاپیما را به سرعت پایدار مداری ۲۸ هزار کیلومتر در ساعت رساند و آن را در مداری در ارتفاع ۱۶۵ کیلومتر به دور زمین قرار داد و خاموش شد. فضاپیما پس از دو بار گشتن دور زمین مسیر مناسب را به سمت ماه انتخاب نمود و موشک شماره ۳ را که هنوز مقداری از سوختش باقی مانده بود روشن کرد. این موشک نیز بعد از رساندن فضاپیما به سرعت ۳۸۷۰۰ کیلومتر بر ساعت سرانجام سوختش تمام شد و از آن جدا گردید. اکنون فضاپیمای آپولو ۱۱ مدام از زمین دورتر و دورتر می‌شد و در مسیرش به سمت نقطه‌ی ملاقات با ماه پیش می‌رفت. سرانجام فضاپیما با رسیدن به محدوده‌ی گرانش ماه سرعتش بیش‌تر شد و مسیرش به

سمت ماه خمیده گردید. در این مرحله موتور اصلی مربوط به خود فضاپیما به مدت ۶ دقیقه روشن شد تا سرعت فضاپیما را کم کند و آن را در مداری حول ماه قرار دهد. در واقع علت کاستن سرعت فضاپیما به این دلیل بود تا با این کار میدان گرانش ماه بتواند این فضاپیما را در محدوده‌ی مداری به دور خود اسیر کند چرا که در غیر این صورت فضاپیما با سرعت از کنار ماه می‌گذشت و به فراسو پرتاب می‌شد. به همین خاطر کامپیوترهای آپولو ۱۱ به گونه‌ای برنامه‌ریزی شده بودند تا سرعت سفینه را هنگام رسیدن به کنار ماه تا حدی کاهش دهند به طوری‌که مقدار این سرعت می‌بایست از سرعت فرار از ماه کم‌تر بوده باشد.

بعد از این‌که سفینه در مدار ۱۰۰ کیلومتری سطح ماه ثابت شد، دو تن از فضانوردان به نام های نیل آرمسترانگ و باز آلدرین وارد قسمت ماه‌نشین شدند و آن را از قسمت فرماندهی جدا کردند تا فرود آیند. فضانورد سوم مایکل کالینز داخل سفینه‌ی فرماندهی ماند و در حالی‌که هر دو ساعت یکبار ماه را دور می‌زد و منتظر انجام ادامه ماموریت و بازگشت دو دوستش به سفینه فرماندهی شد. آلدرین و ارمسترانگ که می‌خواستند به سمت پایین بروند، سرعت ماه‌نشین در حال گردش را با روشن کردن موتورش در خلاف جهت آن کاهش دادند و در ۳۰ ثانیه به مدار ۱۵ کیلومتری رسیدند. حال که دیگر ارتفاع ماه‌نشین کاهش یافته بود گرانش ماه کم‌کم آن‌ها را در یک مسیر مارپیچی به سمت پایین می‌کشید. آن‌ها در این مرحله دماغه‌ی سفینه را به سمت بالا برگرداندند و موتور را در خلاف جهت سقوطش روشن کردند تا این‌که ماه‌نشین سرانجام بعد از ۱۵ دقیقه روی ماه فرود آمد و پایه‌های آن ۳ تا ۵ سانتی متر داخل ماده ریزدانه و تقریبا پودر مانند سطح ماه فرو رفت. ساعت ۲۲ و ۳۹ دقیقه به وقت آمریکا بود. نیل ارمسترانگ با هیجان تمام دریچه‌ی سفینه را باز کرد و پای چپش را بر روی ماه گذاشت. او که می‌دانست این واقعه به صورت زنده از تلویزیون‌های سرتاسر دنیا

پخش می‌شود جمله‌ی مشهور خود را بر زبان آورد: قدمی کوچک برای بشر، گامی بزرگ برای بشریت. او کمی از خاک زیر پایش را به هوا پرتاب کرد و در محیطی به گرانش ۶ برابر ضعیف‌تر از زمین به راه رفتن پرداخت. آرمسترانگ اول از همه کیسه‌ای را پر از خاک و سنگریزه‌ها کرد تا مطمئن باشد اگر به هر دلیل ماموریت زودتر از موعد تمام شد حداقل بتواند مقداری از مواد سطح ماه را به زمین برگرداند. چند دقیقه بعد فضانورد دوم به نام باز آلدرین هم از پله‌های سه متری ماه‌نشین پایین آمد و به آرمسترانگ پیوست. آن‌ها تقریبا سه ساعت روی ماه بودند و بعد از انجام کارهایی از قبیل صحبت با رییس جمهور وقت (نیکسون)، نصب پرچم روی ماه، قرار دادن دستگاه لرزه‌نگار و نصب بازتابنده‌ی لیزری بر روی ماه، دوباره به سفینه(ماه‌نشین) برگشتند. آنان موتور فرود ماه‌نشین را که بیش از ۴ تن وزن داشت طبق برنامه بر روی ماه رها کردند و از آن به عنوان سکوی پرتاب برای بلند شدن استفاده کردند و با موتور صعود ماه‌نشین از سطح ماه بلند شدند و بالاخره خود را به سفینه‌ی فرماندهی مستقر در مدار ماه رساندند. آلدرین و آرمسترانگ ماه‌نشین را به سفینه‌ی فرماندهی متصل کرده و داخل آن شدند و پس از یکبار گردش کامل به دور ماه، ماه‌نشین را از سفینه فرماندهی جدا کردند تا برای همیشه به دور ماه بگردد. ساعت ۱۲ و ۵۶ دقیقه نیمه‌شب بود و این سه فضانورد آپولو ۱۱ با سرعت ۱۶۶۵ متر بر ثانیه در ارتفاع ۱۰۰ کیلومتر سطح ماه به دور آن می‌چرخیدند. موشک بخش فرماندهی روشن شد و با ایجاد شتاب، سرعت سفینه را افزایش داده و آن از مدار دور ماه خارج کرده و به سمت زمینی که ۴۰۰ هزار کیلومتر آنطرف‌تر بود هدایت نمود. سفینه بعد از رسیدن به نزدیک زمین بایستی با شیب دقیقا ۵ درجه وارد جو زمین می‌شد. این مرحله از عملیات بسیار حیاتی بود زیرا اگر زاویه وارد شدن بیش‌تر از ۵ درجه می‌شد فضاپیما از جو زمین به فضای خارج پرتاب می‌شد و هرگز امکان برگشت آن وجود نداشت و از طرفی اگر زاویه فرود کم‌تر از ۵ درجه بود فضاپیما

با زاویه تندی وارد جو زمین می‌شد آتش می‌گرفت و به صدها تکه تبدیل می‌گردید. بخش خدمات فضاپیما هنگام ورود به جو سوخت اما بخش فرماندهی که با یک سپر حرارتی سرامیکی محافظت می‌شد صحیح و سالم با باز شدن سه چتر نجات در آب فرود آمد.

۱: موشک ۱۴۰ تنی ساترن ۵ و آپولو ۱۱ که بر نوک آن قرار گرفته است.
۲: کپسول حاوی فضانوردان و تنها قسمت آپولو ۱۱ که سالم بر آب فرود آمد.

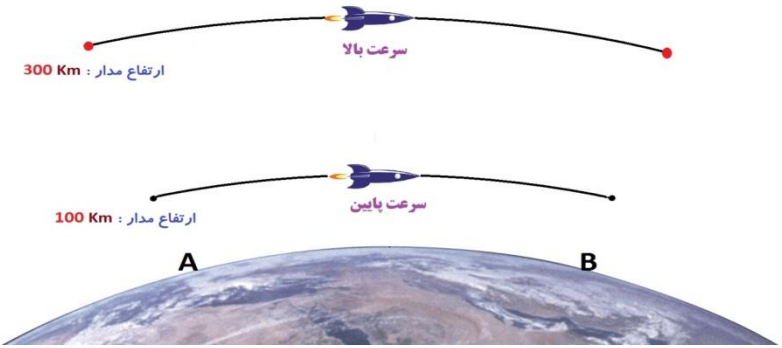
درباره سفر به فضا

قوانین سفر بر روی زمین توسط اتومبیل یا هواپیما با قوانین سفر در فضا مقداری متفاوت است. برای درک چگونگی حرکت در مدار یک سیاره یا سفر از سیاره‌ای به سیاره دیگر باید از اصول مکانیک مداری آشنا باشیم.

آهسته‌تر رفتن تا زودتر رسیدن

بدیهی است که در سفرهای روی زمین برای زودتر رسیدن به مقصدمان کافی است اتومبیل‌مان را سریع‌تر برانیم در حالی‌که اگر بخواهیم در مدار یک سیاره از شهری به شهری دیگر برویم برای زودتر رسیدن باید سرعتمان را کم

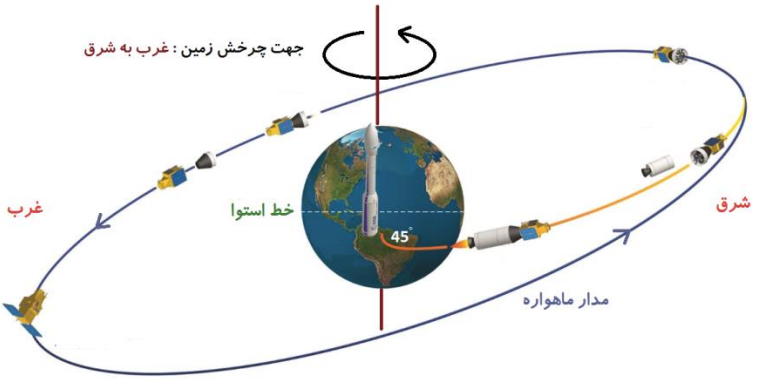
کنیم. فرض کنید می‌خواهیم با فضاپیمایی که در مدار ۳۰۰ کیلومتری سطح زمین گردش می‌کند و اکنون در آسمان کشور A قرار دارد به کشور B برویم. اگر ما سرعت فضاپیما را از حالت کنونی‌اش بیش‌تر کنیم، آنگاه نیروی گریز از مرکز افزایش یافته و فضاپیما در اثر این نیرو به مدار بالاتری (مثلا ۵۰۰ کیلومتری زمین) انتقال می‌یابد و در نتیجه طول کمانی که باید برای رفتن از A به B طی کنیم بیش‌تر می‌شود بنابراین با وجود سرعت بیش‌تر، زمان بیش‌تری طول می‌کشد تا به مقصد برسیم. این درحالیست که اگر سرعت فضاپیما را کاهش دهیم، به مدار پایین‌تری (۱۰۰ کیلومتری سطح زمین) منتقل می‌شود و چون طول کمان مسیر کاهش می‌یابد آنگاه فضاپیمایمان با وجود سرعت کم‌تر زودتر ما را به مقصد خواهد رساند.



مشکل سوخت

همیشه در پرتاب ماهواره‌ها و فضاپیماها سوخت موشک، عامل محدود کننده به شمار می‌آید به طوری‌که سفینه‌ها نمی‌توانند به مقدار زیاد با خود سوخت ببرند زیرا وزن خود سوخت، سنگین‌ترین باری است که بر دوش موتورهای موشک است که باید حملش کنند. به همین خاطر یکی از مهم‌ترین مسائلی که باید در پرتاب فضاپیماها به آن توجه داشت زاویه و همچنین مکان پرتاب سفینه از

زمین است. دانشمندان موشکی می‌دانند که سرعت چرخش پوسته‌ی زمین در قطب‌ها صفر و در خط استوا بیش‌ترین مقدار (۴۶۳ متر در ثانیه) را داراست از طرفی دیگر جهت چرخش زمین به دور خود از غرب به شرق است. برای همین خاطر اکثر ماهواره‌ها را از نقاطی به فضا ارسال می‌کنند که نزدیک‌ترین فاصله را به خط استوا داشته باشد شماره یک پاورقی (به همین دلیل است که پرتاب اکثر ماهواره‌ها و فضاپیماهای آمریکا از جنوبی‌ترین عرض جغرافیایی این کشور از فلوریدا که نزدیک به خط استواست انجام می‌گیرد) و همچنین برای صرفه‌جویی در مصرف سوخت اکثر پرتاب‌ها در راستای چرخش زمین یعنی به سمت شرق صورت می‌گیرد تا سفینه مقداری از نیرو و سرعت لازم را از چرخش زمین به دست آورد. به بیان ساده‌تر اگر جهت پرتاب ماهواره‌مان رو به شرق و زاویه‌ی بلند شدنش مایل(مثلا ۴۵ درجه) باشد می‌توانیم با مصرف سوخت کم، سرعت بیش‌تری کسب کنیم. این در حالیست که اگر ما سفینه‌مان را با زاویه ۹۰ درجه و مستقیما به سمت بالا شلیک کنیم سرعت چرخش زمین هیچ مقداری به سرعت سفینه اضافه نخواهد کرد به همین خاطر می‌توانیم چنین پرتابی را علاوه بر استوا از هر نقطه‌ی دیگری انجام دهیم چنان‌که در پرتاب اکثر ماهواره‌های جاسوسی، جهت شناسایی نشدن در حین پرتاب از این روش استفاده می‌شود.



رها کردن محموله‌های غیر ضروری برای ادامه‌ی سفر

شاید در نگاه اول تصور کنید که برای رفتن به ماه یا سیارات دیگر کافی است سوار موشک ساترن شده و در یک مسیر مستقیم خود را به مقصد مورد نظر برسانیم و دوباره با همان موشک ۱۱۰ متری به زمین برگردیم. اما مسئله اینجاست که در فضا هیچ پمپ بنزینی وجود ندارد تا باک فضاپیمایمان را پر کنیم بنابراین موتورها نمی‌توانند بیش‌تر از ۱۰ دقیقه روشن باشند. برای حل این مشکل لازم نیست که کل موشک را به مقصد برسانیم و همچنین در هنگام برگشتن از مقصد چاره‌ای نداریم جز این‌که بعضی از بخش‌های فضاپیما را در همان جا رها کنیم. چنان‌که دیدید در ماجرای ماموریت آپولو ۱۱ دو تا از موشک‌ها که وزن زیادی را شامل می‌شدند بعد از رساندن فضاپیما به مداری حول زمین از آن جدا شدند و همچنین موشک سوم نیز در میانه‌ی راه زمین به ماه از آن جدا شده و برای همیشه در فضا به حال خود رها گردید. همچنین کل مجموعه‌ی فضاپیما بر روی ماه پیاده نشد و تنها بخش ماه‌نشین آن بر سطحش فرود آمد. در حالی‌که اگر فضانوردان کل آن را بر سطح ماه می‌نشاندند آنگاه به خاطر جرم زیاد سفینه تقریبا تمام سوختش صرف غلبه بر گرانش ماه و نشاندن آرام آن بر سطح ماه می‌شد و دیگر سوختی برای بلندشدن از سطح ماه و ادامه‌ی ماموریت باقی نمی‌ماند. یکی دیگر از مواردی که باعث صرفه‌جویی سوخت آپولو ۱۱ شد این بود که فضانوردان هنگام بلندشدن از ماه، موتور فرود را در سطح ماه جای گذاشتند و تنها با کمک موتور صعود، خود را به مدار دور ماه رساندند و وقتی هم که به زمین رسیدند به خاطر وزن زیاد سفینه قبل از وارد شدن به جو زمین بخش خدمات را از آن جدا کردند و فقط با یک کپسول کوچک ۲ متری بدون داشتن موتور فرود و فقط با بازکردن چتر نجات در آب فرود آمدند. در نهایت از موشک ۱۴۰ تنی ساترن ۵ تنها یک کپسول دو تنی سالم به زمین

برگشت.

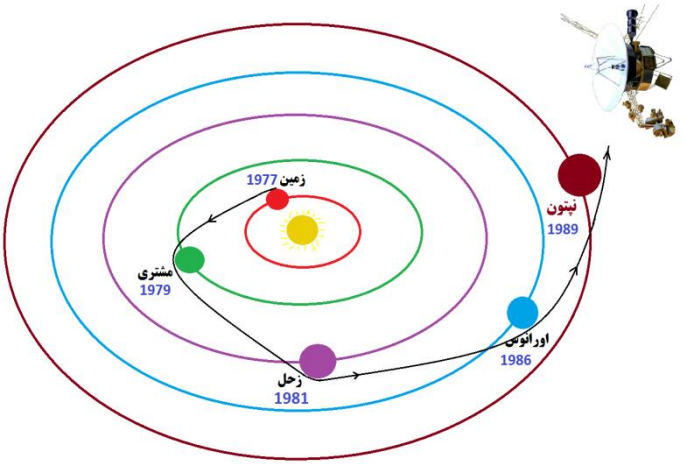
کمک گرانشی

فرض کنید می‌خواهیم به سیاره نپتون برویم. اولین کاری که باید بکنیم این است که خود را به مداری ثابت حول زمین (معمولا ۱۶۰ کیلومتری زمین) برسانیم. چنان‌که پیش‌تر گفتیم هر ماهواره یا سفینه‌ای برای ماندن در یک مدار و گردش در آن باید سرعت خاصی داشته باشد که به آن سرعت مداری پایدار می‌گویند. اگر ارتفاع مدار مورد نظر ما از سطح زمین ۱۶۰ کیلومتر باشد سرعت لازم برای قرار گرفتن در این مدار، ۲۸۰۰۰ کیلومتر در ساعت خواهد بود. بنابراین ما در ابتدا به دو موشک نیاز خواهیم داشت تا برای بلند شدن از زمین و رسیدن به مدار مورد نظر سرعت ما را به ۲۸۰۰۰ کیلومتر در ساعت برسانند. حالا دومین کاری که باید بکنیم این است که از زمین دور شویم و این کار نیازمند فرار از محدوده‌ی گرانش زمین است و این زمانی میسر می‌شود که به سرعت فرار از زمین دست یابیم. بنابراین ما به موشک دیگری نیاز داریم که سرعت سفینه را از ۲۸۰۰۰ کیلومتر به ۴۰۰۰۰ کیلومتر که همان سرعت فرار زمین است برساند. شاید فکر کنید که وقتی فضاپیمای ما به این سرعت رسید آنگاه در یک مسیر مستقیم به سیاره‌ی زحل می‌رود در حالی‌که چنین نیست زیرا با این‌که فضاپیما از دام گرانش زمین رها شده است اما هنوز در مداری به گرد خورشید و در دام گرانش آن قرار دارد. به بیان دیگر وقتی فضاپیما روی زمین و بر سکوی پرتاب بود همراه زمین با سرعت ۱۰۶۰۰۰ کیلومتر در ساعت در مداری گرد خورشید می‌چرخید. حالا که از زمین بلند شده‌ایم و از گرانش آن خلاصی یافته‌ایم متوجه می‌شویم که تقریبا با سرعت ۱۰۶ هزار کیلومتر در مداری گرد خورشید می‌گردیم و مثل زمین در این مدار اسیر شده‌ایم. تنها راه اوج گرفتن از این مدار و رفتن به سوی مدارهای بالاتر این است که سرعت خود را از ۱۰۶ هزار کیلومتر بیش‌تر

کنیم. اما صبر کنید ما یک سرعت اولیه‌ی ۴۰۰۰۰ کیلومتر بر ساعت را نیز دارا بودیم که اگر آن را با سرعت ۱۰۶ هزار کیلومتر جمع کنیم متوجه می‌شویم که سرعت واقعی ما نسبت به خورشید ۱۴۳۶۰۰ کیلومتر بر ساعت است. پس با این سرعت به مداری بالاتر از مدار زمین به دور خورشید منتقل خواهیم شد و همواره به دور خورشید می‌گردیم. اکنون ما با وجود این‌که به مدار نسبتا بالاتری (به دور خورشید) منتقل شده‌ایم ولی در آن سرگردان مانده‌ایم و سوخت کافی هم نداریم تا به مدارهای بالاتر مثلا به مدار زحل برسیم و روی آن بنشینیم. دانشمندان برای حل این مشکل و برای سرعت بخشیدن به فضاپیما بدون مصرف سوخت اضافی از پدیده‌ای به نام کمک گرانشی استفاده می‌کنند.

کمک گرانشی پدیده‌ای است که در آن یک فضاپیمای در حال حرکت اگر سر راه خود به سیاره‌ای بربخورد می‌تواند از نیروی گرانش آن سیاره استفاده کرده و سرعتش را افزایش دهد. برای مثال اگر ما با همین فضاپیمای‌مان که در حال گردش به دور خورشید هستیم از کنار سیاره‌ای مثلا مریخ عبور کنیم می‌توانیم به کمک این سیاره سرعتمان را از مقدار ۱۴۳۶۰۰کیلومتر بر ساعت به مقدار۱۵۰۰۰۰برسانیم. شرط کمک گرفتن از نیروی گرانش یک سیاره‌این است که به مقدار کافی به آن نزدیک شویم در این صورت این سیاره مثل یک قلاب سنگ، فضاپیمای ما را در برگرفته و کمی حول خود می‌چرخاند و بعد از این که به آن نیروی بیش‌تری وارد کنیم، فضاپیما را مثل سنگی که از قلاب سنگ رها شود رها می‌کند و آن را با سرعت بیش‌تری به جلو پرت می‌کند. دانشمندان تا کنون از این روش برای شتاب دادن به چندین کاوشگر بدون سرنشین استفاده کرده‌اند. برای مثال یکی از این کاوشگرها ویجر ۲ نام داشت که در سال ۱۹۷۷ توسط ناسا به فضا پرتاب شد. این کاوشگر که برای مطالعه سیاره‌های خارجی منظومه شمسی طراحی شده بود، از چهار سیاره‌ی مشتری، زحل، اورانوس و نپتون برای رسیدن به سیاره‌ی بعدی کمک گرانشی گرفت و توانست با افزایش

سرعت خود از دام گرانش خورشید رهایی یابد و راهش را به سمت ستاره‌ها در پیش بگیرد. ویجر۲ اکنون بیش از ۴۴ سال است که در ماموریت بوده است و الان در خارج از منظومه‌ی شمسی با سرعت ۵۵،۲۳۰ کیلومتر در ساعت در حال حرکت در فضای میان ستاره‌ای است و به عنوان یکی از دورترین اجسام ساخته‌ی دست بشر در فضا محسوب می‌شود.



مسیر حرکت ویجر ۲ در منظومه‌ی شمسی و گرفتن کمک گرانشی از سیارات

فصل سوم: نظریه نسبیت

آینیشتین

اغلب فیزیک‌دانان در قرن نوزدهم معتقد بودند که نور نیز همچون صوت به صورت موج (با سرعت ۳۰۰ میلیون متر در ثانیه) حرکت می‌کند. از نظر آن‌ها همچنان‌که امواج صوتی برای حرکت کردن به محیطی مادی مثل آب یا هوا نیاز دارند؛ موج نور نیز به یک محیط مادی واسطه نیاز داشت تا بتواند درون آن جریان یابد. اما مسئله این‌جا بود که محیطی که نور در خارج از جو زمین حرکت می‌کرد خلا بود و هیچ‌گونه جسمی مادی برای انتقال و حرکت امواج نور در آن وجود نداشت. بنابراین دانشمندان تصور کردند که فضای خلا از ماده‌ای نامرئی و ساکن به نام اتر پر شده است و به همین خاطر امواج نور می‌توانند به راحتی درون این اقیانوس ساکن و نامرئی حرکت کنند. دانشمندان فکر می‌کردند اگر کسی درون اتر همسو با نور حرکت کند آنگاه سرعت نور را کم‌تر از مقدار واقعی‌اش اندازه خواهد گرفت و اگر در خلاف جهت نور حرکت کند سرعت نور را بیش‌تر از ۳۰۰ میلیون متر در ثانیه خواهد دید. این موضوع را در هنگام رانندگی بهتر درک می‌کنیم. اگر ما با ماشین خود در اتوبان همسو با یک اتومبیل دیگر حرکت کنیم فکر می‌کنیم که آن اتومبیل نسبت به ما آهسته می‌راند اما زمانی که با ماشین خود از مقابل همان اتومبیل در حال حرکت در خلاف جهت حرکتش عبور کنیم به نظر می‌آید که او نسبت به ما با سرعت بیش‌تری می‌راند. این موضوع نشان می‌دهد که سرعت حرکت یک جسم نسبی بوده و بسته به سرعت و جهت حرکت ما ممکن است سرعتش کم یا زیاد به نظر برسد. دانشمندان قرن نوزدهم در مورد سرعت نور نیز بر همین باور بودند و فکر می‌کردند که مقدار سرعت نور برای فردی که مثل اتر در فضا ساکن است؛ ۳۰۰

میلیون متر بر ثانیه به نظر می‌رسد اما اگر همین فرد در حال دور شدن یا نزدیک شدن به سمت نور باشد سرعت نور را کم‌تر یا بیش‌تر از هنگامی که ساکن بود اندازه می‌گیرد. این در حالی بود که نتیجه‌ی آزمایش‌ها چیز دیگری می‌گفت.

آزمایش مایکلسون مورلی

در سال ۱۸۸۷ دو فیزیک‌دان به نام های آلبرت مایکلسون و ادوارد مورلی آزمایشی ترتیب دادند تا سرعت زمین را نسبت به اتر بدست آورند. در این آزمایش دو پرتو نور لیزر یکی در جهت حرکت زمین و دیگری با زاویه ۹۰ درجه نسبت به پرتو اول هم‌زمان به سمت یک هدف تابانده شدند. آن‌ها انتظار داشتند که سرعت پرتو اول به خاطر هم جهت بودن با حرکت زمین کمی از سرعت پرتو دوم بیش‌تر باشد و در نتیجه پرتو اول کمی زودتر از پرتو دوم به هدف برخورد کند. اما در کمال تعجب آن‌ها دیدند که هر دو پرتو هم‌زمان به هدف برخورد می‌کنند. آن‌ها این آزمایش را چندین بار با دقت و به شکل‌های مختلف انجام دادند ولی هربار به همان نتیجه مشابه رسیدند. این آزمایش نشان می‌داد که حرکت زمین هیچ تأثیری در سرعت حرکت پرتوهای نور نداشت به طوری‌که نور هر دو لیزر چه آن‌که به موازات زمین حرکت کند و چه آن‌که ساکن در جای خود باشد با سرعت‌های یکسان و هم‌زمان به هدف برخورد می‌کردند. این موضوع با عقل سلیم جور در نمی‌آمد و مثل این بود که وقتی یک فرد با ماشین خود در اتوبان رانندگی می‌کند می‌بیند که ماشین‌های دیگر از جنس نور صرف نظر از این‌که در کدام جهت می‌روند، سرعتشان نسبت به او ثابت بوده و کم یا زیاد نمی‌شود.

ثابت جهانی نور (c)

تا سال ۱۹۰۵ دانشمندان توضیحی برای آزمایش مایکلسون مورلی نیافته

بودند و عده‌ای نیز تصور می‌کردند که شاید در فرایند انجام این آزمایش اشتباهی روی داده است. در همان سال یک کارمند ساده‌ی اداره‌ی ثبت اختراعات در سوئیس به نام البرت اینیشتین مقاله‌ای منتشر کرد که به نظر می‌رسید جواب را یافته است. وی در آن مقاله متذکر شد که فرض وجود ماده‌ای به نام اتر که نور در آن حرکت می‌کند غیر ضروریست و چیزی به نام اتر وجود خارجی ندارد. همچنین وی فرض را بر این گذاشت که سرعت نور از حرکت منبع نور و همچنین ناظر آن مستقل است و در همه جهات ثابت (۳۰۰۰۰۰ کیلومتر در ثانیه) است. در این فرض اگر فردی در هر جهت و با هر سرعتی نسبت به نور حرکت می‌کرد، سرعت پرتو نور را ثابت و برابر ۳۰۰ میلیون متر در ثانیه اندازه‌گیری می‌نمود.

سرعت از نظر فیزیک نیوتون

بنا بر عقل سلیم و همان‌طور که نیوتون فکر می‌کرد، حدی نهایی برای سرعت حرکت اجسام وجود نداشت. به طوری‌که سرعت حرکت یک جسم می‌توانست به اندازه‌ی بی‌نهایت، زیاد باشد. هنوز هم عموم مردم بر این باورند که اگر انرژی کافی در اختیار داشته باشند، محدودیتی برای سرعت حرکت وجود نخواهد داشت و در نتیجه با هر سرعتی که بخواهند می‌توانند سفر کنند. بنابر این تصور، اگر انسان‌ها زمانی در آینده، فضاپیمایی بسازند که موتورش بی‌نهایت اسب بخار قدرت داشته باشد و البته جنس بدنه‌ی این فضاپیما آنقدر محکم باشد که بتواند هر سرعت ممکنی را تحمل کند؛ آنوقت این فضاپیمای فوق پیشرفته با نیروی بسیار زیادی که دارد، می‌تواند به هر سرعتی برسد. به طوری‌که هر قدر مقدار نیروی وارد شده به این فضاپیما به سمت بی‌نهایت میل کند، سرعت فضاپیما نیز عددی بسیار بزرگ در حد تریلیون‌ها تریلیون ماخ(سرعت صوت) خواهد بود.

سرعت از نظر اینیشتین

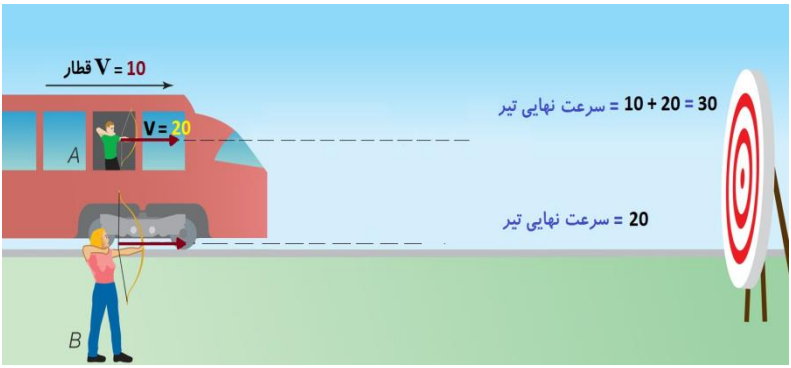
چیزی که اینیشتین در آن زمان مطرح کرد مغایر با این تصور بود. او دریافته بود که حد سرعت نهایی موجود در عالم نمی‌تواند از مقدار معینی بیش‌تر باشد. این مقدار (برابر 300,000,000 m/s) همان سرعت نور بود. او پی برد که مقدار سرعت نور یک ثابت جهانی بوده و از قوانین تغییرناپذیر طبیعت است که هیچ چیز در هیچ شرایطی نمی‌تواند سریع‌تر از آن حرکت کند.

این مقدار بیشینه سرعت هر چند در ظاهر خیلی زیاد نیست ولی از نظر ریاضیاتی به عنوان یک سرعت بی‌نهایت در طبیعت تلقی می‌شود. چنان‌که وقتی ما عددی را به اضافه یا منهای بی‌نهایت کنیم باز هم جواب بی‌نهایت می‌آید بنابراین هر چقدر بر سرعت چیزی که با سرعت300,000,000 m/s (بی‌نهایت) حرکت می‌کند بیفزاییم یا کم کنیم. بازهم مقدار سرعتش 300,000,000 m/s (بی‌نهایت) خواهد بود!! به همین دلیل است که سرعت نور بدون توجه به سرعت و جهت حرکت منبعش (لیزر) همواره مقداری ثابت است و تغییری نمی‌کند و این وقعا یک شگفتی به حساب می‌آید.

مثال اول:

فرض کنید فردی در روی زمین با کمان خود تیری را به سمت یک سیبل شلیک می‌کند. این سیبل دارای سرعت‌سنج بوده و سرعت برخورد تیر را برابر ۲۰ نشان می‌دهد. این‌بار همین شخص درون قطاری که با سرعت ۱۰متر در ثانیه به سمت سیبل حرکت می‌کند، تیر خود را از پنجره و به موازات قطار به سمت هدف شلیک می‌کند. سرعت‌سنج سیبل این‌بار سرعت برخورد تیر را ۳۰ متر در ثانیه

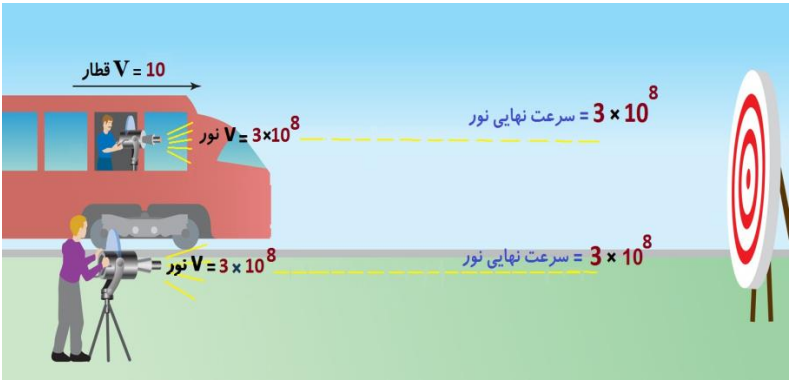
نشان می‌دهد. دلیل این موضوع آن است که این تیر قبل از رها شدن با سرعت ۱۰ در حال حرکت بود. بنابراین وقتی با سرعت ۲۰ متر در ثانیه از کمان رها شد سرعت حرکت قطار نیز به سرعت آن افزوده گردید و مقدار سرعت کلی‌اش را به ۳۰ رساند. حال اگر این فرد تیر خود را در داخل قطاری که به سرعت ۱۰ در خلاف جهت سیبل حرکت می‌کند به سیبل شلیک کند آنگاه سرعت‌سنج سرعت برخورد تیر را ۱۰ نشان خواهد داد زیرا سرعت قطار از سرعت سیبل ۱۰ تا کم کرده است.



مثال دوم

حال فرض کنید همان فرد با لیزری که در دست دارد ابتدا از روی زمین پرتویی را به سمت سیبل نشانه می‌رود و سیبل سرعت برخورد پرتو را ۳۰۰ میلیون متر در ثانیه نشان می‌دهد. حالا همین فرد این کار را از داخل همان قطار در حال حرکت انجام می‌دهد و در کمال تعجب می‌بیند که سرعت سنج همان سرعت 300,000,000 m/s را نشان می‌دهد در حالی‌که انتظار می‌رفت سرعت قطار به سرعت نور اضافه شده و در نتیجه سرعت برخورد نهایی نور 300,000,030 m/s باشد. اگر این پرتو از داخل قطاری که در خلاف جهت

سیبل حرکت می‌کند شلیک شود باز هم سرعت برخورد نهایی پرتو به سیبل همان خواهد بود در حالی‌که انتظار می‌رفت این بار سرعت برخورد نور لیزر به هدف ۳۰ واحد از سرعت نور کم‌تر باشد(299999970 m/s). در واقع قطار با هر سرعتی حتی اگر با سرعت نور نیز حرکت کند صرف نظر از این‌که به آن نزدیک یا از آن دور شود؛ بازهم سرعت پرتو شلیک شده از داخل آن به سمت سیبل برابر300,000,000 m/s خواهد بود.



اینیشتین می‌دید که وقتی سرعت‌ها به سرعت نور می‌رسد مقدارش ثابت می‌ماند. از طرفی می‌دانست که سرعت (طبق معادله نیوتون) برابر با مسافت طی شده تقسیم بر زمان است. بنابراین او به این نتیجه رسید اگر سرعت یک جسم با رسیدن به سرعت نور ثابت بماند آنگاه یکی از دو کمیت زمان یا مسافت طی شده باید تغییر کند تا معادله درست کار کند. وی با فرض ثابت بودن سرعت نور و مسافت طی شده، به این نتیجه رسید که این زمان است که باید متغیر و به عبارتی نسبی باشد و در نتیجه تصور مطلق بودن زمان باید کنار گذاشته شود.

نسبی بودن زمان

در واقع تا قبل از این‌که اینیشتین در سال ۱۹۰۵نظریه نسبیت خاص خود را ارائه دهد، پدیده‌ی زمان درتصور همه مردم کمیتی ظاهرا مطلق قلمداد می‌شد. در واقع ما انسان‌ها تا ۱۰۰ سال پیش فکر می‌کردیم که زمان به آرامی و با یک آهنگ ثابت جریان دارد. به گونه‌ای که سرعت گذر زمان در همه جای کیهان برای هر موجودی و در هر شرایطی ثابت بوده و به هیچ چیز خارجی وابسته نیست. اما چیزی که اینیشتین به آن رسید این بود که زمان برخلاف تصور دیگران یک چیز نسبی بوده و مطلق نیست. یعنی گذر زمان برای موجودات هستی یکسان نیست بلکه هر موجود نسبت به دیگران زمان شخصی متفاوتی خواهد داشت. به این صورت که ممکن است زمان برای من نسبت به دوستم کندتر یا تندتر سپری شود. به عنوان مثال ممکن است به ازای هر یک ساعتی که من در اینجا سپری می‌کنم دوستم این زمان را ۸ ساعت تجربه کند.

اتساع زمان

پدیده‌ی اتساع زمان یکی از نتایج شگفت‌انگیز برآمده از نظریه نسبیت خاص است.بر طبق این نظریه، زمان نسبی است و عاملی که باعث نسبی بودن زمان برای موجودات می‌شود سرعت حرکت آن‌ها نسبت به یکدیگر است. بر طبق این

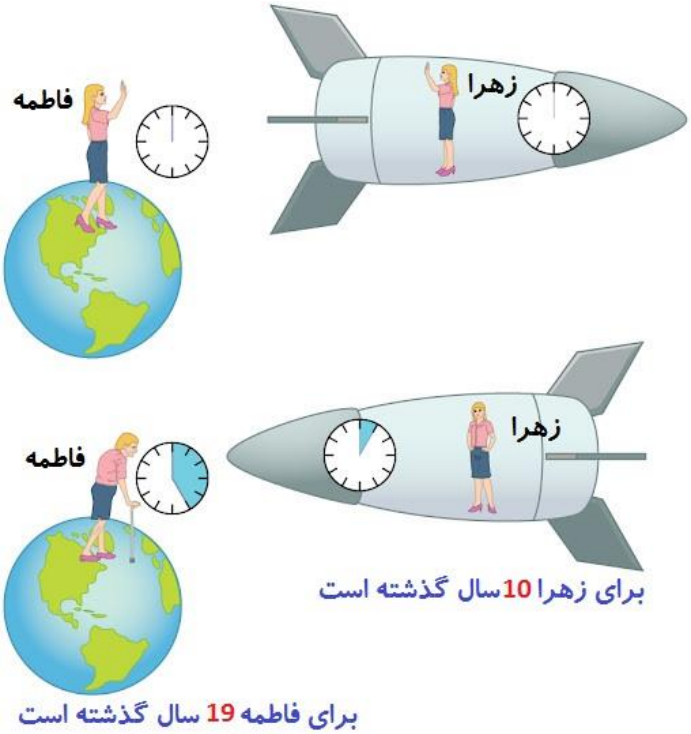
نظریه گذر زمان برای یک موجود، وابسته به سرعت حرکت او بوده و متغیر است. یعنی هر جسم در حال حرکت بسته به سرعتی که دارد زمان متفاوتی را نسبت به اجسام دیگر تجربه می‌کند. تا زمانی که دو جسم نسبت به هم ساکن باشند، زمان‌های یکسانی را تجربه می‌کنند اما اگر نسبت به هم حرکت کنند با توجه به مقدار سرعتی که نسبت به هم دارند زمان‌های متفاوتی را نسبت به هم تجربه خواهند کرد. به عبارت دیگر هرگاه سرعت حرکت یک فرد نسبت به دوستش بیش‌تر باشد، زمان برای این فرد نسبت به آن یکی کندتر می‌گذرد تا جایی‌که اگر این فرد نسبت به دوستش با سرعت نور حرکت کند آنگاه زمان برای او نسبت به دوستش متوقف می‌شود. اینیشتین این موضوع را تاخیر زمانی یا اتساع زمانی نامید و برای درک آن پارادوکس دوقلوها را مطرح کرد.

پارادوکس دوقلوها

فرض کنید زهرا و فاطمه دو خواهر دوقلوی همسان‌اند و ۱۰ سال سن دارند. زهرا به فاطمه می‌گوید: «می‌خواهم به یک سفر فضایی ۱۰ ساله بروم.» فاطمه نیز در پاسخ می‌گوید: «من هم این ۱۰ سال را در زمین سپری می‌کنم.» آن‌ها ساعت‌هایشان را تنظیم می‌کنند تا بعد از دقیقا ۱۰ سال دوباره همدیگر را ببینند. زهرا با سفینه‌ای که دارد با سرعتی برابر ۹۹ درصد سرعت نور به مدت ۱۰ سال به طور مداوم در فضا پرواز می‌کند و در نهایت به زمین بر می‌گردد و به دیدن خواهرش می‌رود. آن‌ها انتظار دارند وقتی هم را می‌بینند هم سن باشند اما واقعیت چیز دیگری است. طبق نظریه نسبیت اینیشتین از انجایی‌که زهرا نسبت به خواهرش با سرعت نزدیک به نور حرکت کرده است، زمان برای زهرا نسبت به خواهرش کندتر سپری گشته است و نسبت به خواهرش جوانتر مانده است و یا به عبارتی خواهر دوقلوی زهرا چند سال از وی پیرتر خواهد بود. طبق فرمول اتساع زمان آینیشتین اگر زهرا با سرعت ۲۹۶۷۹۴۵۳۳ متر بر ثانیه که همان ۹۹

درصد سرعت نور است به مدت ۱۰ سال در فضا پرواز کرده و برگردد متوجه می‌شود که زمان برای خواهرش و دیگر زمینی‌ها نه ۱۰ سال، بلکه ۱۹ سال سپری شده است. به عبارت دیگر اکنون اگر زهرا ۲۰ ساله باشد خواهرش فاطمه ۳۹ ساله خواهد بود.

این بار واقعه را از نگاه فاطمه تماشا می‌کنیم. فاطمه طبق توافقشان بعد از سپری کردن دقیقا ۱۰ سال در زمین، برای استقبال خواهرش به سکوی فرود سفینه‌ها می‌رود اما متوجه می‌شود که هنوز خواهرش از سفر فضایی برنگشته است. او چندین روز تا چندین ماه منتظر خوهرش می‌ماند اما از او خبری نمی‌شود. فاطمه که دیگر از برگشت خواهرش ناامید شده بود سرانجام بعد از ۹ سال بالاخره فرود آمدن سفینه‌ی خواهرش بر زمین را مشاهده می‌کند. فاطمه می‌داند که از زمان رفتن خواهرش به فضا ۱۹ سال سپری شده و انتظار دارد که خواهرش نیز مثل او ۲۹ ساله باشد اما با دیدن زهرا در کمال تعجب متوجه می‌شود که زهرا تنها ۲۰ سال سن دارد و به عبارتی ۹ سال از وی جوانتر مانده است.



پدیده کند شدن زمان یا اتساع زمان تنها مختص سرعت‌های بالا نیست بلکه برای هر کسی با هر سرعتی که نسبت به دیگران حرکت کند صدق می‌کند. اما مسئله اینجاست که اگر سرعت حرکت فردی مثل سرعت سفرهای انسانی کم باشد آنگاه اتساع زمانی بسیار نامحسوس خواهد بود؛ برای مثال اگر فردی ۷۰ ساله از زمان تولد، تمام عمر خود را در اتومبیل یا هواپیما به سفر کردن بپردازد در این مدت ۷۰ سال تنها چند هزارم ثانیه نسبت به افراد ساکن هم سن خود جوان‌تر خواهد بود. این در حالیست که به خاطر فناوری پایینی که داریم حتی سرعت فضاپیماهایمان نیز در مقایسه با سرعت نور ناچیزند بنابراین آن‌ها نیز کند شدن زمان را به سختی احساس می‌کنند. برای مثال اگر فضانوردی یک سال

تمام را در ایستگاه فضایی بین‌المللی که با سرعت ۷٫۵ کیلومتر بر ثانیه حرکت می‌کند سپری کند در این مدت یکسال تنها ۳ صدم ثانیه نسبت به ساکنان زمین جوان‌تر خواهد ماند که این مقدار قابل چشم‌پوشی است و به چشم نمی‌آید.

فرمول اندازه‌گیری اثر تاخیر زمانی به این شرح است:

$$t_0 = \frac{t}{\sqrt{\left(1-\frac{v^2}{c^2}\right)}}$$

t_0 : زمان برای فرد ساکن
t : زمان برای فرد متحرک
v : سرعت فرد متحرک
c : سرعت نور

فرمول اتساع زمانی البرت اینیشتین

چنان‌که در معادله‌ی اتساع زمان می‌بینید برای محاسبه‌ی مقدار تاخیر زمانی یک فرد متحرک کافی است مقادیر خواسته شده را در معادله جای‌گذاری کنیم. برای مثال اگر فردی یک روز تمام (۸۶۴۰۰ ثانیه) را با سرعت ۱۰۰ کیلومتر در ساعت (۲۷ متر بر ثانیه) نسبت به یک فرد ساکن رانندگی کند آنگاه مقدار مدتی که او نسبت به فرد ساکن جوانتر مانده است ۰٫۰۰۰۰۰۸۶۴ ثانیه خواهد بود. در واقع به ازای هر ۸۶۴۰۰ ثانیه‌ای که راننده‌ی این ماشین گذرانده است همسر وی در خانه این زمان را ۸۶۴۰۰٫۰۰۰۰۰۸۶۴ ثانیه سپری کرده است. یعنی راننده در این ۲۴ ساعت تنها حدود ۸ میلیونم ثانیه از همسرش جوان‌تر مانده است.

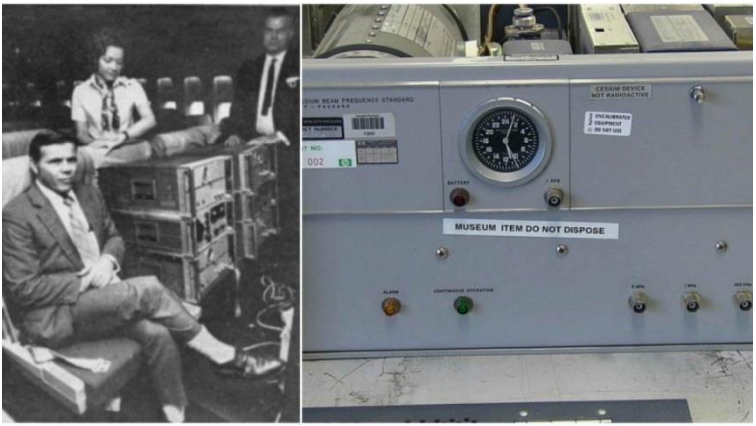
$$t_0 \text{ (زمان فرد ساکن)} = \frac{86400}{\sqrt{\left(1 - \frac{27^2}{300000000^2}\right)}} = 86400.00000864$$

$$t_0 - t = 86400.00000864 - 86400 = 0.00000864 \text{ ثانیه}$$

آزمایش هیفل – کیتینگ

زمانی که اینیشتین فرمول اتساع زمانی را ارائه داد فناوری لازم برای اثبات درستی این نظریه وجود نداشت به همین دلیل برخی افراد به درستی یافته‌های وی شک داشته و تصور می‌کردند که دیر یا زود این کشف باطل خواهد شد. این در حالیست که اکنون بعد از گذشت بیش از ۱۰۰ سال از آن موقع نظریه نسبیت خاص وی بی‌چون و چرا از همه‌ی آزمایشاتی که تاکنون در این باره انجام گرفته‌اند سربلند بیرون آمده است. یکی از این آزمایش‌ها که نخستین بار برای اثبات درستی پدیده اتساع زمان انجام گرفت در سال ۱۹۷۱و معروف به آزمایش هیفل–کیتینگ بود. در این آزمایش یک فیزیک‌دان و یک اخترشناس به نام‌های ژوزف هیفل و ریچارد کیتینگ آزمایشی ترتیب دادند تا تأثیر سرعت نسبی بر گذر زمان را آنچان‌که اینیشتین گفته بود مشاهده کنند. آنان برای سنجش زمان از ۳ ساعت اتمی بسیار دقیقی که تازه در آن زمان اختراع شده بود استفاده کردند. آن‌ها یکی از ساعت‌ها را بر روی زمین قرار دادند و دو تای دیگر را سوار بر دو هواپیمای مسافربری که در خلاف جهت هم (یکی به سمت شرق و دیگری به سمت غرب) پرواز می‌کردند مستقر کردند. آن‌ها بعد از بازگشت هواپیماها، هر دو ساعت اتمی پرواز کرده را با ساعت اتمی روی زمین مقایسه کردند و متوجه

شدند که مقدار ناچیزی از زمان‌های اندازه‌گیری شده توسط هر کدام از ساعت‌ها با یکدیگر متفاوت است. ساعتی که موافق جهت چرخش زمین در حرکت به سمت شرق بود نسبت به ساعت روی زمین ۵۹ میلیاردم ثانیه عقب‌تر بود و ساعتی که در خلاف جهت چرخش زمین به سمت غرب حرکت کرده بود ۲۷۳ میلیاردم ثانیه از ساعت زمینی عقب‌تر مانده و به عبارتی کند تر کار کرده بود. همچنین ساعت‌های هواپیماها نیز به خاطر سرعت نسبی که نسبت به هم داشتند زمان متفاوتی را از یکدیگر ثبت کرده بودند.



راست: ساعت اتمی سزیم – چپ : ژوزف هیفل و ریچارد کیتینگ

تا اواخر قرن هفدهم میلادی هنوز زمان واحد و استانداردی که مورد پذیرش همه‌ی ملت‌ها باشد وضع نشده بود. چنان‌که هر شهر و منطقه‌ای زمان خاص خود را داشت. تا این‌که به تدریج با توسعه‌ی راه‌آهن و روی کار آمدن شرکت‌های قطار، نیاز جدی به داشتن ساعت‌های هم‌زمان و دقیق بین مناطق مختلف احساس شد زیرا نبود زمانی توافقی بین قطارها هر از چندگاهی باعث ایجاد سوانح و تصادفاتی مرگبار بین آن‌ها می‌شد. سرانجام در سال ۱۸۸۳ کشورها با یکدیگر توافق کردند تا منطقه‌ی گرینویچ را به عنوان مبدا زمانی

برگزینند و هر کشور ساعت رسمی خود را بر اساس فاصله‌ای که از این رصدخانه داشت تنظیم نماید. اندکی بعد با اختراع تلگراف (که ارتباط لحظه‌ای را ممکن می‌ساخت) مردم ساکن در سراسر مناطق جهان توانستند ساعت‌هایشان را با دقت یک ثانیه با این ساعت جهانی هماهنگ کنند.

اما این تمام ماجرا نبود چرا که غیر از تنظیم ساعت‌ها با یکدیگر، باید دقت آن‌ها را نیز بالا می‌بردیم. امروزه پدیده‌هایی همچون جی‌پی‌اس، هدایت ناوبری، اینترنت و ... برای کارکرد درست باید به ساعتی که توانایی سنجش زمان با دقت یک میلیاردم ثانیه را دارد متصل باشند که خوشبختانه در این کار نیز تا حد زیادی موفق بودیم و توانستیم ساعت‌های فوق دقیق اتمی را بسازیم. در حال حاضر مبنای تنظیم ساعت جهانی مبتنی بر ساعت اتمی سزیم است که با اندازه‌گیری فرکانس اتم سزیم به محاسبه‌ی زمان می‌پردازد.

مهم‌ترین فرق یک ساعت اتمی با ساعت‌های دیگر در دقت آن‌ها برای اندازه‌گیری زمان است. اکثر ساعت‌هایی که ما در زندگی روزمره با آن‌ها سروکار داریم قادر نیستند مدت زمانی کم‌تر از یک ثانیه را شمارش نمایند. تعدادی از ساعت‌ها نیز مثل ساعت‌های داوران مسابقات دو و شنا قادرند تا یک صدم ثانیه را بسنجند اما ساعت‌هایی که بتواند کم‌تر از یک نانو ثانیه را بسنجد تنها در مرکز علوم و فناوری‌های پیشرفته یافت می‌شوند و از دسترس افراد عادی خارج‌اند. یکی از این مراکز پیشرفته انستیتوی ملی تکنولوژی و استاندارد (NIST) آمریکاست که وظیفه تدوین استانداردهای اندازه‌گیری زمان، جرم، طول و ... را بر عهده دارد. دانشمندان در این نهاد با کمک اتم سزیم زمان را با دقت بسیار بسیار بالایی اندازه‌گیری می‌کنند. در واقع هر اتمی برای خود یک فرکانس منحصر به فردی دارد و هرلحظه با آهنگ خاصی در حال ارتعاش است. اتم سزیم نیز از این امر مستثنا نیست چنان‌که هرگاه با انرژی بمباران شود شروع به ارتعاش می‌کند و مثل یک چراغ چشمک‌زن از خود پالس‌های نوری ساطع

می‌کند. دانشمندان از قبل تعداد این پالس‌ها را شمرده و به این نتیجه رسیده‌اند که اتم سزیم در هر یک ثانیه ۹,۱۹۲,۶۳۱,۷۷۰ بار مرتعش می‌شود و یا به عبارتی چشمک می‌زند. این یعنی هربار که اتم سزیم به تعداد ۹,۱۹۲,۶۳۱,۷۷۰ مرتبه می‌لرزد یک ثانیه از زمان سپری می‌شود. این دقت واقعا شگفت‌آور است چرا که اگر ساعت‌های معمولی ما هر یکی دو ماه یک ثانیه پس و پیش شوند، این ساعت اتمی در هر ۱۰۰ میلیون سال یک ثانیه به جلو یا عقب می‌رود.

طول نسبی

در نظریه نسبیت خاص علاوه بر نسبی بودن زمان، طول نیز بسته به مقدار سرعت فرد می‌تواند نسبی باشد. به عبارت دیگر اگر فردی با سرعت نزدیک به نور حرکت کند طول او نسبت به کسی که ساکن است منقبض می‌شود و کاهش می‌یابد. فرض کنید دو تا خط‌کش یک متری وجود دارند. یکی از این‌ها را در زمین قرار می‌دهیم و دیگری را در فضاپیما قرار داده و آن را با سرعت نزدیک به سرعت نور در فضا به پرواز در می‌آوریم. حال اگر کسی که روی زمین است هم‌زمان به این دو خط‌کش ساکن و در حال پرواز نگاه کند خواهد دید که اندازه‌ی طول خط‌کش موجود در زمین همان یک متر است اما طول خط‌کش سوار بر فضاپیما مقداری از این خط‌کش کوتاه‌تر است.

طبق معادله زیر اگر سرعت فضاپیما برابر با۵۰ درصد سرعت نور یعنی ۱۵۰ میلیون متر در ثانیه باشد، آنگاه طول خط‌کش درون این فضاپیما از دید ساکنان زمین ۸۶ سانتی‌متر بوده و به عبارتی این خط‌کش ۱۴ سانتی‌متر نسبت به خط‌کش زمینی کوتاه‌تر خواهد بود.

$$L = L_0 \times \sqrt{1 - \frac{V^2}{C^2}} = 1 \times \sqrt{1 - \frac{150{,}000{,}000^2}{300{,}000{,}000^2}} = \text{0.86 متر}$$

L_0 : طول جسم ساکن (خط کش روی زمین)

L : طول جسم متحرک (خط کش داخل فضاپیما)

V : سرعت جسم متحرک (سرعت حرکت خط کش)

C : سرعت نور

حالا جالب است اگر فردی در حین پرواز، همراه این خط‌کش در فضاپیما باشد هیچ تغییری در طول خط‌کش نمی‌بیند و آن را همان یک متر اندازه خواهد گرفت. اما وقتی به خط‌کش روی زمین نگاه کند متوجه می‌شود که طول خط‌کش زمینی 1.14 متر بوده و به عبارتی طول آن ۱۴ سانتی‌متر از خط‌کش موجود در فضاپیما بلندتر است.

گفتنی است که این انقباض طول فقط برای خط‌کش اتفاق نمی‌افتد بلکه طول خود فضاپیمای در حال حرکت و تمام چیزهایی که در آن با سرعت ۱۵۰ میلیون متر در ثانیه حرکت می‌کنند (از انسان گرفته تا پیچ) نسبت به فضاپیماها و چیزهای همتای ساکن در زمین به مقدار ۱۴ منقبض شده‌اند. همچنین آن فرد سوار بر فضاپیما با این‌که تغییری در طول خود و فضاپیما و اشیاء کنارش احساس نمی‌کند؛ اما وقتی به زمین و موجودات آن نگاه می‌کند متوجه می‌شود که طول آن‌ها به مقدار ۱۴ سانتی‌متر افزایش یافته است.

جرم نسبی

یکی دیگر از پیامدهای نسبیت خاص مربوط به جرم نسبی اجسام است. در واقع جرم نیز مثل دو کمیت زمان و طول کمیتی نسبی است. به این صورت که جرم دو جسم یکسان بسته به مقدار سرعت حرکتشان نسبت به هم تغییر می‌کند. برای مثال اگر یکی از دو فرد هم جرم در زمین بماند و دیگری با سرعت بالای نزدیک به نور حرکت کند آنگاه جرم فرد در حال پرواز نسبت به فرد ساکن مقداری بیش‌تر می‌شود. به طوری که هرچقدر سرعت این فرد افزایش یابد جرم نسبی‌اش نیز بالاتر می‌رود تا جایی که اگر سرعتش دقیقا برابر نور باشد آنگاه مقدار جرم نسبی‌اش به عدد بی‌نهایت می‌رسد. به همین خاطر است که هیچ فضاپیمایی نمی‌تواند با سرعت دقیقا برابر نور حرکت کند زیرا به خاطر جرم بی‌نهایت این جسم نیرویی بی‌نهایت نیاز است تا آن را هل دهد و این در حالیست که موتورهای فضاپیما هرقدر هم قوی باشند نمی‌توانند به نیروی بی‌نهایت دست یابند و در نتیجه سفر با سرعت نور غیرممکن خواهد بود. طبق معادله‌ی زیر فرض کنید علی و محمد هر دو ۷۰ کیلوگرم جرم دارند. علی ساکن می‌ماند و محمد با سرعت ۲۰۰ میلیون متر در ثانیه (۶۶ درصد سرعت نور) حرکت می‌کند. حالا اگر در همین حین جرم آن‌ها را با هم مقایسه کنیم متوجه می‌شویم علی ۲۴ کیلوگرم نسبت به محمد سنگین‌تر شده است یعنی جرم علی از ۷۰ به ۹۴ کیلوگرم افزایش یافته است. حالا اگر علی سرعت خود را کاهش داده و ساکن شود دوباره جرم‌شان یکسان و برابر ۷۰ کیلوگرم خواهد بود.

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{70}{\sqrt{1 - \frac{200{,}000{,}000^2}{300{,}000{,}000^2}}} = 94$$

m: جرم جسم در حال حرکت (جرم محمد در حال حرکت)

m_0: جرم جسم ساکن (جرم علی)

v: سرعت حرکت جسم (سرعت محمد)

اصل هم ارزی ماده و انرژی

مهم‌ترین نتیجه‌ای که از نسبیت خاص اینیشتین بر می‌آید اصل هم ارزی ماده و انرژی نام دارد که با فرمول مشهور E=mc2 نشان داده می‌شود. بر طبق این اصل، ماده و انرژی دو صورت مختلف از یک چیزبوده و قابل تبدیل به یکدیگرند و سرعت نور به عنوان رابط و ضریب تبدیل این دو کمیت به یکدیگر است.

در این معادله حرف E مقدار انرژی، حرف m جرم ماده و حرف c سرعت نور است و جملگی جملگی این معنا را می‌دهند که ماده صرفا از انرژی شکل گرفته است و برعکس. به بیان دیگر می‌توان گفت رابطه‌ی بین ماده و انرژی به رابطه‌ی بین تومان و ریال شباهت دارد. ریال و تومان هر دو پول‌اند و تفاوتشان فقط در ظاهر آن‌هاست. اگر بخواهیم تومان را به ریال تبدیل کنیم آن را ضربدر ۱۰ می‌کنیم و بر عکس اگر ریال را به تومان تبدیل کنیم آن را تقسیم بر ۱۰ می‌نماییم. حال با دانستن مقدار ضریب تبدیل بین ماده و انرژی می‌توانیم همان کار تبدیل را درباره‌ی این دو نیز انجام دهیم. ضریب تبدیلی که اینیشتین بین ماده و انرژی کشف کرد برابر «با سرعت نور به توان ۲» بود. به این صورت که اگر ماده را تبدیل به انرژی کنیم آن را ضربدر ۹۰,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰ (c2)

و برعکس اگر انرژی را تبدیل به ماده کنیم آن را تقسیم بر این عدد خواهیم کرد.

فرض کنید می‌خواهیم مقدار کل انرژی نهفته در ۲ کیلوگرم از یک ماده (فرقی ندارد یک کیلو آب باشد یا اورانیوم) را بدست آوریم :

$$E = mc^2 \Longrightarrow E = 2 \times 300{,}000{,}000^2 = 180{,}000{,}000{,}000{,}000{,}000 \text{ ژول}$$

چنان‌که می‌بینید دو کیلوگرم ماده برابر با ۱۸۰ بیلیارد ژول انرژی خالص است. این مقدار معادل انرژی حاصل از انفجار ۴۳ میلیون تن تی ان تی یا ۳۰۰۰ عدد بمب اتمی که بر سر هیروشیما فرود آمد.

برای این‌که یک ماده را کاملا به انرژی تبدیل کنیم باید آن را با همان مقدار پادماده تماس دهیم. برای مثال اگر بخوهیم دو کیلو آهن را به طور کامل به انرژی بدل سازیم باید آن را با دو کیلو پاد آهن تماس دهیم تا در اثر این تماس، آهن و پاد آهن همدیگر را کاملا نابود کرده و به جای آن‌ها مقدار ۱۸۰ بیلیارد ژول انرژی به شکل پرتوهای گاما (نور و حرارت)بدست آوریم. امروزه فیزیک‌دانان در تلاشند تا از این روش انرژی مورد نیاز فضاپیماهای نسل آینده را فراهم کنند. اگر چنین چیزی محقق شود یک فضاپیما فقط با انرژی حاصل از برخورد یک کیلوگرم ماده با پادماده می‌تواند ۳۰۰ هزار تن سنگ را از میدان گرانش زمین خارج کرده و آن بر سطح ماه فرود آورد.

مسئله اینجاست که پاد ماده به‌طور طبیعی در زمین یافت نمی‌شود و اگر هم وجود داشته باشد بلافاصله در اثر تماس با مواد معمولی نابود می‌شود. بنابراین باید آن را به صورت مصنوعی در آزمایشگاه تولید نمود. دانشمندان این کار را در آزمایشگاه های فوق پیشرفته و به وسیله‌ی ماشین‌های پیچیده و بزرگی که شتاب‌دهنده نام دارند انجام می دهند. یکی از این‌ها برخورد دهنده‌ی بزرگ هادرونی واقع در مرکز سرن است. فیزیک‌دانان در این مرکز به کمک این

دستگاه ۲۷ کیلومتری قادرند روزانه چند عدد پاد اتم هیدروژن بسازند و برای جلوگیری از تماس این پاد اتم‌ها با اتم‌های هیدروژن، آن‌ها را در محفظه ای از جنس میدان الکترومغناطیسی به نام دام پنینگ نگه‌داری می‌کنند.

موفقیت فیزیک‌دانان در تولید پادهیدروژن و ذخیره‌ی آن به شکل محدود هر چند امیدوار کننده است اما هنوز محدودیت‌های زیادی برای تولید انرژی از طریق برخورد ماده با پادماده وجود دارد. یکی از این محدودیت‌ها عدم توانایی دانشمندان در تولید انبوه پادماده و ذخیره آن برای مدت طولانیست. این در حالیست که تولید کنونی پادماده از نوع پاد اتم‌های هیدروژن تنها برای مقاصد تحقیقاتی بوده و مقدار آن از چند اتم تجاوز نمی‌کند و به همین دلیل نمی‌تواند یک سوخت حساب شود. از طرفی دیگر طول عمر این پاد اتم‌ها به دلیل ماهیتی که دارند کم بوده و از چند ثانیه بیش‌تر نیست چنان‌که بعد از تولید شدن بلافاصله نابود می‌گردند.

مشکل دوم مربوط به هزینه‌ی سرسام آور تولید پادماده است. یک ماده زمانی سوخت محسوب می‌شود که صرفه‌ی اقتصادی داشته باشد این در حالیست ارزش تمام شده‌ی یک گرم پادماده ۶۲ تریلیون دلار برآورد می‌شود. چنان‌که این هزینه تنها مربوط به تولید آن بوده و نگه‌داری‌اش را شامل نمی‌گردد.

انرژی هسته‌ای

دیدیم که هنوز فناوری کافی برای تولید انبوه پادماده نداریم بنابراین نمی‌توانیم یک ماده را با پادماده‌اش تماس داده و آن را صد در صد به انرژی تبدیل کنیم. با این حال قادریم با روشی نسبتا ساده به نام شکافت هسته‌ای مقدار ۷ هزارم جرم یک ماده را به انرژی بدل سازیم. اولین کسی که این موضوع را کشف کرد شیمیدانی آلمانی به نام اتو هان بود. او در سال ۱۹۳۸به صورت اتفاقی یک اتم اورانیوم را به دو اتم کوچک‌تر شکست و با این کارش بی‌آنکه

بداند توانست مقداری از انرژی نهفته در هسته‌ی اتم را آزاد نماید. بعد از او دو دانشمند به نام‌های لیزه مایتنر و اوتو رابرت فریش کار اتو هان را مطالعه نموده و نام این پدیده را شکافت هسته‌ای نامیدند. سرانجام دانشمندان به لطف یافته‌های این سه فرد توانستند هسته‌ی اتم‌ها را در راکتورها بشکنند و از این طریق انرژی کنترل شده‌ی عظیمی بدست آورند. چنان‌که انرژی حاصل از شکافت هسته‌ی اتم‌های یک کیلوگرم اورانیوم برابر با انرژی حاصل از سوختن ۶۷ تانکر نفت (گنجایش هر واگن: ۳۰ تن) یا ۹۳ واگن پر از زغال سنگ (گنجایش هر واگن: ۳۰ تن) بوده و به عبارتی این مقدار برابر 23,000,000kw/h انرژی است. (با این میزان انرژی (۲۳ میلیون کیلووات ساعت) تمامی ساکنین جمهوری آلمان فدرال که در آن زمان ۶۳ میلیون نفر بودند می‌توانستند به مدت یک ساعت خانه‌های خود را روشن نگه دارند.)

هر اتم در مرکز خود هسته‌ای دارد که در آن ذراتی به نام پروتون‌ها با بار مثبت و نوترون‌های خنثی به وسیله‌ی نیرویی بسیار قوی با نام نیروی قوی هسته‌ای کنار هم قرار گرفته‌اند. وقتی هسته‌یک اتم را می‌شکنیم، باعث می‌شویم تعدادی از پروتون‌ها و نوترون‌هایی که توسط چسب قوی به هم چسبیده بودند از هم جدا شوند در نتیجه با این کار سبب می‌شود مقداری از چسبی که این ذرات را به هم چسبانده بود به شکل انرژی نورانی و گرمایی که همان انرژی هسته‌ای نام دارد آزاد شود. تعداد پروتون‌ها و نوترون‌ها در هسته‌ی هر اتم با تعداد آن‌ها در هسته‌ی اتم‌های دیگر متفاوت است. بنابراین مقدار چسبی که این ذرات را در هسته به هم وصل کرده است بسته به نوع اتم می‌تواند بیش‌تر یا کم‌تر باشد. به عبارت دیگر در هسته‌هایی که ذرات بیش‌تری دارند چسب‌های بیش‌تری وجود دارد. به همین خاطر دانشمندان سعی می‌کنند اتمی را برای شکستن برگزینند که سنگین تر بوده و به عبارتی تعداد نوترون و پروتون بیش‌تری نسبت به اتم‌های دیگر داشته باشد.

از معدن اورانیوم تا انرژی هسته‌ای

اورانیوم ۲۳۵ ماده‌ای است که اتم‌های سنگینی دارد و بهترین گزینه برای شکافت هسته‌ای به شمار می‌رود. برای این‌کار اول از همه باید مقداری اورانیوم ۲۳۵ تهیه کنیم. بنابراین باید یک معدن اورانیوم پیدا کنیم و سنگ معدن اورانیوم را از آن استخراج کنیم. در اینجا مشکلی که وجود دارد مربوط به فراوانی ایزوتوپ‌های این عنصر است. عنصر اورانیوم، چهار ایزوتوپ دارد که فقط دو ایزوتوپ آن پایدار بوده و در طبیعت و در سنگ معدن یافت می‌شوند. این دو ایزوتوپu235 و u238 هستند و مشکلی که وجود دارد این است که بیش از ۹۹ درصد یک سنگ اورانیوم از نوع u238 بوده و قابل شکافت نیست و تنها ۷ دهم درصد سنگ اورانیوم از u235 تشکیل شده است و برای ما اهمیت دارد به عبارت ساده‌تر از هر ۱۰۰۰ اتم اورانیوم موجود در طبیعت تنها هفت اتم از نوع u235 بوده و مابقی از نوع سنگین‌تر u238 است. ما برای استفاده از u235 مجبوریم سنگ معدن اورانیوم را اسیاب کرده و سپس این ایزوتوپ را طی فرایندی به نام غنی‌سازی از u238 که اضافه است جدا کنیم.

غنی‌سازی اورانیوم ۲۳۵

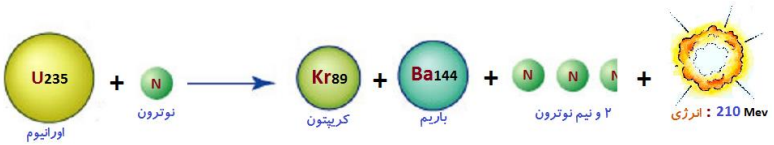
فرایند غنی‌سازی به نوبه‌ی خود پروسه‌ای مهم و پیچیده است که در آن از مجموعه‌ای از دستگاه‌های پیشرفته به نام سانتریفیوژ برای خالص‌سازی اورانیوم استفاده می‌شود. سانتریفیوژ دستگاهی استوانه‌ای شکل است که به سرعت زیاد حول خود می‌چرخد و با ایجاد نیروی گریز از مرکز باعث می‌شود ایزوتوپ‌های

سنگین u238 از ایزوتوپ‌های سبک و مفید u235 جدا شده و دور ریخته شوند. دانشمندان برای این کار چندین سانتریفیوژ را به صورت متوالی به هم وصل می‌کنند تا هر کدام از این‌ها به نوبه‌ی خود مقداری از ایزوتوپ‌های سنگین u238 را جدا کند و در نتیجه هر بار غلظت u235 افزایش یابد. میزان غنی‌سازی اورانیوم بستگی به این دارد که در کجا استفاده شود. اورانیوم مورد استفاده در راکتورهای اتمی باید به حدی غنی شود که حاوی ۳ تا ۵ درصد ایزوتوپ ۲۳۵ باشد، این در حالیست که اورانیوم بکاررفته در بمب اتمی باید حداقل حاوی ۹۰ درصد اورانیوم ۲۳۵ باشد به عبارت دیگر کسی که قصد تولید بمب اتم را دارد باید غنی‌سازی اورانیوم را در سانتریفیوژها تا غلظت ۹۰ درصد ادامه دهد.

شکافت هسته‌ای

اتم U235 در هسته‌ی خود ۹۲ پروتون و ۱۴۳ نوترون دارد. این ذرات روی هم در مجموع عدد جرمی این اتم (۲۳۵) را تشکیل می‌دهند. امروزه برای شکافتن اتم اورانیوم از روشی استفاده می‌کنیم که اتوهان آن را در ۱۹۳۸کشف کرده بود. برای این کار کافی است یک نوترون را به سمت آن شلیک کنیم تا وارد هسته‌ی اتم شده و عدد جرمی(نوترون‌ها + پروتون‌ها) آن را به ۲۳۶ برساند. اکنون اتمی که ما داریم اورانیوم ۲۳۶ نام داشته که بسیار ناپایدار است و سریعا شکسته خواهد شد. دلیل شکافته شدن هسته‌ی این اتم به چسب هسته‌ای داخل آن مربوط است. در واقع هنگامی که تعداد پروتون‌ها و نوترون‌های موجود در هسته‌ی یک اتم از حد معینی افزایش یابد آنگاه چسب قوی دیگر توان نگه‌داری این همه ذره را نخواهد داشت. بنابراین اورانیم-۲۳۵ پس از برخورد یک نوترون به اورانیوم-۲۳۶ تبدیل شده و به سرعت متلاشی خواهد شد. در فرآیند این شکافت، یک هسته‌ی باریم ۱۴۴، یک هسته‌ی کریپتون ۹۲، ۲-۳

عدد نوترون و مقداری انرژی به شکل نور و گرما بوجود می‌آیند.



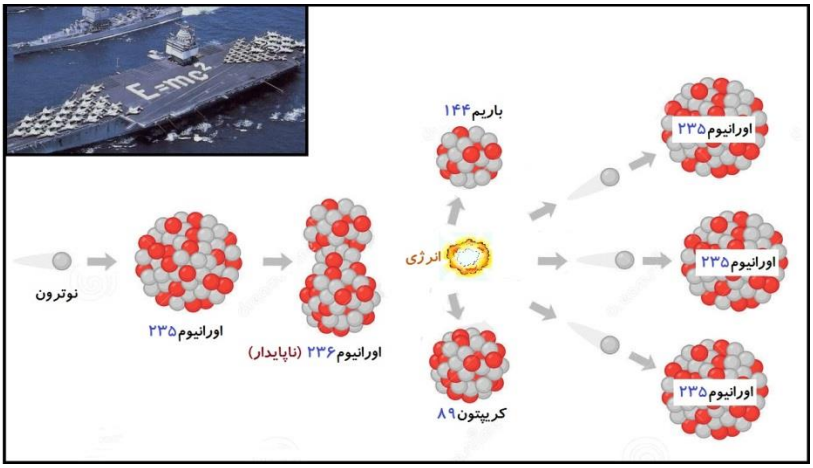
چیزی که مایتنر و رابرت فریش کشف کردند این بود که جرم اتم اورانیوم ۲۳۵ بعد از شکافته شدن به اندازه‌ی یک پنجم جرم پروتون (215 Mev) کاهش می‌یابد. یعنی اگر در این واکنش، جرم محصولات تولید شده را حساب کنیم خواهیم دید که مجموع آن‌ها ۲۱۵ مگا الکترون ولت از جرم اتم اورانیوم کم‌تر است. آن دو دریافتند که طبق معادله‌ی اینیشتین ($E=mc^2$) جرم از دست رفته در این واکنش تبدیل به انرژی شده است.

واکنش زنجیره‌ای شکافت

انرژی حاصل از شکستن یک اتم اورانیوم اگرچه به نسبت خود بزرگ است اما برای ما چیزی نیست. بنابراین تنها شکافت هسته‌ی یک اتم کافی نیست بلکه برای بدست آوردن انرژی کافی باید میلیاردها میلیارد هسته‌ی اتم اورانیوم را در یک لحظه بشکنیم. شاید تصور کنید که برای شکافت هسته‌های یک گرم اورانیوم بایستی به تعداد اتم‌هایش نوترون به سمتشان شلیک کنیم. این در حالیست که تنها شلیک یک نوترون کافیست. در واقع وقتی یک نوترون را به یک اتم اورانیوم شلیک کردیم هسته‌ی آن شکافته می‌شود و غیر از یک باریم و یک کریپتون، سه عدد نوترون(۲-۳) نیز ایجاد شده و به اطراف پرتاب می‌شوند. هر یکی از این نوترون‌ها سر راه خود به سه اتم اورانیوم دیگر برخورد می‌کنند و آن‌ها را نیز ناپایدار کرده و می‌شکافند و در نتیجه‌ی آن سه عدد کریپتون، سه عدد باریم و ۶ تا نوترون ایجاد می‌شود. این نوترون‌ها نیزبه نوبه‌ی خود ۶

هسته‌ی دیگر را می‌شکافند و این روند به همین شکل ادامه می‌یابد تا جایی‌که در کسری از ثانیه میلیاردها میلیارد اتم اورانیوم توسط میلیاردها میلیارد نوترون شکافته می‌شوند و انرژی عظیمی را آزاد می‌کنند.

روش غیر قابل کنترلی که در بالا بیان شد در بمب‌های اتمی به کار گرفته می‌شود. چنان‌که اگر این کار را در راکتور نیروگاه اتمی انجام دهیم همه جای نیروگاه و حتی کل شهر در اثر موج شدید و حرارت چند میلیون درجه‌ای نابود می‌شوند. خوشبختانه دانشمندان می‌توانند واکنش زنجیره‌ای را کنترل کنند و از شکافتن یکباره‌ی همه‌ی اتم‌های اورانیوم جلوگیری نمایند. به این صورت که در هر ثانیه فقط تعداد معینی اتم را می‌شکنند و از انرژی آن برای تولید برق در نیروگاهها و همچنین نیروی محرکه ناوهای هواپیمابرو کشتی‌های جنگی استفاده می‌کنند.



واکنش زنجیره‌ای شکافت اتم اورانیوم۲۳۵ – نمایش فرمول هم ارزی جرم و انرژی توسط سربازان نیروی دریایی روی عرشه ی ناو اینترپرایز به عنوان اولین ناوهواپیمابر اتمی جهان (۱۹۶۴)

جرم بحرانی

لازم به توضیح است که برای انجام یک واکنش زنجیره‌ای باید ابتدا به مقدار کافی اورانیوم داشته باشیم. حداقل مقدار اورانیومی که برای یک واکنش زنجیره‌ای نیاز است ۲۳ کیلوگرم بوده و جرم بحرانی نامیده می‌شود. اگر این مقدار اورانیوم را یک‌جا جمع کنیم به بزرگی یک توپ ۱۳ سانتی متری خواهد بود. در واقع اگر مقدار اورانیوم ما از این حد(جرم بحرانی) کم‌تر باشد واکنش زنجیره‌ای روی نخواهد داد. زیرا بیش‌تر حجم اتم اورانیوم را فضای خالی تشکیل می‌دهد بنابراین وقتی یک نوترون را به سمت یک گلوله‌ی اورانیوم که جرمی کم‌تر از جرم بحرانی دارد، شلیک کنیم، اغلب اوقات این نوترون بدون این‌که به یکی از هسته‌ها برخورد کند از میانشان خواهد گذشت. متاسفانه هسته‌های کریپتون و باریم تولید شده از شکافت هسته‌ای رادیواکتیو هستند و سال‌ها پرتوهای خطرناکی از خود ساطع می‌کنند و باعث صدمه دیدن اکوسیستم می‌شوند.

داستان یک مصیبت

کشف پدیده‌ی شکافت هسته‌ای در سال ۱۹۳۹ باعث وحشت دانشمندان آن زمان شده بود. آنان می‌دانستند که انرژی تولید شده در این روش بسیار عظیم بوده و می‌تواند به عنوان یک سلاح ویرانگر عمل کند. مهم‌تر از همه، آنان از این می‌ترسیدند که هیتلر با کمک فیزیک‌دانان نابغه‌ی خود همچون هایزنبرگ دیر یا زود این سلاح را ساخته و بر کل دنیا حکمرانی کند. یکی از این افراد فیزیک‌دانی یهودی مجارستانی به نام لیوژیلارد بود. او و همکارانش در پی دریافت گزارشی از جاسوسان خود در آلمان نازی فهمیده بودند که دانشمندان آلمانی موفق شده‌اند در آزمایشگاه به واکنش شکافت هسته‌ای دست یابند. به

همین دلیل ژیلارد به همراه چند تن از فیزیک‌دانان بزرگ آن روزگار از اینیشتین درخواست کردند تا از وسواس صلح‌طلبانه‌ی خود دست بردارد و با استفاده از نفوذی که داشت نامه‌ای به فرانکلین روزولت رییس جمهور وقت آمریکا بنویسد و او را تشویق کند پیش از آن‌که هیتلر به بمب اتمی دست یابد دولت آمریکا بی‌درنگ به توسعه و تولید این بمب بپردازد. اینیشتین این درخواست را پذیرفت و از رییس جمهور خواست که این طرح را فورا به مورد اجرا بگذارد. رزولت نیز پیشنهاد اینیشتین را قبول کرد و ژنرال گروو را رییس هیئت تولید بمب اتم قرار داد. ژنرال گروو نیز رابرت اوپنهایمر را مسئول کرد تا بهترین شیمی‌دانان، فیزیک‌دانان، ریاضی‌دانان و مهندسین را برای این کار انتخاب کند. اعضای این هیئت بدون استثنا بزرگ‌ترین مغزهای متفکر و بهترین دانشمندانی بودند که در آمریکا و حتی جهان یافت می‌شدند. این پروژه منهتن نام داشت و به قدری سری و اقدامات امنیتی‌اش به حدی شدید بود که فقط معدود کسانی مانند وزیر دفاع آمریکا و چند تن از امیران عالی رتبه ارتشی از این طرح مطلع بودند. حتی هری ترومن معاون ریاست جمهوری وقت آمریکا تا روزی که روزولت درگذشت و او به جایش منسوب شد از این پروژه اطلاعی نداشت.

سرانجام بعد از صرف هزینه‌ی یک میلیارد دلار در روز ۲۹ مارس ۱۹۴۵ زمانی که رییس‌جمهور آمریکا به طور ناگهانی در دفتر کارش از دنیا رفت بمب اتمی ساخته شده به سرپرستی اوپنهایمر آماده آزمایش بود. هری ترومن که تا آن موقع معاون رییس‌جمهور بود به ریاست جمهوری برگزیده شد و در همان موقع بود که از پروژه منهتن و بمب ساخته شده آگاه گردید. آمریکایی‌ها در هفدهم ژوئیه سال ۱۹۴۵این بمب را در زمین شوره‌زاری در صحرای آلاموگوردوی نیومکزیکو بر فراز یک برج فولادی ۳۰ متری آزمایش کردند. شدت انفجار به حدی بود که در کم‌تر از یک صدم ثانیه این برج فولادی را چنان بخار کرد که تنها بازمانده‌ی آن چند تا میله‌ی ۳۰ سانتی متری کج و خم شده‌ای

بود که در داخل چند قطعه بتن قرار گرفته بودند. چند ثانیه پس از انفجار ابری قارچ مانند مرکب از ذرات خاک و اشعه‌ی سبز و ارغوانی‌رنگ به ارتفاع ۴۰ کیلومتر در آسمان هویدا شد. نوری که از این انفجار در تاریکی شب (ساعت ۵ و نیم بامداد) ساطع شد آسمان را چنان روشن کرد که انگار خورشید در نیم روز نورافشانی می‌کند. این در حالی بود که آلمان نازی شکست خورده و نیروهای آن کشور به سپاه متفقین تسلیم شده بودند و هیتلر نیز خودکشی کرده بود. اما آتش جنگ همچنان در منطقه‌ی اقیانوس آرام زبانه می‌کشید. اینیشتین که خود زمانی از طرفداران بمب اتم به شمار می‌رفت یکباره به صورت مخالف سرسخت آن درآمد و چهار روز قبل از مرگ رزولت در نامه‌ای دیگر به وی او را از نتایج فاجعه‌بار انفجار این بمب آگاه ساخت، اما روزولت قبل از این‌که نامه را بخواند درگذشت. چنان‌که همسر او مدتی بعد این نامه‌ی بازنکرده را به اینیشتین پس فرستاد.

ترومن رییس جمهور جدید آمریکا تنها یک راه برای پایان دادن فوری به جنگ با ژاپنی‌ها می‌دید و آن ویران کردن یک شهر بزرگ تنها با یک بمب و استفاده از قدرت ماورالطبیعه اتم برای آن بود که به ژاپنی‌ها این فرصت داده شود که با شرافت و سربلندی تسلیم شوند و بگویند: «ما نمی‌توانیم با چیزی که از کنترل خارج ماست بجنگیم بنابراین ناچار شدیم که تسلیم شویم.»

بالاخره ترومن دستور فروریختن بمب اتمی را بر ژاپن صادر کرد.یکی از این بمب‌ها با اسم رمزی پسر کوچ شامگاه ۵ اوت ۱۹۴۵ که توسط بمب‌افکن بوئینگ بی ۲۹ به سوی شهر ژاپنی هیروشیما به پرواز درآمد. در این بمب که طولش ۳ متر و قطرش ۷۰ سانتی متر بود ۶۴ کیلوگرم اورانیوم ۲۳۵ جهت شکافت هسته‌ای بارگذاشته شده بود و دارای قدرت انفجاری برابر ۱۵۰۰۰ تن تی‌ان‌تی بود. یکی از کارشناسان داخل بمب افکن ، یک ساعت قبل از رسیدن به مقصد شیئی استوانه‌ای شکل را جهت مسلح ساختن بمب در پهلوی آن فرو کرد. خلبان

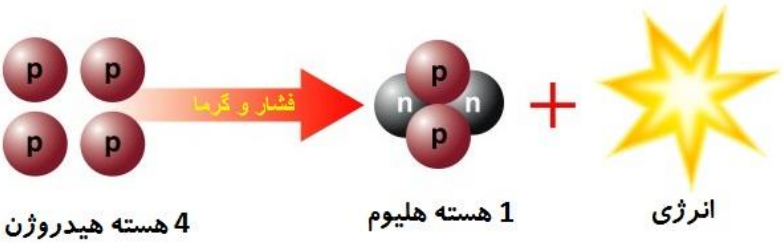
هواپیما سرانجام در ساعت ۸ و ۱۶ دقیقه صبح روز بعد این بمب را از ارتفاع ده هزار متری بر روی هیروشیما رها نمود و سپس چرخید و به سرعت از منطقه دور شد. پسر کوچک برای این‌که بیش‌ترین تخریب را داشته باشد با رسیدن به ارتفاع ۵۷۶ متری سطح زمین منفجر گردید و با ایجاد گرمای چندین میلیون درجه همه چیز را تا شعاع یک و نیم کیلومتری کاملا ذوب کرد و البته تاثیر موج انفجار آن تا دوردست‌ها کشیده شد و دو سوم ساختمان‌های شهر رابا خاک یکسان کرد. از ۶۴ کیلوگرم اورانیوم به کار رفته در این بمب طبق معادله ی $E=mc^2$ تنها یک گرم به انرژی تبدیل شد در حالیکه بقیه ی ۶۳ و ۹۹۹ گرم آن به شکل نوترون‌ها و اتم‌های رادیو اکتیو باریم و کریپتون(که همگی ماده‌اند) باقی مانده و در محیط پخش شدند و متاسفانه برای سال‌ها آن منطقه را مسموم کردند. دو روز بعد از این واقعه دولت شوروی به امپراطوری ژاپن اعلان جنگ داد و به مواضع ژاپن در منچوری حمله نمود. این موضوع بر خلاف انتظار و میل آمریکا بود زیرا می‌خواست جنگ را به نفع خود و بدون مشارکت شوروی خاتمه دهد و قهرمان میدان باشد. بنابراین آمریکایی‌ها سه روز بعد از بمباران هیروشیما بمب اتمی دیگری را با نام رمزی مرد چاق بر فراز شهر ناگاساکی منفجر کردند. دانشمندان در ساختار این بمب به جای اورانیوم۲۳۵ از پلوتونیوم ۲۳۹ استفاده کرده بودند اما چگونگی انفجار آن شبیه پسر کوچک بود چنان‌که از روش شکافت هسته‌ای (شکافتن هسته های پلوتونیوم ۲۳۹) برای آزاد کردن انرژی استفاده کردند. هیروشیما و ناکازاکی ویران شده و ۲۰۰ هزار ژاپنی مرده بودند، اما با این حال سه تن از وزیران برتر نیروهای مسلح کابینه ژاپن همچنان خواستار ادامه‌ی جنگ بودند ولی این امپراطور بود که تصمیم نهایی را اتخاذ کرد و گفت: «ما تسلیم می‌شویم، من نمی‌توانم شاهد ویرانی شهرها یکی پس از دیگری باشم.»

همجوشی هسته‌ای و گرمای زندگی بخش خورشید

برای تبدیل ماده به انرژی روش دیگری غیر از شکافت هسته‌ای وجود دارد که به آن همجوشی هسته‌ای یا گداخت هسته‌ای می‌گویند . همجوشی هسته‌ای، واکنشی کاملاً برعکس شکافت هسته‌ای است که در آن به جای شکافتن اتم‌های بزرگ به اتم‌های کوچک، اتم‌های کوچک به یکدیگر جوش داده می‌شوند تا اتم‌های بزرگ به‌وجود آیند. تمام ستارگان، خورشید و همچنین بمب‌های هیدروژنی ساخته ی دست بشر انرژی خود را از این راه بدست می‌آورند. برای نمونه در بزرگ‌ترین بمب هیدروژنی که اتحاد جماهیر شوروی در سال ۱۹۶۱ آزمایش کرد، تنها ۲,۳ کیلوگرم جرم به انرژی تبدیل شد. این مقدار از انرژی، معادل با انرژی ناشی از انفجار ۱۰۰ تا۵۰ مگاتن تی‌ان‌تی بود.

در داخل خورشید روند همجوشی هسته‌ای به قرار زیر است:

در حرارت ۱۵ میلیون درجه‌ی سانتی‌گراد و تحت فشار غیرقابل تصوری که بیش از ۲۰۰ میلیارد اتمسفر است، از هر ۴ هسته‌ی هیدروژن یک هسته‌ی هلیوم ساخته می‌شود. این هسته از چهار هسته‌ی سازنده‌ی خود کمی سبک‌تر است. جرم از دست رفته به مقدار بسیار زیادی انرژی تبدیل می‌شود. خورشید در هر ثانیه ۵۶۴ میلیون تن هیدروژن مصرف می‌کند و از آن ۵۶۰ میلیون تن هلیوم بدست می‌آورد. این یعنی ۴ میلیون تن جرم از دست رفته (که هفت هزارم از کل مواد سوختی اولیه است) به انرژی خورشیدی تبدیل می‌شود. در واقع هر متر مربع از سطح خورشید ۶۲۹۰۰ کیلووات پرتو تولید می‌کند. این مقدار تقریبا برابر ظرفیت ۶۲۰۰۰ بخاری برقی یا یک میلیون لامپ روشنایی است.



واکنش گداخت هسته‌ای در خورشید

روش همجوشی نسبت به شکافت هسته‌ای انرژی نسبتا زیادی تولید می‌کند و از طرفی عاری از هرگونه زباله هسته‌ای است. به همین خاطر در دهه‌های اخیر تلاش بر این بوده تا به جای نیروگاه‌های مبتنی بر فرآیند شکافت هسته‌ای، از نیروگاه‌هایی استفاده شود که انرژی آن‌ها در نتیجه فرآیند همجوشی هسته‌ای تولید می‌شود. اما مشکل اینجاست که مقدار انرژی ایجاد شده در فرایند گداخت، به حدی زیاد است که از عهده‌ی کنترل فناوری امروزی خارج است به همین دلیل، تاکنون کشوری نتوانسته با استفاده از این فرآیند، انرژی هسته‌ای در مقیاس صنعتی تولید کند.

نسبیت عام

پیش‌تر دیدیم که اینیشتین با طرح قانون نسبیت خاص خود در سال ۱۹۰۵ بسیاری از قوانین شناخته شده آن زمان (فیزیک نیوتونی) را بی‌اعتبار ساخت و نشان داد که این قوانین اگرچه در سرعت‌های معمولی خوب عمل می‌کنند ولی در سرعت‌های بالا (نزدیک به نور) قدرت پیش‌بینی خود را از دست می‌دهند و کاربردی ندارند.

- سرعت نور را ثابت و مستقل از حرکت منبع نور و بیننده فرض کرد و

دریافت که هیچ چیز نمی‌تواند سریع‌تر از آن حرکت کند.

- او بر خلاف نیوتون که زمان، جرم و طول را مطلق فرض می‌کرد نشان داد هر سه آن‌ها کمیت‌هایی نسبی هستند.

اینیشتین بعد از ارائه‌ی نظریه نسبیت خاص خود اینبار سراغ گرانش رفت تا آن را نیز با نظریه خود سازگار کند. زیرا احساس می‌کرد یافته هایش در مواردی با قوانین گرانش نیوتون جور در نمی‌آید. برای مثال:

نیروی گرانش از نظر نیوتون نیرویی نامرئی و مرموز بود که بین دو جسم ایجاد می‌شد و با مقدار جرمشان رابطه‌ی مستقیمی داشت اما چرایی و چیستی ماهیت آن مشخص نبود. از نظر نیوتون اگر یکی از این دو جسم ناپدید می‌شد؛ بلافاصله نیروی گرانش بین آن‌ها نیز از بین می‌رفت. این مثل آن است که اگر خورشید ناگهان ناپدید شود بلافاصله زمین که در فاصله‌ی تقریبا ۱۵۰ میلیون کیلومتری از آن است بلافاصله نیروی کشش خورشید را احساس نخواهد کرد و بنابراین در همان لحظه به فراسو پرتاب می‌شود. این موضوع مقداری مغایر با نسبیت خاص بود. اینیشتین می‌دانست که هیچ چیزی در جهان نمی‌تواند سریع‌تر از نور حرکت کند. از آنجایی‌که تقریبا ۸ دقیقه طول می‌کشد تا نور خورشید به ما برسد؛ بنابراین اگر خورشید ناپدید شود ۸ دقیقه طول می‌کشد تا زمین در تاریکی فرو رود و تازه آن وقت است که ما از ناپدید شدن خورشید خبردار می‌شویم. بر همین اساس از آنجایی‌که نیروی جاذبه نیز نمی‌تواند سریع‌تر از نور حرکت کند، پس اگر خورشید در یک لحظه ناپدید شود ۸ دقیقه طول می‌کشد تا نیروی کشش آن بر زمین قطع شود و زمین به حاشیه پرت شود.

فضازمان یا فضا و زمان، کدام‌یک درست است ؟!

چیزی که اکثر مردم از واژه «فضا» در ذهن خود دارند همان فضای مطلق نیوتونی است. فضا از نظر فیزیک نیوتونی صحنه‌ی نمایش تئاتر و پس زمینه‌ای ثابت و بدون تغییر است که ستارگان و سیارات و دیگر پدیده‌های فیزیکی مثل

بازیگرانی در آن ایفای نقش می‌کنند بی‌آنکه بر خود صحنه (فضا) تاثیر و تغییری ایجاد کنند. از طرفی نیوتون زمان را نیز چیزی مطلق، مستقل و جدا از فضا می‌دانست. او معتقد بود که زمان نه از فضا و نه از هیچ چیزدیگری تاثیر نمی‌پذیرد و مثل رودخانه‌ای به جریان همیشگی خود با آهنگی ثابت ادامه می‌دهد چنان‌که زمان در همه جای هستی به یک شکل سپری می‌شود و موجودات هستی در هر کجای فضا که باشند آهنگ گذر زمان را به صورت یکسان و با سرعت یکسان تجربه می‌کنند. این‌ها تصوراتی بودند که هنوز هم با عقل سلیم و تجربه‌ی انسان‌ها جور در می‌آیند و در ظاهر به نظر درست هستند. اما اینیشتین این‌گونه فکر نمی‌کرد. او دریافته بود که زمان و فضا با چیزی که ما در ظاهر می‌بینیم و تصور می‌کنیم فرق دارد.

آنچه اینیشتین دریافت این بود که زمان چیزی مستقل و جدا از فضا نیست. بر اساس این ایده زمان و فضا در هم تنیده شده‌اند و به نوعی مکمل یکدیگرند و مثل تار و پود یک پارچه در هم ادغام شده‌اند. در واقع او زمان را به عنوان بعد چهارم فضا در نظر گرفته بود.

فضایی که ما می‌شناسیم از سه بعد طول، عرض و ارتفاع تشکیل شده است. این یعنی ما می‌توانیم به راحتی در جهت هر سه‌ی این ابعاد حرکت کنیم. برای مثال ما از طریق بعد اول یعنی طول می‌توانیم جلو و عقب برویم. به لطف وجود بعد دوم یعنی عرض می‌توانیم به چپ یا راست قدم برداریم و همچنین به خاطر وجود بعد سوم به بالا پرواز کنیم یا از روی یک میز به پایین بپریم. حالا اگر زمان را بعد چهارم در نظر بگیریم می‌توانیم در جهت ان نیز حرکت کنیم و به آینده یا گذشته گام برداریم. (هرچند جهت پیکان زمان در طبیعت همیشه رو به جلو است اما حرکت ما بر روی بعد زمان از لحاظ تئوری می‌تواند در جهت عکس نیز باشد یعنی از لحاظ ریاضی امکان رفتن به گذشته نیز وجود دارد)

در مدل اینیشتین فضا دیگر تنها نیست بلکه با زمان در هم آمیخته و مثل

تارو پودی که در هم رفته باشند بافتی ایجاد کرده‌اند که اینیشتین به آن فضازمان یا بافت فضازمان می‌گفت.

نیروی گرانش یا خمیدگی فضازمان، کدام‌یک درست است؟!

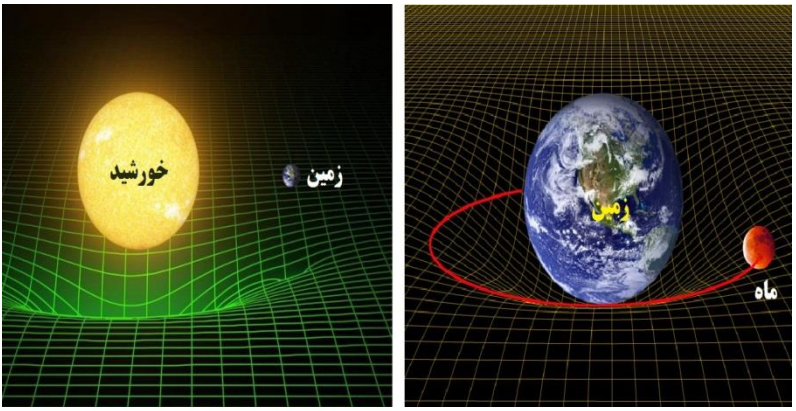
نیوتون و دیگر دانشمندان تا قبل از اینیشتین فضا را محیطی خلا و منفعل تصور می‌کردند که ستارگان و سیارات در آن معلق بودند و نیروی گرانش بین آن‌ها مثل کشی بود که این اجرام را به همدیگر متصل کرده و به نسبت جرمشان آن‌ها را به سمت یکدیگر می‌کشید. اما اینیشتین در مورد چیستی و چگونگی عملکرد گرانش نظری کاملا متفاوت داشت. او بافت فضا زمان را مثل یک پارچه‌ی کشسانی تصور می‌کرد که همه‌ی اجرام آسمانی از کهکشان‌ها و ستارگان گرفته تا خرده سیارک‌ها بر روی آن شناور بوده و حرکت می‌کنند. بر اساس این ایده هر ستاره و سیاره‌ای بسته به جرمی که دارد بر روی بافت فضا زمان یک فرورفتگی، یا انحنا ایجاد می‌کند. هر چقدر جرم این جسم بیش‌تر باشد فرورفتگی حاصل از آن در بافت فضازمان بیش‌تر و هرچقدر جسمی سبک‌تر باشد گودی ایجاد شده در این پارچه‌ی کشسان کم‌تر خواهد بود. طبق این ایده نیروی گرانش نامریی و مرموزی که نیوتون از آن حرف می‌زد وجود خارجی ندارد و اجسام همدیگر را با یک کش نامریی نمی‌کشند. در واقع اجسام به خاطر انحناهایی که در فضازمان ایجاد شده است در جهت شیب آن‌ها حرکت می‌کنند. به عبارت دیگر این فرورفتگی‌های ایجاد شده توسط اجرام سنگین است که باعث می‌شود اجسام سبک به سمت این گودی‌ها بخزند و به دور آن بگردند.

جان ویلر یکی از بزرگ‌ترین دانشمندان فیزیک هسته‌ای در این باره می‌گوید: فضا به اجسام می‌گوید چگونه حرکت کنند و اجسام به فضا می‌گویند چگونه خمیده شود.

به صورت خلاصه می‌توان این چنین گفت که هرچقدر ستاره‌ای پرجرم‌تر باشد گودی ایجاد شده در فضازمان عمیق‌تر و شیبش تندتر خواهد بود در نتیجه

هر جسمی که به محدوده‌ی این گودی وارد شود با شدت بیش‌تری به سمت مرکز فرورفتگی می‌لغزد در این حالت می‌گوییم شدت گرانش آن ستاره قوی‌تر است و تصور می‌کنیم با نیروی جاذبه‌ی قوی‌تری آن جسم را به سمت خود می‌کشد. از طرفی هر چقدر یک سیاره جرم کم‌تری داشته باشد انحنای ملایمی در فضا زمان ایجاد می‌کند و در نتیجه اجسام اطراف آن با شدت ملایمی به سمت مرکز فرورفتگی حرکت می‌کنند. در این حالت می‌گوییم این سیاره جاذبه‌ی ضعیف‌تری دارد و اجسام را با نیروی کم‌تری به سمت خود جذب می‌کند.

جرم بزرگ = گودی بزرگ و عمیق = شیب تند = گرانش قوی



چپ: میزان خمیدگی فضا زمان در اطراف خورشید از خمیدگی حاصل از زمین بیش‌تر است. زیرا خورشید یک میلیون بار از زمین پرجرم‌تر است. — راست: سیاره زمین جرم بیش‌تری نسبت به ماه دارد بنابراین مقدار فرورفتگی‌اش در بافت فضا زمان عمیقتر از مال ماه است.

شایان ذکر است که زمین (همچون سیارات دیگر) به خاطر گردشش به دور خورشید، هیچ‌گاه مستقیما به سمت مرکز فرورفتگی نمی‌افتد و با خورشید برخورد نمی‌کند زیرا نیروی گریز از مرکز حاصل از گردش آن به دور خورشید، همواره سعی دارد زمین را از گودی خورشید خارج کند. این موضوع درباره‌ی گردش

همه‌ی اجسام سبک به دور اجسام سنگین صادق است. مثل گردش ماه به دور زمین.

تاخیر زمان گرانشی

حال می‌دانیم که جرم یا هم ارز آن انرژی چگونه باعث پیچ و تاب خوردن فضا زمان و خمیده شدن آن می‌گردد اما چنان‌که پیش‌تر گفته شد منظور ما از فضا زمان تنها فضای خلا نیست بلکه زمان را هم شامل می‌شود. پس اجرام سنگین نه تنها فضا را پیچ و تاب می‌دهند بلکه باعث خمیده شده زمان نیز می‌شوند. این یعنی زمان کمیتی مطلق نیست و در همه جای کائنات به یک شکل نمی‌گذرد. در واقع سرعت گذر زمان در نقاط مختلف جهان ما بسته به میزان خمیده بودن بافت فضازمان در آن نقطه متفاوت است و می‌تواند کند یا تند باشد. اینیشتین دریافته بود که هر جا جرم سنگین‌تری وجود داشته باشد پیچ و تاب فضازمان بیش‌تر بوده و این باعث می‌شود زمان در آن جا کندتر از مناطق دیگر سپری شود. از طرفی هرجا که جرم سبکی وجود داشته باشد و یا اصلا جرمی نباشد انحنای فضازمان در آن‌جا جزئی یا صفر بوده و در نتیجه زمان در آن جا نسبت به مورد قبلی سریع‌تر می‌گذرد.

در بخش قبل که مربوط به نسبیت خاص بود خواندید زمان نسبی است و بسته به سرعت حرکت دو خواهر (زهرا و فاطمه) متفاوت احساس می‌شود. حال در این‌جا خواهید دید که گرانش نیز همچون سرعت می‌تواند باعث نسبی شدن زمان شود. در واقع دو فرد مستقر در دو فضا زمان متفاوت که انحناهای متفاوتی دارند زمان‌های متفاوتی را نسبت به هم احساس خواهند کرد. برای مثال فرض کنید که علی و حسین دوقلوی هم‌اند. علی در زمین می‌ماند و حسین با فضاپیمای پیشرفته‌ی خود بلافاصله به ستاره‌ی شباهنگ– B که در فاصله‌ی هشت و نیم سال نوری زمین قرار دارد می‌رود و بر روی آن ساکن می‌شود. این

ستاره با این‌که هم اندازه‌ی زمین است اما ۳۳۰ هزار بار از زمین پرجرم‌تر است (هم جرم خورشید) و به خاطر چگالی بسیار بالایی که دارد فضا زمان اطراف خود را بسیار بیش‌تر از زمین خمیده کرده است و به همین خاطر شدت گرانش سطحی آن حدود ۱۰۰ میلیارد برابر گرانش سطحی زمین است.

طبق نظریه نسبیت عام از آنجایی‌که انحنای فضازمان و شدت نیروی گرانش ستاره‌ی شباهنگ نسبت به انحنای فضازمان و شدت گرانش زمین بسیار زیاد است، پس گذر زمان در سطح این ستاره نسبت به گذر زمان در زمین کندتر است. بنابراین زمان برای حسین که در روی این ستاره نشسته است نسبت به علی که در سیاره زمین است؛ کندتر می‌گذرد. این به این معنیست که اگر حسین بعد از مدتی به زمین بیاید و با علی ملاقات کند متوجه می‌شود که برادرش علی چند مقداری از او پیرتر است.

لازم به ذکر است که تاخیر زمانی فقط در بین فضازمان‌های مختلف و دور از هم رخ نمی‌دهد(مثل زمین و ستاره‌ی شباهنگ) بلکه گذر زمان برای دو فرد که در دو فاصله‌ی متفاوت از یک جرم آسمانی قرار گرفته‌اند می‌تواند متفاوت سپری شود. به این صورت که هر قدر فاصله‌ی یک فرد از جرم آسمانی (ستاره یا سیاره) کم‌تر باشد نسبت به فردی که در فاصله‌ی بیش‌تری (ارتفاع بالایی) از آن جرم قرار گرفته است گذر زمان را کندتر احساس خواهد کرد. (هرچند این‌ها تا زمانی که یکدیگر را زیر نظر نگیرند متوجه چیزی نمی‌شوند)

برای مثال ساعتی که در طبقه‌ی اول یک آسمان خراش قرار دارد گذر زمان را نسبت به ساعتی که در طبقه‌ی آخر آن قرار دارد کندتر شمارش می‌کند. این به آن دلیل است که شدت گرانش زمین با افزایش ارتفاع و دور شدن از سطحش کاهش می‌یابد بنابراین طبق نظریه نسبیت عام، گذر زمان که بسته به گرانش است؛ در این دو نقطه متفاوت خواهد بود. گفتنی است که به دلیل ضعیف بودن گرانش زمین مقدار این تغییر زمان به حدی کم است که ما بدون داشتن

ساعت‌های دقیق هیچ وقت آن را احساس نمی‌کنیم. چنان‌که اگر یک فرد تمام عمر خود را در بالای برج میلاد سپری کند نسبت به فردی که همین مدت را در طبقه‌ی همکف آن زندگی کرده است تنها چند هزارم ثانیه پیرتر می‌ماند. دانشمندان امروزه با کمک ساعت‌های اتمی بسیار دقیقی که دارند می‌توانند مقدار این تاخیر زمانی ناشی از گرانش زمین را تنها در اختلاف ارتفاع یک متری نیز حساب کنند. به این صورت که یک ساعت اتمی را در سطح زمین گذاشته و ساعت دیگر را یک متر بالاتر از آن قرار می‌دهند و مشاهده می‌کنند که گذر زمان در این دو ارتفاع در هر یک ساعت به مقدار چند تریلیونم ثانیه با هم فرق دارد. این در حالی است که اگر بخواهیم این تاخیر زمانی را بهتر احساس کنیم باید به سیاره یا ستاره‌ای برویم که شدت نیروی گرانش آن بسیار شدیدتر از زمین است.

چنان‌که پیش‌تر گفته شد، شدت جاذبه در سطح ستاره کوتوله سفید شباهنگ ۱۰۰ میلیارد g است و برای آزمایش تاخیر زمانی ناشی از گرانش مناسب است. فرض کنید علی مدتی معین در سطح این ستاره می‌ماند و حسین در این مدت با فضاپیمای خود در فضا در ارتفاع بسیار بیش‌تری از سطح این ستاره که گرانش آن بر او تاثیری ندارد مستقر می‌شود. حال با کمک معادله‌ی زیر می‌توانیم سرعت گذر زمان برای این دو را حساب کنیم (به شرطی که ستاره ساکن بوده و نچرخد):

$$t = t_f \times \sqrt{1 - \frac{2GM}{rc^2}}$$

t_f : زمان برای فردی که در محدوده ی گرانش ستاره قرار داد.

t : زمان برای فردی که در خارج از محدوده ی گرانش ستاره قرار داد.

M : جرم ستاره شباهنگ (1.98×10^{30})

G : ثابت گرانش (6.67×10^{-11})

r : شعاع ستاره شباهنگ (6,371,000 متر)

c : سرعت نور (3×10^{8})

طبق محاسبات زیر اگر این دو برادر دو قلو به مدت یک سال در همین وضعیت باقی بمانند و سپس همدیگر را ملاقات کنند متوجه می‌شوند که سنشان به مقدار ۶۰ دقیقه باهم تفاوت دارد. به بیان دیگر علی متوجه می‌شود که ۶۰ دقیقه از حسین جوان‌تر مانده است.

$$t = t_f \times \sqrt{1 - \frac{2GM}{rc^2}} \Rightarrow t = \underbrace{31{,}536{,}000}_{\text{یکسال بر حسب ثانیه}} \times \sqrt{1 - \frac{2 \times 6.67 \times 10^{-11} \times 1.9 \times 10^{30}}{6371000 \times 9 \times 10^{16}}}$$

$$t = 31532367.609931 \text{ ثانیه} \Rightarrow t - t_f = 3632.390068 \text{ ثانیه} = \boxed{\text{تاخیر زمانی: دقیقه } 60.5398}$$

تاییدات تجربی اتساع زمان گرانشی در آزمایش هیفل کیتینگ

دانشمندان در آزمایش هیفل کیتینگ (۱۹۷۱) با استفاده از ساعت‌های اتمی علاوه بر محاسبه‌ی تاخیر زمانی ناشی از سرعت‌های بالا، تاخیر زمانی ناشی از اختلاف گرانش را نیز محاسبه نمودند. آن‌ها می‌دانستند با افزایش ارتفاع از سطح

زمین، مقدار نیروی گرانش کاهش می‌یابد. آنان با اطلاع از این موضوع یک ساعت اتمی را در سطح زمین گذاشته و دیگری را با هواپیما به ارتفاع ۱۰ کیلومتری سطح زمین رساندند. به این ترتیب ساعت اتمی موجود در روی زمین به خاطر قرار گرفتن در میدان گرانشی قوی کندتر از ساعت داخل هواپیما که در میدان گرانش ضعیف‌تری بود کار می‌کرد. این دو ساعت نشان دادند که طبق نظریه نسبیت عام به ازای یک ساعت در سطح زمین یک ساعت و چند میلیاردم ثانیه زمان در آسمان سپری می‌شود.

جی پی اس و نسبیت

پیش‌بینی‌های نظریه نسبیت البرت آینیشتین علاوه بر مطالعات کیهان‌شناسی در دنیای واقعی نیز جنبه‌ی کاربردی و فناورانه پیدا کرده است. به عنوان نمونه سیستم موقعیت‌یاب جهانی (GPS) یکی از فناوری‌هایی است که بر اساس معادلات نسبیت عام و خاص کار می‌کند. چنان‌که می‌دانید این تکنولوژی قادر است با دقت کم‌تر از ۱۰ متر موقعیت مکانی فرد را در هر نقطه‌ی کره‌ی زمین مشخص نماید، اتومبیل‌های خودران را در مسیر درست هدایت کند، چشم هواپیماها و کشتی‌ها در آسمان و دریا باشد و در هدایت و اصابت دقیق موشک‌های نقطه زن بالستیک و کروز مؤثر واقع شود.

هم اکنون ۲۴ ماهواره‌ی موقعیت‌یاب جهانی در ارتفاع ۲۰ هزار کیلومتری زمین و با فاصله‌های مساوی از هم قرار گرفته‌اند و دور تا دور سیاره گردش می‌کنند و لحظه به لحظه با گیرنده‌های جی‌پی‌اس روی زمین (موبایل و ....) در ارتباط‌اند. یک فرد با تلفن همراه خود در هر لحظه و در هر نقطه‌ای روی زمین که باشد در میدان دید حداقل چهار تا از این ماهواره‌ها قرار دارد. روش کار به این صورت است که ابتدا این ۴ ماهواره هر کدام سیگنال‌هایی را با سرعت نور از موقعیت مکانی و زمانی خود به دستگاه جی‌پی‌اس روی زمین ارسال می‌کنند.

جی‌پی‌اس با تجزیه و تحلیل مدت زمان رسیدن سیگنال‌ها از ماهواره‌ها و همچنین با دردست داشتن موقعیت مکانی ماهواره‌ها می‌تواند موقعیت مکانی خود را بداند و علاوه بر آن سرعت حرکت و مسافت باقی مانده‌ی پیش رو برای رسیدن به مقصد را محاسبه نماید. این محاسبات به شرطی دقیق خواهند بود که ساعت جی‌پی‌اس با ساعت ماهواره‌ها به دقت هم‌تراز باشد. این در حالی است که بر اساس نسبیت سرعت گذر زمان در فضا با گذر زمان بر روی زمین اندکی متفاوت است به عبارت دیگر ساعت ماهواره‌ها هر روز ۳۸ میکروثانیه از ساعت‌های زمینی جلوتر می‌افتند. همین اختلاف زمانی باعث می‌شود جی‌پی‌اس موقعیت مکانی فرد تا چندین کیلومتر اشتباه نشان دهد.

بر اساس نظریه نسبیت عام زمان برای فردی که روی زمین در معرض میدان گرانشی است نسبت به ماهواره‌ای که در فضا در معرض گرانش ضعیف‌تری قرار دارد کندتر می‌گذرد. محاسبات انجام گرفته نشان می‌دهد ساعت ماهواره‌ها روزانه نسبت به ساعت جی‌پی‌اس روی زمین ۴۵ میکروثانیه جلوتر می‌افتند. یعنی به ازای هر ۲۴ ساعت روی زمین حدود ۲۴ ساعت و ۴۵ میکروثانیه برای هر ماهواره زمان سپری می‌شود. از طرفی دیگر ماهواره‌ها نسبت به شخص روی زمین سرعت حرکت بالایی دارند به همین خاطر بر اساس نسبیت خاص گذر زمان برای ماهواره‌ها نسبت به زمینی‌ها کندتر است. طبق محاسبات، ساعت ماهواره‌ها در هر شبانه روز(۲۴ ساعت) ۷ میکروثانیه نسبت به ساعت جی‌پی‌اس روی زمین عقب می‌افتد. پس در مجموع به واسطه‌ی این دو نظریه می‌توان گفت که روزانه ساعت ماهواره‌ها نسبت به ساعت جی‌پی‌اس‌های روی زمین ۳۸ میکروثانیه جلوتر می‌افتد. این اختلاف زمانی هرچند کم است اما اگر تنها یک شبانه روز نادیده گرفته شود می‌تواند موقعیت فرد را تا ۱۰ کیلومتر اشتباه نشان دهد و این یک فاجعه خواهد بود. دانشمندان برای جلوگیری از بروز این مشکل ساعت‌های‌اتمی دقیقی را در داخل ماهواره‌ها تعبیه کرده‌اند. به این

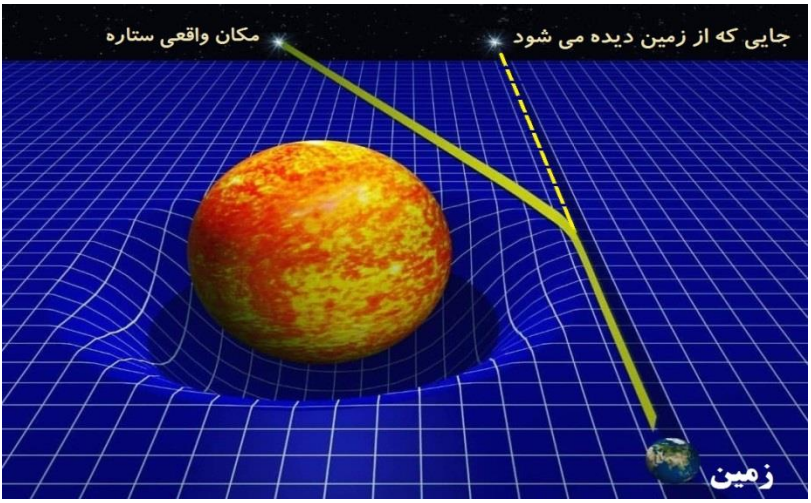
ترتیب هر ماهواره قادر خواهد بود لحظه به لحظه ساعت خود را با ساعت جی‌پی‌اس روی زمین تنظیم کند و در نتیجه دقت مکان‌یابی را به زیر۱۰ متر برساند.

عدسی گرانشی

اینیشتین نتایج این تئوری را برای اولین بار در مارس سال ۱۹۱۶ در سالنامه فیزیک در قالب مقاله‌ای با عنوان مبانی نظریه نسبیت عام منتشر کرد. از یک طرف ایده‌های جدید و شورانگیز اینیشتین با شگفتی و تحسین روبرو شد از طرفی هم برخی دانشمندان این نظریه او را احمقانه دانستند و به آن اعتنایی نکردند البته تا حدودی هم حق داشتند زیرا ظاهرا در قوانین حرکت و گرانش نیوتون اشتباهی وجود نداشته و کاملا با واقعیت و تجربیات روزمره انسان‌ها سازگار بود و نیازی به نظریه جدید نبود. از طرفی انسان‌ها هیچ وقت میدان گرانش قوی و سرعت‌های بالا را تجربه نکرده بودند و در تصورشان هم نمی‌گنجید که در چنین شرایطی، قوانین قدیمی نیوتون که همه به آن عادت کرده بودند از کار بیفتند. به همین خاطر فهم تئوری جدید اینیشتین برای مردم کمی سخت بود و برای این‌که حرف او را قبول کنند باید سندی قابل قبول وجود می‌داشت.

اینیشتین برای اثبات حرف‌هایش آزمایشی عملی پیشنهاد کرد. بنابر نظریه نسبیت عام، خورشید به خاطر جرم بزرگی که دارد فضا زمان اطراف خود را مقداری خمیده می‌کند و باعث ایجاد نیروی گرانش قوی در اطراف خود می‌شود. بنابراین پرتو نور یک ستاره وقتی از کنار خورشید عبور می‌کند به خاطر انحنایی که خورشید در فضا زمان ایجاد کرده است مقداری خم می‌شود و به جای این‌که به مسیر مستقیمش ادامه دهد کج شده و به زمین برخورد می‌کند. در واقع خورشید مثل یک عدسی با گرانش قوی خود پرتوهای نور در حال عبور از

کنارش را در یک نقطه یعنی زمین متمرکز می‌کند. به همین خاطر اینیشتین معتقد بود که بعضی از ستاره‌های پشت خورشید از نظر ساکنان زمین کمی از جای واقعی‌شان متفاوت دیده می‌شوند و توسط تلسکوپ قابل آزمایش و بررسی‌اند.



اگر گرانش خورشید نبود اخترشناسان در کسوف سال ۱۹۱۹ نمی‌توانستند ستاره‌ی پشت آن را ببینند.

اما مشکلی که برای انجام این آزمایش وجود داشت این بود که ستارگان پشت خورشید در هنگام روز به خاطر درخشندگی شدید خورشید دیده نمی‌شوند بنابراین دانشمندان ناچار بودند برای دیدن این ستاره‌ها در انتظار وقوع یک خورشید گرفتگی باشند. بالاخره بعد از ۴ سال در تاریخ ۲۹ مه۱۹۱۹ یک کسوف ۷ دقیقه‌ای اتفاق افتاد و این فرصت را برای آزمایش نظریه نسبیت عام اینیشتین

فراهم کرد. در آن روز دو گروه مسئولیت رصد ستارگان را هنگام وقوع خورشید گرفتگی برعهده داشتند و از قبل خود را برای آن آماده کرده بودند. یک گروه به سرپرستی اختر فیزیک‌دان انگلیسی، آرتور ادینگتون در جزیره پرنسیپ در خلیج گینه در نزدیکی ساحل آفریقای جنوبی و گروه دیگر به سرپرستی آندرو کراملین در شمال برزیل با تلسکوپ‌های خود میزان انحنای نور ستارگان در اطراف خورشید را ثبت کردند و بعد از مقایسه‌ی داده‌ها با یکدیگر در کمال تعجب متوجه شدند که حق با اینیشتین بوده است.

اعلام این خبر در سراسر جهان به خصوص در بین فیزیک‌دانان و منجمان واکنش‌های متفاوتی به دنبال داشت. چنان‌که در ۶ نوامبر همان سال در جلسه‌ی مشترک انجمن سلطنتی نجوم، جی جی تامپسون رییس این انجمن در رابطه با این کشف به سخنرانی پرداخت و درباره‌ی اهمیت آن چنین گفت: «در حوزه‌ی ایده‌های علمی جدید، این امر کشف یک جزیره دور افتاده نیست بلکه کشف یک قاره کامل است.» در آن نشست خبرنگاران زیادی حضور داشتند و درباره‌ی چیستی این نظریه جدید از ادینگتون (که درستی نظریه نسبیت عام را ثابت کرده بود) توضیح می‌خواستند. در این بین یکی از خبرنگاران از ادینگتون پرسید: «شایعه‌ای وجود دارد مبنی بر این‌که تنها سه نفر در تمام جهان نظریه اینیشتین را فهمیده اند. شما باید یکی از آن‌ها باشید.» ادینگتون ساکت ماند. خبرنگار گفت: «فروتن نباشید آقای ادینگتون.» ادینگتون شانه را بالا انداخت و گفت : «نه اصلا. به این فکر می‌کردم که نفر سوم چه کسی می‌تواند باشد؟!»

شگفتی این نظریه به حدی بود که برخی از دانشمندان هنوز هم در درستی آن شک داشتند و آن را بسیار عجیب تلقی می‌کردند. برای مثال چارلز لین پور، پروفسور مکانیک نجومی در دانشگاه کلمبیا انتقاد خود را چنین بیان کرد: «احساس من این است که با آلیس در سرزمین عجایب گشته‌ام و با کلاهدوز دیوانه چای خورده‌ام.»

امواج گرانشی

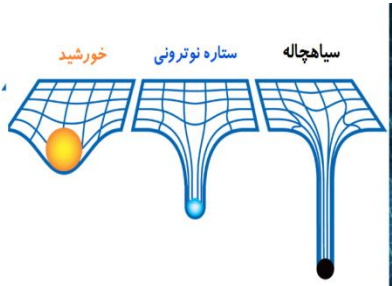
چنان‌که دیدید، در مدل نسبیت عام آینیشتین، فضای به ظاهر خالی بین ستارگان و کهکشان‌ها از بافتی به نام فضا زمان ساخته شده است که مثل پارچه‌ای پلاستیکی و کشسان در همه جا گسترده شده است و اجرام آسمانی مثل گوی‌هایی هستند که به نسبت جرمشان در این بافت نرم فرو رفته‌اند. این بار به جای پارچه کشسان، فضازمان را به عنوان عسل غلیظ و سفتی تصور کنید که اجرام آسمانی مثل تیله‌هایی روی آن قرار گرفته‌اند. این تیله‌ها (اجرام آسمانی) جرم و چگالی متفاوتی دارند. بعضی مثل زمین سبک‌اند. بعضی مثل خورشید جرم متوسطی دارند. و بعضی نیز مثل ستارگان نوترونی بسیار سنگین بوده و یا مثل سیاهچاله‌ها بی‌نهایت چگال هستند. همه‌ی این اجرام بر روی عسل (فضا زمان) گود انداخته‌اند ولی عمق و شدت این گودی‌ها باهم متفاوت است. تیله‌ای با نام زمین به خاطر سبکی‌اش تنها ۲ میلی‌متر و تیله‌ی خورشید به خاطر جرم متوسطش ۱ سانتی متر در بافت فضا زمان فرو رفته است. اما یک تیله به نام ستاره‌ی نوترونی وجود دارد که اندازه‌اش از زمین هم کوچک است ولی جرمش چند برابر خورشید بوده و به خاطر چگالی خیلی زیادش حفره‌ای به عمق ۵ سانتی‌متر ایجاد نموده است. این درحالیست که تیله‌های سیاه رنگ کوچک و بی‌نهایت سنگینی به نام سیاهچاله‌ها نیز وجود دارند که کاملا در عسل فضا زمان فرو رفته‌اند و برای خود گودال‌های عمیقی مثل چاه ایجاد کرده‌اند.

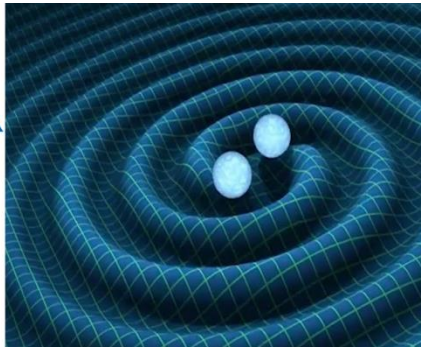
این اجرام آسمانی نه تنها در حال چرخش به دور خود هستند بلکه هرکدام در مدارهایی به دور اجرام پرجرم دیگر نیز می‌گردند. برای مثال خورشید علاوه بر چرخش به دور خود در مسیری دایره‌ای به دور یک سیاهچاله‌ی بسیار پرجرم در مرکز کهکشان راه شیری گردش می‌کند. ستارگان نوترونی و سیاهچاله‌ها نیز به شکل‌های مختلف حرکت می‌کنند. برای مثال در فضای بی‌کران کائنات

سیستم‌های دوتایی بسیاری وجود دارند که از دو ستاره‌ی نوترونی یا دو سیاهچاله و یا یک ستاره نوترونی و یک سیاهچاله تشکیل شده‌اند و دو به دو با سرعت زیاد حول یکدیگر می‌گردند.

آینیشتین دریافته بود که اجرام آسمانی با چرخش و حرکت خود در بافت فضا زمان موج ایجاد می‌کنند. در واقع مثل این است که تیله‌ها با چرخش خود در عسل تلاطم و موج ایجاد می‌کنند. طبق نظریه نسبیت عام شدت این امواج بسته به جرم تیله‌ها(اجرام آسمانی) با هم فرق دارد. برای مثال موج ایجاد شده در فضازمان اثر حرکت زمین در مقایسه با موج یک ستاره نوترونی بسیار ضعیف است و این به خاطرجرم پایین و فرورفتگی کم زمین نسبت به ستاره نوترونی در عسل فضا زمان است. در واقع ستاره‌های نوترونی یا سیاهچاله‌ها آن‌قدر سنگین و چگال‌اند که مثل پره‌های همزنی که درون عسل فرورفته باشند، با گردش دوتایی و سریع خود حول یکدیگر، باعث ایجاد تلاطمی قوی در بافت فضازمان شده و امواج قدرتمندی در آن ایجاد می‌کنند. اینیشتین این پدیده را امواج گرانشی نام نهاد و معتقد بود که این امواج پیچ و تاب خود فضا زمان هستند و در اثر حرکت یا برخورد دو چیز بسیار پر جرم (مثل دو سیاهچاله یا دو ستاره نوترونی) در نقطه‌ای از فضا به وجود می‌آیند و مثل امواج آبی که در اثر افتادن سنگ ایجاد شده باشد به صورت دایره‌هایی هم مرکز با سرعت نور منتشر می‌شوند و میلیاردها سال نوری به پیش می‌روند و سال‌ها در بافت فضازمان حرکت می‌کنند. هرقدر که این امواج گرانشی از مرکز خود دور می‌شوند ضعیف‌تر می‌گردند تا جایی که دیگر تشخیص آن‌ها بسیار سخت‌تر می‌شود چنان‌که به اعتقاد اینیشتین، وقتی این موج به زمین می‌رسد؛ پیچ و تاب فضا زمان حاصل از آن به حدی ناچیز می‌شود که قابل ردیابی نخواهد بود. اما خوشبختانه برخلاف پیش‌بینی او دانشمندان در سال ۲۰۱۶ با کمک تداخل‌سنج لیزری عظیم لایگو توانستند یک مورد بسیار ضعیف از این امواج گرانشی آمده از اعماق فضا را در

روی زمین ثبت کنند.





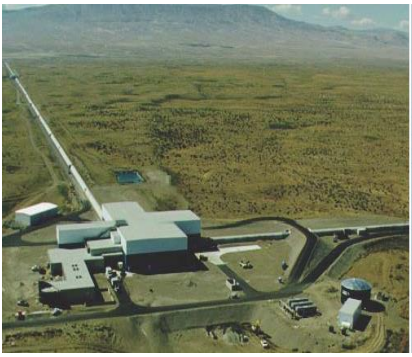
رصدخانه‌ی امواج گرانشی

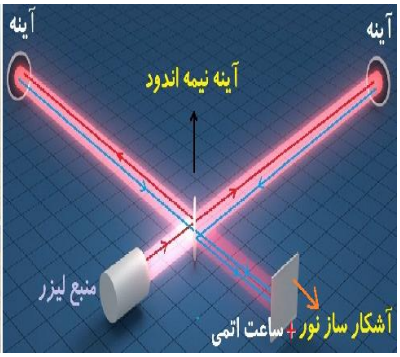
امواج گرانشی همان فشردگی‌ها و کِش‌آمدگی‌های خود فضا زمان هستند. یک موج گرانشی هنگام عبور از زمین، فضا زمان اطراف آن را پیچ و تاب می‌دهد و باعث می‌شود تا خود زمین نیز پیچ و تاب بخورد. در این لحظه کره‌ی زمین در یک جهت به اندازه چند صدم سانتی مترکِش می‌آید و در جهتِ دیگرِ عمود بر آن مقداری فشرده می‌شود و برای چند صدم ثانیه به شکل یک بیضی که قطر افقی آن کشیده و قطر عمودی آن فشرده است در می‌آید و این حالت تا عبور کامل موج از آن ادامه می‌یابد.

امواج گرانشی ممکن است از نقاط مختلفی در فضا سرچشمه بگیرند و در مسیر خود با سرعت نور از زمین بگذرند. ما نمی‌دانیم که یک موج چه موقع از زمین عبور می‌کند و از طرفی می‌دانیم که مدت زمان عبور آن از زمین بسیار کوتاه خواهد بود. بنابراین باید همیشه خود را برای اندازه‌گیری مقدار پیچ و تاب زمین آماده کنیم. دستگاه‌هایی که امروزه دانشمندان و مهندسان برای این کار ساخته‌اند تداخل‌سنج‌های لیزری نامیده می‌شود و همان‌طور که از نامشان

پیداست از پرتو نور برای محاسبه‌ی مقدار کشیدکی و فشردگی زمین بهره می‌برند. یکی از بزرگ‌ترین و فوق حساس‌ترین این تداخل‌سنج‌ها در خاک آمریکا بین دو ایالت واشینگتن و لوئیزیانا قرار دارد که در سال ۲۰۰۳ به بهره‌برداری رسید و ساخت آن ۳۶۵ میلیون دلار هزینه داشت.

لایگو از دو بازوی لوله‌ای تو خالی ساخته شده است که داخلشان خلا بوده و طول هر کدام ۴ کیلومتر است. این دو بازو با زاویه‌ی ۹۰ درجه به هم وصل شده‌اند و از بیرون با بتن ضخیم بر روی زمین محکم گشته‌اند. داخل هر لوله یک لیزر روشن می‌شود. این دو پرتو لیزر در محل تقاطع لوله‌ها به هم می‌رسند و از آنجایی‌که طول لوله‌ها یکسان است مدت زمان رسیدن این دو نیز به یکدیگر در حالت عادی یکسان است. اما هنگامی که حتی ضعیف‌ترین موج گرانشی ساطع شده از چرخش یا برخورد سیاهچاله‌ها و ستارگان نوترونی به زمین می‌رسد منجر به انقباض یک بازو و انبساط بازوی دیگر می‌شود. به این صورت که یک بازو مقداری کشیده‌تر شده و طولانی می‌شود و بازوی دیگر مقداری فشرده و کوتاه می‌گردد. این پدیده باعث می‌شود که دو پرتو لیزر به خاطر طی دو مسافت متفاوت با اختلاف چند میلیاردم ثانیه به هم برسند و در نتیجه دانشمندان مستقر در آن‌جا با ساعت اتمی دقیقی که دارند مقدار این اخلاف زمانی و به دنبال آن میزان تغییر طول بازوها را با دقت یک در صد هزارم قطر پروتون محاسبه می‌کنند و از این طریق به ماهیت موج گرانش و خصویات آن پی می‌برند. برای مثال آن‌ها می‌توانند از این طریق به منشاء تولید امواج گرانشی، مکان آن در فضا و فاصله‌ی آن از زمین پی‌ببرند. برای مثال دانشمندان در تاریخ ۱۱ فوریه سال ۲۰۱۶ برای نخستین‌بار موجی گرانشی در اثر برخورد دو سیاهچاله را آشکار نمودند و با تحلیل و بررسی داده‌ها به این نتیجه رسیدند که منشاء موج مذکور، ترکیب دو سیاهچاله با جرم‌های تقریبی ۳۶ و ۲۹ برابر جرم خورشید، در فاصله‌ی ۳,۱ میلیارد سال نوری از زمین بوده است.





لایگو یک اعجاز مهندسی

میزان دقت عملکرد و ظرافت اجزای لایگو به حدی است که هر انسانی با شنیدن آن حیرت‌زده می‌شود. در زیر به چند مورد از شاهکارهای مهندسی به کار رفته در این تداخل‌سنج اشاره می‌شود:

الف) آینه‌های لایگو حساس‌ترین آینه‌های جهان هستند و دقت عملکرد آن‌ها یک اعجاز مهندسی محسوب می‌شود. این آینه‌ها که وظیفه‌ی بازتاب پرتوهای لیزر را برعهده دارند توسط ۶ آهنربای کوچک، هریک به اندازه‌ی یک مورچه، کنترل می‌شوند. سطح آینه‌ها با دقت ۱۲ میلیاردم سانتی‌متر صیقل داده شده‌اند. این به مانند آن است که اگر زمین را به اندازه‌ی آینه‌ها صیقلی تصور کنید در این صورت، ارتفاع کوه اورست بیش‌تر از ۴ سانتی‌متر نخواهد بود. از طرفی آینه‌های لایگو آن‌قدر حساسند که می‌توان آن‌ها را کم‌تر از یک میلیونم متر حرکت داد.

ب) لایگو بزرگ‌ترین خلا مصنوعی در دنیاست. از آنجا که مولکول‌های هوا ممکن است پرتو لیزر را جذب یا منحرف کنند، دانشمندان برای جلوگیری از این اختلال، خلائی معادل یک تریلیونم فشار جو زمین در لوله‌های عبور دهنده‌ی نور

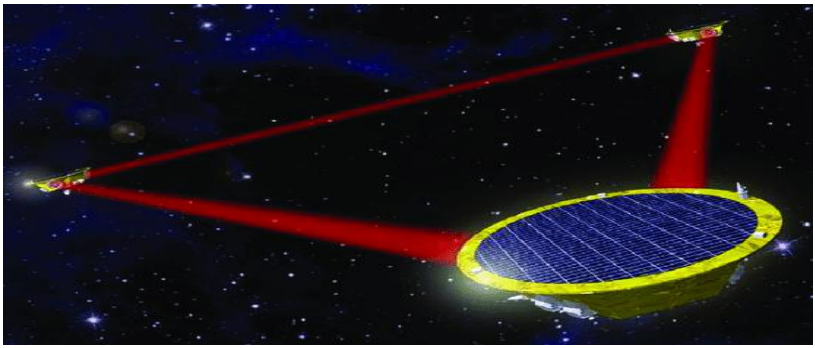
ایجاد کرده‌اند و برای جلوگیری از ورود هوا، دیواره‌های این دو لوله‌ی ۴ کیلومتری را به شدت عایق‌بندی نموده‌اند.

ج) تعادل لایگو به قدری بالاست که گاهی در اثر لرزش‌های بسیار جزئی و ناخواسته دچار اختلال می‌شود. به عنوان مثال این سازه‌ی عظیم در طول روز به دلیل لرزش ناشی از قطع درختان در فاصله‌ی ۵۰۰ متری قادر به کار نیست و همچنین لرزش ناشی از عبور قطارهای باربری در نیمه‌ی شب یا ساعت ۶ صبح نیز، مدت زمان کار مداوم لایگو را محدود می‌کند. حتی لرزشی به خفیفی ارتعاش حاصل از برخورد امواج اقیانوس به خط ساحلی در فاصله‌ی چند کیلومتری نیز، بر نتایج آن تاثیر می‌گذارد. این درحالی است که مهندسان لایگو، دستگاه را چنان ایزوله کرده‌اند که این اختلالات فوق‌العاده کوچک نیز نمی‌توانند در کارایی دقیق آن خللی وارد کنند.

لیزا

آشکارساز لایگو به عنوان بزرگ‌ترین و حساس‌ترین تداخل‌سنج لیزری جهان قادر است امواج گرانشی حاصل از برخورد سیاهچاله‌ها را در محدوده‌ای به فاصله‌ی ۷ میلیارد سال نوری آشکار کند. این در حالیست که دانشمندان مشغول ساخت تداخل‌سنج جدیدی هستند که یک میلیون برابر دقیق‌تر بوده و قادر است امواج گرانشی آمده از مرزهای جهانمان را رصد کند و حتی امواج گرانشی باقی مانده از اولین ثانیه‌های انفجار بزرگ را نیز بسنجد. این تداخل‌سنجِ در حال ساخت، لیزا نام دارد و برخلاف تداخل‌سنج‌های کنونی در فضا مستقر خواهد شد. لیزا از سه ماهواره ساخته می‌شود و قرار است هر کدام در فاصله‌ی ۵ میلیون کیلومتری از هم قرار گرفته و در فضا مثلثی متساوی‌الاضلاع تشکیل دهند. هر ماهواره لیزری دارد که با تابش پرتو نور خود پیوسته با دو ماهواره‌ی دیگر نیز در ارتباط خواهد بود. در حالت عادی این سه ماهواره در فاصله‌ی یکسانی از هم قرار

می‌گیرند اما هنگامی که موجی گرانشی از میانشان عبور کند، فضا زمان میانشان پیچ و تاب خورده و باعث تغییر در فاصله‌ی ماهواره‌ها و به دنبال آن سبب اختلاف در زمان رسیدن پرتوهای لیزر به هم خواهد شد. تجهیزات نوری این سه ماهواره به حدی حساس خواهند بود که قادرند لرزش‌های ناشی از امواج گرانشی را با دقت 0.000000000000001 متر آشکار نمایند.



تصویری شماتیک از آشکارساز موج گرانشی لیزا که تکمیل آن در سال ۲۰۳۴ به پایان می‌رسد.

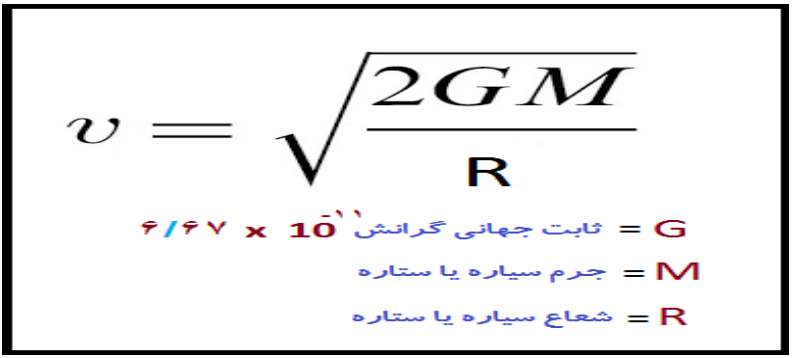
ستاره‌های سیاه

یکی از مهم‌ترین پیش‌بینی‌های نسبیت عام آینیشتین وجود اجرام بسیار پرجرم و چگالی به نام سیاهچاله‌ها بود که در اثر مرگ ستاره‌های غول پیکر بوجود می‌آمدند. این در حالی بود که خود اینیشتین وجود این هیولاها را در جهان واقعی باور نداشت و آن‌ها را فقط به صورت یک تئوری ریاضی بر روی کاغذ می‌دید. برای این‌که دید خوبی نسبت به نحوه‌ی بوجود آمدن و ماهیت

سیاهچاله‌ها داشته باشیم بهتر است تاریخچه شناخت این اجرام آسمانی را به صورت خلاصه مرور کنیم:

نیوتون معتقد بود که نور از ذرات بسیار ریز و دارای جرم به نام گویچه ساخته شده است. نیم قرن بعد از مرگ نیوتون دو فیزیک‌دان بزرگ به نام‌های لاپلاس و میشل به این نتیجه رسیدند که اگر ادعای نیوتون درست باشد پس ممکن است نور نیز تحت تأثیر گرانش‌های شدید برخی اجرام آسمانی قرار گرفته و به سمت آن‌ها جذب شود. آن‌ها به این فکر افتادند که ممکن است ستاره‌های بسیار سنگین و چگالی در آسمان وجود داشته باشند که نور را به خود جذب کرده و اجازه‌ی فرار به آن ندهند. اگر واقعا چنین ستاره‌هایی وجود داشته باشد پس باید کاملا تاریک باشند زیرا نور بعد از برخورد به آن‌ها اسیر جاذبه‌ی شدیدشان می‌شود و دیگر نمی‌تواند از سطحشان بازتاب خورده و به چشم ما برسد.

در فصل دوم دیدید که هرستاره و سیاره‌ای شدت جاذبه و به طبع آن سرعت فرار مخصوص به خود را دارد. سرعت فرار یک جرم آسمانی با مقدار جرمش رابطه‌ی مستقیم و با شعاع آن رابطه‌ی عکس دارد. یعنی هرقدر جرم یک سیاره بیش‌تر و شعاع آن کوچک‌تر باشد سرعت فرارش بیش‌تر خواهد بود و بر عکس. مثلا اگر جرم زمین ثابت بماند و شعاعش افزایش یابد آنگاه گریختن از سطحش راحت‌تر خواهد بود. حال اگر شعاعش ثابت بماند و جرمش افزایش یابد آنگاه سرعت فرارش بیش‌تر خواهد بود. مقدار این سرعت در یک شهاب آسمانی با شعاع ۱٫۶ کیلومتر به مراتب از مال زمین کم‌تر بوده و حدود دو متر بر ثانیه است. با این‌که شعاع کمی دارد و انتظار می‌رود سرعت فرار از آن بیش‌تر باشد اما از طرفی جرمش نیز به مراتب کم‌تر است و تاثیر شعاع را خنثی می‌کند و در نتیجه ما به راحتی با یک پرش ساده می‌توانیم از سطح آن بگریزیم و تا ابد در فضا به پیش رویم.



معادله سرعت فرار

طبق معادله‌ی سرعت فرار اگر جرم و شعاع ستاره خورشید را بدانیم می‌توانیم سرعت فرار آن را محاسبه کنیم. مقداری که بعد از محاسبه بدست می‌آید حدود ۵۵۰ کیلومتر بر ثانیه است. یعنی سرعت فرار از سطح خورشید ۵۰ برابر سرعت فرار از سطح زمین است. شاید این عدد بزرگ به نظر برسد اما در مقایسه با سرعت نور ناچیز است و تنها ۲ درصد سرعت نور را شامل می‌شود. پس آن ستاره‌ی تاریکی که فکر میشل و لاپلاس را به خود مشغول کرده بود باید خیلی خشن‌تر از ستاره‌ی خورشید باشد. زیرا این ستاره‌ی تاریک بایستی شعاعی کوچک و جرمی به مراتب بزرگ‌تر از خورشید داشته باشد و آن‌قدر فشرده و چگال باشد تا سرعت فرارش به ۳۰۰ میلیون متر بر ثانیه که همان سرعت نور است برسد.

در آن زمان ایده وجود چنین اجرام آسمانی خیلی عجیب به نظر می‌رسید و از نگاه بیش‌تر فیزیک‌دانان غیرممکن بود که چنین اجرامی چگال و فشرده در طبیعت وجود داشته باشد. به همین خاطر موضوع ستاره‌های تاریک همچنان راکد باقی مانده بود وفیزیک‌دانان توجه چندانی به آن نشان نمی‌دادند. تا این‌که آلبرت آینیشتین نظریه‌ی نسبیت عام خود را معرفی کرد. چند ماه بعد از انتشار

مقاله‌ی نسبیت عام، فیزیک‌دانی آلمانی به نام کارل شوارتزشیلد با کمک معادلات آینیشتین توانست درباره‌ی نحوه‌ی تشکیل یک سیاهچاله و ویژگی‌های آن راه‌حلی ریاضی ارائه دهد. او فرمولی ارائه کرد که می‌توان به کمک آن یک سیاهچاله ساخت.

طبق این فرمول برای درست کردن یک سیاهچاله نیاز نیست حتما جسمی به اندازه‌ی شعاع خورشید داشته باشیم که وزنش چند برابر سنگین‌تر از آن باشد. بلکه هر چیزی چه کوچک و چه بزرگ می‌تواند یک سیاهچاله باشد. روال کار به این طریق است که ابتدا جسمی را با جرمی مشخص انتخاب می‌کنیم. مثلا کره‌ی زمین را در نظر بگیرید که جرمش 6×10^{24} کیلوگرم است. سپس آن را داخل معادله می‌گذاریم. جوابی که برای سیاره زمین بدست می‌آید ۴,۵ میلی‌متر است. این عدد را به احترام کاشفش کارل شوارتزشیلد با نام شعاع شوارتزشیلد می‌شناسند و این معنی را می‌دهد که شعاع سیاهچاله‌ای که قرار است از زمین بسازیم ۴,۵ میلی‌متر خواهد بود. حالا اگر یک گیره‌ی بزرگ کیهانی در اختیار داشتیم می‌توانستیم کره‌ی زمین را لای آن قرار داده و طبق جواب بدست آمده؛ آن را به قدری فشرده کنیم تا تمام مواد تشکیل دهنده‌اش (جرم) در محدوده‌ای کروی به اندازه‌ی یک نخود به قطر ۹ میلی‌متر گنجانده شود.

اگر این معادله را برای خورشید حساب کنیم عدد ۳,۲ کیلومتر به دست

می‌آید. یعنی اگر خورشید به آن بزرگی با جرم 2×10^{30} و شعاع ۶۹۶۳۴۰ کیلومتر را در محدوده‌ای دایره شکل به اندازه‌ی یک شهر کوچک با قطر ۶٫۵ کیلومتر جا دهیم آنگاه یک سیاهچاله بدست می‌آید.

هر چند یافته‌های شوارتزشیلد بر پایه‌ی معادلات آینیشتین بود اما جالب است که خود آینیشتین از پذیرش این موضوع خودداری کرد و باور نداشت که چنین چیزی واقعا در طبیعت اتفاق بیفتد. مشکل این جا بود که ما چنین گیره‌ای نداشتیم تا بر روی یکی از سیارات این آزمایش را انجام دهیم و به درستی وجود سیاهچاله‌ها ایمان بیاوریم. از طرفی هم در آن موقع تکنولوژی لازم برای رصد چنین اجرامی وجود نداشت تا به ماهیت و چگونگی ایجاد شدن آن‌ها پی ببریم.

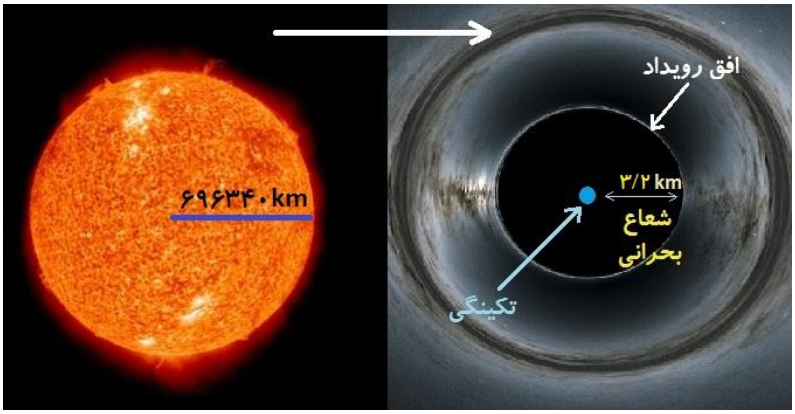
چگونگی تشکیل یک سیاهچاله

فیزیک‌دانی نظری به نام لاندائو که اهل شوروی بود در باره‌ی چگونگی سوختن ستاره‌ها و مراحل عمرشان مقاله‌ای منتشر کرده بود. دو فیزیک‌دان آمریکایی به نام‌های اوپنهایمر (سرپرست پروژه منهتن بود که نخستین بمب اتمی را بوجود آورد) و اشنایدر مقاله‌ی لاندائو را خواندند و متقاعد شدند که لاندائو با وجود اشتباهات جزئی روی هم رفته درباره‌ی چگونگی سیر تکاملی ستارگان نظریه‌ای زیبا و درستی ارائه کرده است. این دو دانشمند به این نتیجه رسیدند که همواره در داخل ستاره‌ها دو نیروی هم اندازه با هم در پیکارند یکی نیروی گرانش است که سعی دارد مواد تشکیل دهنده‌ی ستاره را به درون بفشارد و باعث انقباض آن شود و دیگری نیرو یا همان فشار گازهای داغ حاصل از سوختن ستاره است که در خلاف جهت نیروی گرانش عمل می‌کند و سعی دارد مواد را به بیرون هل دهد و باعث انبساط ستاره گردد. تعادل بین این دو نیرو باعث پایداری ستاره می‌شود. زمانی که سوخت هسته‌ای ستاره تمام شود خاموش خواهد شد و تنها خاکستری سرد از او بر جای می‌ماند و در نتیجه، فشار رو به

بیرون محو خواهد شد. در چنین حالتی نیروی گرانش تنها نیروی غالب بر ستاره خواهد بود و شروع به منقبض کردن مواد باقی مانده‌ی ستاره‌ی در حال مرگ می‌کند. حال اگر ستاره جرم نسبتا کمی داشته باشد به طبع آن نیروی گرانش نیز ضعیف خواهد بود در نتیجه ستاره در خود فرو می‌رود و به صورت یک کوتوله‌ی سفید یا کوتوله‌ی قهوه‌ای و یا این‌که در نهایت به صورت یک ستاره‌ی نوترونی در می‌آید. اما اگر ستاره‌ای غول‌پیکر داشته باشیم نیروی گرانش بعد از اتمام سوخت ستاره به قدری افسار گسیخته خواهد بود که قادر است آن را به اندازه‌ی شعاع شوارتزشیلدش فشرده نماید. طبق فرمول شوارتزشیلد اگر ستاره‌ای مثلا ۱۰ برابر خورشید جرم داشته باشد (20×10^{30}) بعد از اتمام سوختش می‌رمبد و به قدری مچاله می‌شود تا به شعاع بحرانی (شعاع شوارتزشیلد)۳۰ کیلومتر برسد. رابرت اوپنهایمر به این عقیده رسیده بود که در این شعاع بحرانی مرزی فرضی وجود دارد که هرچیزی هر چقدر سریع باشد حتی نور نیز با رد شدن از این مرز قادر به بازگشت نخواهد بود و در نتیجه این محدوده کاملا تاریک و به عبارتی نامرئی خواهد بود. فیزیک‌دانان این مرز فرضی را افق رویداد نامیدند و نمی‌دانستند که درون این محدوده چه خبر است و حتی خود اوپنهایمر نیز از فکر کردن به داخل افق رویداد وحشت داشت و از آن خودداری می‌کرد.

در واقع نه تنها سیارات بلکه حتی ستاره‌هایی نیز که در پایان عمرشان کوچک‌تر از دو و نیم برابر خورشید باشند گرانش کافی نداشته و نمی‌توانند به شعاع بحرانی برسند. پس طبیعت تنها چیزهایی را به سیاهچاله تبدیل می‌کند که حداقل دو و نیم بار از خورشید پر جرم‌تر باشند. حالا اگر می‌خواهیم سیارات و حتی شهاب‌سنگ‌های کوچک را به سیاهچاله تبدیل کنیم باید به صورت مصنوعی این کار را انجام دهیم و از یک گیره‌ی کیهانی علمی تخیلی که پیش‌تر گفتیم استفاده نماییم. حال ممکن است فکر کنید اگر در مثال زمین، فشار گیره را برداریم آنوقت این کره‌ی فشرده‌ی ۹ میلی‌متری مثل فنر برمی‌گردد و

زمین دوباره به اندازه‌ی اولیه‌ی خود به قطر ۱۳ هزار کیلومتر در می‌آید. در حالی‌که چنین نیست. پنروز ریاضیدان جوان انگلیسی پاسخ این پرسش را یافت. او دریافت که فرآیند انقباض یک جسم با رسیدن به شعاع بحرانی نه تنها متوقف نمی‌شود بلکه گرانش این بار با سرعتی زیادتر به کار خود ادامه می‌دهد. جسمی که به شعاع شوارتزشیلد خود رسیده است شدت نیروی گرانشش به حدی زیاد می‌شود که دیگر هیچ نیرویی نمی‌تواند در مقابل فشردگی‌اش ایستادگی کند. یعنی جسم فشرده باز هم شروع به متراکم شدن می‌کند و تا حدی پیش می‌رود که به یک نقطه‌ی بسیار ریز بدون بعد تبدیل می‌شود که حجمش صفر و چگالی‌اش بی‌نهایت است و یک تکینگی ایجاد می‌کند. طبق یافته‌ی پنروز اگر چیزی به سمت سیاهچاله سقوط کند بعد از گذشتن از افق رویداد باز هم به سقوط خود ادامه می‌دهد تا در نهایت به تکینگی مرکز سیاهچاله برخورد نماید.



تصویری ذهنی از تکینگی و افق رویداد سیاهچاله‌ای که در اثر رمبش خورشید ما ایجاد شده است.

چنان‌که در شکل می‌بینید افق رویداد به صورت کره‌ای فرضی و سیاه است

که دور تا دور تکینگی مرکزی را پوشش می‌دهد و نشانگر گستره‌ی میدان گرانش سیاهچاله است. در مرز افق رویداد سرعت فرار دقیقا برابر با ۳۰۰ میلیون متر بر ثانیه یا همان سرعت نور است و چنان‌که از این هم داخل‌تر شویم، سرعت فرار بیش‌تر از سرعت نور خواهد بود. پس هر چیزی که از افق رویداد رد شود دیده نخواهد شد زیرا نور آن شیء سرعت کافی برای فرار از درون آن و رسیدن به چشمانمان را نخواهد داشت و به همین دلیل ما سیاهچاله‌ها را کاملا تاریک می‌بینیم.

کشف و رصد سیاهچاله‌ها

از دهه ۱۹۷۰ شواهد غیرمستقیمی دال بر وجود سیاهچاله‌ها در آسمان بدست آمده بود. با این حال بیش‌تر فیزیک‌دانان وجود ستاره‌های تاریک را به خاطر ویژگی‌های خارق‌العاده‌شان چیزی علمی تخیلی می‌پنداشتند و معتقد بودند که چنین اجرامی برآمده از معادلات ریاضی نسبیت عام بر روی کاغذاند و وجود خارجی ندارند. ستاره‌شناسی به نام داگلاس ریچستون در سال ۱۹۹۸ گفته بود: «ده سال پیش اگر جرمی را می‌یافتید و فکر می‌کردید که سیاهچاله‌ای در مرکز یک کهکشان است؛ نیمی از مردم تصور می‌کردند که شما دیوانه‌اید.» از آن زمان تاکنون ستاره‌شناسان صدها سیاهچاله را در فضا شناسایی کرده‌اند. سیاهچاله‌ها نوری از خود بازتاب نمی‌دهند و در نتیجه به صورت مستقیم قابل دیدن نیستند. اخترشناسان امروزه برای تشخیص آن‌ها از تلسکوپ‌های مختلفی استفاده می‌کنند و با بررسی چگونگی حرکت اجرام حول سیاهچاله‌ها و یا با رصد امواج گرانشی یا امواج پرتو ایکس و گامای رسیده از آن‌ها به صورت غیرمستقیم به وجودشان پی می‌برند.

فصل چهارم: فیزیک کوانتوم

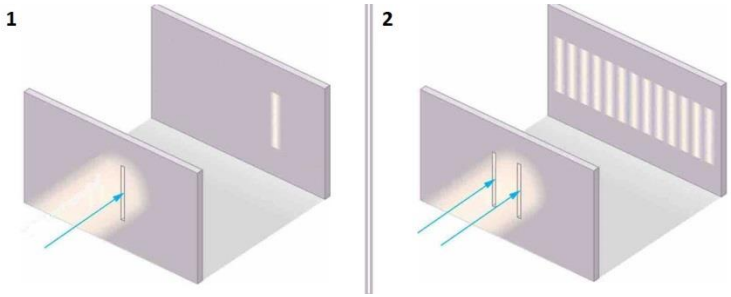
فیزیک کوانتوم در مقابل فیزیک کلاسیک

بیش از ۱۰۰ سال است که مفاهیم فیزیک کوانتوم مطرح شده است و دانشمندان با آزمایشات تجربی و روابط ریاضی بسیاری این مفاهیم را اثبات کرده‌اند اما مسئله اینجاست که قوانین فیزیک کوانتوم و پدیده‌های آن نه تنها شبیه فیزیک کلاسیک نیست بلکه در تناقض با تجربیات روزمره انسان‌ها و درک ما از جهان هستی است. از دیدگاه فیزیک کلاسیک یک جسم نمی‌تواند هم‌زمان در دو مکان حضور داشته باشد برای مثال شما نمی‌توانید هم‌زمان که در اتاقتان هستید در بازار در حال خرید باشید و این چیزی بدیهی و کاملا منطقی به نظر می‌رسد. اما فیزیک کوانتوم در این مورد نظر دیگری دارد چنان‌که در دنیای کوانتوم یک جسم می‌تواند در یک لحظه در جاهای مختلفی حضور داشته باشد. دانشمندان زیادی از آینیشتین گرفته تا ریچارد فاینمن با این موضوع کلنجار رفته‌اند و حتی بعضا فکر کرده‌اند که این نظریه اشتباه است اما بعدها متوجه شده‌اند که جهان آن‌گونه که ما انتظار داریم، کار نمی‌کند. نیلز بود یکی از نابغه‌های زمان خود که سهم ویژه‌ای در شکل‌گیری نظریه مکانیک کوانتوم داشت در این باره می‌گوید: «اگر کسی بگوید فیزیک کوانتوم را فهمیده، پس چیزی نفهمیده است.»

آزمایش دو شکاف

برای این‌که درک بهتری از شگفتی دنیای کوانتوم داشته باشید؛ اول از همه به ماهیت دو گانه‌ی نور می‌پردازیم و یکی از چالش برانگیزترین آزمایشات علمی انجام شده در این زمینه که آزمایش دو شکافت نامیده می‌شود را مرور می‌کنیم:

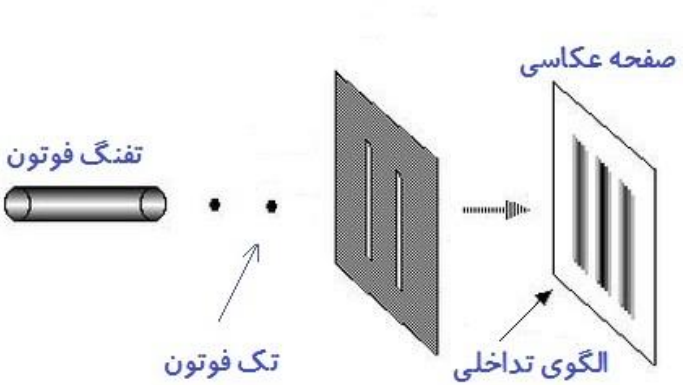
آزمایش دوشکاف ۲۰۰ سال پیش توسط فردی به نام توماس یانگ انجام شد. او در این آزمایش نوری را به سمت یک مانع با دو شکاف نازک تاباند. در پشت این شکاف‌ها صفحه ای وجود داشت که پرتو نور بعد از عبور از شکاف‌ها به آن می‌رسید. او ابتدا یکی از سوراخ‌ها را پوشاند و پرتو نور را به سمت آن تاباند و دید که یک نوار عمودی باریک از نور، روی صفحه‌ی پشت سوراخ ظاهر می‌شود. یانگ فکر می‌کرد که نور جریانی از ذرات است و مسلماً انتظار داشت وقتی شکاف دیگر را هم باز کرد، ذرات نور از هر کدام از شکاف‌ها گذشته و روی صفحه‌ی پشت سوراخ‌ها جمع شود و در نتیجه دو نوار باریک نوری ببیند، اما این اتفاق نیفتاد و به جای دو نوار باریک، بیش‌تر بخش‌های صفحه را مجموعه‌ای از نوارهای عمودی روشن و تاریک پر کرد. یانگ این مشاهده را چنین توجیح کرد. نور مثل یک موج حرکت می‌کند و از هر دو شکاف می‌گذرد. امواج نور بعد از گذشتن از میان شکاف‌ها، با یکدیگر تداخل می‌کنند و به صورت نوارهایی بر روی صفحه ظاهر می‌شوند. یانگ با این



آزمایش نشان داده بود که نور بدون شک یک موج است. این در حالی بود که صد سال بعد از یانگ، دانشمندانی مثل ماکس پلانک و آینیشتین شواهدی یافتند که نشان می‌داد نور از بسته‌های گسسته‌ی انرژی به نام فوتون ساخته

شده است و خواص ذره‌ای از خود نشان می‌دهد. این دو موضوع تنش‌های زیادی را بین طرفداران هر دو نظریه پدید آورد اما در نهایت چنین نتیجه‌گیری شد که فوتون‌ها ماهیتی دوگانه دارند و می‌توانند هم به شکل ذره و هم به صورت موج عمل کنند. با این حال، دانشمندان هنوز هم از خود می‌پرسیدند: «اگر بتوانند فوتون‌ها را یکی یکی از دو شکاف بگذرانند، چه چیزی رخ خواهد داد؟؟»

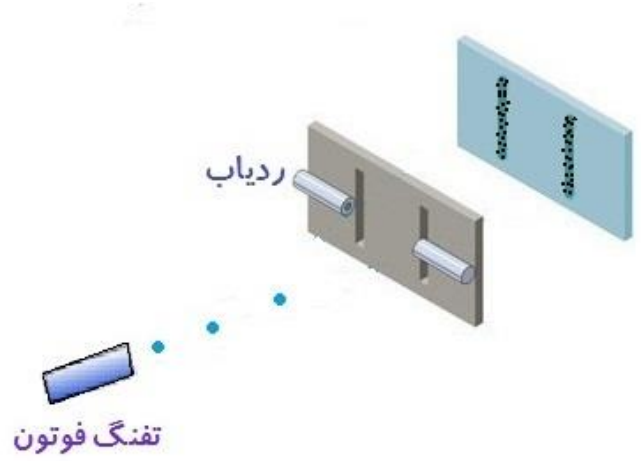
سرانجام، لیزری اختراع شد که قادر بود هر بار تنها یک فوتون آزاد کند. دانشمندان آزمایش دو شکاف یانگ را دوباره انجام دادند و اینبار بار به جای صفحه‌ی عادی، از کاغذ عکاسی استفاده کردند، زیرا یک فوتون، کم‌نورتر از آن است که روی صفحه عادی دیده شود. آنان قرار بود در این آزمایش فوتون‌ها را تک تک شلیک کنند و از طرفی بیش‌ترشان انتظار داشتند که هر کدام از فوتون‌ها از یکی از شکاف‌ها عبور کنند و به صورت نقطه‌هایی بر روی صفحه‌ی عکاسی ظاهر شوند و تنها دو نوار باریک روشن بسازند. اما در کمال شگفتی دیدند که همان الگوی تداخل یانگ رخ می‌دهد.



این به این معنی بود که یک تک ذره‌ی فوتون هنگام رسیدن به شکاف‌ها

ماهیت خود را عوض می‌کند و به شکل موج در می‌آید و به شکل موج به طور هم‌زمان از هر دو شکاف رد می‌شود و بر روی صفحه الگوی تداخلی ایجاد می‌نماید. این موضوع باعث حیرت و سردرگمی دانشمندان شده بود. چگونه یک ذره می‌توانست هم‌زمان از هر دو شکاف عبور کند؟؟

دانشمندان اینبار تصمیم گرفتند کنار شکاف‌ها، ردیابِ فوتون قرار دهند تا ببینند که فوتون هنگام رسیدن به شکاف‌ها چه می‌کند. به عبارت دیگر آن‌ها می‌خواستند ببینند که فوتون از کدام شکاف عبور می‌کند تا بدین طریق مسیر واقعی فوتون را مشاهده کنند. آن‌ها وقتی همین آزمایش را در حضور ردیاب‌ها انجام دادند متوجه شدند که دیگر خبری از الگوی تداخلی نیست و تنها دو خط باریک روی صفحه‌ی عکاسی ظاهر می‌شود. اما همین که ردیاب‌ها را خاموش می‌کردند، فوتون‌ها دوباره مثل موج رفتار می‌کردند و از هردو شکاف عبور کرده و الگوی تداخلی بر روی صفحه‌ی عکاسی ایجاد می‌کردند. این پدیده بر حیرت دانشمندان افزوده بود چراکه گویی فوتون هنگام رسیدن به دو شکاف می‌دانست در معرض مشاهده شدن قرار دارد و به همین دلیل، به جای این که به صورت موجی عمل کند، به همان صورت ذره باقی مانده و تنها از یکی از شکاف‌ها عبور کرده بود. به عبارت دیگر وقتی دانشمندان هزاران فوتون را به سمت شکاف‌ها شلیک کردند، تک‌تک فوتون‌ها از ترس دیده شدن توسط ردیاب، فقط از یکی از این دو شکاف عبور کرده و به صورت ذره به صفحه‌ی عکاسی برخورد کردند. به همین خاطر تعدادی ذره‌ی فوتون از یک شکاف و تعدادی از شکاف دیگر عبور کرده و دو نوار باریک از خود برجای گذاشتند.



جالب اینجاست که این موضوع نه تنها برای فوتون‌ها (ذرات نور) بلکه برای هر ذره‌ی ماده دیگری از جمله الکترون‌ها، پروتون‌ها، نوترون‌ها و خود اتم‌ها نیز صادق است و حتی دانشمندان این آزمایش را با مولکول‌های باکی بال حاوی ۶۰ اتم کربن نیز انجام داده و به نتایج مشابهی رسیدند. در واقع به نظر می‌رسد که قوانین دنیای ذرات زیر اتمی با قوانین دنیای بزرگ مقیاس‌ها کاملا متفاوت است. گویی در دنیای کوانتوم، ذرات دارای شعور هستند و خودشان تصمیم می‌گیرند که به صورت موج رفتار کنند یا ذره. آن‌ها در حضور ردیاب به صورت یک ذره معمولی رفتار می‌کنند زیرا می‌دانند که ما آن‌ها را دید می‌زنیم اما اگر ردیاب نباشد آن‌ها می‌فهمند که کسی نگاهشان نمی‌کند برای همین به صورت یک روح (موج) از هر چند شکاف که روبرویشان باشد به صورت هم‌زمان عبور می‌کنند. بعضی دانشمندان نیز معتقدند که ذرات شعور ندارند بلکه این آگاهی و ذهن ماست که بر روی رفتار ذرات و این‌که چطور عمل کنند تاثیر می‌گذارد.

دانشمندان سپس تصمیم گرفتند که ردیاب فوتون را در جهتی از صفحه قرار دهند که با منبع نور فاصله‌ی بیش‌تری داشته باشد، تا به این ترتیب فوتون، فقط بعد از عبور از میان شکاف دیده شود. اما تغییری در نتیجه حاصل نشد. باز هم ظاهراً فوتون پیش از رسیدن به صفحه، «می‌دانست» در سمت دیگر آن یک ردیاب وجود دارد و به همین دلیل پیش از عبور از شکاف‌ها، به ذره تبدیل می‌شد.

آزمایش گزینش تاخیری جان ویلر

فیزیک‌دان نابغه‌ای به نام جان ویلر که می‌خواست حقه‌ی طبیعت را کشف کند در سال ۱۹۷۸ پیشنهاد کرد که در آزمایش دو شکاف ردیاب‌ها را اینبار در پشت شکاف‌ها قرار دهند تا فوتون را بعد از عبور از شکاف‌ها ردیابی کرده و مسیرش را بدانند. در واقع او می‌خواست فوتون با خیال آسوده از هر دوی شکاف عبور کند و ردیاب‌ها به گونه‌ای تنظیم شده بودند که درست در آخرین لحظه‌ی پیش از برخورد فوتون با صفحه‌ی عکاسی روشن می‌شدند. به این ترتیب می‌شد مچ فوتون را گرفت. در زمانی که ویلر این آزمایش را مطرح کرد، انجام آن از لحاظ فنی غیرممکن بود. اما بالاخره در سال ۲۰۰۷، گروهی از دانشمندان فرانسوی امکان انجام آن را فراهم آوردند.

روال کار در آزمایش گزینش تاخیری به این ترتیب بود:

ابتدا تفنگ فوتون یک عدد فوتون را به سمت صفحه‌ی دارای دو شکاف شلیک کرد. از آنجایی‌که ردیابی نبود، فوتون به صورت موج از هر دو شکاف عبور کرد اما درست قبل این‌که به صفحه برخورد نموده و الگوی تداخلی ایجاد شود ردیاب روشن گردید. دانشمندان فکر می‌کردند که با این کار فوتون را غافلگیر کرده‌اند. زیرا فوتون از هر دوی شکاف‌ها عبور کرده بود و اکنون چاره‌ای نداشت مگر آن که الگوی تداخل را روی صفحه‌ی عکاسی ایجاد کند. اما بر خلاف انتظار همه، فوتون به شکل ذره بر روی صفحه‌ی عکاسی برخورد کردگویی تنها از یک شکاف عبور کرده بود.

بعضی از افراد که هنوز هم فکر می‌کنند فوتون (و هر ذره ی دیگر) دارای شعور است، در این رابطه دو احتمال را مطرح می‌کنند:

احتمال اول این است که فوتون از آینده و حقه‌ی جان ویلر خبر داشت و می‌دانست که ردیاب در آینده روشن خواهد شد به همین خاطر از اول تصمیم گرفته بود مثل یک ذره رفتار کند و تنها از یکی از شکاف‌ها عبور نماید.

احتمال دوم این است که فوتون از آینده خبر نداشت و چون فکر می‌کرد ردیابی نیست مثل موج از هر دو شکاف عبور کرد. اما بعد از گذشتن از هر دو سوراخ با روشن شدن ردیاب ماجرا را فهمید و چاره‌ای نداشت مگر این‌که گذشته را تغییر دهد. یعنی به زمانی در گذشته برگشت که هنوز از شکاف‌ها رد نشده بود. بنابراین اشتباه خود را جبران کرد و به جای این‌که مثل موج از هر دو شکاف عبور کند، مثل یک ذره تنها از یکی از شکاف‌ها عبور نمود و در نتیجه به صورت یک نقطه روی صفحه‌ی عکاسی ظاهر شد.

این دو حدس در حالی بین مردم رد و بدل می‌شود که از لحاظ علمی تاکنون هیچ شعور و آگاهی برای ذرات ثابت نگردیده است بنابراین این دو حدس نمی‌توانند درست باشند و جزو خرافات و موارد شبه علمی محسوب می‌گردند.

اصل برهم نهی کوانتومی

بعد از بحث و جدل‌های فراوانی که سال‌ها بین دانشمندان برای تفسیر مکانیک کوانتومی صورت گرفت، در نهایت آن‌ها رفتار عجیب ذرات را نتیجه‌ی یک اصل بنیادی مکانیک کوانتوم به نام «برهم نهی» دانستند. طبق این اصل یک شیء کوانتومی (مثلا یک الکترون) تا زمانی که مشاهده نشود می‌تواند به طور هم‌زمان در تمام حالت‌های ممکن قرار داشته باشد. برای مثال فرض کنید الکترونی را از فاصله‌ی ۱۰ متری به سمت یک دیوار شلیک می‌کنیم. این الکترون تا زمانی که توسط ما مشاهده نشود، می‌تواند به طور هم‌زمان همه‌ی سرعت‌های ممکن را داشته باشد و در همه‌ی مکان‌های ممکن طی طریق کند و همچنین قادر است تمام ویژگی‌های کوانتومی‌ای که یک ذره می‌تواند دارا باشد را هم به طور هم‌زمان داشته باشد.

تمام مکان‌ها و مسیرهای ممکن: برای این‌که بفهمید یک ذره چگونه می‌تواند هم‌زمان تمام مکان‌ها و مسیرهای ممکن را اشغال کند، مثالی از دنیای واقعی آورده می‌شود:

شما وقتی که در خانه هستید تنها یک مکان را اشغال کرده‌اید و آن مکان همان خانه‌ی شماست. در حالی که اگر یک الکترون بودید و به شرطی که هیچ کس شما را نمی‌دید، آن‌وقت شما نه تنها در خانه‌ی خود بلکه در تمام خانه‌ها، خیابان‌ها، کوچه‌ها و هر جای ممکنی در کره‌ی زمین و حتی سیارات دیگر و کشهکشان نیز به صورت هم‌زمان حضور داشتید. حالا فرض کنید شمایی که انسان هستید می‌خواهید به مغازه بروید. برای این کار از خانه خارج می‌شوید و به راه می‌افتید و تنها از یک مسیر مشخص به مغازه می‌رسید. در حالی که اگر الکترون بودید همین که از خانه خارج می‌شوید، تمام مسیرهای ممکنی که برای رفتن به مغازه وجود دارند را انتخاب می‌کنید و به صورت هم‌زمان از همه‌ی این

مسیرها عبور می‌کنید تا به مغازه برسید. یعنی شما هم‌زمان که از طریق خیابان بهار به مغازه رهسپار می‌شوید از طریق خیابان امام نیز به طرف مغازه می‌روید و حتی در مسیری ممکن است کل شهرتان را نیز دور بزنید تا به مغازه برسید.

تمام سرعت‌های ممکن

فرض کنید در دنیای واقعی خودمان ماشین خودرانی در خیابان در حال حرکت است. این ماشین صرف نظر از این‌که کسی آن را ببیند یا نه، در هر لحظه سرعت مشخصی دارد. مثلا اگر پلیسی در آنجا با سرعت‌سنج سرعت او را اندازه بگیرد خواهد دید که این ماشین با سرعت ۱۰۰ کیلومتر در ساعت حرکت می‌کند. حتی اگر پلیسی هم آنجا نباشد، باز هم این ماشین در آن لحظه با همان سرعت ۱۰۰ کیلومتر در ساعت حرکت خواهد کرد. حالا فرض کنید این ماشین یک الکترون است. تا زمانی که پلیس یا هر کس دیگری در آنجا سرعت او را نسنجد این ماشین هم‌زمان با تمام سرعت‌های ممکن حرکت می‌کند. یعنی این ماشین هم‌زمان هم با سرعت یک کیلومتر در ساعت، هم با سرعت دو کیلومتر در ساعت و ... و هم با سرعت نور حرکت می‌کند. حالا اگر کسی بیاید و فورا سرعت‌سنج را روی او قفل کند آنگاه این ماشین تنها یک سرعت مشخص را اختیار می‌کند و فقط با همان سرعت حرکت خواهد کرد. مثلا تنها با سرعت ۱۰۰ کیلومتر در ساعت حرکت خواهد کرد یا این‌که سرعتش فقط ۲۰۰ هزار کیلومتر بر ساعت خواهد بود.

تمام حالت‌های کوانتومی ممکن

فرض کنید در دنیای ما همه‌ی سیب‌ها یا قرمز هستند یا سبز. اکنون اگر ما سیبی از درخت بچینیم حتی اگر به آن نگاه نکنیم و نگذاریم هیچ کس دیگری به آن نگاه کند باز هم مطمئنیم که این سیب تنها یک رنگ مشخص دارد مثلا

یا قرمز است یا سبز. حالا فرض کنید این سیب یک الکترون است. تا زمانی که کسی به آن نگاه نکند، این سیب هم زمان هم قرمز خواهد بود و هم سبز. اما همین که فردی آن را مورد مشاهده قرار داد این سیب تنها یک رنگ مشخص اختیار می‌کند یعنی سیب ما یا قرمز خواهد بود یا سبز. البته گفتنی است که در دنیای ذرات رنگ وجود ندارد. در واقع ذرات به جای رنگ ویژگی ذاتی خاصی به نام اسپین کوانتومی دارند. اسپین یک ذره به جهت چرخش آن مربوط می‌شود. برای مثال یک الکترون دارای دو نوع چرخش است. چرخش ساعتگرد و چرخش پادساعتگرد. حالا طبق اصل «برهم نهی» تا زمانی که یک الکترون را مورد مشاهده قرار ندهیم، این ذره هم‌زمان هر دو اسپین را دارا خواهد بود. یعنی هم‌زمان هم در جهت عقربه‌های ساعت و هم در خلاف جهت عقربه‌های ساعت می‌چرخد. اما همین که الکترون را مورد مشاهده قرار دادیم تنها یک اسپین خواهد داشت. یعنی یا در جهت عقربه‌های ساعت می‌چرخد و یا در خلاف جهت عقربه‌های ساعت خواهد چرخید.

تابع موج (ابر احتمال)

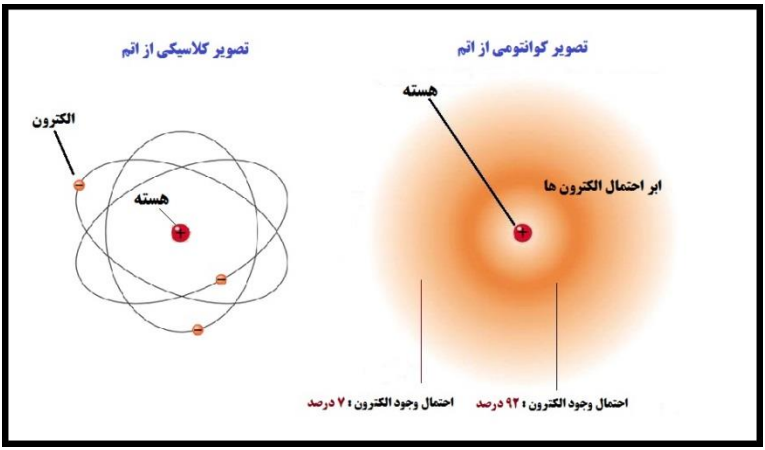
برداشت عمومی ما از الکترون براساس تصاویری که بارها در کتاب‌ها یا جاهای دیگر دیده‌ایم به عنوان ذره ای است که در مداری حول هسته‌ی اتم می‌چرخد. شاید فکر کنید که حرکت الکترون دقیقا مثل سیاره‌ای در منظومه ی شمسی است که در مداری دایره‌ای یا بیضوی بر گرد خورشید می‌چرخد. این تصور از فیزیک کلاسیک برای ما به یادگار مانده است. الکترون در این مفهوم کلاسیکی مثل یک ذره یا تکه سنگ یا سیاره‌ای است که سرعت و موقعیت و جهت مشخصی دارد. اما چنان‌که گفته شد ذرات از اصل بر هم نهی تبعیت می‌کنند. بر مبنای اصل بر هم نهی هرگز نمی‌توان با اطمینان مسیر دقیق الکترون در حال چرخش به دور هسته را دانست. این الکترون احتمال دارد در

فاصله‌ی خیلی نزدیکی به دور هسته بگردد و همچنین احتمال دارد در مداری دایره‌ای شکل که فاصله‌ی آن از هسته برابر با کل جهان ماست به دور هسته دوران کند و تنها با مشاهده کردن است که می‌توانیم به صورت صد در صد به آن پی ببریم.

فیزیک‌دانان مدت‌ها با این مشکل روبرو بودند تا این‌که فردی به نام اروین شرودینگر توانست راه حلی بیابد. او گفت اگرچه ما هیچ‌وقت نمی‌توانیم بدون مشاهده و اندازه‌گیری یک ذره، مکان و سرعت دقیق آن را بدست آوریم، اما قادریم تابع موج این ذره را محاسبه کنیم. منظور شرودینگر از تابع موج یک ذره، احتمال وجود آن ذره در مناطق مختلف با سرعت‌های مختلف است. بنابراین ما با این‌که بدون مشاهده نمی‌توانیم جای دقیق الکترون دور هسته را پیدا کنیم، اما حداقل می‌توانیم تابع موج آن را محاسبه کرده و مکان احتمالی الکترون را به درصد بیان کنیم. برای مثال ما با کمک معادلات شرودینگر می‌توانیم بگوییم که فلان الکترون به احتمال ۷۴ درصد در فلان جای اتم و به احتمال ۲۵ درصد در فلان منطقه‌ی اتم و به احتمال یک میلیاردم یک درصد در فاصله‌ی هزار سال نوری از هسته به دور آن می‌گردد. (۱۹۲ – جهان‌های موازی)

از آن پس فیزیک‌دانان به جای این‌که الکترون را به صورت ذره‌ای در حال حرکت حول هسته نشان دهند آن را به صورت ابر احتمال الکترونی دور هسته نشان می‌دهند. این ابر احتمال، همان تابع موج نامیده می‌شود و این معنی را می‌دهد که یک الکترون تا زمانی که مورد مشاهده و اندازه‌گیری واقع نشود حالت موج‌گونه داشته و مکان و سرعت و اسپین (جهت چرخش) مشخصی ندارد. یک الکترون تا زمانی که مورد سنجش واقع نشود در همه‌ی مکان‌ها و سرعت‌ها و جهت‌های ممکن (با درصدهای احتمالی مختلف) وجود دارد. (۲۲ – چیزی عمیقا پنهان) اما همین که مورد مشاهده و سنجش قرار گیرد آنگاه ابر احتمال او از بین می‌رود و الکترون به صورت یک ذره در یک مکان خاص با یک سرعت

مشخص و در یک جهت معین دور هسته‌ی اتم نمود پیدا می‌کند.



شکل : ابر احتمال الکترون در همه جای جهان گسترده شده است به عبارت دیگر احتمال وجود الکترون درهمه جای جهان وجود دارد اما غلظت این ابر در همه جا یکسان نیست. برای مثال احتمال یافته شدن الکترون در مکان‌های دور از هسته بسیار ناچیز است هر چند قابل محاسبه است. در حالی که هر قدر به هسته نزدیک شویم شانس بیش‌تری برای ظهور الکترون وجود دارد. (۲۲ – چیزی عمیقا پنهان) اما هیچ وقت این شانس به ۱۰۰ درصد نمی‌رسد.

اگر تابع موج الکترون در جایی مقدار بزرگی داشته باشد(مثلا ۹۰ درصد باشد) شانس زیادی وجود دارد که الکترون در آن نقطه حضور داشته باشد. اما اگر مقدار تابع موج آن کم باشد(مثلا ۱۰ درصد) یعنی شانس کمی وجود دارد که الکترون در آن جا حضور داشته باشد. برای مثال در اتم هیدروژن، تابع موج الکترون در نزدیک هسته بسیار بیش‌تر از تابع موج آن یک متر دورتر از هسته است. این یعنی احتمال این‌که الکترون در نزدیک هسته‌یافت شود بسیار بیش‌تر از احتمال یافته شدن الکترون یک متر دورتر از هسته است. (۱۹۲ – جهان‌های موازی)

یک مثال برای فروپاشی موج احتمال

چنان‌که گفته شد در دنیای کوانتومی تا زمانی که ذره‌ای را مورد مشاهده و اندازه‌گیری قرار ندهیم در همه جا و در تمام حالات محتمل و ممکن وجود خواهد داشت. برای مثال فرض کنید الکترونی را درون یک جعبه با ابعاد یک متر قرار داده‌ایم و در آن را بسته‌ایم. تا زمانی که در جعبه را بازنکرده و داخل آن را مشاهده نکنیم ابر احتمال اتم هیدروژن در همه جای جعبه پراکنده شده است و به عبارت دیگر این الکترون تا زمانی که مشاهده و اندازه‌گیری نشود مثل یک روح در همه جای جعبه وجود خواهد داشت و از طرفی تمام حالات اسپینی را نیز دارا خواهد بود یعنی هم‌زمان در هر دو جهت ساعتگرد و پادساعتگرد می‌چرخد . حال همین که در جعبه را بازکنیم و به درون جعبه نگاهی بیندازیم؛ آنگاه ابر احتمال آن از بین می‌رود و در نتیجه الکترون به شکل یک ذره نمود پیدا می‌کند و در نقطه‌ی معینی از آن جعبه ظاهر می‌شود. همچنین ابر احتمال اسپینی الکترون نیز نابود می‌شود و به جای این‌که هم‌زمان در هر دو جهت بچرخد تنها در یک جهت ساعتگرد و یا فقط در جهت پادساعتگرد خواهد چرخید.

ناسازگاری کوانتوم با تجربیات انسانی

دانشمندان بزرگی در طول تاریخ با این رفتار عجیب و غریب ذرات اتمی مشکل داشتند و همیشه سعی می‌کردند به نوعی اعتراض خود را در این رابطه نشان دهند. برای مثال اینیشتین که خود یکی از افراد تأثیرگذار در به وجود آمدن نظریه کوانتوم بود اصلا از آن خوشش نمی‌آمد و فکر می‌کرد که حتما یک جای نظریه مشکل دارد. او همیشه برای این‌که رفتار غیرعادی ذرات را توصیف کند، این جمله را به‌کار می‌برد: «به ماه نگاه کنید. آیا ماه وقتی یک موش به آن نگاه می‌کند ناگهان به وجود می‌آید؟» «آیا واقعاً فکر می‌کنی وقتی که تو به ماه نگاه نمی‌کنی، ماه آن‌جا نیست؟»

در واقع او می خواست با کشاندن نظریه کوانتوم به طبیعت بزرگ مقیاس، میزان مزخرف بودن آن را نشان دهد و برای دانشمندان حالی کند که دنیا نمی‌تواند این‌گونه بی‌ثبات باشد. البته او از طرفی هم حق داشت زیرا وقتی می‌خواهیم قوانین عجیب و غریب نظریه کوانتوم را با قوانین و تجربیات روزمره مقایسه کنیم احساس درماندگی می‌کنیم. برای مثال اگر درخت موجود در حیات پشتی‌مان را به اندازه‌ی یک الکترون کوچک کنیم آنگاه تا زمانی که آن را مورد سنجش و مطالعه قرار ندهیم این درخت می‌تواند به طور هم‌زمان در تمامی مکان‌ها و همچنین در تمام وضعیت‌های ممکن وجود داشته باشد. مثلا این درخت می‌تواند به طور هم‌زمان ایستاده، شکسته، خشک یا سوخته باشد. از طرفی این درخت هم‌زمان می‌تواند در تمام مکان‌های ممکن در همه جای حیاط پشتی ما و همچنین در همه نقاط جهان هستی حضور داشته باشد و تنها هنگامی که ما آن را مشاهده کنیم تابع موجش فروریخته و به یک حالت معین (مثلا پژمرده) در می‌آید و در یک جای ثابت قرار می‌گیرد.

فاینمن یکی از نوابغ فیزیک کوانتوم زمان خود می‌گوید: «زمانی روزنامه‌ها نوشتند که نظریه نسبیت اینیشتین را تنها ۱۲ نفر در جهان درک می‌کنند نمی‌دانم این حرف چقدر درست است اما این را می‌دانم که مکانیک کوانتوم را هیچ کس هرگز نفهمیده است.»

او در جایی دیگر می‌گوید: «مکانیک کوانتوم طبیعت را به گونه‌ای توصیف می‌کند که از نظر عامه‌ی مردم بی‌معنیست اما آزمایش‌ها می‌گویند مکانیک کوانتوم درست می‌گوید، پس امیدوارم طبیعت را همین‌طور بی‌معنی بپذیرید.»

گربه شرودینگر

اروین شرودینگر نیز مثل آینیشتین از اصول و مبانی نابسامان و غیرمعقول مکانیک کوانتوم آشفته بود و با این‌که خودش در بوجود آمدن این نظریه نقش

بسزایی داشت می‌خواست به طریقی عجیب بودن این شاخه از فیزیک را نشان دهد. او برای این منظور آزمایشی فرضی مطرح کرد که نشان می‌داد موجودات دنیای ما از اصل بر هم نهی کوانتومی تبعیت نمی‌کنند. یعنی یک درخت حتی اگر نگاهش نکنیم نمی‌تواند به طور هم‌زمان ایستاده، شکسته، خشک یا سوخته باشد بلکه تنها یک حالت را دارا خواهد بود مثلا یا صحیح و سالم سر جای خود ایستاده و یا این‌که خشک خواهد بود.

او در آزمایش ذهنی خود یک بطری شیشه‌ای پر از گاز سمی، یک اتم اورانیوم رادیو اکتیو و یک سنسور تشخیص مواد پرتوزا را همراه با یک گربه درون یک جعبه‌ی در بسته قرار می‌دهد. اگر اتم اورانیوم واپاشی کند؛ سنسور، شیشه‌ی گاز سمی را می‌شکند و در نتیجه، گاز سمی گربه را خفه می‌کند. از طرفی ما می‌دانیم که واپاشی اتم اورانیوم یک رخداد کوانتومی است. یعنی تا زمانی که اتم اورانیوم را مورد مشاهده قرار ندهیم این عنصر هم‌زمان در هر دو حالت (واپاشی و عدم واپاشی) بر هم نهی می‌کند. البته ما تابع موج واپاشی آن را حساب کرده‌ایم و می‌دانیم که مقدار این دو حالت برابر ۵۰ درصد است. یعنی تا زمانی که به درون جعبه نگاه نکنیم این اتم به‌طور هم‌زمان و به احتمال یکسان هم واپاشی می‌کند و هم واپاشی نمی‌کند. پس در نتیجه گربه نیز به طور هم‌زمان هم می‌میرد و هم زنده می‌ماند. به عبارت دیگر تا زمانی که جعبه را باز نکرده و به درون آن نگاه نکنیم آنگاه گربه نیز در بین دو حالت زنده و مرده در حال بر هم نهی است یعنی به طور هم‌زمان هم مرده و هم زنده است. اما همین که جعبه را باز کنیم تابع موج آن فرو ریخته و می‌بینیم که گربه تنها یک حالت دارد یا مرده است یا زنده خواهد بود.

چیزی که شرودینگر می‌خواست بگوید این بود که: «چطور ممکن است تا زمانی که به گربه نگاه نکرده‌ایم این گربه به طور هم‌زمان هم این دنیا باشد هم آن دنیا. همه می‌دانیم که این حرف احمقانه‌ای است زیرا حتی زمانی که گربه را

نمی‌بینیم او فقط یک حالت دارد یا مرده است یا زنده.»

در هم تنیدگی کوانتومی

با این‌که همه چیز مکانیک کوانتوم عجیب است اما در این میان در هم تنیدگی کوانتومی از همه عجیب‌تر بوده و به عنوان غیرقابل باورترین پیش‌بینی مکانیک کوانتوم به شمار می‌آید. درهم تنیدگی به این معناست که وقتی دو ذره خیلی به هم نزدیک شوند و با یکدیگر اندرکنش داشته باشند آنگاه ویژگی‌هایشان به هم وابسته می‌شود و اتصالی عمیق میانشان برقرار می‌گردد در این حالت می‌گویند این دو ذره در هم تنیده شده‌اند.

فرض کنید ما یک جفت الکترون در هم تنیده داریم.

اولا یادتان باشد که بر اساس اصل بر هم نهی، یک الکترون یا هر ذره‌ی دیگری تا زمانی که مشاهده نشود تمام حالات ممکن را هم‌زمان خواهد داشت. این به این معنی است که یک الکترون هم‌زمان هر دو اسپین ساعتگرد $(-\frac{1}{2})$ و اسپین پادساعتگرد $(+\frac{1}{2})$ را دارد. به عبارت دیگر این الکترون هم‌زمان در هر دو جهت می‌چرخد. بنابراین از آنجایی که ما دو الکترون داریم پس هر دوی این‌ها به شرط این‌که مشاهده نشوند؛ هم‌زمان هم در جهت راست می‌چرخند و هم در جهت چپ.

اکنون این دو ذره‌ی در هم تنیده را از هم جدا می‌کنیم. یکی از آن‌ها را در خانه می‌گذاریم و دیگری را به آن سر دیگر جهان هستی می‌بریم. طبق قانون عجیب در هم تنیدگی که تاکنون چندین بار امتحان شده است اگر اسپین یکی از الکترون‌های در هم تنیده را مشاهده کنیم بلافاصله اسپین الکترون دیگر در هر فاصله‌ای که باشد تعیین می‌گردد.

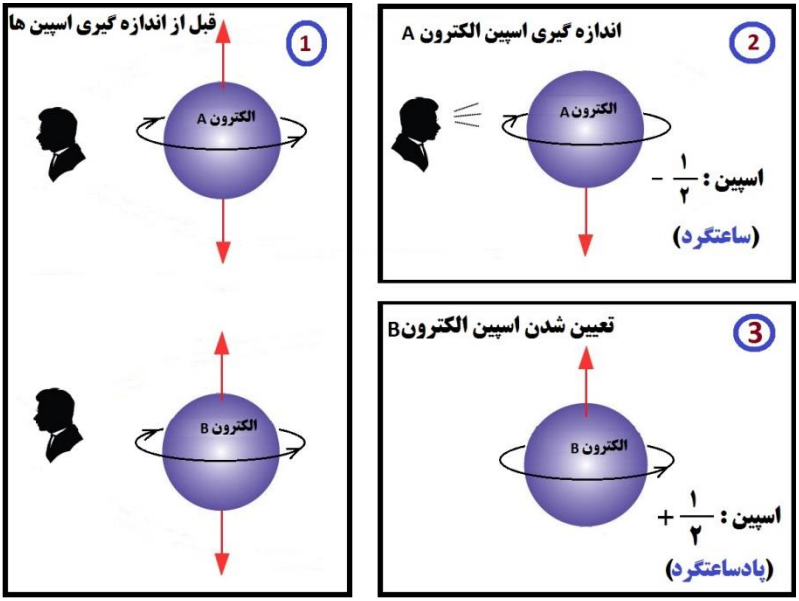
پس ما ذره‌ای که در خانه گذاشته‌ایم را مورد مشاهده قرار می‌دهیم و متوجه

می‌شویم که اسپین او $-\frac{1}{2}$ (ساعتگرد) است. حال طبق قانون بر هم نهی با مشاهده و مشخص شدن اسپین این ذره (ساعتگرد) بلافاصله اسپین ذره‌ی دومی که در آن سر دنیاست معین می‌گردد (پادساعتگرد) و دیگر لازم نیست کسی آن را مورد مشاهده قرار دهد.

البرت اینیشتین اینبار هم شدیدا با پدیده‌ی در هم تنیدگی مخالف بود و هر بار سعی می‌کرد به نوعی نادرستی آن را ثابت کند. زیرا طبق نسبیت خاص او هیچ چیزی نمی‌توانست سریعتر از نور حرکت کند پس ممکن نبود دو ذره‌ی در هم تنیده که هزاران سال نوری از هم فاصله داشتند بتوانند از وضعیت هم با خبر شوند و به نوعی با سرعت بسیار بیش‌تر از سرعت نور در آن واحد با هم ارتباط برقرار نمایند. در نهایت او نیز پذیرفت که این پدیده بدون این‌که خللی در نظریه نسبیت خاص او وارد کند درست است. هرچند تا آخر عمر به دیده ی شک و تردید به پدیده‌ی بر هم نهی نگاه می‌کرد و به همین خاطر نام آن را "تأثیر ارتباط شبح‌وار" گذاشته بود.

سرانجام یک فیزیک‌دان به نام جان کلوسر برای اولین بار در دهه ۱۹۶۰ دستگاهی اختراع کرد که هزاران جفت ذره‌ی در هم تنیده ایجاد می‌کرد و ویژگی‌هایشان را مورد مشاهده قرار می‌داد و از این طریق موفق شد این موضوع را به صورت تجربی در آزمایشگاه اثبات نماید و جای اعتراضی باقی نگذارد. جان کلوسر قبل از اختراع این دستگاه بشدت از نظریه کوانتوم بیزار بود ولی وقتی با دستگاهش درستی پدیده درهم تنیدگی را اثبات نمود بسیار شگفت‌زده شد. به تدریج دانشمندان دیگری از سرتاسر جهان دقت دستگاه کلوسر را بهبود بخشیدند و درستی در هم تنیدگی را بیش از پیش اثبات کردند. امروزه در هم تنیدگی کوانتومی به طور تجربی بر روی فوتون‌ها، نوترینوها، الکترون‌ها، مولکول‌هایی به بزرگی باکی‌بال‌ها و حتی الماس‌های کوچک نیز انجام شده و در بسیاری از آزمایشگاه های دنیا حتی در ایران نیز درستی آن توسط فیزیک‌دانان کشورمان

تایید گردیده است.



اصل عدم قطعیت هایزنبرگ

در سال ۱۹۲۷ ورنر هایزنبرگ ۲۶ ساله ادعایی عجیب و جسورانه با نام اصل عدم قطعیت مطرح نمود که بر اساس آن طبیعت اجازه نمی‌دهد ما هم‌زمان سرعت و موقعیت دقیق یک الکترون را به صورت صد در صد اندازه بگیریم. هایزنبرگ به این نتیجه رسید که سرعت دقیق یک جسم را می‌توانیم دقیقا بسنجیم و همچنین می‌توانیم موقعیت مکانی آن را نیز خیلی خوب مشخص کنیم. اما هرقدر هم تکنولوژی و دقت بالایی داشته باشیم اگر بخواهیم هر دوی این اندازه‌گیری‌ها را به صورت هم‌زمان بر روی جسمی زیر اتمی انجام دهیم با محدودیت مواجه خواهیم شد.

هایزنبرگ معتقد بود باید یکی از این مؤلفه‌ها را بسنجیم و دیگری را بی‌خیال

شویم. چرا که اندازه‌گیری یک ویژگی (مکان) جلوی اندازه‌گیری دیگری (مقدار سرعت) را می‌گیرد. اگر بخواهیم مکان الکترون را به صورت صد در صد تعیین کنیم آنگاه مقدار سرعت آن را به هیچ وجه نخواهیم دانست و بر عکس اگر سرعت الکترون را به صورت صد در صد بسنجیم آنگاه موقعیت مکانی آن کاملا از دستمان در خواهد رفت. حال اگر کسی قصد سنجش هر دو را داشته باشد دقت اندازه‌گیری این ویژگی‌ها صد درصد نخواهد بود. یعنی مثلا اگر من سرعت الکترون را با دقت ۷۰ درصد تعیین کنم آنگاه مجبورم موقعیت آن را با دقت ۳۰ درصد بسنجم و نه بیش‌تر. اگر بخواهم مکان الکترون را با دقت ۹۹ درصد بسنجم آن‌وقت مقدار سرعت الکترون دقیق‌تر از یک درصد نخواهد بود.

دانشمندان برای این موضوع لطیفه‌ای دارند که می‌گویند: «پلیس راه ماشین هایزنبرگ را کنار زد و گفت: هیچ می‌دانی سرعتت چقدر است؟ هایزنبرگ جواب داد نه اصلا نمی‌دانم. اما دقیقا می‌دانم که کجا هستم.»

چرا نمی‌توانیم هم‌زمان سرعت و مکان ذره را اندازه بگیریم؟

مستقیم‌ترین راه اندازه‌گیری مکان یک جسم این است به آن نور بتابانیم و سپس با تجزیه و تحلیل نور بازتابیده از آن جسم موقعیتش را بفهمیم. از طرفی نور دارای طول موج‌ها و انرژی‌های مختلف است. مثلا پرتوهای گاما دارای کوتاه‌ترین طول موج و شدیدترین انرژی هستند. در مقابل امواج رادیویی طول موج‌های خیلی بلند ولی انرژی ناچیزی دارند. هایزنبرگ می‌دانست که برای دیدن یک جسم باید از نوری استفاده کرد که اندازه‌ی طول موجش با اندازه‌ی آن جسم برابر و یا کوچک‌تر از اندازه‌ی آن جسم باشد. چرا که اگر به جسمی کوچک طول موج بلندتری بتابانیم تصویری که بدست می‌آید تار خواهد بود. او به این نتیجه رسید که برای دیدن یک الکترون (10^{-18} متری) به صورت واضح و تعیین مکان دقیق آن باید از کوتاه‌ترین موج پرتوها مثل امواج ایکس یا گاما

استفاده کرد. این جا بود که فهمید اگر می‌خواهد مکان دقیق الکترون را با دقت خیلی خوبی نزدیک به ۱۰۰ درصد مشاهده کند بایستی تاوانش را بپردازد. زیرا امواج کوتاه موج ایکس و گاما انرژی خیلی بالایی دارند و وقتی بر روی الکترون داخل اتم تابیده شوند به الکترون لگد محکمی زده و آن را از اتم به بیرون می‌اندازند و باعث فرارش می‌شوند.

در واقع با این‌که موقعیت آن را صد در صد تشخیص دادیم ولی در عوض در مقدار سرعت الکترون تغییر ایجاد کردیم و در نتیجه ما نمی‌توانیم با فرستادن یک پرتو دیگر سرعت دقیق و واقعی الکترون را در همان لحظه که موقعیتش را سنجیدیم، اندازه‌گیری کنیم چون خودمان باعث اخلال و تغییر در سرعت حرکت آن شده‌ایم.

این بار هایزنبرگ در این فکر بود که به جای پرتو پر انرژی با طول موج کوتاه از یک پرتو کم انرژی با طول موج بلند استفاده کند تا ضربه‌ی لگدی که به الکترون وارد می‌کند آنقدر ملایم باشد تا سرعتش را تغییر ندهد. بهترین گزینه برای او امواجی رادیویی با طول موج‌هایی بلندتر از ۳۰ سانتی‌متر بود. متاسفانه تصویری که توسط امواج رادیویی از الکترون بدست می‌آمد بسیار مبهم و تار بود و دقت خیلی پایینی در حد کم‌تر از یک درصد داشت. در واقع امواج رادیویی برای رصد ستاره‌ها و سیاره‌ها خوب است و حتی قادر نیست تصویر واضحی از شمایل بدن یک انسان بدست آورد چه رسد به این‌که یک الکترون به آن ریزی را مورد کاوش قرار دهد. هایزنبرگ با این یافته‌ها فهمید که دقیق شدن در اندازه‌ی سرعت باعث تار شدن در مکان الکترون خواهد بود و بر عکس.

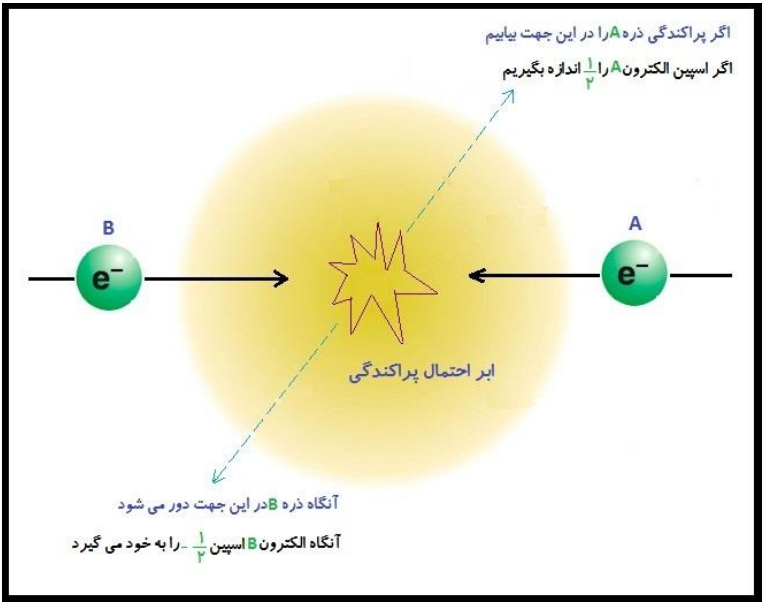
مثالی برای تابع موج و در هم تنیدگی کوانتومی:

فرض کنید دو الکترون در هم تنیده با نام‌های A و B را با سرعت‌هایی مساوی به سوی هم شلیک می‌کنیم. از آنجایی که هر دو ذره بار منفی داشته و

همنام‌اند همدیگر را دفع خواهند کرد. از دیدگاه فیزیک کلاسیکی این الکترون‌ها مثل دو توپ فوتبالی هستند که ما می‌توانیم با دانستن موقعیت و سرعتشان، جهت پراکندگی آن‌ها را بعد از برخورد حساب کنیم و دقیقا پیش‌بینی کنیم که این دو ذره چگونه از هم دور می‌شوند و هر یک چه مسیری را طی خواهند کرد. اما این‌جا دنیای ریزمقیاس‌هاست و قوانین فیزیک کوانتومی بر آن حاکم است. پس تنها کاری که می‌توان کرد احتمال پراکنده شدن الکترون‌ها را پس از برهمکنش متقابلشان در جهتی خاص محاسبه نماییم. پیش‌تر دیدیم که بر اساس اصل عدم قطعیت هایزنبرگ، مکان و سرعت الکترون‌های یک اتم را به صورت یک ابر احتمال کروی شکل (تابع موج الکترون) دور هسته نشان می‌دهند. این‌جا نیز جهت و سرعت دور شدن الکترون‌ها از محل برخورد را به صورت ابر احتمال کروی شکل نشان می‌دهیم و تا زمانی که اندازه‌گیری نکرده‌ایم تنها قادر به محاسبه‌ی احتمال پراکندگی او خواهیم بود. حال فرض کنید جهت الکترون A را مورد مشاهده و اندازه‌گیری قرار دهیم. همان‌طور که می‌دانیم جهت این ذره تا قبل از عمل سنجش معلوم و معین نیست. ابر احتمال او همه جای کره را فراگرفته و جهت دور شدنش تا قبل از مشاهده شدن توسط ما در هر زاویه‌ای محتمل است. اما همین که عمل اندازه‌گیری انجام گرفت الکترون در یک جهت خاص مثلا شمال غربی نمود پیدا می‌کند و خود را نشان می‌دهد. این پدیده‌ی عجیبیست و با منطق ما سازگاری ندارد. اما عجیب‌تر این است که با مشخص شدن جهت دور شدن الکترون A دیگر نیازی نیست تا خود را به زحمت بیندازیم و دست به سنجش جهت الکترون B بزنیم. یعنی به محض مشخص شدن جهت الکترون A بلافاصله جهت الکترون B نیز مشخص و قطعی خواهد شد. (یعنی الکترون B برعکس الکترون A در جهت جنوب غربی در حال دور شدن خواهد بود)

با این تفاسیر می‌توان گفت که جهت پراکندگی هر یک از این دو الکترون در

هر زاویه‌ای محتمل است. اما مستقل از یکدیگر نمی‌تواند باشد به عبارت دیگر تابع موج ایشان به هم گره خورده و مستقل از هم نیستند. این‌گونه نیست که زاویه‌ی پراکندگی یکی را اندازه بگیریم و جهت آن را تعیین کنیم بدون این‌که جهت حرکت دیگری مختل نشود. لازم به ذکر است که این دو ذره غیر از جهت پراکندگی‌شان خواص کوانتومی دیگری همچون اسپین دارند که آن‌ها نیز به هم گره خورده‌اند. چنان‌که با اندازه‌گیری اسپین یکی از آن‌ها می‌توانیم به صورت آنی اسپین ذره بعدی را تعیین نماییم. سؤال اینجاست که وقتی اندازه‌گیری را انجام دادیم، الکترون B از کجا می‌داند که باید در همان لحظه در جهت مخالف دوستش حرکت کند؟ چگونه با اندازه‌گیری اسپین رو به بالای الکترون آ الکترون ب با فاصله‌ی هزاران سال نوری می‌تواند اسپینش را فورا به سمت پایین بگیرد.



هر آنچه احتمال وقوعش هست، اتفاق می‌افتد.

اساس نظریه کوانتوم این است که تمام رویدادهای محتمل هرقدر هم احمقانه، بعید و عجیب باشند، روزی اتفاق می‌افتد. با این وصف پس ممکن است من از هم بپاشم و بر روی مریخ دوباره سرهم شوم. احتمال دارد من محو شده و در طرف دیگر دیوار ظاهر شوم. احتمال این‌ها وجود دارد ولی هر چند خیلی کوچک‌اند. به طوری‌که اگر منتظر اتفاق افتادن آن باشیم باید به مدت سن جهان و حتی بیش‌تر از آن صبر کنیم.

پس با این وصف ما می‌توانیم در زندگی روزمره‌ی خود وقوع چنین اتفاقات ممکنی را نادیده بگیریم. در حالی‌که در سطوح زیر اتمی وقوع چنین رخدادهایی زیاد و طبیعی است و حیاتی محسوب می‌شود چنان‌که برای کارکرد جهان الزامی هستند. مثلا حضور الکترون در یک لحظه در دو مکان در جهان ریز مقیاس سبب شده است که اتم‌ها به هم بپیوندند و مولکول‌ها را شکل دهند. در موبایل یا کامپیوتر شما الکترون‌ها شکل مادی خود را از دست داده و در یک آن غیب شده و در طرف دیگر دیوار ظاهر می‌شوند تا شما بتوانید فیلم تماشا کنید یا در اینترنت مطلبی را درباره‌ی اختر فیزیک مطالعه کنید. اگر الکترون‌ها مثل فیزیک نیوتون رفتار می‌کردند آنگاه هربار که دو اتم با هم برخورد کرده و پیوند می‌خورند باید از هم بپاشند در حالی‌که الکترون‌ها با تشکیل ابر الکترونی و حضورشان هم زمان در مکان‌های متعدد باعث مقید شدن اتم‌ها به یکدیگر و جلوگیری از هم پاشیده شدن جهان شوند.

این همان چیزی بود که احتمالا در آغاز پیدایش جهان روی داد. یعنی یک اتفاق خیلی غیرمحتمل رخ داد و ما و جهان ما ساخته شد. در اثر یک تغییر حالت کوانتومی آنگاه جهان ما از یک جهش کوانتومی غیرمحتمل از خلاء بیرون جهید. مثل این است که بگویید الان یک اژدها در مقابلم ظاهر شد. با توجه به این‌که

جهان در مرحله‌ای از عمر خود (مهبانگ) حتی کوچک‌تر از یک الکترون بوده است، و از آنجایی‌که در جهان زیر اتمی این کار ممکن است و زیاد هم است بر اساس اصل عدم قطعیت می‌توانیم بگوییم جهان ما از یک جهش کوانتومی غیرمحتمل بیرون جهیده است. و در اثر تورمی با ضریب باز هم غیرمحتمل 10^{78} شروع به انبساط و سپس سرد شدن و شکل‌گیری جهان کرده است.

فصل پنجم: فیزیک ذرات

اتم گرایی

پرسش در باره‌ی کوچک‌ترین اجزای سازنده‌ی ماده موضوع جدیدی نیست. افراد زیادی در طول تاریخ برای یافتن کوچک‌ترین آجرهای سازنده‌ی ماده تلاش کرده‌اند. دو هزار و پانصد سال پیش دو فیلسوف یونانی به نام های لئوکیپوس و شارح و شاگرد او دموکریتوس، نظریه اتمیسم یا اتم گرایی را پیشنهاد دادند.

بر مبنای اصل اتم گرایی دموکریتوس :

- همه‌ی مواد از ذرات بسیار کوچکی به نام اتم ساخته شده‌اند.
- این ذرات بسیار ریز آخرین حد از تقسیم ماده‌اند و دیگر از لحاظ فیزیکی قابل تقسیم نیستند.
- میان اتم‌ها فضای خالی وجود دارد.
- تعداد اتم‌های سازندهی جهان بی‌نهایت بوده و حتی انواع و گوناگونی این ذرات نیز بی‌نهایت زیاد است.
- اتم‌ها از لحاظ خصوصیت و کیفیت با یکدیگر فرق ندارند بلکه تنها از نظر شکل، اندازه و چگونگی توزیعشان در اجسام دارای اختلاف‌اند.

نظریه‌ی دموکریتوس نسبت به زمان خود ایده‌ی پیچیده‌ای محسوب می‌شد و فراتر از سطح فهم و درک انسان‌های آن دوره بود و از طرفی چون بر پایه‌ی آزمایش تجربی استوار نبود، فراگیر نشد و خیلی زود از یادها رفت. متاسفانه این نظریه به مدت ۲۲ قرن به فراموشی سپرده شد و کسی به آن توجهی نکرد تا این‌که در سال ۱۸۰۸ میلادی جان دالتون دانشمند مشهور انگلیسی بر اساس شواهد و قوانین تجربی که خود و دیگر دانشمندان کشف کرده بودند، به ویژگی ذره‌ای ماده پی برد و اتم‌ها را مثل توپ‌های بیلیارد، گوی‌های توپری فرض کرد

که به ذرات دیگر قابل تجزیه نبودند. سرانجام بعد از دالتون آزمایش‌های تامسون و رادرفورد نشان دادند که اتم‌ها بر خلاف نظریه دالتون تجزیه‌پذیر بوده و از ذرات کوچک‌تری ساخته شده‌اند که ما امروزه آن‌ها را پروتون، الکترون و نوترون می‌نامیم. داستان هنوز تمام نشده بود. در سال ۱۹۶۴ دو فیزیک‌دان به نام‌های موری گلمان و جرج زوئیگ بر اساس محاسباتشان به این نتیجه رسیدند که پروتون‌ها و نوترون‌ها نیز از ذرات کوچک‌تری به نام کوارک ساخته شده‌اند اما این فقط یک فرضیه بود و باید به صورت تجربی تایید می‌گردید. سرانجام پیش‌بینی آن‌ها در سال ۱۹۶۸ به وقوع پیوست و دانشمندان بعد از آزمایش‌های فراوان در مرکز شتاب‌دهنده خطی استانفورد (SLAC) ثابت نمودند که پروتون و نوترون نیز از ذرات نقطه مانند بسیار کوچک‌تری به نام کوارک ساخته شده‌اند و بنابراین ذره‌ای بنیادی محسوب نمی‌شوند.

امروزه دانش و فناوری ما به قدری پیشرفت کرده است که نه تنها می‌توانیم به یاری میکروسکوپ‌های STM از اتم‌ها عکس‌برداری کنیم بلکه با کمک شتاب‌دهنده‌های خطی و دایره ای ذرات قادریم اتم‌ها را بشکنیم و ذرات سازنده‌ی آن‌ها و ویژگی‌هایشان را نیز یک به یک بررسی نماییم.

ساختار اتم

هر اتم هزارتوی پیچیده‌ای از ساخت‌واره‌های درونی است. در مرکز آن یک هسته‌ی چگال و فشرده وجود دارد که همه‌ی جرم اتم (۹۹,۹۹ درصد جرم اتم) را، به جز اندکی ناچیز، به خود اختصاص داده و دارای بار الکتریکی مثبت است. در ناحیه‌ی بیرونی هسته، ذره‌های ریز و بسیار سبکی به نام الکترون وجود دارند و دارای بار الکتریکی منفی هستند. در اتم‌ها، الکترون در فاصله‌ای دور به دور هسته می‌چرخد. این ساز و کار مثل سنگی عمل می‌کند که به یک ریسمان بسته شده است و یک نفر آن را می‌چرخاند. ریسمان سنگ را در مدار دایره‌ای

نگه می‌دارد. اگر فرد ریسمان را رها کند، سنگ در خط مستقیمی به حرکت خود ادامه خواهد داد. تا وقتی که آن را نگه داشته‌ایم، ریسمان نیرویی را بر سنگ اعمال می‌کند و همواره آن را به سمت دست‌های ما می‌کشاند و آن را مجبور می‌کند که در مسیری دایره‌ای قرار گیرد. در واقع الکترون‌ها نیز به وسیله‌ی ریسمانی نامرئی در مداری دایره‌ای به دور هسته اتم باقی می‌مانند. این ریسمان در واقع همان نیروی ربایش بین بار منفی الکترون و بار مثبت هسته است که ما آن را با نام نیروی الکترو مغناطیس می‌شناسیم.

میدان‌های نیروی الکترومغناطیس در اتم‌ها

بین هسته‌ی مثبت مرکزی و الکترون‌های گردنده‌ی دور دست، بیش‌تر، فضای خالی است. به طوری‌که اگر هسته را به اندازه‌ی یک انسان بالغ در نظر بگیریم آنگاه الکترون‌ها کوچک‌تر از یک تار مو هستند که در فاصله‌ی ۲۰ کیلومتری در حال گردش به دور آن شخص هستند. این فضای به ظاهر خالی بین هسته و الکترون‌ها، پر از میدان‌های نیروی الکترومغناطیسی است. این میدان‌های قدرتمند هستند که اگر چیزی بکوشد وارد اتم شود، آن را آنی متوقف خواهند کرد. با این‌که اتم‌ها به ظاهر خالی‌اند اما این نیروهای الکترومغناطیسی هستند که موجب می‌شوند اتم‌ها استحکام و صلابت بالایی داشته باشند و باعث شوند که ماده، حالت جامد و سفتی به خود بگیرد. چنان‌که در غیر این صورت تمام الکترون‌ها روی هسته فرو می‌ریختند و در نتیجه کل کره‌ی زمین به اندازه‌ی یک اتاق خواب می‌شد. در واقع به خاطر این نیرو هاست که وقتی ما چیزی را روی موزاییک های کف اتاق قرار می‌دهیم، آن جسم به اندازه‌ی یک اتم بالای اتم‌های سطح کاشی معلق می‌ماند.

نیروی قوی هسته‌ای

به نظر می‌رسد که الکترون ذره‌ای بنیادی و تجزیه‌ناپذیر است. یعنی از ذرات کوچک‌تری ساخته نشده است و اگر هم واقعا چنین ذراتی وجود داشته باشند، دانشمندان هنوز نتوانسته‌اند آن‌ها را کشف نمایند. اما هسته‌ی اتم چنان‌که پیش‌تر گفته شد از ذرات ریزتری به نام پروتون و نوترون تشکیل شده است. پروتون‌ها دارای بار الکتریکی مثبت و نوترون‌ها بدون بار و خنثی هستند. مجموع بارهای مثبت پروتون‌های یک هسته، بار مثبت کل هسته را فراهم می‌کنند. یعنی هر چه تعداد پروتون‌های هسته بیش‌تر باشد بار هسته بیش‌تر خواهد بود. بنابراین الکترون‌های بیش‌تری می‌توانند مانند ماهواره دور آن بگردند. بر همین اساس هر اتم شامل تعداد یکسانی پروتون و الکترون است و از این رو به لحاظ بار الکتریکی خنثی است. به همین خاطر اگر چه نیروهای قوی الکتریکی در درون اتم‌های بدن ما در کارند، چندان از وجودشان آگاه نیستیم و خودمان هم از نظر بار الکتریکی خنثی هستیم.

ممکن است بپرسید: بارهای هم‌نام همدیگر را دفع و بارهای نا هم‌نام همدیگر را جذب می‌کنند. پس چرا پروتون‌های مثبت درون هسته که هم‌نامند، همدیگر را دفع نمی‌کنند و می‌توانند در محدوده‌ی هسته، در کنار هم بمانند؟! در واقع این پدیده یکی از شگفتی‌های آفرینش خداوند است و دلیل آن به نیروی قوی هسته‌ای بر می‌گردد. در واقع وقتی دو یا چند پروتون با هم تماس پیدا می‌کنند، بوسیله‌ی چیزی که نیروی قوی هسته‌ای نام دارد محکم به یکدیگر می‌چسبند. از آنجایی‌که نیروی قوی هسته‌ای بسیار قوی‌تر از نیروی دافع الکتریکی است، به همین دلیل پروتون‌های درون هسته از هم جدا نمی‌شوند و در نتیجه هسته‌های اتم‌های یک ماده خود به خود از هم نمی‌پاشند.

البته گفتنی است که نیروی قوی هسته‌ای علاوه بر پروتون‌ها، نوترون‌ها را نیز درون هسته به هم دیگر می‌چسباند. اساسا نوترون گونه‌ای پروتون بدون بار الکتریکی است و دقیقا هم اندازه‌ی آن بوده و جرمش به مقدار بسیار جزئی از

جرم پروتون بیش‌تر است. نوترون‌ها هم مثل پروتون‌ها توسط نیروی قوی هسته‌ای به یکدیگر و هم به پروتون‌ها می‌چسبند اما از آنجا که بی‌بارند بنابراین نیروی دافعه‌ی الکتریکی را حس نمی‌کنند و از این راه به پایداری هسته کمک می‌کنند.

واپاشی هسته اتم‌ها:

اتم‌ها یک جور نیستند و انواع گوناگون و ماهیت‌های شیمیایی مختلفی دارند. تا به حال ۱۱۸ نوع مختلف از آن‌ها با ویژگی‌های متفاوت شناسایی شده‌اند که از این میان ۹۸ تایشان به صورت طبیعی در جهان اطراف ما وجود دارند ولی بقیه آن‌ها مصنوعی بوده و در آزمایشگاه‌ها ساخته می‌شوند و به خاطر عمر کوتاهی که دارند مدتی بعد از ساخته شدن فرو می‌پاشند و به اتم‌های طبیعی سبک و پایدار تبدیل می‌گردند.

چیزی که باعث تفاوت در ماهیت اتم‌ها می‌شود، تفاوت در تعداد پروتون‌های موجود در هسته‌ی آن‌هاست. تعداد پروتون‌های هر اتم عدد اتمی آن نامیده می‌شوند. برای مثال عدد اتمی آهن، منیزیم و اروانیوم به ترتیب ۲۶ ، ۱۲ و ۹۲ است و این یعنی هر یک از این اتم‌ها ۲۶ ، ۱۲ و ۹۲ پروتون در هسته‌ی خود دارند. این همان چیزی است که باعث می‌شود سه اتم بالا (و هر عنصر دیگری) ماهیت های شیمیایی بخصوصی داشته باشند.

چنان‌که دیدید پروتون‌های مثبت هسته هم‌نام بوده و هم‌دیگر را می‌رانند اما نیروی ربایش هسته‌ای قوی مانع از این کار می‌شود و آن‌ها را کنار هم نگه می‌دارد. با این حال نمی‌توان تعداد زیادی پروتون را درون هسته جای داد. زیرا در این صورت شدت نیروی دافعه‌ی الکتریکی (الکترواستاتیک) بزرگ‌تر می‌شود و بر نیروی جاذبه‌ی قوی هسته‌ای غلبه می‌کند و باعث ناپایداری هسته و از هم پاشیدگی آن می‌گردد.

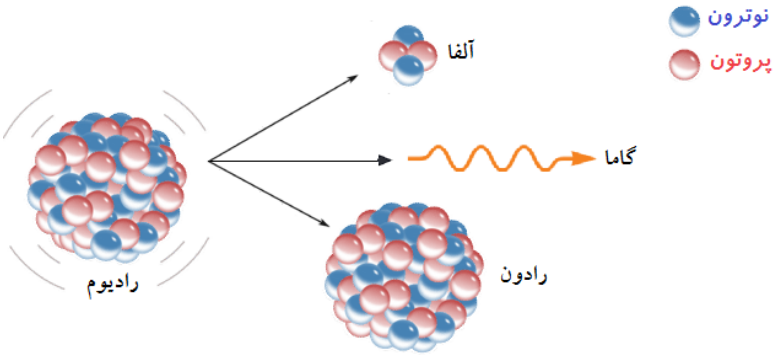
در واقع از میان ۱۱۸ عنصر جدول تناوبی، ۸۲ عنصر اول جدول (عددهای

اتمی‌شان ۱ الی ۸۲ است) دارای هسته‌های پایدار بوده ولی بقیه اتم‌ها که عدد اتمی‌شان بزرگ‌تر از ۸۲ است دارای هسته‌های ناپایدارند. به عبارت دیگر اتم‌های سنگینی که تعداد پروتون‌هایشان بیش‌تر از ۸۲ عدد باشد، هسته‌های ناپایداری داشته و پرتوزا هستند و با گذشت زمان به‌طور خودبه‌خود دچار واپاشی می‌شوند. برای مثال هسته‌ی اتم‌هایی مثل اورانیوم، پلوتونیم و رادیوم به ترتیب دارای ۹۲ ، ۹۴ و ۸۸ پروتون هستند و به همین خاطر هسته‌های خیلی بزرگ، سنگین و ناپایداری دارند و مانند ساختمان بیش از حد بزرگی که دیواره‌های مقاومی نداشته باشد؛ فرو می‌پاشند. هسته‌ی این گونه اتم‌ها رادیواکتیو یا پرتوزا هستند و برای این‌که به پایداری برسند از خود تعدادی ذره به بیرون ساطع می‌کنند.

واپاشی آلفا

واپاشی آلفا یکی از مهم‌ترین واپاشی‌های هسته‌ای است که در اتم‌های ناپایدار پرتوزا رخ می‌دهد. برای مثال هسته‌ی اتم رادیم به هنگام فروپاشی، یک بسته شامل دو پروتون و دو نوترون را که به ذره‌ی آلفا یا پرتو آلفا مشهور است از خود می‌راند. حال از آنجاکه هسته‌ی باقی مانده در حال حاضر ۲ پروتون کم‌تر دارد، دیگر هسته‌ی رادیم نیست، بلکه به هسته‌ی اتم دیگری، یعنی هسته‌ی رادون با عدد اتمی ۸۶ تبدیل می‌شود. البته در هنگام فروپاشی اتم رادیوم غیر از ذره‌ی آلفا مقداری انرژی نیز به شکل پرتو گاما آزاد می‌شود. این به آن دلیل است که در هنگام جدا شدن ذره‌ی آلفا (دو پروتون و دو نوترون) از هسته‌ی رادیم مقداری از چسب قوی هسته‌ای که این ذره‌ی آلفا را به پروتون‌ها و نوترون‌های دیگر داخل هسته متصل کرده بود از بین می‌رود و به صورت انرژی (پرتو گاما) از هسته خارج می‌شود. رادون تولید شده در این واپاشی، یکی از سنگین‌ترین گازهای پرتوزای بی‌رنگ و بی‌بو است و برای سلامتی موجودات زنده بخصوص انسان خطرناک است. این عنصر می‌تواند از طریق هوا وارد ریه

انسان‌ها شود و مثل رادیوم شروع به واپاشی ذره الفا نماید. ذره‌ی آلفای انتشار یافته توسط رادون در ریه، دارای انرژی است که این انرژی باعث حرکت ذره در بافت‌های ریه می‌شود و در دراز مدت می‌تواند باعث سرطانی شدن این‌گونه بافت‌ها شود. چنان‌که امروزه بر اساس تحقیقات بین‌المللی، رادون بعد از سیگار به عنوان مهم‌ترین عامل سرطان ریه شناخته می‌شود.



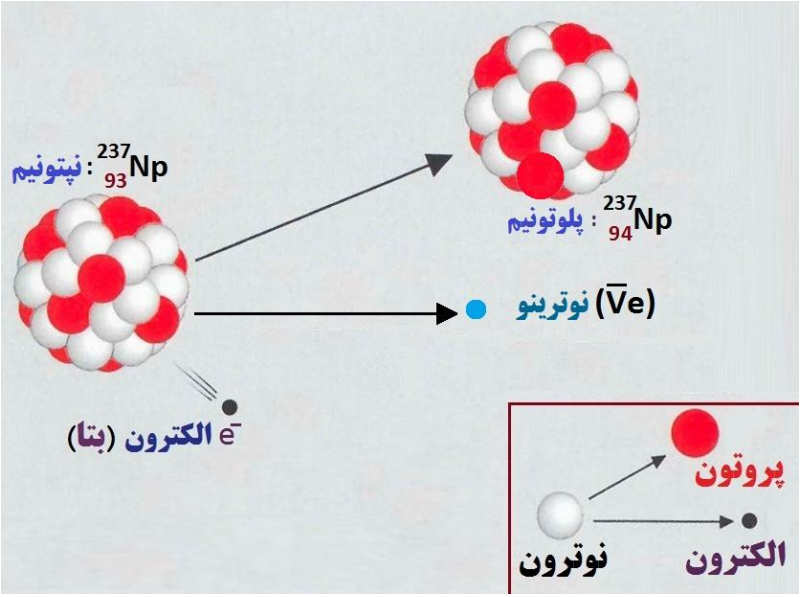
رادیوم بعد از فروپاشی

واپاشی بتا

واپاشی بتا یکی دیگر از انواع واپاشی‌های هسته‌ای است که در آن هسته‌های سنگین و رادیواکتیو برخی از اتم‌ها از خود یک الکترون یا ذره بتا ساطع می‌کنند. شاید بپرسید یک هسته که دارای پروتون و نوترون است چگونه می‌تواند از خود الکترون ساطع کند؟!

برای پاسخ به این سؤال باید گفت که درون هسته‌ی اتم‌ها غیر از نیروی قوی هسته‌ای، نیروی سست دیگری نیز وجود دارد که به آن نیروی هسته‌ای ضعیف می‌گویند. کار این نیرو، نابود کردن نوترون و تبدیل آن به پروتون است. اتفاقی که در واپاشی بتا رخ می‌دهد این است که یکی از نوترون‌های داخل هسته در اثر نیروی هسته‌ای ضعیف، نابود شده و به یک پروتون، یک الکترون و

یک پادنوترینو (در بخش‌های آینده توضیح داده می‌شود) تبدیل می‌شود. پروتون درون هسته می‌ماند ولی الکترون و پادنوترینو از آن فرار می‌کنند. اکنون هسته‌ی جدید یک پروتون بیش‌تر از قبل دارد و عدد اتمی آن یک واحد بیش‌تر از قبل شده است. بنابراین در این‌جا نیز عنصر قبلی به عنصری جدید تبدیل می‌شود. برای مثال نپتونیوم (عدد اتمی)۹۳ در هنگام واپاشی بتا یک الکترون و یک پادنوترینو از هسته‌ی خود آزاد می‌کند . حال از آنجاکه یکی از نوترون‌های نپتونیوم تبدیل به پروتون شده است، بنابراین عدد اتمی آن یک واحد افزایش می‌یابد و در نتیجه به عنصر جدیدی با نام پلوتونیوم با عدد اتمی ۹۴ تبدیل می‌شود. پلوتونیوم نیز ناپایدار است و دوباره به یکی از دو روش (بتا یا آلفا) فرو می‌پاشد و به عنصری دیگر تبدیل می‌گردد و این کار تا زمانی ادامه می‌یابد که در نهایت عنصری پایدار پدید آید.



فرآیند واپاشی بتا

فراوانی اتم‌ها

تقریبا تمام ماده‌ی معمولی جهان از سیاره‌ی زمین و موجودات آن گرفته تا ستارگان و کهکشان‌های دور دست از ۹۸ نوع اتم (تعداد عناصر شناخته شده ۱۱۸ تا است اما فقط ۹۸ نوع آن‌ها به صورت طبیعی در طبیعت یافت می‌شوند) ساخته شده است. فراوان‌ترین اتم موجود در کائنات هیدروژن است که ۷۴ درصد از کل ماده را شامل می‌شود. بعد از هیدروژن، دومین عنصری که بیش‌ترین فراوانی را دارد هلیوم است و ۲۴ درصد ماده‌ی مرئی را شکل می‌دهد. عناصر دیگر نسبتا نادرند و ۲ درصد باقی مانده را به خود اختصاص داده‌اند. البته این فراوانی در همه جای کیهان این‌گونه نیست. برای مثال اکثر اتم‌هایی که باعث شکل‌گیری سیاره زمین و حیات بر روی آن شده‌اند از نوع همین عناصر کمیاب (۲ درصدی) هستند.

درصد فراوانی عنصرهای سازنده‌ی زمین به قرار زیر است:

آهن: ۳۲ درصد، اکسیژن: ۳۰درصد، سیلیسیم: ۱۵ درصد، منیزیم: ۱۳ درصد، گوگردد: ۳ درصد، نیکل: ۱,۸ درصد، کلسیم: ۱,۵ درصد و آلومینیم ۱,۴ درصد

گفتنی است عناصری هم در زمین وجود دارند که بسیار کمیاب بوده و شاید هرگز نامشان را نشنیده باشید و بعید است که آن‌ها را ببینید: مثل روتنیوم، هولمیوم و رودیوم، آستاتین (برآورد می‌شود که کم‌تر از ۳۰ گرم آستاتین در پوسته‌ی زمین وجود دارد) و فرانسیوم (در هر لحظه حداکثر ۲۰ اتم آن دور و بر ما وجود دارد).

اندازه و تعداد اتم‌ها

چنان‌که گفته شد تمام مواد معمولی از اتم‌ها ساخته شده‌اند. طبق محسابات دانشمندان در آزمایشگاه ملی فیزیک ذرات در ایلینوی، این مواد مختلف در جهان قابل مشاهده‌ی ما که تنها بخش بسیار کوچکی از کل جهان را شمال می‌شود

تقریبا از ۱۰ به توان ۸۲ اتم مختلف ساخته شده است. اما ماده‌ی معمولی تنها چیز موجود در جهان نیست به همین خاطر نمی‌توان گفت تمام محتویات جهان از اتم‌ها ساخته شده‌اند. طبق مدل استاندارد کیهان‌شناسی ماده‌ی معمولی که ما می‌شناسیم تنها ۴٫۶ درصد از کل جهان را شامل می‌شود. چنان‌که ۹۵,۴ درصد بقیه جهان از دو پدیده‌ی ناشناخته و شگفت‌آور به نام‌های انرژی تاریک و ماده‌ی تاریک ساخته شده‌اند و ما تقریبا هیچ چیز از آن‌ها نمی‌دانیم. بنابراین منظور از اتم در این کتاب و هر جای دیگر، به آن نوع از ماده اشاره دارد که شناخته شده است و ۴٫۶ درصد از جهان را پر کرده است.

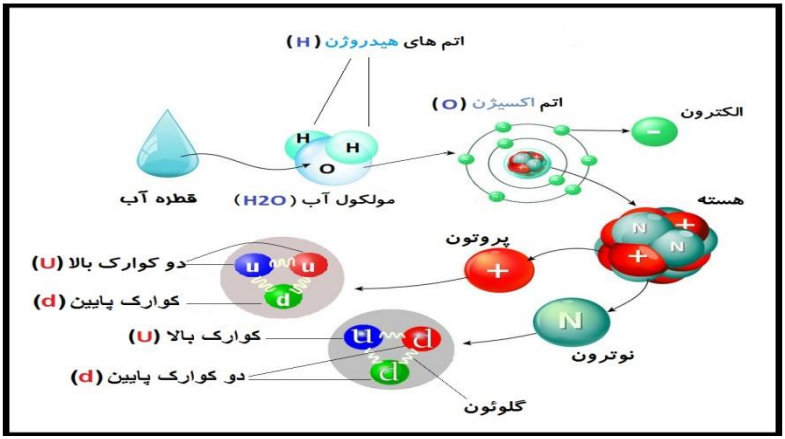
اگر می‌خواهید تصوری از میزان کوچکی یک اتم داشته باشید:

- به نقطه‌ی آخر این جمله نگاه کنید. جوهر به کار رفته در آن دربردارنده‌ی حدود ۱۰۰ میلیارد اتم کربن است. یعنی برای دیدن هر یک از آن‌ها با چشم غیرمسلح باید نقطه را به اندازه‌ای بزرگ کنید که قطرش به ۱۰۰ متر برسد.
- در هر نفسی که فرو می‌دهید ۵ میلیون میلیارد میلیارد (۵ با ۲۴ صفر جلوی آن) اتم اکسیژن فرو می‌دهید و در هنگام بازدم، همین تعداد اتم اکسیژن در حالی که به دام کربن افتاده‌اند و مولکول‌های دی اکسید کربن را ساخته‌اند خارج می‌شوند.
- انسانی با وزن ۷۰ کیلوگرم شامل ۷ میلیارد میلیارد میلیارد(۷ با ۲۷ صفر جلوی آن) اتم مختلف است.

ابعاد اجزای داخلی اتم

اندازه‌ی واقعی قطر یک اتم معمولی 10^{-10} متر و قطر هسته‌ی آن 10^{-14} متر است و این یعنی اندازه‌ی یک اتم ده هزار بار بزرگ‌تر از اندازه‌ی هسته‌ی خود است. چنان‌که دیدید برای دیدن اتم‌های کربن موجود در یک نقطه، باید قطر نقطه را تا ۱۰۰ متر بزرگ می‌کردیم. در حالی‌که برای دیدن هسته‌ی هر کدام از این اتم‌ها باید قطر نقطه را به اندازه‌ی سیاره زمین بزرگ کنیم. داخل هسته ذراتی به نام نوترون‌ها و پروتون‌ها جای گرفته‌اند. اندازه‌ی هر پروتون و نوترون ۱۰ بار کوچک‌تر از هسته است و به عبارتی دیگر قطر واقعی هر کدام از آن‌ها 10^{-15} متر است. هر پروتون و نوترون نیز از ۳ ذره ریز و بنیادی‌تر به نام کوارک ساخته شده‌اند. این سه عدد کوارک به وسیله‌ی ذراتی به نام گلوئون (نیروی قوی هسته‌ای) به سختی به هم متصل هستند. کوارک‌ها ۱۰۰۰ بار از پروتون‌ها و نوترون‌ها کوچک‌ترند و قطر هر یک 10^{-18} متر است. برای آن‌که کوارک‌های درون یک نقطه‌ی جوهر را ببینیم باید نه تنها قطر نقطه را به ماه برسانیم بلکه باید این کار را ۲۰ بار دیگر نیز تکرار کنیم. به نظر می‌رسد دیگر نمی‌توان کوارک‌ها را به اجزای کوچک‌تری تقسیم کرد. به بیان دیگر کوارک یک ذره‌ی بنیادی به حساب می‌آید و از ذرات ریزتری تشکیل نشده است. البته گفتنی است که الکترون‌های اطراف هسته نیز به اندازه‌ی کوارک‌ها ریزند و آن‌ها نیز مثل کوارک‌ها تقسیم‌ناپذیر هستند. امروزه فیزیک‌دانان ذرات کوارک‌ها و الکترون‌ها را به عنوان بنیادی‌ترین اجزاء سازنده‌ی ماده و الفبای طبیعت به حساب می‌آورند. این در حالیست که طبق نظریه ریسمان اگر بتوان الکترون یا کوارک را یک میلیارد میلیارد بار درشت‌تر کرد، به اجزایی دست خواهیم یافت که همچون ریسمان هستند و در ابرفضای ۱۱ بعدی نوسان می‌کنند. گفتنی است که این نظریه تنها یک فرضیه ریاضی بر روی کاغذ است و تا به امروز آزمایشی برای اثبات درستی آن انجام نگرفته است. به هر حال ممکن است فیزیک‌دانان در آینده با طراحی و ساخت شتاب‌دهنده‌های بسیار قدرتمندتر از نمونه‌های

امروزی، الکترون‌ها و کوارک‌ها را نیز بشکنند و وجود ریسمان‌های بنیادی سازنده‌ی جهان را اثبات نمایند.



با دقت در مقیاس‌های بالا، متوجه می‌شویم که قطر یک اتم به اندازه ۱۰۰۰۰ هزار بار از قطر هسته بزرگ‌تر است. و همچنین خود هسته نیز با این‌که کوچک است اما ۱۰ برابر از یک پروتون یا نوترون بزرگ‌تر می‌باشد و در نهایت این پروتون‌ها و نوترون‌ها نیز به نوبه ی خود ۱۰۰۰ برابر بزرگ‌تر از کوارک‌ها هستند. در واقع اگر یک اتم را به اندازه‌ی زمینی دایره‌ای شکل به مساحت ۳۱ هزار هکتار در نظر بگیریم آنگاه هسته‌ی مرکزی آن به اندازه‌ی یک فرش گرد یک متری (شعاع یک متر)خواهد بود. و هر پروتون و نوترون داخل هسته به اندازه‌ی یک پرتقال ۱۰ سانتی‌متری است و در نهایت هر کوارکی که درون پروتون یا نوترون جای گرفته است هم اندازه با تخمک یک زن با قطر ۰/۱ میلی‌متر خواهد بود.

شتاب‌دهنده‌های ذرات

برای دیدن ساختار درونی هسته‌ی اتم، میکروسکوپ کارساز نیست و به دستگاه‌های خاصی به نام شتاب‌دهنده‌ی ذرات نیاز است. فیزیک‌دانان با این دستگاه‌ها به کمک میدان‌های قوی الکتریکی و مغناطیسی به ذرات بارداری مثل هسته‌ی اتم‌ها، پروتون‌ها و یا الکترون‌ها تا نزدیکی سرعت نورشتاب می‌دهند و سپس آن‌ها را به سمت یک هدف مادی و یا به طور شاخ به شاخ به یکدیگر می‌کوبند. شاید فکر کنید که در این صورت این ذرات مثل شیشه‌هایی می‌شکنند و به ذرات ریزتری که از آن ساخته شده‌اند تقسیم می‌شوند. اما این‌گونه نیست. طبق اصل هم ارزی ماده و انرژی، وقتی ذرات مادی مثل پروتون‌ها با سرعت بسیار بالایی با یکدیگر برخورد می‌کنند تمام جرم آن‌ها به انرژی خالص و بسیار

داغ تبدیل می‌شود. سپس این انرژی سرد می‌شود و دوباره به شکل انواع ذرات مادی دیگر منجمد می‌شود. بنابراین ذراتی که بوجود می‌آیند لزوما اجزای سازنده‌ی آن دو پروتون قبلی نیستند چنان‌که ممکن است در این بین ذراتی به وجود آیند که اصلا در ساختار پروتون وجود ندارند و شاید هم بزرگ‌تر از خود پروتون باشند. بنابراین در اثر برخورد دو پروتون، ممکن است ذرات بنیادی یا ترکیبی گوناگونی از کوارک‌ها گرفته تا الکترون‌ها، نوترون‌ها، پروتون‌ها و حتی خود اتم‌ها شکل بگیرند و سپس توسط آشکارسازهای موجود در مسیر برخورد شناسایی شوند.

دانشمندان نه تنها با اینکار ساختار ژرف ماده را مطالعه می‌کنند بلکه اطلاعات بسیار مفیدی از شرایط آغازین مهبانگ نیز بدست می‌آورند. مهبانگ پدیده ای است که ۱۳,۷ میلیارد سال پیش رخ داد و در اثر آن مقدار بسیار عظیمی انرژی از هیچ زاده شد. جهان نوپای ما در نخستین ثانیه‌های مهبانگ به شکل یک سوپ بسیار داغ و چگال از جنس انرژی خالص بود که دمایش با انبساط فضا رفته رفته کاهش یافت و به شکل ذرات مادی لخته شد. بعضی از این ذرات بسیار ناپایدار بودند و در مدت کوتاهی بعد از بوجود آمدن از بین رفتند و دوباره به انرژی تبدیل شدند اما بعضی ذرات دیگر مثل کوارک‌های بالا و پایین و الکترون‌ها باقی ماندند و اتم‌هایی که امروزه می بینیم را ایجاد کردند. کاری که دانشمندان امروزه با کمک شتاب‌دهنده‌ها می‌کنند این است که شرایط آغازین بیگ بنگ را در حجم بسیار کوچکی از انرژی در داخل شتاب‌دهنده‌ها شبیه‌سازی می‌کنند و با این‌کار چگونگی خلق ذرات ماده از انرژی را بررسی کرده و انواع ذرات عادی و غیرعادی را شناسایی می‌کنند. تا به حال ۱۰۰ ها نوع ذره‌ی مختلف در این آشکارسازها بوجود آمده و توسط دانشمندان مشاهده شده است. چنان‌که که اکثرشان مربوط به زمان مهبانگ هستند و در ساختار ماده‌ی امروزی شرکت ندارند.

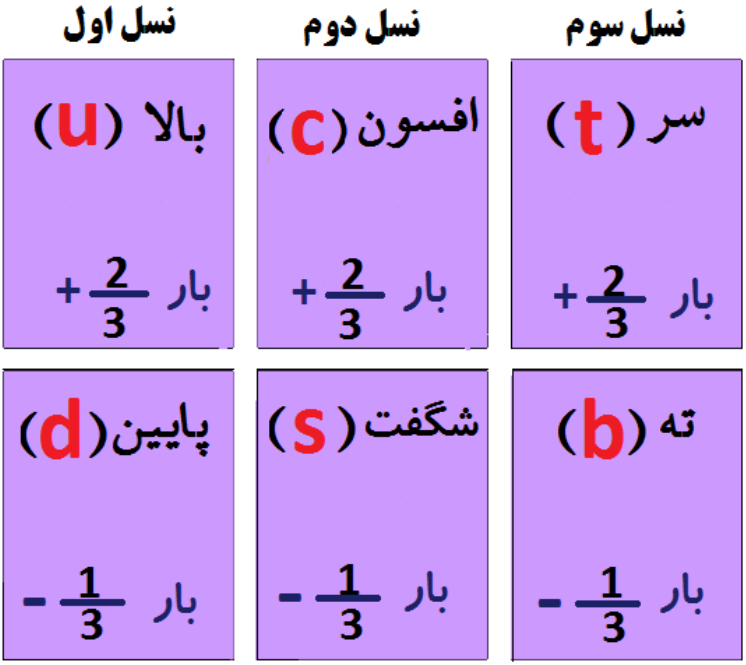
مدل استاندارد ذرات بنیادی

در فیزیک ذرات، مدلی به نام مدل استاندارد ذرات بنیادی وجود دارد که بیش از ۵۰ سال است به واسطه‌ی همکاری بین فیزیک‌دانان تجربی و فیزیک‌دانان نظری برای مطالعه‌ی جهان زیراتمی بوجود آمده است. این نظریه به حدی قدرتمند و دقیق است که ما امروزه با کمک آن می‌توانیم اجزای بنیادین مواد را بشناسیم و نیروهایی که بینشان در تبادل‌اند را به خوبی توضیح دهیم. مدل استاندارد بر اساس دو اصل اساسی بنا شده است:

- اصل اول: تمام مواد از ذرات بنیادی تشکیل شده‌اند.
- اصل دوم : تمام این ذرات از طریق تبادل ذرات دیگر با یکدیگر در برهمکنش‌اند.

فرمیون‌ها

بر مبنای اصل اول، تمام ماده‌ی معمولی که در اطراف خود می‌بینیم از ۱۲ ذره‌ی بنیادی شامل ۶ نوع کوارک و ۶ نوع لپتون تشکیل شده‌اند و به صورت کلی فرمیون نامیده می‌شوند. این شش نوع کوارک با نام‌های بالا، پایین، افسون، شگفت، سر و ته شناخته می‌شوند. نسل اول کوارک‌ها (کوارک‌های بالا و کوارک‌های پایین) سازنده‌ی نوترون و پروتون داخل هسته‌ی اتم‌اند و در تمام مواد معمولی جهان شرکت دارند. اما نسل دوم و سوم (افسون و شگفت، ته و سر) ذرات فوق‌العاده ناپایدار و بی‌ثباتی هستند که فقط در آزمایشات فیزیک‌دان‌ها در تجهیزات برخورد دهنده‌ی بزرگ هادرونی یافت می‌شوند و در کسری از ثانیه بعد از بوجود آمدن از بین می‌روند و کسی هم نمی‌داند که چرا در ساختار مواد معمولی (اتم‌ها) شرکت ندارند.



لپتون‌ها نیز شامل ۶ نوع ذره‌اند. سه تا از لپتون‌ها به نام‌های الکترون، میون و تاؤُ دارای بار الکتریکی منفی‌اند اما سه نوع دیگر خنثی بوده و بسیار سبک‌اند و به نام‌های نوترینوی الکترون، نوترینوی میون و نوترینوی تاؤُ شناخته می‌شوند. از میان لپتون‌ها تنها الکترون در ساختمان اتم شرکت دارد چنان‌که میون و تائو گونه‌های سنگین‌تری هستند که ناپایدار بوده و نقش آشکاری در ساختار ماده ندارند و دانشمندان هنوز نمی‌دانند که چرا طبیعت از آن‌ها استفاده نمی‌کند. از طرفی دیگر سه گونه‌ی نوترینوها، ذرات بسیار گریز پا و بسیار کم جرمی هستند که نه تنها در اتم‌ها یافت نمی‌شوند بلکه با مواد دیگر نیز به سختی برهمکنش می‌کنند و به همین خاطر گیرانداختن و شناسایی آن‌ها بسیار سخت است. برای مثال در هر ثانیه ۷۰ هزار میلیارد نوترینوی الکترون به خاطر شعله‌ور بودن

خورشید به سوی هر سانتی مربع از سطح زمین گسیل می‌شود. این در حالی است که از تمام این نوترینوها که به زمین می‌رسند، تنها تعداد کمی به تعداد انگشتان یک دست با اتم‌های زمین بر همکنش می‌کنند و مابقی از میان زمین بدون حتی لحظه‌ای درنگ برای سلام کردن عبور می‌نمایند.

بوزون‌ها

بر مبنای اصل دوم، ذرات ماده (فرمیون‌ها) از طریق رد و بدل کردن ذرات بنیادی دیگری به نام بوزون‌ها با یکدیگر تعامل و ارتباط برقرار می‌کنند. به عبارت دیگر این بوزون‌ها حاملان نیروی بین ذرات بوده و در واقع منشاء ایجاد ۴ نیروی بنیادی (گرانش، الکترومغناطیس، هسته‌ای قوی و هسته‌ای ضعیف) در طبیعت‌اند. بوزون‌ها بر اساس نوع نیرویی که حمل می‌کنند به ۵ نوع ذره دسته‌بندی می‌شوند. البته ششمین بوزون نیز مسئول جرم بخشیدن به تمام ذرات است و هیگز نام دارد.

گلوئون g: حامل نیروی هسته‌ای قوی
Z و ±W: انتقال دهنده‌ی نیروی هسته‌ای ضعیف
فوتون γ: حامل نیروی الکترومغناطیس
گراویتون G: حامل نیروی گرانش (هنوز در شتابدهنده‌ها کشف نشده است)
بوزون هیگز H: مسئول جرم بخشیدن به ذرات

پاد ذره‌ها

هر ذره‌ی مادی همتایی دارد که به آن پادذره می‌گویند. یک پاد ذره دقیقا تصویر آیینه‌ای خود ذره است و جرم، اسپین، اندازه و مقدار بار الکتریکی مشابهی با ذره دارد و تنها علامت بار الکتریکی آن مخالف ذره است. وقتی یک ذره با پاد ذره‌ی خود روبه‌رو می‌شود هر دو نابود می‌شوند و تنها معادل آن به صورت انرژی (تابش گاما یا فوتون) باقی می‌ماند. این اتفاق ممکن است برای هر یک از شش کوارک و شش لپتون در برخورد با پاد ذرات خود رخ دهد و طبق معادله $E=mc^2$ معادل جرمشان انرژی تولید گردد. برای مثال الکترون، پادذره‌ای دارد که دارای بار مثبت بوده و پوزیترون (e^+) نامیده می‌شود. نباید پوزیترون را با پروتون اشتباه بگیرید. پروتون تقریبا دو هزار بار از پوزیترون سنگین‌تر است و پادگونه‌اش پادپروتون است که بار منفی دارد. پادذره‌ی کوارک پایین (d) پادکوارک پایین ($\bar{d}$) نام دارد و از آنجا که بار کوارک پایین ۱/۳− است پس بار الکتریکی پادکوارک پایین ۱/۳+ است. همان‌طور که دو الکترون با دو پروتون و دو نوترون اتم هلیوم را می‌سازند، دو پوزیترون، دو پادپروتون و دو پاد نوترون اتم پاد هلیوم را می‌سازند.

در دنیای واقعی ما تقریبا هیچ پادماده‌ای وجود ندارد و فیزیک‌دانان تنها به کمک شتابدهنده‌ها قادر به تولید پاد ماده و شناسایی آن هستند. دانشمندان وقتی دو ذره مثل پروتون را به هم می‌کوبند جرم آن‌ها کاملا به انرژی تبدیل می‌شود

و سپس این انرژی فورا به شکل ذراتی همراه با پاد ذراتشان در می‌آید. برای مثال اگر از این انرژی دو الکترون ظاهر شود مطمئنا در کنار هر کدام از آن‌ها یک پوزیترون ظاهر خواهد شد. یا این‌که مثلا اگر یک میون نوترینو بوجود آید حتما یک پاد میون نوترینو نیز در کنارش به وجود می‌آید.

بیش‌تر دانشمندان معتقدند که وقتی انرژی بوجود آمده از مهبانگ سرد گردید، ذرات ماده و پادماده به تعداد تقریبا مساوی پدید آمدند. اما خوشبختانه تعداد آن‌ها کاملا هم مساوی نبود زیرا در این صورت این ذرات دوباره به هم برخورد کرده و همدیگر را نابود می‌کردند و آنوقت مایی وجود نداشتیم. امروزه دانشمندان از نتایجی که در آزمایشات ذرات کسب کرده‌اند به این نتیجه رسیده‌اند که در نخستین لحظات مهبانگ به ازای هر یک میلیارد ذره‌ی پاد ماده، یک میلیارد و یک عدد ذره‌ی ماده پدید آمده است. این ذرات با همدیگر برخورد کرده و دوباره به انرژی تبدیل شده‌اند ولی از آنجا که نسبت ماده به پادماده اندکی بیش‌تر بود؛ جهان امروزی ما حاصل باقی مانده‌های همان ذرات ماده‌ای است که جان سالم به در برده‌اند.

البته برخی نیز معتقدند که در هنگام مهبانگ ذرات ماده و پاد ماده بدون این‌که با هم برخود کنند از هم دور شده‌اند و اکنون هر کدام در جای جای جهان به ستاره و کهکشانی تبدیل گشته‌اند. این به این معنیست که شاید در فاصله‌ی بسیار دوری از سیاره زمین و کهکشان راه شیری ما، پاد کهکشان راه شیری و پاد زمین و حتی پاد انسان‌هایی دقیقا کپی خود ما وجود داشته باشند که ما از وجودشان بی‌خبریم.

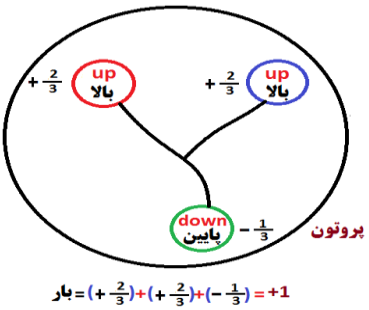
کوارک	u: بالا	d: پایین	c: افسون	s: شگفت	t: سر	b: ته
پاد کوارک	$\bar{u}$: پادبالا	$\bar{d}$: پادپایین	$\bar{c}$: پادافسون	$\bar{s}$: پادشگفت	$\bar{t}$: پادسر	$\bar{b}$: پادته
بار کوارک	u: $+\frac{2}{3}$	d: $-\frac{1}{3}$	c: $+\frac{2}{3}$	s: $-\frac{1}{3}$	t: $+\frac{2}{3}$	b: $-\frac{1}{3}$
بار پادکوارک	$\bar{u}$: $-\frac{2}{3}$	$\bar{d}$: $+\frac{1}{3}$	$\bar{c}$: $-\frac{2}{3}$	$\bar{s}$: $+\frac{1}{3}$	$\bar{t}$: $-\frac{2}{3}$	$\bar{b}$: $+\frac{1}{3}$

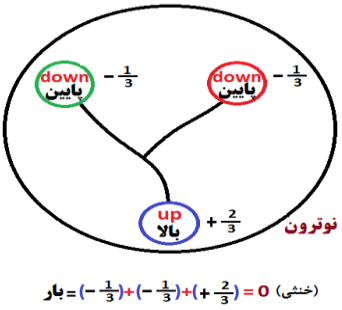
هادرون‌ها

هادرون‌ها (گرفته شده از زبان یونانی به معنای محکم) ذراتی هستند که از ترکیب کوارک‌ها ساخته می‌شوند و به دو زیرمجموعه‌ی باریون‌ها و مزون‌ها دسته‌بندی می‌گردند.

باریون‌ها

وقتی سه کوارک به وسیله‌ی ریسمان گلوئونی (چسب یا نیروی قوی هسته‌ای) به همدیگر متصل می‌شوند؛ یک باریون ایجاد می‌کنند. از معروف‌ترین باریون‌ها می‌توان به پروتون و نوترون موجود در هسته‌ی اتم‌ها اشاره کرد. در پروتون دو عدد کوارک بالا (up) هر کدام با بار الکتریکی ۲/۳+ و یک عدد کوارک پایین (down) با بار ۱/۳− به وسیله‌ی ریسمان‌هایی به هم متصل شده اند. اگر بار این سه کوارک را با هم جمع کنید بار ۱+ پروتون بدست می‌آید. اما در نوترون دو عدد کوارک پایین (down) هرکدام با بار ۱/۳− و یک عدد کوارک بالا (up) با بار الکتریکی ۲/۳+ به هم متصل شده‌اند و در مجموع دارای بار صفر هستند. به همین خاطر نوترون‌ها ذراتی خنثی هستند.

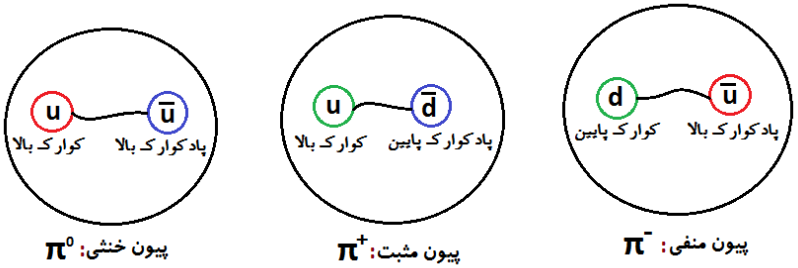




مزون‌ها

وقتی یک کوارک و یک پاد کوارک توسط ریسمان گلوئونی (نیروی هسته‌ای قوی) در کنار همدیگر قرار می‌گیرند مزون را می‌سازند. مزون‌ها هر چند در طبیعت یافت نمی‌شوند اما بعضا هنگام آزمایش در داخل شتاب‌دهنده‌های ذرات برای مدت کوتاهی بوجود می‌آیند و سپس از بین می‌روند. از مهم‌ترین مزون‌ها می‌توان به پیون‌ها (π) و کائون‌ها (K) اشاره کرد.

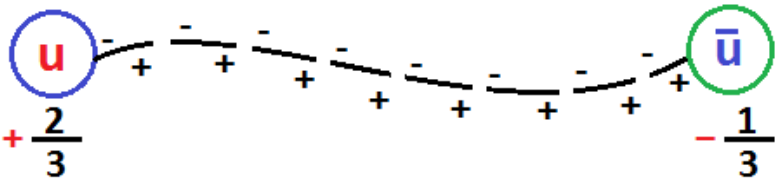
پیون: پیون‌ها طول عمری بسیار کوتاه بین 10^{-16} تا 10^{-18} دارند و بر اساس نوع بار در سه نوع پیون مثبت (π^+)، پیون منفی (π^-) و پیون خنثی (π^0)دسته‌بندی می‌شوند. پیون مثبت از یک کوارک بالا و یک پاد کوارک پایین، پیون منفی از یک کوارک پایین و یک پادکوارک بالا و پیون خنثی از یک کوارک بالا و یک پادکوارک بالا یا یک کوارک پایین و یکی پادکوارک پایین ساخته شده است.



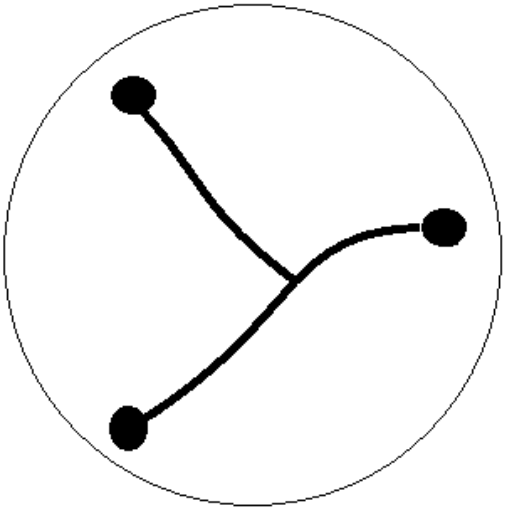
ریسمان‌های QCD

وظیفه‌ی نیروی هسته‌ای قوی نه تنها کنار هم نگه داشتن پروتون‌ها و نوترون‌های داخل هسته اتم است؛ بلکه سه کوارک را در باریون‌ها (پروتون و

نوترون) و یک کوارک و یک پادکوارک را در مزون‌ها (پیون و کائون) کنار هم نگه می‌دارد. در واقع ذرات حامل این نیرو همان گلوئون‌هایی هستند که مثل دانه‌های زنجیر با ترکیب هم به مانند ریسمانی عمل می‌کنند و کوارک‌ها را در مزون‌ها و باریون‌ها به هم می‌چسبانند. هر کدام از گلوئون‌ها مثل یک آهنربای میله‌ای کوچک دارای دو انتهای منفی و مثبت هستند و در ساختن ریسمان‌ها طوری به هم‌دیگر متصل می‌شوند که همیشه انتهای منفی یکی از آن‌ها به انتهای مثبت دیگری وصل شود. همچنین وقتی یک گلوئون در انتهای ریسمان می‌خواهد به کوارک وصل شود لازم است انتهای گلوئون با بار کوارک ناهمنام باشد.



به این ریسمان‌ها که از گلوئون‌ها ساخته شده‌اند، ریسمان‌های QCD گفته می‌شود. ریسمان‌های QCD به قدری قوی هستند که شما می‌توانید یک کامیون بزرگ را به انتهای آن بسته و آن را بلند کنید با این حال یک ویژگی بسیار مهم دارند و آن خاصیت کشسان بودن آن‌هاست. در واقع این ریسمان‌ها با وارد شدن انرژی اضافی مثل یک فنر ارتعاش می‌کنند و به شکل‌های مختلف خم می‌شوند و طولشان نیز ممکن است کم و زیاد شود. برای مثال یک پروتون از سه کوارک تشکیل شده است که هر کدام به یک ریسمان وصل‌اند. این سه عدد ریسمان مثل قداره‌ی گاوچران در وسط به هم می‌رسند و باعث اتصال سه کوارک به همدیگر می‌گردند.



اگر به این پروتون مقداری انرژی اضافه کنیم آنگاه کوارک‌ها شروع به لرزش و ارتعاش کرده و این طرف و آن طرف می‌روند و سعی می‌کنند خود را از بقیه جدا کنند واز پروتون فرار نمایند. اما هیچ گاه این اتفاق نمی‌افتد زیرا فیزیک‌دانان تا به حال یک تک کوارک آزاد را مشاهده نکرده‌اند. به جای فرار کردن کوارک‌ها، اتفاقی که می‌افتد این است که گلوئون‌های سازنده‌ی ریسمان‌ها شروع به تکثیر شدن می‌کنند و گلوئون‌های بیش‌تری به وجود می‌آورند تا با این‌کار طول ریسمان‌ها افزایش یابد. به این ترتیب ریسمان‌ها برای مهار انرژی جنبشی کوارک‌ها به جای پاره شدن مثل یک نوار لاستیکی کشیده‌تر می‌شوند و طولشان افزایش می‌یابد. تا این‌که بعد از مدتی به تدریج انرژی جنبشی کوارک‌ها پایین می‌آید و در نتیجه این ذرات از حرکت باز می‌ایستند و دوباره در کنار دوستان خود آرام می‌گیرند. به این ترتیب طول ریسمان دوباره کوتاه تر می‌شود و به اندازه‌ی قبلی خود باز می‌گردد. در واقع اتفاقی که در مرحله‌ی اول رخ داد این

بود که ابتدا طبق معادله‌ی $E=mc^2$ انرژی اضافه شده به پروتون به جرم تبدیل شد و به شکل گلوئون‌ها نمود یافت و طول ریسمان افزایش پیدا کرد. سپس گلوئون‌ها دوباره از بین رفتند و جرمشان به انرژی تبدیل شد و طول ریسمان کاهش پیدا کرد.

ما برای این‌که بفهمیم یک جسم از چه اجزایی ساخته شده است سه راه داریم:

الف) با میکروسکوپ نوری به آن نگاه کنیم:

برای این‌که یک جسم ریز را ببینیم با میکروسکوپ نوری به آن نگاه می‌کنیم. در این حالت، نور به نمونه‌ی قرار گرفته در زیر میکروسکوپ برخورد می‌کند و سپس بازتاب خورده و از داخل میکروسکوپ به چشمان ما می‌رسد و مغز ما آن اطلاعات را پردازش می‌نماید. ما با این روش بسیاری از سلول‌ها و اجزای داخلی آن‌ها را تشخیص می‌دهیم اما در مشاهده‌ی اجسام خیلی ریز مثل اتم‌ها و اجزای آن حتی با قوی‌ترین میکروسکوپ‌های نوری نیز به مشکل بر می‌خوریم. دلیل این امر ضعیف بودن میکروسکوپ نوری نیست بلکه مربوط به ماهیت امواج نور مرئی است. وقتی با یک میکروسکوپ نوری به یک جسم نگاه می‌کنیم ابتدا امواج نوری به آن جسم برخورد کرده و مثل یک دست آن را لمس می‌کنند. سپس این امواج از سطح آن جسم بازتاب خورده و از طریق عدسی شیئی و چشمی میکروسکوپ اطلاعات فیزیکی جسم را به چشمان ما می‌رسانند. اندازه‌ی طول موج نور هر چقدر کوچک‌تر باشد می‌تواند اجسام ریزتری را با دقت لمس کند حال از آنجا که اندازه کوچک‌ترین طول موج نور مرئی ۴۰۰ نانومتر است بنابراین نور می‌تواند جسمی را به کوچکی ۴۰۰ نانومتر کاوش نماید. این درحالیست که اشیائی مثل اتم ۴۰۰۰ بار ریزتر از این اندازه‌اند بنابراین امواج نور در برخورد به آن‌ها چیزی حس نمی‌کنند. این به مانند آن است که غولی بخواهد

مورچه‌ای را با دستانش لمس کند طبیعتا او نمی‌تواند مورچه و جزئیات آن را تشخیص دهد. به همین خاطر ما کوچک‌ترین چیزی که با میکروسکوپ نوری می‌بینیم نمی‌تواند از ۴۰۰ نانومتر کوچک‌تر باشد(البته با روش‌هایی می‌توان این اندازه را به ۲۰۰ نانومتر کاهش داد) زیرا امواج ۴۰۰ نانومتری نور نمی‌توانند سطح آن جسم را به خوبی کاوش نمایند. به عبارت دیگر اگر نمونه کوچک‌تر از ۴۰۰ نانومتر باشد آنگاه امواج منعکس شده از سطح نمونه به ما اطلاعات مفیدی در مورد آن ارائه نمی‌دهند. به همین خاطر اتم‌ها که اندازه‌ای حدودا برابر یک دهم نانو متر دارند ۴۰۰۰ برابر کوچک‌تر از طول موج نور (۴۰۰ نانومتر) بوده و در نتیجه توسط میکروسکوپ‌های نوری تشخیص داده نمی‌شوند.

ب) با میکروسکوپ تونلی روبشی (STM) به آن نگاه کنیم: دیدید که برای دیدن یک جسم باید نوری بتابانیم که طول موجش هم اندازه یا کوتاه‌تر از ابعاد آن جسم باشد. پرتو ایکس نوری نامرئی است که طول موجی به مراتب کوچک‌تر از نور مرئی دارد و قادر است مولکول‌ها را (که از چند اتم ساخته شده اند) آشکار کند اما از آنجا که طول موج این اشعه از اندازه‌ی اتم‌های منفرد بزرگ‌تر است بنابراین هنوز هم اتم‌ها را نمی‌شود دید. به همین خاطر دانشمندان برای مشاهده‌ی اتم‌های یک جسم مجبورند از پرتوی استفاده کنند که طول موجش از این هم کوچک‌تر است. مثلا طول موج اشعه‌ی الکترونی یک دهم نانومتر است. این به این معنیست که امواج الکترونی در بهترین حالت می‌توانند اشیائی به کوچکی 10^{-10} نانو متر را کاوش کنند .به همین دلیل ایشان میکروسکوپ‌هایی ساخته‌اند که در آن‌ها به جای نور مرئی یا اشعه‌ی ایکس از پرتوهای الکترونی برای تابش بر سطح نمونه استفاده می‌کنند. به این صورت که ابتدا الکترون‌ها را به شکل پرتوهایی به سطح نمونه می‌تابانند. از آنجا که الکترون‌ها توسط چشم قادر به شناسایی نیستند بنابراین امواج الکترونی با برخورد به نمونه، سطح آن را آنالیز می‌کنند و سپس از سطح آن بازتاب خورده و به جای

چشم به سمت یک پردازش گر کامپیوتری روانه می‌شوند. این کامپیوتر وظیفه دارد که اطلاعات امواج الکترونی بازتابیده از سطح جسم را به صورت تصویر یا اطلاعاتی قابل فهم در آورد و در اختیار دانشمندان قرار دهد. امروزه این میکروسکوپ‌ها قادرند اجسامی در اندازه‌ی یک دهم نانومتر را به تصویر بکشند. بنابراین از آنجایی که اندازه‌ی یک اتم معمولی در حدود یک دهم نانومتر است بنابراین می‌توان با کمک این میکروسکوپ از اتم‌ها تصویربرداری کرد و همچنین نحوه آرایش آن‌ها را در یک ماده به تصویر کشید.

با برخورد دهنده‌ی بزگ هادرونی (LHC) واقع در مرکز سرن آن را بشکنیم

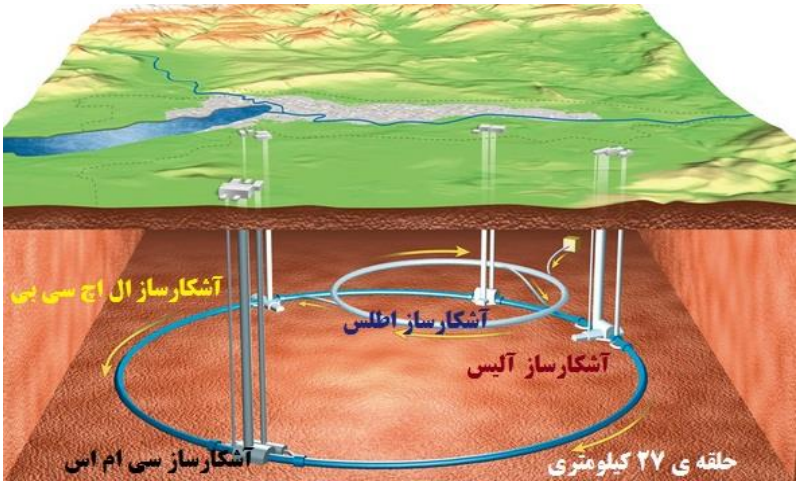
همانطور که می‌دانید اتم‌ها ساختارهای به مراتب ریزتری دارند که مشاهده‌شان حتی از عهده‌ی میکروسکوپ‌های الکترونی نیز خارج است. از طرفی دیگر این اجزا و اجزای داخل این اجزا به طرزی داخل اتم جای گرفته‌اند که بدون تجزیه اتم قادر به مشاهده‌ی اجزای داخلی‌اش نخواهیم بود. امروزه اتم شکن‌ها این کار را بر عهده دارند اما روش کارشان با چیزی که ما فکر می‌کنیم مقداری متفاوت است. در واقع واژه‌ی شکستن اتم آن‌طور که مردم از آن برداشت دارند واژه‌ی درستی نیست. یعنی این‌گونه نیست که شتاب‌دهنده‌ها یک اتم یا

پروتون را مثل یک تیله با کوبیدن به چیزی خرد کنند. بلکه شتاب‌دهنده‌ها برای خرد کردن ذرات آن‌ها را شتاب داده و با سرعت نور به همدیگر برخورد می‌دهند و بدین ترتیب طبق رابطه‌ی E=MC2 جرم ذرات مادی تماما به انرژی تبدیل می‌شود و این مقدار انرژی در نقطه ی کوچکی از فضا (محل برخورد) متمرکز می‌شود. سپس این انرژی سرد می‌شود و دوباره طبق معادله‌ی بالا کاملا به شکل ذرات مادی گوناگون در ویژگی‌ها و اندازه‌های مختلف عینیت می‌یابد. گفتنی است که دو پروتون بعد از برخورد با یکدیگر همیشه به اجزای ریزتر از خود تبدیل نمی‌شوند چراکه ممکن است انرژی حاصل از تصادم آن‌ها به شکل ذرات مختلفی از کوارک‌ها، لپتون‌ها و بوزون‌ها گرفته تا مزون‌ها، باریون‌ها و حتی خود اتم‌ها نیز نمود یابد. نکته‌ی مهم در این تبدیل دو طرفه (جرم به انرژی و انرژی به جرم) آن است که طبق قانون هم ارزی ماده و انرژی همیشه مقدار جرم ذرات با میزان انرژی حاصله برابر خواهد بود. برای این‌که دید بهتری از این موضوع داشته باشیم بهتر است ویژگی‌ها و طرز کار یکی از این شتاب‌دهنده‌ها با نام ال‌اچ‌سی را بررسی کنیم.

ال‌اچ‌سی (LHC)

ال‌اچ‌سی بزرگ‌ترین برخورد دهنده‌ی ذرات در زمین است و در سرن ژنو قرار دارد. سرن مرکز پژوهش‌های اروپایی فیزیک ذرات است و در مرز فرانسه و سوئیس واقع شده است. این مرکز در سال ۱۹۵۴ توسط ۱۲ کشور اروپایی (در پایان سال ۱۹۹۷ شمار کشورها به ۱۹ رسید) با هدف هماهنگ‌سازی و همکاری کشورها در پژوهش‌های هسته‌ای کاملا غیرنظامی تاسیس گردید. در این آزمایشگاه بزرگ، بیش از دوازده هزار دانشمند از صد و دو ملیت مختلف (از میان آن‌ها ۵۴ نفر ایرانی‌اند) مشغول به کار و تحقیق‌اند. پهنه‌ی اصلی پژوهش در سرن ذرات بنیادی و هسته‌ای است که با چندین شتاب‌دهنده انجام می‌شود.

شتاب‌دهنده‌های سرن در اوایل کار کوچک بوده و قدرت کم‌تری داشتند اما در سال ۱۹۸۹ طرح و ساخت برخورد دهنده‌ی هادرونی بزرگ (LHC) که بزرگ‌ترین و پیشرفته‌ترین شتاب‌دهنده‌ی حال حاضر جهان است شروع شد. این دستگاه غول پیکر ۲۷ کیلومتری در نهایت در سال ۱۹۹۹ با هدف آشکارسازی ذرات حاصل از برخورد پروتون – پروتون و پاسخ به پرسش‌هایی درباره‌ی ساختار بنیادی ماده و کشف ذرات جدید و پیش‌بینی نشده آغاز به کار نمود.



این دستگاه از دو لوله‌ی دایره‌ای شکل موازی به محیط ۲۷ کیلومتر ساخته شده است و در عمق صد متری زیر زمین در درون تونلی دایره‌ای شکل قرار دارد. اطراف این لوله‌ها آهنرباهای الکتریکی بسیار قدرتمندی تعبیه شده است که با جریان قوی برق کار می‌کنند و قادرند ذرات بارداری مثل پروتون یا الکترون را درون لوله‌ها شتاب داده و با سرعت نزدیک به سرعت نور در مسیر دایره‌ای به گردش درآورند. در ساخت این فناوری پیشرفته‌ی ۳۲ هزار تنی از ۱۲۳۲ آهنربای دو قطبی، ۳۹۲ آهنربای چهار قطبی و تعدادی آهنرباهای بسیار پیچیده دیگر

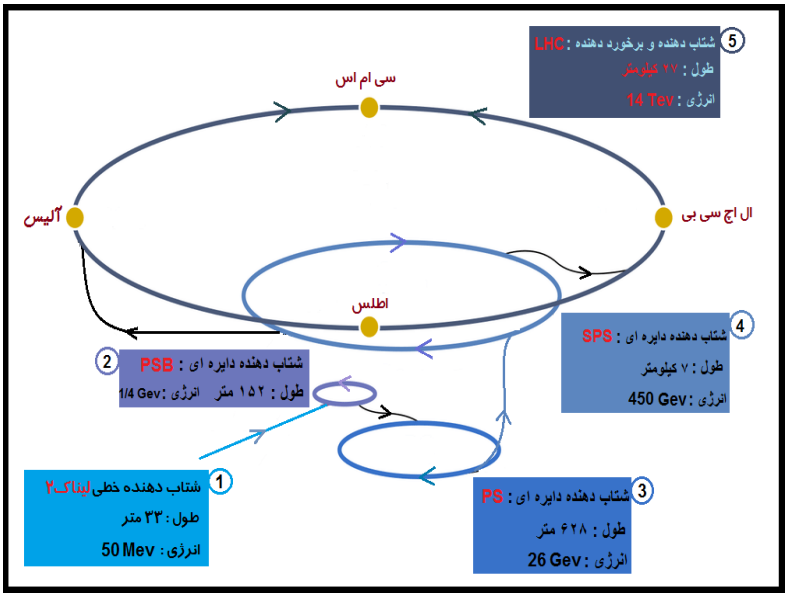
استفاده شده است. همه‌ی این آهنرباها ابر رسانا هستند و در دمای منفی ۲۷۱,۳ درجه سانتی‌گراد عمل می‌کنند. ابر رسانا بودن این آهنرباها باعث می‌شود تا در برابر عبور جریان برق از خود مقاومتی نشان ندهند و با عبور دادن جریان ۱۲۰۰۰ آمپر (۱۰۰۰ برابر قوی تر از جریان برق خانگی)، خاصیت مغناطیسی بسیار بالایی داشته باشند. این آهنرباها به قدری قدرتمندند که می‌توانند پروتون‌ها را با سرعت تقریبا برابر ۳۰۰ میلیون متر بر ثانیه (سرعت نور) حرکت داده و با خم کردم مسیر حرکتشان، آن‌ها را در مدار دایره‌ای درون لوله‌ها حفظ کنند.

نمایی از دو لوله‌ی انتقال دهنده‌ی پروتون‌ها در مرکز حلقه ی ۲۷ کیلومتری LHC

شتاب دادن ذرات

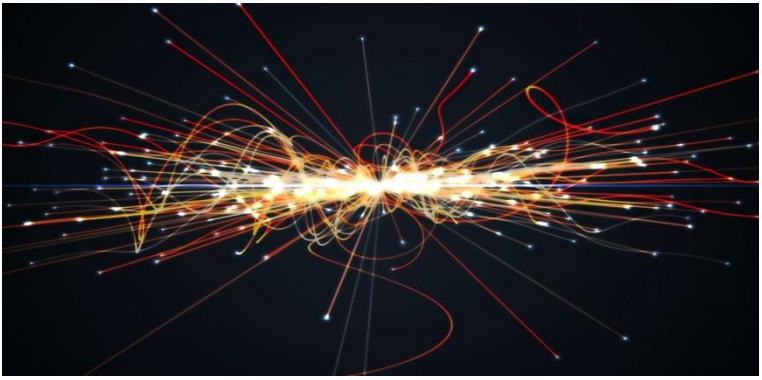
ماجراجویی بزرگ ال‌اچ‌سی با یک بطری هیدروژن ساده شروع می‌شود. هیدروژن ساده‌ترین عنصر شیمیایی است. هسته‌ی آن از یک پروتون منفرد

ساخته شده و یک الکترون به دور آن می‌چرخد. دانشمندان ابتدا برای این‌که پروتون مورد نیازخود را تهیه کنند، از یک میدان الکتریکی استفاده می‌کنند و الکترون اتم هیدروژن را از او می‌گیرند و سپس پروتون بدست آمده را درون یک شتاب دهنده‌ی خطی کوچک با نام لیناک ۲ شتاب می‌دهند. این پروتون توسط لیناک ۲ به قدری شتاب می‌گیرد تا به انرژی جنبشی۵۰ میلیون الکترون ولت و سرعت یک سوم سرعت نور برسد. سپس پروتون لیناک ۲ را ترک می‌کند و وارد شتاب‌دهنده‌ی حلقوی سنکترون (PSB) می‌شود و با شتاب گرفتن بیش‌تر در آنجا به انرژی یک میلیارد و چهارصد میلیون الکترون ولت دست می‌یابد. مرحله‌ی بعدی سنکروترون پروتون (PS) است. این دستگاه نیز یک شتاب‌دهنده‌ی حلقوی است که چندین بار الکترون را حول مسیر دایره‌ای خود می‌گرداند و در هر چرخش مقداری بر سرعت آن اضافه می‌کند به طوری‌که وقتی پروتون از آن خارج می‌شود دارای بیست‌وپنج میلیارد الکترون ولت انرژی خواهد بود. پروتون بعد از PS به سوپر سنکروترون پروتون (SPS) وارد می‌شود. این شتاب‌دهنده نیز مثل PS بوده اما ۱۱ بار از آن بزرگ‌تر است و انرژی پروتون را به ۴۵۰ میلیارد الکترون ولت افزایش می‌دهد.



پروتون‌ها بعد از پشت سر گذاشتن ۴ شتاب‌دهنده، سرانجام به درون بزرگ‌ترین شتاب‌دهنده‌ی حلقه‌ای به طول ۲۷ کیلومتر (LHC) تزریق می‌شوند. اگر پروتون‌ها در حضور مولکول‌های هوا حرکت کنند با آن‌ها برخورد خواهند کرد و این سبب می‌شود پروتون‌ها بیش از یک میلی‌متر جلوتر نروند. به همین دلیل در ال‌اچ‌سی دو پروتون در دو لوله‌ی خلاء جداگانه که هوای درون آن‌ها توسط پمپ‌های قدرتمند خلاء کاملا تخلیه شده است به گردش در می‌آیند. دانشمندان ال‌اچ‌سی می‌دانند که طبق رابطه‌ی اینیشتین، انرژی و جرم یک چیز هستند. بنابراین هر چقدر انرژی پروتون‌ها بیش‌تر باشد هنگام تصادم پروتون‌ها، ذرات مادی بیش‌تر و سنگین‌تری تولید می‌شوند. به همین خاطر آنان پروتون‌ها را چندین مرتبه در داخل لوله‌های دایره‌ای می‌چرخانند و هر بار بر سرعتشان می‌افزایند تا در نهایت سرعتشان به سرعتی معادل ۹۹,۹۹ درصد سرعت نور برسد. هر کدام از این دو پروتون که در دو لوله‌ی موازی در خلاف جهت هم

می‌چرخند دارای ۶,۵ تریلیون الکترون ولت انرژی دارند که این مقدار انرژی در هنگام برخورد شاخ به شاخ آن‌ها با یکدیگر دو برابر شده و به ۱۳ تریلیون الکترون ولت خواهد رسید. دانشمندان در حلقه‌ی ۲۷ کیلومتری ال‌اچ‌سی در مسیر حرکت پروتون‌ها ۴ عدد آشکارساز بزرگ جای داده‌اند و همیشه خط سیر پروتون‌ها را جوری تنظیم می‌کنند که برخورد آن‌ها با یکدیگر در مرکز یکی از این چهار آشکارساز صورت بگیرد. این آشکارسازها مثل دوربین‌هایی هنگام تصادم پروتون‌ها از ذرات تولید شده عکس می‌گیرند و تمام ویژگی‌های آنان را ثبت می‌کنند. ذراتی که تولید می‌شوند بسیار ناپایدارند و خیلی زود از بین رفته و به ذرات پایدارتر شکسته می‌شوند. برای مثال ذرات پیون بعد از بوجود آمدن در بهترین حالت خود فقط 10^{-16} ثانیه دوام می‌آورند و این زمان تنها فرصتی است که یک آشکارساز می‌تواند آن را ردیابی و کشف کند و ویژگی‌هایی مثل جرم، بار ، اسپین و ... آن را بدست آورد. از طرفی دیگر در هر تصادم هزاران هزار ذره ایجاد می‌شوند که بیش‌ترشان تکراری بوده و ما آن‌ها را می‌شناسیم و این یک مشکل بسیار بزرگی برای دانشمندان به حساب می‌آید، زیرا آنان مجبورند از میان این همه ذره دنبال آن‌هایی بگردند که از دیگران متفاوت بوده و هنوز کشف نشده است.

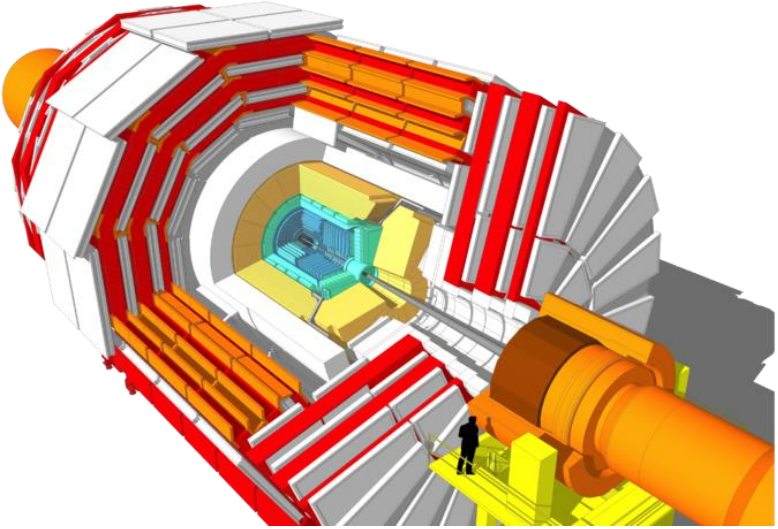


تصویری شماتیک از تصادم دو پروتون و ایجاد ذرات در قلب یک آشکارساز

آشکارسازهای ال‌اچ‌سی

چهار آشکارساز عظیم الجثه ال‌اچ‌سی با نام‌های ال‌اچ‌سی‌بی (LHCb) – سی‌ام‌اس (CMS) – آلیس (ALICE) و اطلس (ATLAS) شناخته می‌شوند. هر یک از این دستگاه‌ها به بزرگی یک ساختمان چند طبقه‌اند و هر کدام توسط یک مشارکت گروهی از صدها میلیون قطعه‌ی ریز و درشت با دست ساخته و سر هم شده‌اند. یعنی گروهی از فیزیک‌دانان که از صدها موسسه تحقیقاتی در کشورهای مختلف دور هم جمع شده‌اند. هزاران فیزیک‌دان، صدها مهندس و هزاران تکنسین با استفاده از فناوری‌ها، مواد و اصول روز دنیا، خود را وقف ساخت هر آشکارساز کرده‌اند.

آشکارسازها مثل یک پیاز از چندین لایه‌ی متحدالمرکز استوانه‌ای شکل و تو در تو ساخته شده‌اند. هر لایه برای ردیابی و تشخیص ذرات خاصی با ویژگی‌های معین طراحی شده است. در هنگام تصادم پروتون‌ها ذرات ایجادشده با سرعت بالایی به اطراف پخش می‌شوند و سعی دارند از لایه‌های آشکارساز عبور کنند و به بیرون راه یابند. این جاست که لایه‌های آشکارساز باید در هنگام عبور ذرات آن‌ها را به دام بیندازند و ویژگی‌هایی همچون جرم، بار، اسپین و دیگر خصوصیات آن‌ها را ثبت کرده و این اطلاعات را در ابر رایانه‌های قدرتمند ذخیره نمایند. رویدادهای ذخیره شده با استفاده از شبکه‌ی کامپیوتری عظیمی با نام Gride در تمام جهان توزیع شده و بین فیزیک‌دانان ذرات به اشتراک گذاشته می‌شود. این شبکه وظیفه‌ی صدها هزار کامپیوتر متصل را که در یازده کشور مختلف قرار دارند بر عهده دارد و این امکان را به دانشمندان می‌دهد تا از هر نقطه‌ای در دنیا وارد پایگاه داده‌های سرن شوند و ویژگی‌های ذرات تولید شده را از جهات مختلف مورد بررسی و مطالعه قرار دهند و بدین ترتیب وجود ذرات تازه یا پدیده‌های جدید را برای اولین بار کشف نمایند.



لایه‌های متحدالمرکز آشکارساز اطلس؛ طول: ۴۵ متر، ارتفاع: ۲۵ متر

هر آشکارساز با توجه به ساختار و فناوری خاصش، مسئولیت معینی را برعهده دارد و بدین ترتیب دانشمندان هرکدام از آشکارسازها توجه خود را بر روی موضوعی مشخص متمرکز نموده‌اند. برای مثال هر کدام از آشکارسازهای آلیس و ال‌اچ‌سی‌بی با مطالعه‌ی ذرات حاصل از تصادم در پی یافتن پاسخ پرسش‌هایی درباره پادماده و مهبانگ هستند:

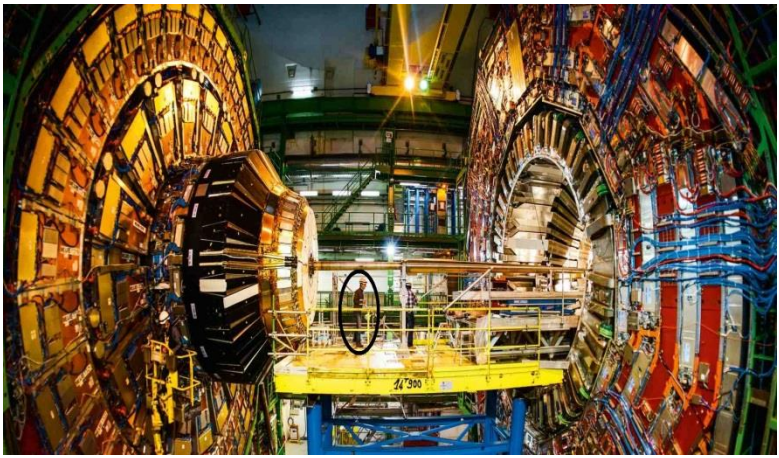
ال‌اچ‌سی‌بی (LHCb):

هدف همکاری دانشمندان مشغول در LHCB این است که کشف کنند تمام پادماده‌ها که کمی بعد از مهبانگ از بین رفته‌اند و امروزه هیچ اثر قابل رؤیتی از آن‌ها نیست، کجا هستند. همچنین آن‌ها مشغول بررسی کوارک‌های افسون، شگفت، سر و ته هستند تا بدانند چرا این ذرات در ایجاد ماده‌ی امروزی نقشی ندارند.

آلیس (ALICE) :

گروه فیزیک‌دانان آلیس بر روی مطالعه‌ی حالتی از ماده به نام پلاسمای کوارک گلوئون‌اند، که تنها در نخستین لحظات مهبانگ وجود داشته و سپس برای همیشه ناپدید شده است. برای این‌که آشنایی مختصری با این حالت ماده داشته باشید بهتر است مقداری درباره‌ی حالات مختلف مواد بدانید.

مواد گوناگون در معمول‌ترین حالت خود به شکل جامد یا مایع و یا گاز هستند. دلیل تفاوت در این حالت‌ها، مربوط به میزان آزادی مولکول‌های آن‌هاست. برای مثال مولکول‌های گاز از آزادی بیش‌تری نسبت به مولکول‌های مایع برخوردارند و همچنین آزادی مولکول‌های یک مایع از آزادی مولکول‌های جامدات بیش‌تر است. پلاسما حالت چهارمی از ماده است که به خاطر دمای بسیار بالایش نه تنها مولکول‌ها بلکه اتم‌ها نیز از هم جدا می‌شوند. بری مثال این حالت در خورشید و همچنین در زمین در شعله‌های آتش نیز وجود دارد. این در حالی است که پلاسمای کوارک گلوئون حالتی بسیار برانگیخته و خاصی است که در آن نه تنها اتم‌ها از هم جدا می‌شوند بلکه هسته‌ی اتم‌ها و همچنین پروتون‌ها و نوترون‌ها نیز از هم متلاشی می‌شوند و کوارک‌ها و گلوئون‌های خود را آزاد کرده و به آن‌ها اجازه می‌دهند در یک سوپ فوق‌العاده داغ باهم وجود داشته باشند. به باور دانشمندان این حالت از ماده در ۱۳,۷ میلیارد سال پیش هنگام آفرینش جهان پدید آمد و به مدت 10^{-10} بعد از مهبانگ دوام یافت و سپس به حالت‌های دیگر تبدیل شد. به عبارت دیگر وقتی عالم منبسط شد این ماده شروع کرد به خنک شدن و به کوارک‌ها و گلوئون‌ها اجازه داد تا به همدیگر بپیوندند و پروتون‌ها و نوترون‌ها و به دنبال آن اتم‌ها را تشکیل دهند. جای بسی امید است که امروزه فیزیک‌دانان می‌توانند با ایجاد دمایی ۱۰۰ هزار برابر دمای مرکزی خورشید (یک ونیم میلیارد درجه سانتی‌گراد) در ال‌اچ‌سی این حالت از ماده را دوباره بسازند و بر روی آن مطالعه کنند.



نمای داخلی آشکارساز سی‌ام‌اس که مهندسان آن را برای تعمیر باز کرده اند. وزن ۱۵۰۰۰ تن؛ دو برابر سنگین‌تر از برج ایفل است.

نوترینوها

یکی از مشکلات اساسی دانشمندان فیزیک ذرات مربوط به ذرات شبح مانندی به نام نوترینوهاست که به خاطر برهمکنش بسیار ضعیفی که با ماده دارند، آشکارسازیشان (در سرن و هر جای دیگر) بسیار سخت است. پیش‌تر دیدید که نوترینوها جزو لپتون‌ها هستند و در سه نوع نوتیرنوی الکترون، نوترینوی میون و نوترینوی تاوو وجود دارند و فاقد بارند. این ذرات اگرچه در ساختمان ماده شرکت ندارند اما در اثر واکنش‌های هسته‌ای ستارگان به مقدار بسیار زیادی تولید می‌شوند و در جای جای فضای بیکران هستی با سرعت نور انتشار می‌یابند. می‌توان گفت نوترینوها معمول‌ترین و فراوان ترین ذرات موجود در جهان هستند و تعدادشان حتی از تعداد کل فوتون‌های (ذره‌های بنیادی نور) عالم نیز بیش‌تر است. نوترینو علاوه بر این‌که بار الکتریکی ندارد، تقریبا بدون جرم هم هست (کم‌تر از یک ده هزارم جرم یک الکترون) و به تقریب از درون

هر چیزی می‌گذرد و به نیروهای الکترومغناطیسی که در ماده‌ی انباشته در کارند بی‌توجه است. نوترینوها نخستین بازمانده‌ی سنگواره‌ای مهبانگ و پیام‌آور نخستین فرآیندهای عالم‌اند. این ذرات سرعت انبساط عالم و شاید هم چگالی نهایی آن را معین می‌کنند و به همین خاطرگیر انداختن آن‌ها برای دانشمندان بسیار مهم و حیاتی است. فراوانی این ذرات به قدری زیاد است که تنها در خورشید خودمان هر ثانیه 10×10^{38} نوترینو تولید و در فضا پراکنده می‌شوند و بسیاری از آن‌ها به زمین می‌رسند. این در حالیست که پرتوزایی طبیعی عناصر رادیواکتیو در زمین مانند اورانیوم نیز نوترینو آزاد می‌کند. حدود ۵۰ بیلیون از این نوترینوها در هر ثانیه از ما عبور می‌کنند اما تعدادی که از خورشید در هر ثانیه به ما می‌رسد هشت برابر مقداری است که از همین جا از زیر پایمان به ما می‌رسد . به عبارت دیگر در هر ثانیه ۴۰۰ بیلیون نوترینوی آمده از خورشید بی‌آن‌که بدانیم از بدن هر کدام از ما می‌گذرند. جالب است بدانید که خود ما هم پرتو زا هستیم چنان‌که در هر ثانیه حدود ۳۴۰ میلیون نوترینو از طریق واپاشی پتاسیم در استخوان‌هایمان از خود گسیل می‌کنیم.

دانشمندان می‌دانند که نوترینوها تقریبا با هیچ چیزی برهمکنش ندارند و بدون گذاشتن هیچ ردپایی از درون مواد سر راهشان عبور می‌کنند. برای مثال یک نوترینو می‌تواند از قالبی سربی به ضخامت یک سال نوری بگذرد بی‌آن‌که به چیزی برخورد کند. با این حال دانشمندان نا امید نشده‌اند و هر از چند گاهی با آشکارسازهای طبیعی موجود در دل زمین توانسته‌اند نوترینوهای آمده از خورشید را به تعداد اندکی ردیابی کنند و هنوز هم در این آزمایشگاه‌های زیرزمینی در پی شکار این اشباح‌اند. در زیر به دو تا از این رصدخانه‌ها اشاره شده است:

رصد خانه‌ی سوپر کامیوکند (Super – kamiokande): یکی از جاهایی که دانشمندان توانستند برای نخستین بار شواهدی مستحم از نوترینوها و وجود

جرم در آن‌ها را بدست آورند رصدخانه‌ی کامیوکاند است که در عمق ۶۶۰ متری سطح زمین در زیر کوهستان‌های غرب ژاپن واقع شده است. این ردیاب طبیعی بزرگ حاوی ۵۰ هزار تن آب خالص است و نزدیک به ۱۱۲۰۰ ردیاب نوری آن را احاطه کرده‌اند که در صورت خرابی مهندسان مجبورند این ردیاب‌ها را با کمک قایق تعمیر نمایند.

رصدخانه نوترینوی آیس‌کیوب (Icecube): بزرگ‌ترین نوترینوی موجود در جهان است که در قطب جنوب واقع شده است. در این آشکارساز طبیعی ۵۱۶۰ حسگر درون یک میلیارد تن یخ پخش شده‌اند. زمانی که نوترینو با مولکول‌های آب موجود در یخ برخورد می‌کند، انفجارهایی پرانرژی از ذرات زیراتمی ایجاد می‌شود که می‌توانند تا وسعت زیادی پراکنده شوند. این ذرات به اندازه‌ای سریع حرکت می‌کنند که مقدار ناچیزی نور مخروطی شکل از خود متصاعد می‌کنند. بدین ترتیب حسگرها این نور را تشخیص داده و مسیر نوترینوها را ردیابی کنند.

بخش بیرونی رصدخانه نوترینوی آیس کیوب در قطب جنوب

بوزون هیگز و جرم بخشیدن به ذرات

اگر از شما بپرسند چقدر جرم دارید ممکن است بگویید: «۷۰ کیلوگرم.» حال اگر از شما بپرسند چرا جرم شما این عدد است؟ خواهید گفت: «بدن من از مولکول‌ها و آن‌ها نیز از اتم‌ها ساخته شده‌اند. این اتم‌ها نیز به نوبه‌ی خود از ذراتی بنیادی به نام الکترون‌ها، کوارک‌های پایین و کوارک‌های بالا تشکیل شده اند. هریک از این ذرات بنیادی جرمی دارند که مجموعه‌ی جرم آن‌ها را روی هم رفته ۷۰ کیلوگرم است. به همین خاطر جرم من ۷۰ کیلوگرم است.»

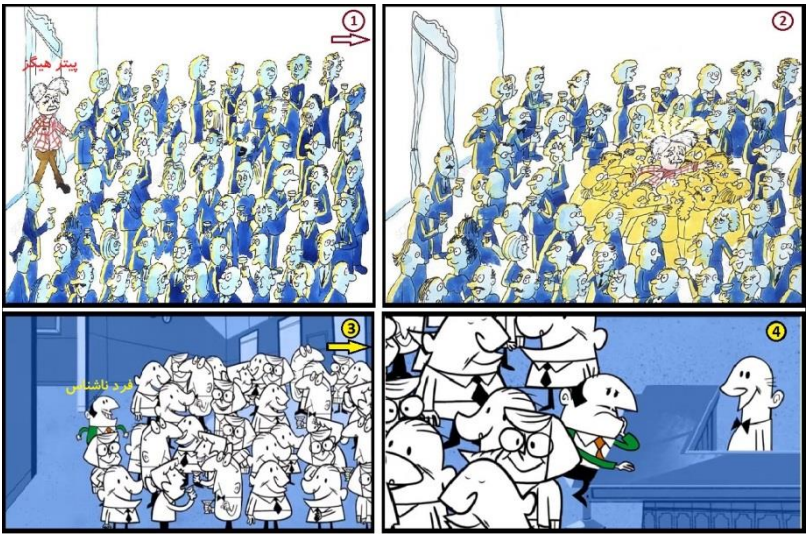
اما مسئله اینجاست که ذرات بنیادی مثل الکترون‌ها و کوارک‌ها اجزای سازنده داخلی ندارند. پس اگر از شما بپرسند چرا هر یک از الکترون‌های بدن شما مقدار مشخصی جرم دارند؟ یا اگر بپرسند چرا یک کوارک بالا از یک نوترینو سنگین‌تر است؟ جوابی نخواهید داشت.

این‌ها سوالاتی بودند که در سال ۱۹۶۴ فکر فیزیک‌دانان ذرات را به خود مشغول کرده بود. آنان نمی‌دانستند که چه چیزی باعث می‌شود یک ذره جرم مشخصی داشته باشد و همچنین قادر نبودند توضیح دهند که ذرات چگونه جرم دار می‌شوند. در همان سال چندین نظریه‌پرداز به دنبال راهی بودند تا برای این سوالات جوابی قانعکننده ارائه دهند. از میان آن‌ها دو فیزیک‌دان با نام‌های فرانسوا آنگلرت و پیتر هیگز نظریه‌ای ریاضیاتی را مطرح کردند که به نام میدان هیگز معروف شد و می‌توانست منشا جرم ذرات زیر اتمی را توضیح دهد.

بر اساس نظریه‌ی هیگز، کل جهان ما را میدان هیگز فرا گرفته است. اگر می‌خواهید تصور بهتری از نوع حضور این میدان داشته باشید یک آکواریوم را تصور کنید که پر از آب است. برای ماهی‌ای که درون اکواریم است شاید فضای اکواریوم خالی به نظر آید اما می‌دانیم که مملو از ماده‌ای به نام آب است که این

آب از مولکول‌های H2O تشکیل شده است. میدان هیگز اطراف ما نیز مثل همان آب درون آکواریوم است که از ذراتی بنیادی به نام بوزون‌های هیگز تشکیل شده است. این ذره بنیادی جرم مشخصی دارد و نسبتا ذره‌ی سنگینی به شمار می‌رود اما ویژگی مهمی که دارد این است که این بوزون تقریبا با تمام ذرات بنیادی اطراف خودش واکنش نشان می‌دهد. به عبارت دیگر از آنجایی که بوزون‌های هیگز همه جای میدان هیگز قرار دارند و همه عالم را پر کرده‌اند پس ذرات بنیادی نیز در هر کجای عالم که باشند به طور دائمی در حال واکنش با بوزون هیگز هستند. بر اساس این نظریه، نوع و قدرت برهمکنش بوزون‌های هیگز با ذرات بنیادی مشخص می‌کند که آن ذرات چقدر جرم داشته باشند. در واقع هرچقدر یک ذره با بوزون‌های هیگز بر همکنش قوی‌تری داشته باشد جرم بیش‌تری خواهد داشت و از طرفی هر ذره‌ای که با بوزون‌های هیگز برهمکنش ضعیف‌تری داشته باشد جرم کم‌تری خواهد داشت. برای مثال کوارک افسون با میدان هیگز بر همکنش قوی‌تری دارد اما شدت برهمکنش یک الکترون با این میدان بسیار ضعیف است به همین خاطر جرم کوارک افسون ۱۵۳۰ میلیون الکترون ولت بوده اما الکترون تنها نیم میلیون الکترون ولت جرم دارد. البته گفتنی است که از این میان، برخی از ذرات بنیادی همچون فوتون‌ها و گلوئون‌ها به هیچ وجه با ذرات هیگز بر همکنش ندارند و به همین دلیل فاقد جرم‌اند. لازم به ذکر است که سرعت حرکت ذرات بنیادی نیز به شدت واکنش آن‌ها با میدان هیگز مربوط می‌شود. به این صورت که ذراتی مثل فوتون‌ها و گلوئون‌ها به خاطر عدم واکنششان با میدان هیگز بدون جرم بوده و بنابراین سرعت حرکت بسیار بالایی در حد سرعت نور دارند در حالی که ذراتی سنگین‌تر مثل کوارک‌های ته و سر به خاطر بر همکنش قوی با میدان هیگز جرم بالایی داشته و به همین دلیل سرعت حرکتشان در فضا به مراتب پایین‌تر از دیگر ذرات است. برای درک بهتر این پدیده تصور کنید که یک فرد ناشناس و یک فرد مشهور مثل پیتر هیگز

می‌خواهند از میان جمعیتی از مردم موجود در یک سالن عبور کنند. فردی که ناشناس است به راحتی از میان آن‌ها عبور می‌کند زیرا هیچ کس او را نمی‌شناسد و در نتیجه توجهی به او نمی‌کند اما فرد مشهوری مثل پیتر هیگز هنگام عبور از بین مردم باید چندین بار توقف کرده و با آن‌ها سلام و احوال‌پرسی کند. به همین خاطر سرعت حرکت او نسبت به شخص اول بسیار کندتر خواهد بود. در این مثال، سالن در حکم میدان هیگز و مردم در حکم بوزون‌های هیگز و این دو فرد در حکم دو ذره‌ی بنیادی‌اند. شخص ناشناس یک فوتون یا گلوئون بوده و جرمی ندارد ولی پیتر هیگز مثل یک کوارک ته با میدان هیگز بر همکنش قوی‌تری داشته و در نتیجه جرم بسیار بالایی دارد و به همین خاطر سرعت حرکتش کندتر است.



فصل ششم: تولد کیهان

جهان ایستا

برخی از دانشمندان تا سال‌های نخستین قرن بیستم فکر می‌کردند که جهان از ازل به همین شکل امروزی وجود داشته است و اساسا در طول زمان ثابت بوده و تا ابد نیز به همین صورت باقی خواهد ماند. یکی از افرادی که به این فرض اشتباه پی برده بود متفکر برجسته‌ای به نام بنتلی بود. او می‌دانست که بر اساس نظریه‌ی گرانش نیوتون اگر جهان ایستا بوده و ستارگان در جای خود ثابت باشند توسط نیروی گرانشی که به یکدیگر وارد می‌کنند کم کم به سمت یکدیگر جذب خواهند شد و در نهایت همگی اجرام آسمانی به یکدیگر برخورد خواهند نمود. نیوتون که به خوبی از این موضوع آگاهی داشت طی نامه‌ای به ریچار بنتلی یادآور شد که اگر شمار ستارگان بی‌نهایت نباشد و در ناحیه‌ی محدودی از فضا پراکنده باشند این اتفاق واقعا رخ خواهد داد. اما اگر تعداد نامحدودی ستاره در فضای بیکران به طور یکسان پراکنده باشند، دیگر نقطه‌ی مرکزی در کار نخواهد بود تا همگی به سوی آن کشیده شوند و لذا این اتفاق نخواهد افتاد. در واقع طبق این توصیف، جهان ما نه تنها ایستا بود بلکه اندازه‌ی آن نیز بی‌نهایت بوده و مرز و کرانه‌ای نداشت. این توصیف به ظاهر قانع کننده بود اما با این‌حال مشکل دیگری نیز برای جهان ایستا و بی‌نهایت بزرگ با بی‌نهایت ستاره رخ می‌داد که هانریش البرز به آن پی برده بود. طبق نظر او اگر جهان را بی‌نهایت بزرگ و ایستا در نظر بگیریم آنگاه امتداد هر خط دید به سطح یک ستاره خواهد رسید در نتیجه تمامی آسمان‌ها حتی شب‌ها نورانی به نظر خواهد رسید. بنابراین باید بپذیریم که ستارگان همواره از ازل در حال درخشیدن نبوده و نیستند بلکه هر کدام از آن‌ها در زمان بخصوصی در گذشته بوجود آمده و

درخشیدن آغاز کرده‌اند و به همین علت نور ستارگان دور دست هنوز به ما نرسیده است بنابراین همه جای آسمان شب همچون روز روشن نیست.

ثابت کیهان‌شناسی آینیشتین

اینیشتین وقتی در سال ۱۹۱۵ معادلات نسبیت عام خود را کامل نمود به موضوعی عجیب برخود کرد. او که به جهانی یکپارچه و ایستا معتقد بود در کمال شگفتی متوجه شد که معادلاتش خلاف این موضوع را نشان می‌دهند. هر بار که اینیشتین معادله‌ی نسبیت عام را برای فضا زمان می‌نوشت، جوابی که بدست می‌آورد جهانی غیر ایستا و منبسط شونده بود. در واقع او نیز با همان مشکلی که بنتلی در ۲۰۰ سال پیش مطرح کرده بود مواجه بود. بر طبق معادله‌ی او اگر جهان جایی ساکن و ایستا می‌بود آنگاه نیروی گرانش می‌بایست هر مجموعه‌ی متناهی از ستارگان را در فاجعه‌ای آتشبار به درون هم فرو می‌کشاند. طبق معادله‌ی نسبیت عام تنها راه‌حل این بود که ستارگان با چنان سرعتی در حال دور شدن از هم باشند که نیروی گرانش قادر نباشد آن‌ها را جمع کرده و در یک نقطه بر روی یکدیگر جمع کند. این در حالی بود که آینیشتین باز هم نمی‌توانست باور کند که جهان در حال انبساط است و همچون نیوتون و بسیاری دیگر به جهانی ایستا باور داشت. بنابراین او برای این‌که معادله‌اش در توصیف جهان ایستا درست از آب در آید ثابتی را به آن اضافه کرد. این ثابت نشان‌دهنده‌ی نوعی نیروی ضد گرانشی ناشناخته‌ای بود که اثر جاذبه را در فضا خنثی می‌کرد و اجازه نمی‌داد ستارگان به سمت همدیگر جذب شوند.

جرج لمایتر

اولین کسی که انفجار بزرگ را پیشنهاد داد کشیش و فیزیک‌دانی بلژیکی به نام جرج لمایتر بود. او پس از مطالعه در مورد نظریه نسبیت عام آینیشتین به این

نتیجه رسید که شاید آینیشتین اشتباه می‌کند و شاید ثابت کیهان‌شناسی در معادله‌ی او چیزی اضافه است. به عبارت دیگر او فرض کرد اگر چنان‌که ستارگان جهان در حال دور شدن از هم باشند پس حتما زمانی در گذشته این اجرام در یک نقطه جمع بودند و طی انفجاری بسیار قدرتمند و شدید از هم فاصله گرفته‌اند و هنوز هم در حال دور شدن از یکدیگرند. او تصور کرد اگر جهت زمان را برعکس کنیم و در جهت برعکس زمان به سمت گذشته حرکت کنیم خواهیم دید که تمام مواد جهان به یکدیگر نزدیک می‌شوند و با فشرده شدن روی هم، دمایشان افزایش می‌یابد تا آنجایی که که وقتی تمام اتم‌های جهان در یک نقطه متمرکز می‌شوند چگالی و دمایشان به بی‌نهایت درجه‌ی سانتی‌گراد می‌رسد. بنابراین او در سال ۱۹۲۷ بیان داشت که جهان احتمالا از یک ابر اتم با دما و چگالی غیرقابل تصوری نشأت گرفته است. به طوری‌که این ابر اتم ناگهان منفجر شده و جهان در حال انبساط را ایجاد کرده است. وی با این‌که مدام در کنفرانس‌های فیزیکی حضور می یافت و نظریه‌ی انفجار بزرگ را برای دانشمندان مطرح می‌ساخت، اما به خاطر نداشتن دلیل و مدرکی تجربی قادر نبود آنان را قانع کند چنان‌که هیچ کس به این ایده توجهی نمی‌کرد.

ادوین هابل و انقلابی در کیهان‌شناسی

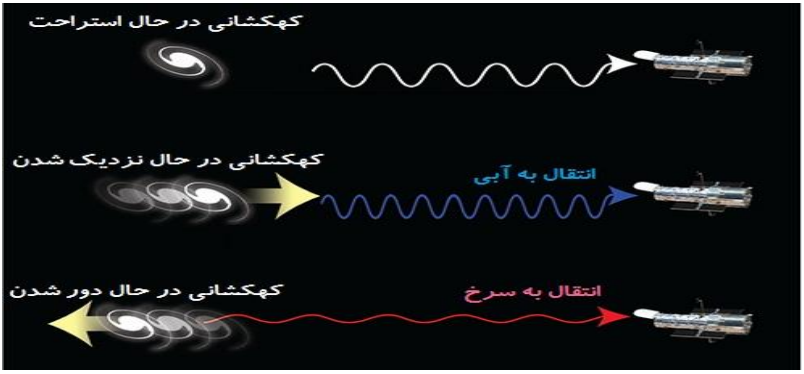
اندازه‌گیری فواصل ستارگان یکی از مشکل‌ترین کارها در علم ستاره‌شناسی بوده و هنوز هم هست. ستاره‌ی درخشانی که در فاصله‌ی بسیار دوری قرار دارد، می‌تواند با یک ستاره‌ی م نور نزدیک اشتباه گرفته شود. در سال ۱۹۲۵ ادوین هابل ستاره‌شناس، برای اندازه‌گیری فاصله‌ی واقعی ستارگان مختلف از زمین بر روی متغیرهای قیفاووسی مطالعه می‌کرد. متغییرهای قیفاووسی ستاره‌هایی هستند که درخشندگی مشخصی دارند و مقدار نور یکسانی را در هر کجای عالم ساطع می‌کنند. هابل می‌دانست که درخشندگی ظاهری این ستاره‌ها با افزایش

فاصله به طور معکوس و به نسبت مجذور فاصله کاهش می‌یابد یعنی اگر ستاره‌ای داشته باشیم که در سراسر جهان با شدت یکسان و به صورت یکنواخت نور بدهد در این صورت به راحتی میتوان گفت که چنین ستاره‌ای اگر در آسمان چهار برابر ضعیف‌تر بدرخشد پس دو برابر دور تر از زمین قرار دارد. او با استفاده از تلسکوپ رصدخانه‌ی ویلسون در ساوانای کالیفرنیا که در آن موقع بزرگ‌ترین و قوی‌ترین تلسکوپ دنیا بود، دریافت که این ستاره‌ها در فاصله‌ی بسیار دورتری قرار گرفته‌اند و نمی‌توانند داخل کهکشان راه شیری باشند بلکه در کهکشان‌هایی غیر از کهکشان راه شیری سکنا گزیده‌اند. در واقع او با این کارش نشان داد که راه شیری تنها کهکشان نیست بلکه تعداد بسیار زیادی از انواع مختلف کهکشان‌ها در سرتاسر کیهان پراکنده شده‌اند و اندازه‌ی جهان بسیار بزرگ‌تر از چیزی است که در گذشته تصور می‌شد.

انبساط هابل

کشف دوم هابل زمانی بود که او متوجه انتقال به قرمز نور کهکشان‌های دوردست شد و به این نتیجه رسید که آن‌ها در حال دور شدن از ما هستند. برای فهم بهتر این موضوع بهتر است به سال ۱۸۴۲ میلادی بازگردیم. زمانی که فیزیک‌دان استرالیایی کریستین دوپلر پدیده‌ی مهمی را درباره‌ی امواج صوتی کشف نمود که امروزه با نام اثر دوپلر شناخته می‌شود. او به این نتیجه رسیده بود که طول موج امواج صوتی که توسط یک منبع متحرک به سمت شما نزدیک می‌شوند فشرده شده و زمانی که آن منبع از شما دور می‌شود کشیده‌تر می‌گردند. برای مثال صدای ماشینی که از دور به شما نزدیک می‌شود زیرتر شده و زمانی که از شما دور می‌شود بم‌تر می‌گردد. این موضوع برای امواج نور نیز صادق است. در واقع وقتی ستاره یا کهکشانی از کره‌ی زمین دورتر می‌شود طول موج نوری که از آن به ما می‌رسد بلندتر شده و رنگش قرمز به نظر می‌رسد. این

پدیده «انتقال به سرخ» نام دارد. برعکس هنگامی که ستاره‌ای به ما نزدیک‌تر می‌شود طول موج نوری که به زمین می‌رسد فشرده‌تر شده و در نتیجه ما آن را به رنگ متمایل به آبی می‌بینیم که این پدیده نیز انتقال به آبی نامیده می‌شود. هر چقدر سرعت دور شدن یا نزدیک‌تر شدن ستاره‌ای بیش‌تر باشد شدت انتقال به سرخ یا انتقال به آبی نورش نیز بیش‌تر خواهد بود.

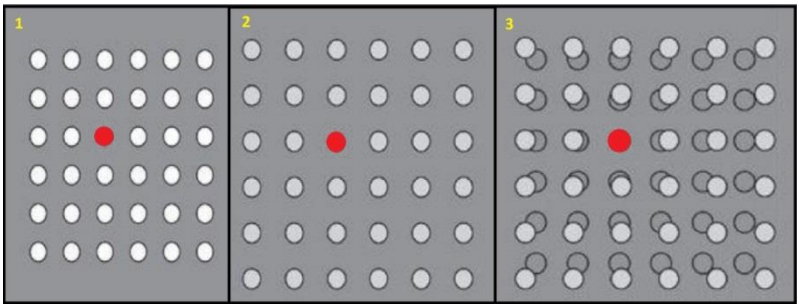


چیزی که هابل به آن پی برد این بود که تقریبا نور رسیده از همه‌ی کهکشان‌ها (به جز چند کهکشان که در نزدیکی کهکشان ما در گروه محلی جای گرفته‌اند) انتقال به قرمز داشته و این به آن معنی بود که همه‌ی آن‌ها در حال دور شدن از ما (کهکشان راه شیری) هستند و به عبارت دیگر، فضا در حال انبساط است. همچنین او با بررسی ۲۴ کهکشان به این نتیجه رسید که بین فاصله‌ی کهکشان‌ها و سرعت دور شدنشان از زمین رابطه‌ی مستقیمی وجود دارد. به این صورت که هر چقدر کهکشانی از زمین دورتر باشد با سرعت بیش‌تری از ما دور می‌شود. این رابطه با نام ثابت هابل شناخته می‌شود و مقدار آن ۶۸ کیلومتر بر ثانیه در مگاپارسک (۳,۳ میلیون سال نوری) است. طبق این قانون کهکشانی که در فاصله‌ی ۳,۳ سال نوری از زمین قرار دارد با سرعت ۶۸

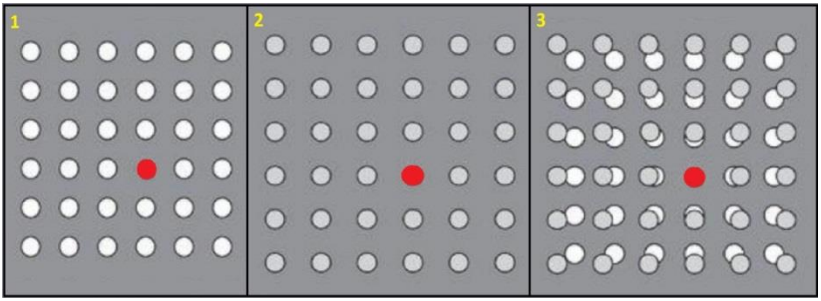
کیلومتر بر ثانیه در حال دور شدن از ماست. همچنین کهکشانی که ۶٫۶ میلیون سال نوری از ما فاصله دارد با سرعتی معادل ۱۴۰ کیلومتر در ثانیه دارد از کهکشان ما دور می‌شود.

مرکز جهان کجاست؟

برای درک بهتر قانون هابل فرض کنید فضا همچون بادکنکی است که تمام کهکشان‌ها به صورت نقطه‌هایی بر روی پوسته‌ی آن جای گرفته‌اند. وقتی به درون این بادکنک فوت می‌کنید مثل آن است که فضا منبسط می‌شود و در نتیجه این نقاط که در حکم کهکشان‌ها هستند لحظه به لحظه از هم فاصله می‌گیرند. اگر مورچه‌ای در روی یکی از این نقاط ساکن باشد فکر می‌کند که او در مرکز قرار گرفته و همه‌ی نقاط از او دور می‌شوند در حالی‌که اگر همین مورچه از بالا به آن نگاه کند متوجه می‌شود که نقطه‌ای مرکزی در این بادکنک وجود ندارد بلکه همه‌ی نقاط حتی نقطه‌ی خود او نیز در حال فاصله گرفتن از دیگران است. این موضوع درباره‌ی انسان‌های ساکن در کهکشان راه شیری نیز صدق می‌کند. وقتی از روی زمین به کهکشان‌ها نگاه می‌کنیم فکر می‌کنیم که راه شیری به صورت ساکن در جای خود ایستاده است و کهکشان‌های دیگر همگی از او فاصله می‌گیرند.



در حالی‌که اگر به جای راه شیری در کهکشان دیگری ساکن بودیم باز هم فرقی نمی‌کرد و فکر می‌کردیم که همه چیز در حال دور شدن از ماست. به هر حال این بسته به دیدگاه شماست که همه‌ی نقاط در مرکز قرار داشته باشند یا هیچ نقطه‌ی مرکزی در جهان وجود نداشته باشد.



انفجار بزرگ

این بار همه‌ی دانشمندان بر اساس مشاهدات هابل مطمئن شدند که جهان در حال انبساط است و به این فکر افتادند که طبق ایده‌ی لمایتر اگر کهکشان‌ها در حال دور شدن از هم باشند، پس احتمالا همه‌ی آن‌ها (مواد) زمانی در گذشته در یک نقطه بسیار کوچک روی هم انباشته بودند. بنابراین جهان اطراف ما با تمام ستارگان و کهکشان‌هایی که می بینیم در اثر انفجار و گسترش ناگهانی آن نقطه‌ی بسیار چگال و داغ پر از انرژی خلق شد و در طول میلیاردها سال تکامل کیهانی به این شکل امروزی در آمد. حال که سرعت انبساط جهان معلوم شده بود، کیهان‌شناسان می‌توانستند به عقب بازگشته و بر مبنای ثابت هابل زمان رخداد مهبانگ و به عبارتی سن جهان را معادل ۱۳٫۷۵ میلیارد سال محاسبه کنند.

بر مبنای نظریه مهبانگ، در ۱۳٫۷ میلیارد سال پیش، انرژی بسیار عظیمی با

دمای کوادریلیون‌ها درجه سانتی‌گراد از خلا بیرون جهید و با سرعتی سرسام‌آور گسترش یافت. 10^{-43} ثانیه بعد از مهبانگ؛ همه‌ی این انرژی در نقطه‌ی بسیار کوچکی (در ابعاد پلانک: 10^{-35} متر) حتی بسیار ریزتر از یک کوارک با چگالی فوق‌العاده بالایی جای گرفته بود. این انرژی بی‌نهایت داغ رفته رفته با انبساطش سردتر شد و طبق معادله‌ی E=MC2 به شکل ذرات بنیادی همچون کوارک‌ها، الکترون‌ها و گلوئون‌ها عینیت یافت. در ابتدا کوارک‌ها و گلوئون‌ها انرژی زیادی داشتند و نمی‌توانستند به هم متصل شوند و پلاسمای کوارک گلوئون را تشکیل داده بودند. تقریبا 10^{-10} ثانیه بعد از مهبانگ، دما به قدری کم شد که اجازه‌ی ترکیب کوارک‌ها و گلوئون‌ها با یکدیگر را داد و پروتون‌ها و نوترون‌ها را ساخت. نوترون‌ها و پروتون‌ها نیز به نوبه‌ی خود به یکدیگر پیوستند و هسته‌ی اتم‌های ساده‌ی هیدروژن و هلیوم را تشکیل دادند. ۳۸۰ هزار سال بعد از مهبانگ، الکترون‌ها توسط هسته‌ها گرفتار شدند و اتم‌ها را بوجود آوردند. در نهایت این اتم‌ها طی میلیون‌ها سال توسط نیروی گرانش به صورت توده‌هایی در کنار هم قرار گرفتند و سیارات و ستارگان را به وجود آوردند.

چیزی که درک مهبانگ را دشوار می کند پدید آمدن انرژی از هیچ است. واژه‌ی هیچ در این‌جا به معنای عدم مطلق نیست. بلکه خلاء کوانتومی است که عاری از هرگونه ذره و انرژی بوده و برای فیزیک‌دانان «هیچ چیز» محسوب می‌شود. فیزیک‌دانان هنوز نمی‌دانند که چه علتی باعث مهبانگ و پدید آمدن این انرژی عظیم از هیچ شده است اما شواهدی دارند که نشان می‌دهد این انرژی از دل یک خلا کوانتومی کاملا خالی از هر نوع ذره یا انرژی بیرون جهیده و گسترش یافته و نه تنها مواد، بلکه فضای کنونی که ما اکنون می‌بینیم را نیز به وجود آورده است. در واقع اگر بخواهیم به زبان آینیشتین حرف بزنیم باید بگوییم که انفجار بزرگ در زمانی فرضی و مکانی خاص از کیهان اتفاق نیفتاد بلکه خود فضا و زمان در لحظه انفجار بزرگ ایجاد شدند به همین خاطر حرف زدن

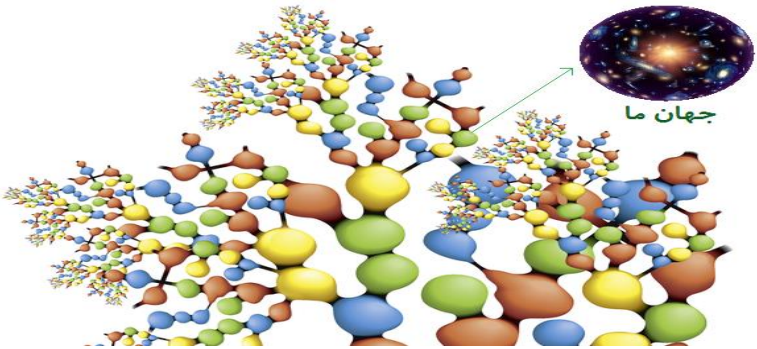
درباره‌ی زمان قبل از مهبانگ حرفی بیهوده است. زیرا قبل از انفجار بزرگ زمانی وجود نداشت و این مهبانگ بود که نه تنها مکان را به وجود آورد و آن را گسترش داد (هنوز هم در حال انبساط است) بلکه زمان را نیز به وجود آورد و آن را به جریان انداخت.

نظریه تورم و جهان‌های چندگانه

امروزه اختر فیزیک‌دانان برای توصیف کیهان اولیه، نظریه‌ای با نام تورم را که صورت تصحیح شده‌ی نظریه انفجار بزرگ است ارائه می‌دهند. آن‌ها بر اساس این نظریه معتقدند که جهان نه در اثر یک انفجار مهیب بلکه در اثر یک تورم بسیار سریع از دل هیچ بیرون جهیده و گسترش یافته است بر اساس این نظریه در 10^{-36} ثانیه پس از انفجار بزرگ، کیهان دچار چنان انبساط سریعی شد که حجم آن 10^{78} برابر زیاد گردید. به زبان ساده‌تر در یک میلیون میلیون میلیون میلیون میلیون میلیونم ثانیه پس از انفجار بزرگ حجم دنیا یک میلیون میلیارد میلیارد میلیارد میلیارد میلیارد میلیارد میلیارد میلیارد میلیارد میلیارد برابر افزایش یافت و دنیا به محدوده ی زمانی 10^{-32} ثانیه رسید. بعد از این محدوده‌ی زمانی یعنی بعد از پایان یافتن دوره‌ی تورم سریع، جهان باز هم این‌بار با نرخی به نسبت آرام‌تر به انبساط خود ادامه داد چنان‌که اکنون بعد از گذشت ۱۳,۷ میلیارد سال هنوز هم در حال انبساط است.

این نظریه اولین بار توسط فیزیک‌دانی به نام آلن گوث مطرح شد و مورد توجه بسیاری از دانشمندان این حوزه از علم قرار گرفت. اکنون نظریه‌ی جهان تورمی تنها یک فرضیه نیست بلکه با داده‌های تجربی بسیاری سازگار است و احتمال می‌رود که بهترین گزینه برای توصیف چگونگی آفرینش جهان باشد. نظریه تورم هنوز به این سؤال پاسخ نمی‌دهد که: چه چیزی باعث تورم شده است؟ چه چیزی این نیروی ضد گرانشی را که باعث تورم جهان شد را آزاد کرده

است؟ اما با این حال پیش‌بینی‌های خارق‌العاده‌ای دارد که می‌تواند باعث تغییر در درک بشر از دنیای پیرامون شود. بر مبنای این نظریه همیشه این احتمال وجود دارد که پدیده‌ی مهبانگ یا تورم سریع دوباره به وقوع بپیوندد. به این معنی که مهبانگ‌های زیادی می‌توانند به دفعات متعدد اتفاق بیفتند و هریک از آنها، جهان‌های متعددی بسازند. نظریه تورم می‌گوید: هر مکانیزمی که باعث شده است بخشی از جهان به طور ناگهانی متورم شود، هنوز هم وجود دارد و شاید به طور تصادفی باعث شود دیگر مناطق دوردست جهان به همان شیوه متورم شوند و هرکدام از آن‌ها به یک جهان مثل جهان ما تبدیل گردند. بر طبق این ایده، تکه‌ی کوچکی از یک جهان ممکن است ناگهان متورم شده و شروع به رشد کند. به این ترتیب، فرزندی زاده می‌شود که ممکن است به نوبه‌ی خود جهان نوپای دیگری را به دنیا آورد و این پروسه‌ی زایش و شروع مجدد تا ابد ادامه یابد. در این نظریه، مهبانگ دائما در حال رخ دادن است و جهان‌ها ممکن است دائما جهان‌های جدیدی از درون خود ایجاد کنند. با این فرض جهان ما تنها یکی از بی‌شمار جهانی است که در میان بی‌شمار جهان‌های دیگر قرار دارد.



خدا و مهبانگ

چنانکه دیدید فضا و ماده (انرژی) خلق‌الساعه هنگام واقعه‌ای که اکنون به آن مهبانگ یا بیگ‌بنگ می‌گوییم پدیدار شد. در لحظه‌ی مهبانگ کل جهان ما وارد هستی شد و همراه آن فضا هم آمد و مثل بادکنکی که در آن بدمند منبسط گردید. اکنون بزرگ‌ترین سؤالی که ذهن هر فیزیک‌دانی را به خود مشغول کرده است این است که تمامی این انرژی و فضا از کجا آمد؟ چگونه عالمی کامل و پر از انرژی و گستره‌ی اعجاب‌آور فضا و هر آنچه در آن است همین‌طور از هیچ ظاهر شد؟

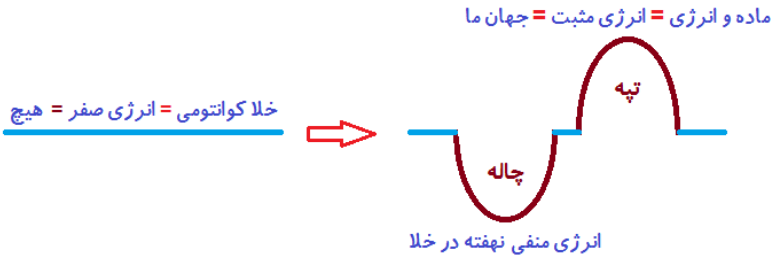
این سؤال هر چند جوابی علمی ندارد اما برای اکثر افراد به ویژه خداباوران موضوعی کاملا بدیهی است. این گونه افراد که ما مسلمانان نیز جزئی از آنهاییم خداوند را علت آن می‌دانند. از نظر ایشان بر طبق قانون پایستگی جرم و انرژی هیچ چیزی نمی‌تواند از هیچ پدیدار شود بلکه باید خالقی قادر مطلق که ما آن را خداوند می‌نامیم این کار معجزه‌مانند را انجام دهد. پس به اعتقاد ما این خداوند بود که آفرینش جهان را از مهبانگ شروع کرد و به یکباره انرژی و فضا را خلق نمود و به دنبال آن قوانین جهانمان را نیز معین نمود تا دنیای ما در نهایت بعد از ۱۳,۷ میلیارد سال بعد از مهبانگ به این شکل امروزی با ستارگان و سیارات و اجرام گوناگون ظاهر شود.

این در حالیست که برخی از دانشمندان ماتریالیست همچون استیون هاوکینگ به آفرینش جهان توسط خداوند اعتقادی ندارند و ظاهرا برای حرف خود دلیلی علمی می‌آورند. هاوکینگ در این باره می‌گوید: «وقتی در انگلستان بعد از جنگ جهانی دوم بزرگ می‌شدم، کمبودهای زیادی بود. به ما گفته بودند تا چیزی ندهید چیزی بدست نمی‌آورید. اما اکنون پس از عمری کار فکر می‌کنم واقعا می‌توان کل یک عالم را به رایگان از هیچ بدست آورد. معمای مرکزی بزرگ مهبانگ این است که عالمی کامل و به طرزی عجیب، عظیم و مالامال از انرژی و فضا چگونه از هیچ برآمد؟ راز آن یکی از عجیب‌ترین خصوصیات کیهان

ماست. قوانین فیزیک وجود چیزی به نام انرژی منفی را الزامی می‌کنند. برای این‌که از این مفهوم عجیب و غریب اما حیاتی سردر آورید بگذارید قیاسی ساده بیاورم. فرض کنید کسی روی زمینی هموار تپه‌ای بنا کند. تپه نماد کیهان خواهد بود. برای ساخت این تپه آن شخص باید چاله‌ای بکند و از خاک آن برای ساخت تپه استفاده کند البته فقط تپه نمی‌سازد بلکه چاله‌ای نیز ایجاد می‌کند که در واقع نسخه‌ی معکوس تپه است. آنچه در چاله بوده الان تپه است و در نتیجه تعادل برقرار است. این اصل زیربنای اتفاقی است که در آغاز کیهان رخ داد. وقتی مهبانگ مقداری عظیم از انرژی مثبت (که اکنون به ستارگان و سیارات تبدیل شده‌اند) ایجاد کرد هم‌زمان همان‌قدر انرژی منفی تولید کرد و به این شکل جمع مثبت و منفی صفر (هیچ) خواهد بود. این انرژی منفی اکنون در فضاست. شاید عجیب به نظر برسد اما خود فضا انباره‌ی عظیمی از انرژی منفی است. آن‌قدر که تضمین کند حاصل جمع صفر باشد.»

بر طبق این ادعا اگر تمامی کهکشان‌ها، ستارگان، ماده و انرژی تاریک و هرچیز دیگری که جهان ما را ساخته‌اند به مثابه‌ی آن تپه بوده و از نظر ریاضیاتی مثبت باشند آنگاه دقیقا به ازای آن‌ها همان مقدار انرژی منفی وجود دارد و این انرژی منفی مثل چاله‌ای است که از نظر ریاضیاتی مقداری منفی دارد و در خود همین فضا نهفته است. در نظر هاوکینگ وقتی می‌گوییم هنگام مهبانگ هیچ چیزی به جز خلا کوانتومی وجود نداشت به معنای آن است که به زمینی مسطح برویم و بگوییم این‌جا هیچ تپه یا چاله‌ای وجود ندارد. وقتی می‌گوییم جهان ما از هیچ زاده شده است مثل این است که ما زمین مسطح را که چیزی در آن وجود ندارد بکنیم و تپه‌ای (در حکم جهان) پدید آوریم. اما این پدیدار شدن جهان بهایی دارد و آن ایجاد شدن یک چاله است. بنابراین بهای ایجاد جهان ما در هنگام مهبانگ این بود که به ازای هر قدر انرژی مثبتی که زاده شد و ستارگان و سیارات را ساخت؛ همان مقدار انرژی منفی نیز پدیدار گردید و در بطن خود فضا

پنهان شد. یعنی اگر اکنون این دو انرژی مثبت و منفی موجود در کیهان به نوعی باهم ترکیب شوند، حاصل جمع صفر شده و به یکباره جهان ناپدید خواهد شد.



امروزه برخی از دانشمندان با این تفاسیر می‌خواهند نقش خداوند را در خلق جهان کمرنگ نمایند و برخی افراد سودجو نیز از این فرصت استفاده کرده و به آن دامن می‌زنند. در حالی‌که این ادعای ماتریالیستی از ریشه دارای مشکل است. اولا این‌که خداوند جهان را از عدم مطلق خلق کرده است و این با هیچ یا خلاء کوانتومی فیزیک‌دانان فرق دارد. در واقع عدم مطلق، نیستی کامل است و تصور آن برای ما مقدور نیست در حالی‌که خلاء کوانتومی هر چند به ظاهر هیچ است اما پر از پتانسیل کافی برای خلق جهان‌های بی‌شمار است. دوما این‌که حتی اگر امکان پدید آمدن چیزی از عدم مطلق ممکن باشد باز هم باید خالقی پشت آن باشد، در واقع طبق قانون علیت هر معلولی علتی دارد و به این ترتیب خود پدیده‌ی مهبانگ نیز باید علتی داشته باشد. به عبارت دیگر حتی اگر جهان ما مثل تپه‌ای از هیچ (زمین مسطح) و یا عدم مطلق پدید آمده باشد باز هم باید کسی یا چیزی این کار را انجام داده باشد(زمین را بکند و تپه‌ای بسازد) و ممکن نیست که این اتفاق به خودی خود رخ دهد.

انرژی تاریک

طبق یافته‌های اخیر دانشمندان این انبساط به تدریج در حال شتاب گرفتن است و هر لحظه بر مقدار سرعت آن افزوده می‌شود. فیزیک‌دانان هر چند درباره‌ی چرایی وقوع تورم اولیه و علت آن پاسخی ندارند اما برای توضیح انبساط کنونی جهان، وجود نوعی نیروی دافعه‌ای را مطرح می‌کنند که در مقیاس‌های بزرگ عمل می‌کند و با نام انرژی تاریک شناخته می‌شود. این انرژی ناشناخته نه تنها باعث انبساط فضا می‌شود بلکه با دور ساختن کهکشان‌ها از هم جهان را از مچاله شدن توسط گرانش حفظ می‌کند و از همه مهم‌تر ۷۳ درصد از ماده و انرژی عالم را نیز شامل می‌شود. دانشمندان هنوز نمی‌دانند که انبساط کنونی ناشی از انرژی تاریک، باقیمانده‌ی همان تورم اولیه است یا علت دیگری دارد اما مقدار عددی آن را که به ثابت کیهانی معروف است برابر 10^{-121} در واحد پلانک بدست آورده‌اند. همان‌طور که می‌بینید شدت این دافعه در فواصل کوچک خیلی خیلی ناچیز است ولی به هر حال وجود دارد و قابل اندازه‌گیری است. این در حالیست که همین انرژی در فواصل کیهانی (چند میلیون سال نوری) باعث می‌شود فضا به صورت تصاعدی گسترده شود و اندازه‌ی جهان هر ۱۵ میلیارد سال یکبار دو برابر گردد.

آینده‌ی جهان در حال انبساط

طبق محاسبات اخترشناسان؛ اگر عاملی باعث توقف یا معکوس شدن روند انبساط فضا نشود، ۹۹,۹۹ درصد کهکشان‌هایی که اکنون می‌بینیم در طول ۱۵۰ میلیارد سال آینده آن‌قدر از ما دور می‌شوند که دیگر نورشان هیچ وقت به ما نخواهد رسید و در نتیجه رصدشان حتی با قوی‌ترین تلسکوپ‌ها نیز امکان‌پذیر نخواهد بود. همه‌ی شواهد و تجربیات علمی حاکی از این است که این گسترش

تا بی‌نهایت ادامه خواهد یافت و در نهایت کهکشان راه شیری ما به همراه ۳۶ کهکشان همسایه‌ای که در گروه محلی قرار گرفته‌اند تمام جهان قابل رویت ما را تشکیل خواهند داد.

اینجا سؤالی پیش می‌آید مبنی بر این‌که چرا این ۳۶ کهکشان گروه محلی مثل دیگر کهکشان‌ها از هم دور نمی‌شوند؟ در پاسخ باید گفت که شدت انرژی تاریک تنها در فواصل بزرگ‌تر احساس می‌شود و باعث دور شدن اجرامی می‌گردد که به اندازه‌ی کافی از هم دور باشند. در جای جای جهان ما کهکشانهایی وجود دارند که نسبتا به همدیگر نزدیک بوده و مثل ۳۶ کهکشان موجود در گروه محلی ما به یکدیگر نزدیک‌ترند. کهکشان‌های موجود در هر کدام از این گروه‌ها به خاطر نزدیک بودن به یکدیگر نیروی گرانش وارد می‌کنند و همدیگر را به سمت هم جذب می‌کنند چنان‌که انرژی تاریک هیچ‌گاه توان جداسازی آن‌ها را از هم نخواهد داشت. البته کهکشان‌های هر گروه در طول زمان در اثر نیروی کششی که به یکدیگر وارد می‌کنند کم کم به هم نزدیک و نزدیک‌تر می‌شوند و به هم برخورد می‌کنند و در نهایت بعد از گذشت میلیاردها سال کاملا در هم ادغام می‌شوند و به یک کهکشان تک و تنها با سیاهچاله‌ای بسیار پر جرم تبدیل می‌گردند.

انجماد بزرگ

اگر این نیروی ضد گرانش ادامه داشته باشد جهان به خاطر انبساطش بسیار بسیار گسترده خواهد بود و رفته رفته دمایش به صفر مطلق (منفی ۲۷۳ درجه‌ی سانتی‌گراد) نزدیک‌تر می‌شود. سرانجام در یک انجماد بزرگ به پایان خواهد رسید. زمانی فرا می‌رسد که ستاره‌های کوتوله سیاه، ستارگان نوترونی و سیاهچاله‌ها تنها اجرام موجود در جهان مرده و سرد با فاصله‌ی تریلیون‌ها تریلیون سال نوری از هم در فضای بی‌نهایت بزرگ و منجمد سرگردان باقی

خواهند ماند. اما این آخر ماجرا نیست. طبق یافته‌های هاوکینگ علاوه بر کوتوله‌های سیاه و ستارگان نوترونی، سیاهچاله‌ها نیز در طول زمان جرم خود را از دست می‌دهند وکوچک و کوچک‌تر شده و در نهایت از بین خواهند رفت. این پدیده به افتخار کاشفش، تابش هاوکینگ نامیده می‌شود و گویای این مطلب است که یک سیاهچاله هرقدر هم بزرگ باشد در نهایت جرم خود را در طول مدت زمانی بسیار طولانی از دست داده و ناپدید خواهد شد. برای مثال یک سیاهچاله‌ی معمولی 10^{87} سال طول می‌کشد تا به صورت کامل تبخیر شود و به شکل غبار سرد و بی‌جانی از ذرات بنیادی در فضای بی‌کران باقی بماند. متاسفانه آخرین داده‌های تجربی از ماهواره‌ها و کاوشگرهای فضایی این موضوع را تصدیق می‌کنند. اما جای نگرانی نیست زیرا زمین و خورشید و قاعدتا نسل بشر خیلی زودتر از این حادثه از بین خواهد رفت.

جهان قابل مشاهده

پیش‌تر دیدید که طبق ثابت هابل در جهان در حال گسترش، هرقدر فاصله‌ی بین دو نقطه از فضا بیش‌تر باشد سریع‌تر از هم دور می‌شوند. بنابراین اگر ما از روی زمین آن دوردست‌ها را نگاه کنیم به نقطه‌ای می‌رسیم که کهکشان‌ها با سرعت نور از ما دور می‌شوند. این نقطه مرز جهان قابل مشاهده یا افق کیهانی نامیده می‌شود و ۱۳,۷ میلیارد سال نوری از ما فاصله دارد. در واقع در هر جهتی که نگاه کنیم کهکشان‌ها در حال عبور از این مرز فرضی‌اند و در ورای آن مرز، کهکشان‌ها سریع‌تر از حدی که نور می‌تواند برود از ما دور می‌شوند و در نتیجه هیچ نور و سیگنالی نمی‌تواند از آن‌ها از ورای این مرز کیهانی به ما برسد. زیرا سرعت دور شدن آنها نسبت به ما از سرعت نور بیش‌تر است و در نتیجه نور ساطع شده از این کهکشان‌ها هرچقدر هم به سمت ما بیایند باز هم نمی‌توانند خود را به چشمان ما برساند. از فصل سوم بخاطر دارید که طبق نظریه نسبیت

خاص هیچ چیزی نمی‌تواند سریع‌تر از نور حرکت کند، به همین دلیل شاید فکر کنید از آنجاکه سرعت دور شدن کهکشان‌های موجود در ورای مرز جهان قابل مشاهده نسبت به ما سریعتر از نور است؛ پس با نظریه نسبیت ناسازگار است. در حالی که این‌گونه نیست. در واقع این فضاست که منبسط می‌شود و به معنی حرکت کهکشان‌ها به سمت فضای بیرون نیست. به عبارت دیگر این انبساط درونی است و به فاصله‌ی نسبی بین اجزای جهان بر می‌گردد و هیچ ناسازگاری با نسبیت خاص ندارد. گفتنی است که سرعت انبساط جهان و دور شدن کهکشان‌ها از ما به حدی زیاد است که اگر اندازه‌ی جهان قابل مشاهده را به یک اتم تشبیه کنیم آنگاه کل واقعی جهان بزرگ‌تر از جهان قابل مشاهده در برابر این اتم خواهد بود.

تصویر گذشته در آسمان شب

آسمان شب همانند ماشین زمان عمل می‌کند. از آنجا که نور با سرعت محدودی حرکت می‌کند ستارگانی که در آسمان شب می‌بینیم آن‌طور دیده می‌شوند که روزی در گذشته بوده‌اند نه در آنچه در حال حاضر هستند.

کمی بیش‌تر از ۸ دقیقه طول می‌کشد تا نور خورشید به زمین برسد. بنابراین وقتی ما به خورشید نگاه می‌کنیم، در حقیقت آن را به گونه‌ای می‌بینیم که ۸ دقیقه پیش بوده است. به همین ترتیب بسیاری از ستارگانی که ما آن‌ها را با چشم غیر مسلح یا با تلسکوپ می‌بینیم آن‌قدر از ما دورند که سال‌ها طول می‌کشد تا نور آن‌ها فضای کیهان را در نوردیده و به چشمان ما برسد. برخی از دورترین اجرامی که ما می‌توانیم با تلسکوپ‌های قدرتمند آن‌ها را تشخیص دهیم اختروش نام دارند. این کهکشان‌های فعال در فاصله‌ی تقریبا ۱۳ میلیارد سال نوری از ما در مرز جهان قابل مشاهده قرار دارند و قدیمی‌ترین چیزهایی هستند که ما می‌توانیم آن‌ها را ببینیم. در واقع اختروش‌ها میلیون‌ها سال است که از بین

رفته‌اند اما نور مرئی آن‌ها اکنون به ما می‌رسد واین فرصت را فراهم کرده است تا دانشمندان با نگاه کردن به دور دست‌ها بتوانند درباره‌ی گذشته جهان اطلاعات ارزشمندی بدست آورند.

منابع:

زیرمن جونز،اندرو؛ رابینز، دنیل. (۲۰۱۰). نظریه‌ی ریسمان. چاپ سوم. ترجمه‌ی مریم ذوقی (۱۳۹۹). تهران: انتشارات آوند دانش.

نصیری قیداری، سعدالله. (۱۳۹۸) . نجوم و اختر فیزیک. جلد اول. چاپ اول. تهران: انتشارات جغرافیایی و کارتوگرافی گیتاشناسی نوین.

گنیو، پولین.(۲۰۱۶). چه کسی به ذرات بنیادی می‌اندیشد: فهم آسان بوزون هیگز و برخورد دهنده‌ی بزرگ هادرونی. چاپ اول. ترجمه‌ی حسن فتاحی(۱۳۹۹). تهران: انتشارات گوتنبرگ

ساسکیند، لئونارد. (۲۰۰۸). جنگ سیاهچاله: نبرد من با استیون هاوکینگ بر سر امن کردن جهان برای مکانیک کوانتومی. چاپ اول. ترجمه‌ی رامین جعفری آزان (۱۳۹۸). تهران: انتشارات مازیار.

نادری قمی، محمد؛ عسگری، آزاده. (۱۳۹۵). ابرخردها: سیری در باغ وحش ذرات زیر اتمی. چاپ اول. قم: انتشارات آتریسا.

کلوز، فرانک. (۲۰۱۲) . فیزیک ذرات. ترجمه فیروز آرش (۱۳۸۷). تهران: انتشارات فرهنگ معاصر.

کلوز، فرانک. (۲۰۰۹) . هیچ. ترجمه‌ی شادی حامدی آزاد (۱۳۹۲). تهران: بصیرت.

کاترل، جف. (۲۰۱۶). انواع تلسکوپ: یک مقدمه بسیار کوتاه. ترجمه‌ی محدثه فاطمی (۱۳۹۹). تهران: انتشارات برون سپهر.

اوبلاکر، اریک. انرژی اتمی. چاپ دوازدهم. ترجمه‌ی بهروز بیضایی (۱۳۸۶). تهران: موسسه انتشارات قدیانی

کاکو، میچیو. (۲۰۰۵) . جهان‌های موازی : سفری به آفرینش، ابعاد بالاتر و آینده‌ی جهان. چاپ دوم. ترجمه‌ی علی هادیان و سارا ایزدیار (۱۳۸۹). تهران: انتشارات مازیار

ویکتوری، ابراهیم. (۱۳۸۵). اسرار کائنات. تهران: انتشارات به نگار.

هاوکینگ، استیون. (۲۰۰۱). جهان در پوست گردو. چاپ هشتم. ترجمه‌ی محمدرضا محجوب (۱۳۸۹). تهران: انتشارات حریر با همکاری شرکت سهامی انتشار.

خداکریمیان، مینا. (۱۳۹۹) . کاشف بوزون هیگز سکوتش را شکست. تهران:

عطران.

لیدل، اندرو. (۲۰۰۳). آشنایی با کیهان‌شناسی نوین. ترجمه‌ی غلامرضا شاه علی (۱۳۹۱). شیراز: انتشارات شاه چراغ (ع).

ریس، مارتین. (۱۹۹۹). شش عدد: نیروهای بنیادی که جهان را شکل می‌دهند. چاپ ششم. ترجمه‌ی سعید تهرانی نسب (۱۳۹۷). تهران: نشر نی

دیویس، پائول. (۱۹۹۴). سه دقیقه‌ی آخر: سرنوشت جهان چه خواهد شد؟ ترجمه‌ی عاطفه حاتمی (۱۳۹۴). تهران: هورمزد.

سیفلو، حسین. (۱۳۹۵). ریاضیات: کلید اسرار طبیعت. تبریز: دانشگاه تبریز.

استراترن، پل. (۱۹۹۷). اینیشتین و نسبیت. چاپ سوم. ترجمه‌ی ابولفضل حقیری (۱۳۹۰). تهران: موسسه انتشارات حکمت سینا.

کارول، شون. (۲۰۱۹). چیزی عمیقا پنهان: جهان‌های کوانتومی و پیدایش فضا زمان. ترجمه‌ی تورج حوری (۱۳۹۹). تهران: انشارات مازیار.

ریس، مارتین. (۲۰۱۲). از اینجا تا بی‌نهایت: دورنمایی از آینده علم. ترجمه‌ی محمد ابراهیم محجوب (۱۳۹۵). تهران: نشر نی.

شعری مقدم، شهاب. (۱۳۹۴). داستان شگفت‌انگیز کوانتوم: ۱۰۰ رویداد شگفت‌انگیز که عصر کوانتوم را شکل دادند. تهران: شرکت انتشارات علمی و فرهنگی.

هاوکینگ، استیون. (۲۰۱۰). طرح بزرگ. چاپ دوم. ترجمه‌ی علی هادیان و سارا ایزدیار. (۱۳۹۱). تهران: انتشارات مازیار.

ویکتوری، ابراهیم. (۱۳۸۶). اسرار کائنات. تهران: انتشارات به نگار.