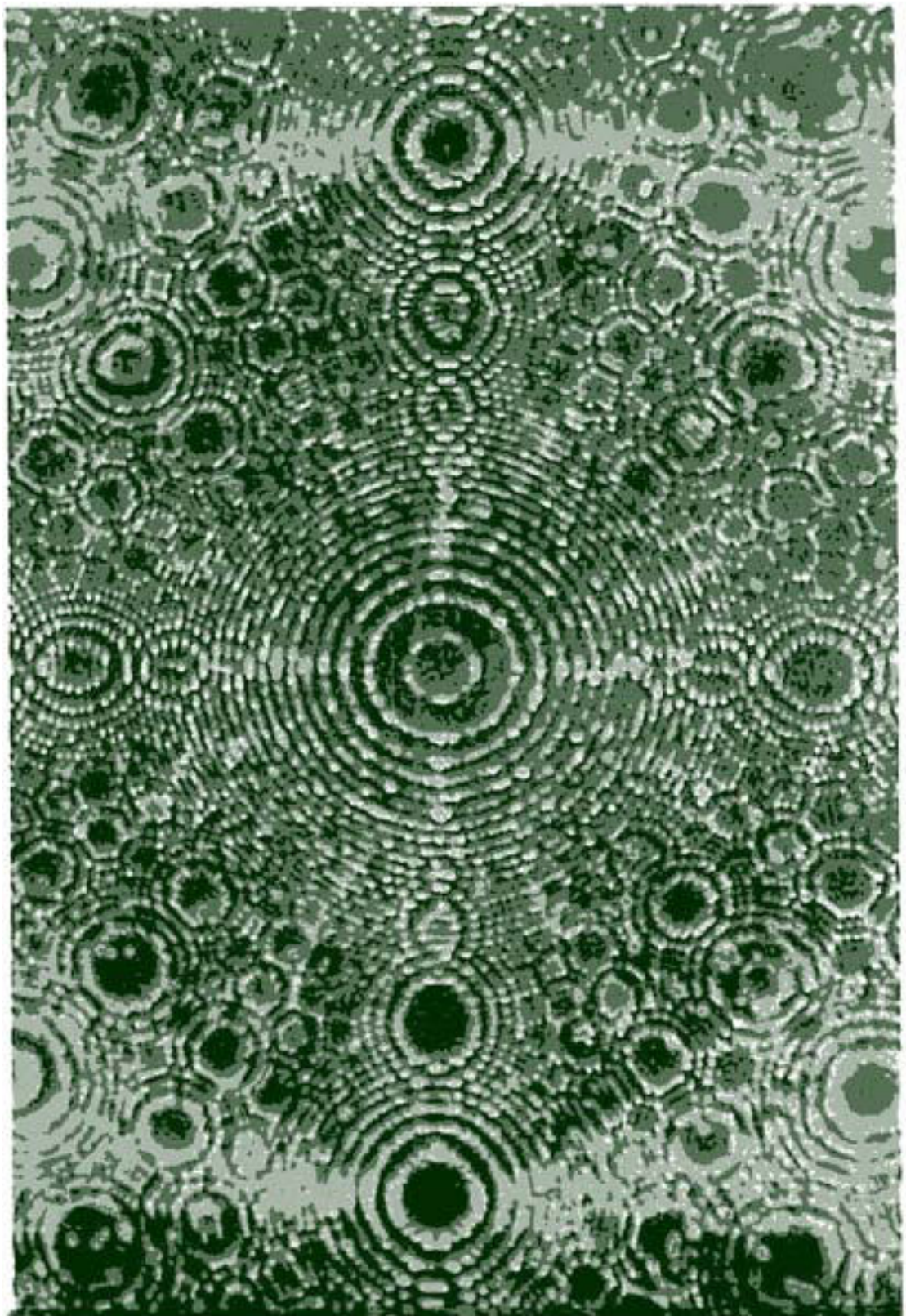
# ماده و انسان

م. واسیلیف
ک. استانیوکوویچ

ترجمهٔ
مهندس پرویز قوامی



# مـــاده و انســـان

تألیف
م. واسیلیف؛ ك. استانیوکوویچ

ترجمهٔ
مهندس پرویز قوامی

انتشارات روزبهان
تهران، ۱۳۵۹

چاپ اول ، ۱۳۴۹

چاپ دوم : ۱۳۵۴

چاپ سوم ، ۱۳۵۶

چاپ چهارم : ۱۳۵۹

انتشارات زوزبهان

با

همکاری مؤسسه انتشارات امیرکبیر

این کتاب در ده هزار نسخه در چاپخانهٔ سپهر چاپ و صحافی شده است.

همهٔ حقوق محفوظ است .

# فهرست مطالب


رو در رو(به‌جای پیشگفتار)

**مادهٔ گیتی**

در پی خلاء ۱

حالتها ومیدانها ۱۶

انسان ارشد ۲۴

جامدها، مایعها، وگازها ۳۱

**پلاسما**

حالت چهارم ماده ۳۹

تخلیه همراه با انقباض ۴۶

سوخت ستاره‌ای ۵۱

**میدان**

مادهٔ لمس‌ناپذیر ۶۳

نیروی همه‌جایی ۷۱

انقلاب دکترا اینشتین ۷۷

گیتی انبساط یابنده ۸۵

ذره‌های جاذبه ۹۰

در قلب اتم ۹۷
کارخانه‌های ماده ۹۹
ذاره‌ها در انتظار کریستف کلمب‌های خود ۱۰۴

ماشینهای پرتوی وجتها

سفری به پس‌فردا ۱۰۹
پرواز از سیارك پالاس ۱۲۳
سفر به‌ستارگان ۱۳۱
پارادوکس زمان ۱۳۸

انفجار

دینامیك گازها ۱۵۵
جریان گاز درخلاء ۱۶۲
موجهای ضربه‌ای ۱۶۶
ستارگان انفجاری ۱۷۵
ابرهای کیهانی ۱۸۲
سرعت به‌منزلهٔ انفجار ۱۸۷
کار انفجار ۱۹۲

زندگینامهٔ گیتی

روز خلقت ۲۰۳
خانوادهٔ سیاره‌ها ۲۱۱
یك دور مارپیچ ۲۱۸
فرمانروایان گیتی (به‌جای نتیجه) ۲۳۵

# رو در رو

(به‌جای پیشگفتار)

میلیونها نفر شاهد حادثهٔ بزرگی بر روی پردهٔ تلویزیون خود بودند: یك ناو فضایی بر فراز زمین شناور بود، و ناگهان مردی در لباس فضانوردی از دریچه‌ای در بدنهٔ فلزی ناو بیرون خزید. لحظه‌ای چند مانند مگسی که به دیوار نشیند خود را به بدنهٔ ناو چسباند و آنگاه به درون فضای بیکران پرید؛ فقط طنابی که اورا به‌ناو وصل‌می‌کرد ازگم‌شدنش دردنیای شگفت اطراف‌جلوگیری می‌کرد. آلکسی لئونـوف[1] از اتحاد جماهیر شوروی، نخستین فضانوردی بودکه موفق شد از درون ناوفضایی خود خارج شود و رو در روی‌گیتی[2] قـرارگیرد. این واقعه در ۱۸ مارس ۱۹۶۵ روی داد. در انتهای دیگر طناب زندگی کـه به‌لباس فضایی‌اش متصل می‌شد، ناو فضایی و اسخود-۲، آفـریدهٔ برجستهٔ فکر و دستهای انسان، درحرکت بود. اما پنجاه سال دیگرهمین شاهکار دست بشر، مشابه همان هواپیماهای‌خیزرانی وکرباسی اوایل‌قرن بیستم خواهد بودکه اینك زشت وکهنه می‌نمایند.

لئونوف گیتی را باهمهٔ شکوه و جلالش دربرابر خود دید. زمین درمیان هالهٔ‌آبی رنگ جوّش، بسان‌کرهٔ جغرافیایی بزرگی بودکه قاره‌ها و اقیانوسها را نشان می‌داد. کـرهٔ عظیم و متلاطم

1) Alexi Leonov  2) universe

خورشید، بی‌آنکه جوّی جلودارش باشد، با تابش‌شدید و کور-کننده‌ای می‌درخشید. ستارگان درخشان واقع در نقشهای آشنای صورتهای فلکی، در پهنهٔ آسمان مخملی سیاه بدون اینکه چشمك بزنند با خورشید نورافشانی می‌کردند.

پس از آنکه ده دقیقه‌ای ازاین سفر پرماجرا گذشت، لئونوف خود را با طناب اتصال به‌درون سفینه کشاند، و پس از گذشتن از ناحیهٔ هوابند، در بازوان همسفر فضانوردش پاول بلیایف[1] که فرماندهی سفینه را به‌عهده داشت جا گرفت.

قدم نخستین برداشته شد. در آیندهٔ نزدیك آدمیان دیگری رو در روی گیتی، که از نظر زمان و مکان بیحد و بی‌نظیر است، خواهندایستاد، گیتی پهناوری که آغاز وانجامی نمی‌شناسد. حال ببینیم انسانی که می‌خواهد با گیتی روبرو شود از آن چه می‌داند؟ او روی سیاره‌ای زندگی می‌کند که خود به‌دور یکی ازستاره‌های کوچکی می‌گردد که در یك قسمت پرت و دور از هستهٔ درخشان ومتراکم کهکشان، راه‌شیری، واقع است. اودرقعر اقیانوس گازی نیمه کدری که‌ذرهٔ غباری‌ازجزیرهٔ کهکشانی‌مارادربرگرفته، در روی یکی ازمیلیونها سیاره روزگارمی‌گذراند. آیامی‌توان‌امیدی داشت که انسان در این نقطهٔ دور دست کهکشان، چیزی‌ازگیتی فراگیرد؟

انسان در طول تاریخ کوتاه خود فرصت کمی داشته است تا ازآنچه درپیرامونش می‌گذرد دانسته‌ها به‌دست‌آورد. او به‌تازگی فقط شناخت و درك خویش راآغازکرده است. تمدن ده‌هزارسالهٔ بشر در مقایسه با زمانی که ماده در گیتی تکامل می‌یابد، لحظه‌ای زودگذراست. کمترازه۴۵ سال پیش بودکه انسان برای نخستین

1) Pavel Belyaev

بار با کشتیرانی به‌دور زمین ثابت کرد که سیاره‌اش کروی است. اندکی بیش از نیم قرن است که او ــ در ابتدا فقط به کمک استدلال نظری ــ برخی از قوانین مربوط به‌مکان، زمان، و حرکت را کشف کرده، و کار پژوهش دربارهٔ اسرار ساختمان ماده را تازه آغاز کرده‌است. درحقیقت، دانش انسان دربارهٔ گیتی ناچیز است و هنوز خیلی چیزها باید بیاموزد. اما او موجودی کنجکاو است و به تدریج پرده از روی همهٔ اسرار آن برخواهد داشت.

شاعران، ستارگان را به‌دیدگان چشمک‌زن گیتی که چشم به‌زمین دوخته‌اند، تشبیه کرده‌اند. انسان هزاران سال بر آنها می‌نگریسته است. در ابتدا ستارگان را بیهوده نظاره می‌کرد، ولی بعدها به سوی مشاهدات منظم و اصولی گروید. نخست کار را با ساده‌ترین وسایل آغاز کرد، ولی امروز صاحب تلسکوپهای غول‌پیکر با عدسیهای به‌قطر دهها سانتیمتر، و سایردستگاههای حیرت‌انگیز است. او سیاره‌ها را از ستاره‌ها تشخیص داد، فواصل سحابیهای دور دست را اندازه گرفت و دانست که چگونه به‌صداهای رادیویی ابرهای گازی رقیق بین ستارگان گوش دهد. مشاهدات انسان تا امروز تنها از طریق طیف الکترومانیتیك بوده، که جو مانع آن نیست.

هم اکنون انسان کار پرتاب دیده‌وران مکانیکی را به‌سوی فضای خارج آغاز کرده است. او نخستین ماهواره‌های زمین و سیاره‌های مصنوعی را خلق کرده و اولین اجسام مادی را به‌اختران دیگر روانه داشته است.

انسان زیرك و کنجکاو است. به‌محض اینکه قانون جدیدی از طبیعت را کشف می‌کند، می‌کوشد تا برای نیل به‌هدفهای خود از

آن بهره‌برداری کند. با کشف اسرار آذرخش، از آن برای تولید روشنایی برق استفاده می‌کند. و با آشنایی و شناخت قوانین جریان آب رودخانه، به‌کار حفر کانالها و دریاچه‌های مصنوعی دست می‌زند، و به‌این ترتیب آب و هوای کلیهٔ مناطق را دستخوش تغییر و دگرگونی می‌سازد. او قدرت حاصل از شکافت هستهٔ[1] اورانیوم را مهار کرده، و به‌زودی راه رام کردن واکنشهای گرماهسته‌ای[2] را که گرما بخش خورشیدند، خواهد آموخت. هنگامی که قوانین گیتی را کشف می‌کند، مسلماً آنها را به‌کار می‌گمارد و به‌خدمت خود درمی‌آورد. او در آینده به‌تجدید ساختمان منظومه‌های سیاره‌ای خواهد پرداخت، ستارگان را جا به‌جا خواهد کرد و درخشش آنها را تنظیم خواهد کرد. بیگمان انسان، فرمانروای گیتی خواهد شد، و این گیتی بیکران نیز مانند قوانین و پدیده‌های زمینی خدمتگزارش خواهد شد.

۱) nuclear fission ــ واکنشی که براثر آن یک هستهٔ اتمی سنگین (هستهٔ اورانیوم) به دو هستهٔ سبکتر تبدیل می‌شود و درنتیجه مقدار زیادی انرژی آزاد می‌گردد. ــ م.

2) thermonuclear

# مادهٔ گیتی

## در پی خلاء

زمانی که دانشپژوهان قرون وسطا دیدند که آب در لوله پیستون را دنبال کرده به‌بالا می‌رود، گرچه قبول این پدیده برایشان دشوار بود، معهذا توضیحی ساده یافتند: خلاء وحشتزا. و اظهار داشتند که طبیعت اصلا نمی‌تواند خلاء را تحمل کند. بعدها دانشمند ایتالیایی اوانجلیستا توریچلی[1] ثابت کرد که فشار جو باعث بالا رفتن آب در لوله می‌شود. او فشار را اندازه‌گرفت و پی برد که معادل یك ستون ۱۰ متری از آب یا یك ستون ۷۶۰ میلیمتری از جیوه است. توریچلی لوله‌ای شیشه‌ای به‌طول یك‌متر اختیار کرد و یك سر آن را مسدود کرد، بعد آن را از جیوه پر کرد، و با دقت قسمت باز لوله را در طشتکی از جیوه فرو برد و لوله را به‌طور قائم نگهداشت. مقداری از جیوه وارد طشتك شد و فضای آزادی در انتهای فوقانی لوله ظاهر گردید.

او چنین استدلال کرد: «انتهای فوقانی لوله با هوای خارج ارتباطی ندارد و هوا نمی‌تواند از طریق دیواره‌های شیشه‌ای یا جیوه بدان راه یابد. بنابراین، قسمت فوقانی باید خلاء مطلق

1) Evangelista Torricelli

باشد.»

این آزمایش در سال ۱۶۴۳ انجام شد، و از آن پس فضای بالای ستون جیوه در فشارسنجهای جیوه‌ای، به‌نام «خلاء توریچلی»[1] معروف گشته است.

امروزه‌هر فیزیکدانی برای شما خواهد گفت که خلاء توریچلی یك خلاء مطلق و حقیقی نیست. زیرا اولا شامل بخار جیوه است. ثانیاً تعداد کمی مولکولهای ازت، اکسیژن، وگاز کربنیك در آن دیده می‌شود. این مولکولها بجیوه تعلق دارند، که مانند هرمایع دیگر، گازها را در خود حل می‌کند. لذا، مولکولها به آسانی ازجیوه خارج می‌شوند، و وارد خلاء فوقانی ستون جیوه می‌گردند. فیزیکدان همچنین برای‌شما ازمشکلاتی که دانشمندان در تهیهٔ خلاء کامل و حتی نگهداری آن مواجه می‌شوند سخن خواهد گفت. ناکاملی خلاء ساختهٔ انسان، هنگامی روشن شد که دانشمندان شروع کردند به‌پرتاب موشکها به‌ارتفاعهای زیاد، جهت نمونه‌برداری از هوای لایه‌های فوقانی جو. در وهلهٔ اول، کار کاملا ساده‌ای به‌نظر می‌آید. کافی‌است استوانه‌ای فلزی، به‌اندازهٔ مناسب و با سوپاپهای هوابندی شده، اختیار کرد، تمام هوای داخل آن را با تلمبه خالی کرد، و پس از قرار دادن در موشك، به‌ارتفاع دویست یاسیصد کیلومتری زمین، به‌درون یونسپهر[2] پرتاب کرد. درآنجادستگاههای خودکارسوپاپها را باز می‌کنند، هوای خارج را به‌داخل استوانه راه می‌دهند، و دوباره سوپاپها را می‌بندند. سپس یك چتر نجات با احتیاط نمونه را به زمین باز

1) Torricellian vacuum  2) ionosphere

می‌گرداند.

اما شرح این عمل از انجام دادنش ساده‌تر است. درحقیقت، کاری که دانشمندان می‌توانستند بکنند این بود که «خلائی» بـه وجودآورند که همان چگالی جـو را در سیصد کیلومتری* سطح زمین داشته باشد. در روی زمین، هرماده‌ای، خـواه فلـز، شیشه، چوب یا پلاستیك، دارای مقداری گاز است که به‌آسانی درخلاء پراکنده می‌شود. این فرارونده[1] مشابه با خـارج شدن حبابهای گاز ازبطری آب معدنی است. تامادامی که در بطری بسته است، فشار داخل آن بیش از حد معمول است، گاز درآب حـل شده و هیچ چیزوجودآن را ظاهرنمی کند. اما همینکه دربطری بازشود، فشار افت می کند و حبابهای گاز با صدا از سطح آب خـارج می‌شوند وآب ظاهراً می‌جوشد.

هنگامی که مـوشك به‌ارتفاع ۲۵۰-۳۰۰ کیلومتری مـی‌رسد، در مواد سازندهٔ آن چنین «غلیانی»، البته نه به‌همـان شدت، رخ می‌دهد. حتی درآزمایشگاه که بادستگاههای دقیق ومجهز می‌توان خلاءفوق‌العاده زیاد دراستوانه‌های شیشه‌ای‌وفلزی‌تولید کرد، امکان اینکه بتوان‌خلاء‌را برای مدت طولانی‌نگاه‌داشت بعید است، زیرا گازها شروع به‌خارج‌شدن از دیواره‌های استوانه می کنند، وحتی هوای‌خارج‌از طریق آنها به‌داخل‌نفوذ می کند. بنابراین دیده می‌شود که آوردن نمونهٔ هوا از ارتفاعهای خیلی زیادکارآسانی نیست.

زمانی که دانشمندان شوروی کار مطالعهٔ جو فوقانی راآغـاز

* یك کیلومتر(km) تقریباً برابر ۰٫۶۲ میل است؛ برعکس، ۱ میل = ۱٫۶۱ کیلومتر.

1) Process

کردند، برای این‌منظور کپسولهای جدا شونده‌ای به‌موشك متصل کردند. در ارتفاع لازم، کپسولها (که دومتر* طـول و تقریباً ۴۰ سانتیمتر قطر داشتند) از موشك جدا شدند. قـدر مسلم اینکه از کپسولها نیز گاز خارج شد، اما نه به‌اندازهٔ موشك.

آیا می‌توان خلاء کامل را درجایی ازگیتی، بالاتـر از قشری از هوا که فشارش ۷۶۰ میلیمتر جیوه است یافت؟ بـرای یافتن این مکان، باید به‌فراسوی جو سفر کرد و بـرای چنین سفری به سفینهٔ مناسبی نیاز است. بدیهی است که بالون قادر به‌انجام این کار نیست، زیرا حتی یك بالون ستراتسفری[1] کـه ستراتوستات[2] نامیده می‌شود، فقط تا ۲۰ کیلومتری سطح زمین می‌توانـد ما را بالا ببرد. البته، سفینهٔ مورد نظر باید کاملا هوابندی شده باشد زیرا در ارتفاع ۸ یا ۱۰ کیلومتری از سطح دریا، هوا به‌قـدری رقیق است که عمل تنفس را غیر ممکن می‌سازد. صحبت از خـلاء در ارتفاعی کـه بـالونها صعود می‌کنند خنده‌آور و مضحك است چونکه بالون درست مثل چوب‌پنبه‌ای که در آب بـالا می‌رود، در هوا صعود می‌کند. بافرستادن بالونهای هواشناسی تا ارتفاعهای ۴۰ ـ ۳۵ کیلومتری، معلوم‌شده که جو در آن ارتفاع هنوز قدری متراکم است.

یکی‌دیگر ازنشانه‌های معلوم ومحسوس فشارجو، ابرهاهستند. بالاترین ابرها که به‌ابرهای شبتاب[3] معروفند، آنهـایی هستند کـه معمولا در ارتفاع نزدیك ۸۰ کیلومتری دیـده می‌شوند. انـدکی

* یك متر (m) در حدود ۱٫۱ یارد یا در حدود ۳٫۳ فـوت است؛ ۱ فـوت در حدود ۳۰٫۵ سانتیمتر است. ۰٫۳ متر =

1) stratosphere 2) stratostat 3) noctilucent

بالاتر، بین ۱۰۰ و ۱۲۰ کیلومتری، شهابها به‌صورت ستارگان ثاقب یا تیر شهاب[1] به‌نظر می‌آیند. شهاب در حال پرواز پدیدهٔ پیچیده‌ای‌است که ازبرخورد سریع جسمی که بارالکتریکی دارد، با هوا حادث می‌گردد، و این خود نشانهٔ آن است که هنوز جو به‌قدر کافی در ۱۲۰ کیلومتری سطح زمین وجود دارد. شفق قطبی (نورهای شمالی و جنوبی) که در بالاترین لایه‌های جو به‌وجود می‌آیند، تا ارتفاع ۱۲۰۰ کیلومتری دیده شده‌اند.

لازم به‌گفتن نیست که نه بالونهای سبکتر از هوا و نه هواپیماهای سنگینتر از هوا، نمی‌توانند در پویش[2] و جستجوی حاشیهٔ جو، که در مقابل فضای بیکران چیزی به‌حساب نمی‌آید، به‌کار روند. موشکها یگانه خودروهایی هستند که برای چنین گشت وگذارهای دوردست، مناسب تشخیص داده شده‌اند، و موشکهای بلندپرواز وماهواره‌ها[3] اطلاعات باارزشی دربارهٔ لایه‌های فوقانی جو، به‌دست آورده‌اند. معلوم شده که جو مرز مشخصی ندارد، و در جایی بین ۲۰۰۰ تا ۳۰۰۰ کیلومتری آن‌قدر رقیق می‌شود که به‌گاز بین سیاره‌ای تبدیل می‌گردد.

جستجوی ما برای یافتن خلاء کامل، نخستین سفر ازچند سفر دور و درازی است که نویسندگان کتاب برای خوانندگان در نظر گرفته‌اند. اگر فکر کنجکاوی ندارید، یا به‌این چنین مسافرتی اهمیت نمی‌دهید، ممکن است از همین لحظه کتاب را ببندید. اگر مایلید دراین مسافرت همراه ما باشید، یك کشتی خیالی تهیه

1) shooting star 2) exploration 3) artificial satellites

دیده‌ایم که قادر است در آن واحد ما را به‌هر نقطه از گیتی ببرد. این خودرو جادویی از رؤیاها نیرو می‌گیرد، پایگاه پرتابش براساس پیشرفتهای علم و مهندسی استوار است، سوخت مورد نیازش از تئوریها و پیش‌بینیهای علمی ترکیب یافته و مجهز به هرنوع وسیلهٔ اندازه‌گیری است که در مطالعات ما مورد استفاده قرار می‌گیرد. پس اکنون همهٔ ما برای انجام نخستین مأموریت علمی سوار براین کشتی می‌شویم.

اولین توقف ما در ارتفاع ۳۰۰۰ کیلومتری از سطح زمین، یعنی درست خارج از حاشیهٔ جو است. دستگاه شمارش ذرات باردار، نشان می‌دهد که این منطقه به‌هیچ وجه خلاء نیست، زیرا مقادیر زیادیَ پروتون با انرژی ۱۰۰ میلیون الکترون ولت (Mev) را مشخص می‌سازد. این ذره‌های بنیادی[1] در دام میدان مغناطیسی زمین گرفتار شده و با حرکت مارپیچی خود در طول خطهای نیروی این میدان، سه کمربند تابشی در اطراف زمین تشکیل می‌دهند. (دورترین کمربند نسبت به‌زمین اخیراً کشف شد و هنوز اطلاعات زیادی دربارهٔ آن به‌دست نیامده.) کمربند میانی از ذراتی تشکیل شده که دهها هزار الکترون ولت انرژی دارند. احتمال دارد که این ذرات از سطح خورشید و منابع دوردست فضای خارج آمده باشند.

کمربند درونی را دانشمندان از منشاء دیگری می‌دانند. جریان پرتوهای کیهانی، لایه‌های فوقانی جو را بمباران می‌کنند. تصادم بین ذرات فضای خارج که دارای سرعت فوق‌العاده زیادی هستند

1) elementary particles

و انتهای گازهای جوی، غالباً باعث شکسته شدن هسته‌های اتمی می‌گردد. یکی از فرآورده‌های چنین شکافتی، اغلب ذره‌ای بنیادی است که نوترون نامیده می‌شود. بسیاری از این نوترونها از جو رقیق فوقانی می‌گذرند، وبدون اینکه باذرات دیگر تلاقی داشته باشند وارد میدان مغناطیسی زمین می‌شوند. نوترون، همانطور که از اسمش پیداست، ذره‌ای است از نظر الکتریکی خنثا. این ذره روی میدانهای الکتریکی اثر متقابل ندارد، فقط تأثیر خیلی ضعیفی روی میدانهای مغناطیسی دارد و می‌تواند به‌آسانی از میدان مغناطیسی زمین گذشته وارد فضای خارج گردد. اما نوترون، ذرهٔ ناپایداری است، و معمولاً در هر ۱۱٫۷ دقیقه نیمی از تعدادی نوترون تجزیه می‌شود، که حاصل این تجزیه یك پروتون، یك الکترون و یك نوترینو است. اگر این عمل در داخل میدان مغناطیسی زمین رخ‌دهد، پروتون گرفتار می‌شود زیرا دارای بار مثبت است و تحت تأثیر میدان مغناطیسی زمین قرار می‌گیرد، همین پروتونها هستند که کمربند تابشی درونی را تشکیل می‌دهند. با انفجار بمبهای اتمی درجو فوقانی یا درفضای مجاور، کمربند درونی شکل بزرگتری به‌خود می‌گیرد. انفجار اتمی تعداد شگرفی نوترون آزاد می‌سازد، که منبع پروتونهای جدیدی خواهند بود.

تاچندی پیش که هنوز دانشمندان اطلاعاتی کافی دربارهٔ شدت واقعی تابش کیهانی در فضای بین سیاره‌ها نداشتند، ترسی در میان آنها راه یافته بود که مبادا شدت این تابش مانع پروازهای فضایی گردد. امروزه می‌دانیم که تابش کیهانی چندان شدید نیست وخطر بزرگی برای مسافرتهای فضایی نخواهد داشت. اما، کمربندهای تابشی زمین باشدت فوق‌العاده زیاد خود، موضوع دیگری

هستند، و مسافران فضایی ناگزیرند با سرعت هرچه تمامتر ازمیان این کمربندها بگذرند و حتی بهتر است که از کنـار آنها عبور کنند.

زمانی بود که دانشمندان زمین را به‌صورت فندق بزرگی که در داخل پوستهٔ گازی نازکی محصور شده، تشبیه می کردند. امروزه می‌دانیم که جـو زمین نه‌تنها تا چند صد کیلومتر بلکه تا ارتفاع ۲۰۰۰ کیلـومتری زمین امتداد دارد و سپس وارد فضـای گازی بین‌سیاره‌ها می گردد. به‌علاوه، زمین را هالهٔ بـزرگی از تابش در برگرفته که قطر آن به۵۰،۰۰۰ کیلومتر می‌رسد، و شامـل ذره‌های بنیادی بارداری است که به‌دور خطهای نیـروی مغناطیسی چـرخ می‌زنند. و بالاخـره، چند سال قبـل دانشمند شوروی ای. اس. آستاپوویچ[1] کشف کـرد کـه یك رشتهٔ گازی از زمین در جهـت مخالف خورشید کشیده شده است. وجود این رشته به‌علت فشار نور است که ذرات ریز گرد وغبار وگاز را از جو فوقانی به‌خارج می‌راند.

واضح است که برای پیدا کردن خلاء کامل باید جایی دیگررا جستجو کنیم. موتورهای موشك خیالی را روشن می کنیم و ابر تابشی دوروبر زمین را ترك می‌گوییم. بالا و بالاتـر می‌رویم، از ماه عبور می کنیم؛ در حالی که می‌دانیم میدان مغناطیسی ندارد و کمربندهای تابشی آن را احاطه نکرده‌اند. اما به‌خاطر داریم کـه دستگاههای موشك روسی کـه در سپتامبر ۱۹۵۹ بـمـاه رسید، افزایش ذرات یونیده[2] را در فاصلهٔ ۱۰،۰۰۰ کیلومتری از قمر

1) I. S. Astapovich 2) ionized

طبیعی زمین، آشکارساخت. این‌می‌تواند نوعی یون‌سپهرماه یا فقط ناحیه‌ای از تجمع زیاد ذرات بنیادی با انرژی دهها الکترون ولت باشدکه ماه را فراگرفته‌اند. بهترین کارآن است که خلاء کامل را در جایی دورتر از اجرام کیهانی بجوییم.

تهی بودن فضای خارج همانقدر غیرواقعی است که تهی بودن خلاء توریچلی. دستگاههای ما نشان می‌دهدکه فضای خارج را گاز رقیقی که درهرسانتیمتر مکعب آن متجاوز ازیك صد مولکول وجود دارد، فراگرفته است. این خلاء نیست! اما حتی اگر هیچ مولکول گازی هم وجود نمی‌داشت، آیا می‌توانستیم بگوییم که فضای خارج مطلقاً یك‌محیط تهی است؟ جواب این پرسش منفی است، زیرا تابش شدید خورشید و ستارگان در فضا نفوذکرده و با اینکه شدت این تابش بافاصله کاهش می‌یابد، معهذا تشخیص آن به‌آسانی امکان‌پذیر است. می‌دانیم که پرتوهای نوری، پرتوهای ایکس، پرتوهای فروسرخ[1] و فرابنفش[2]، و به طورکلی همهٔ تابشهای الکترومانیتیك، ماهیت مادی دارند و می‌توانند مانند جریانهایی ازذرات ریز وفوتونها که دارای جرم، سرعت، و انرژی هستند مورد مطالعه و بررسی قرارگیرند. هرگز نمی‌توانیم فضای تهی را مکانی بدانیم که ازطریق آن، جریانهای بی‌پایانی از ذرات می‌گذرند. میدانهای عظیم گرانشی[3](جاذبه‌ای) را نیز که برهم تأثیر متقابل دارند به‌این بیفزایید. بعداً دربارهٔ این نیروی مرموز طبیعت سخن خواهیم گفت. بی‌آنکه وارد جزئیات موضوع شویم، همین قدر متذکر می‌شویم که میدانهای گرانشی

1) infrared 2) ultraviolet 3) gravitational

در همه‌جا یافت می‌شوند. هرذرهٔ مادی، از مولکول خردگرفته تا ستاره‌ای غولپیکر، میدان جاذبه‌ای بوجود می‌آورد، که اجسام مادی دیگر را جذب می‌کند یا مجذوب آنها می‌شود.

به‌نظر می‌آید که کشتی خیالی ما در میان فضایی تهی از ماده، معلق‌شده‌است. ولی، درواقع، در روی مداری بیضی شکل بدور خورشید درحرکت است. موتورهایش سرعت کافی به‌آن داده‌اند تا بتواند ازقید جاذبهٔ زمین رهایی یابد. اگرجاذبهٔ گرانشی زمین و خورشید وسیاره‌ها وجود نداشت، سفینهٔ ما روی‌خط مستقیمی به‌سوی بینهایت می‌رفت. اماجاذبهٔ‌نیرومند خورشیدآن را به‌طرف خود می‌کشد و مسیر حرکت به‌صورت منحنی مسدودی در می‌آید.

خوشبختانه، ذخیرهٔ سوخت ما نامحدود است، و می‌توانیم از

---

**به‌زبان ریاضی**

برای استفادهٔ خوانندگان کنجکاو و علاقه‌مند بمسائل ریاضی، در حاشیهٔ بیشتر فصلها اطلاعات اضافی داده شده است. برخی ازقوانین اساسی طبیعت به‌کمک فرمولها و روابط جبری به‌طرزساده‌ای بیان گردیده، و ازشرح وتفسیر کلی فرمولهایی که‌تعبیر فیزیکی آنها درمتن آمده، صرفنظر شده است. اما خواننده می‌تواند این روابط را درمحاسبات خود به‌کار بندد. مثلا قادر است جرم سوختی راکه باید دریك موشك فوتونی «بسوزد» تا سرعت معینی به‌آن‌بدهد، یا تغییر سرعت و فشار گاز را در هنگام انفجار یا اینکه چگونه اجرام سماوی یکدیگر را جذب می‌کنند محاسبه کند.

به‌کمك‌این‌روابط ریاضی، خواننده قادر خواهد بود در ژرفای جهان ماده نفوذکند وعلاوه براین، در وی عطش و

جاذبهٔ گرانشی خورشید بگریزیم. حال که صحبت از جاذبه به‌میان آمد، می‌دانیم که نیرو فقط می‌تواند هنگام تأثیر متقابل دو جسم خود را آشکار سازد. خلاً نمی‌تواند درهرسازوکار (مکانیسم)[1] انتقال نیرو به‌جای رابط به‌کار رود. ظاهراً، فضای بین سیاره‌ها را باید محیطی مادی اشغال کرده باشد که‌آن را میدان‌گرانشی می‌نامیم.

در فضای بین سیاره‌ها، دستگاههای ما انواع بسیاری از ذرات سرگردان را نشان می‌دهد که مرتباً این سو و آن سو می‌روند. مشکل می‌توان آنها را ماده نامید. با وجود این وقتی دربارهٔ هریك از آنها بررسی جداگانه‌ای به‌عمل می‌آید معلوم

1) mechanism

---

→ میل به‌مطالعهٔ کتابهای پیچیدهٔ علمی، که در آنها مسائل به تفصیل تشریح گردیده، به‌وجود خواهد آمد.

## منشاء پرتوهای کیهانی

هرگاه در محیطی تخلیهٔ الکتریکی رخ دهد، ذرات بارداری تولید می‌شود و محیط به‌صورت پلاسما درمی‌آید. در پلاسما، میدان الکترومانیتیك ظاهر می‌گردد. اگر ضریب هدایت پلاسما بسیار زیاد و در حال سکون باشد، فقط میدان مغناطیسی تولید می‌شود، و حال آنکه یك محیط متحرك ایجاد میدان الکتریکی می‌کند.

میدان مغناطیسی فشاری روی محیط وارد می‌کند. مقدار این فشار (داخلی) از فرمول زیر به‌دست می‌آید:

$$P = \frac{H^2}{8\pi}$$

که در آن $H$ قدرت یا شدت میدان مغناطیسی، یعنی اندازهٔ ←

می‌شود که ازهسته‌های عناصر عادی جدول تناوبی مندلیف‌اند، خصوصاً هسته‌های هیدروژن وهلیوم فراوانند، و نیز تعدادکمی از هسته‌های سنگینتر نیکل وآهن دیده می‌شود. این ذرات باسرعتی نزدیك به‌سرعت نور حرکت می‌کنند، و معمولاآنها را پرتوهای کیهانی می‌نامند. اینهـا نیز ساکن «خلا» فضـای بین سیاره‌ها هستند.

گازبین سیاره‌ها، جریانهای فوتون، پرتوهای کیهانی، میدانهای گرانشی ــ بعید است که باوجود اینها خلائی وجود داشته باشد. بنابراین از زمین و خورشید دورتر و دورتر می‌شویم و از مدار دورترین سیاره‌ها، یعنی نپتون وپلوتون، نیز می‌گذریم تا بالاخره وارد فضای بین‌ستارگان‌گردیم. موتورهای موشك می‌غرند، واثر جاذبهٔ خورشید تدریجاً کاهش می‌یابد. قرص زرد رنگ خورشید

---

انرژی میدان است.
در حجم واحد، مقدار این انرژی عبارتست از،

$$\varepsilon = \frac{H^2}{8\pi}$$

انرژی میدان‌الکترومانیتیك ازفرمول‌زیر به‌دست می‌آید،

$$\varepsilon = \frac{E^2 + H^2}{8\pi}$$

که درآن $E$ قدرت یا شدت میدان الکتریکی است.
ذرات محیطی‌که درمعرض فشار وشتاب مغناطیسی قرار می‌گیرند، ممکن است در فضا (و در شرایط‌آزمایشگاهی درروی زمین) سرعت فوق‌العاده زیادی، نزدیك به‌سرعت نور، پیداکنند.

با زیاد شدن فاصله، به‌سرعت کوچك می‌شود و سرانجام درفضای بیکرانی که منور از پرتو ستارگان است، به‌ستارهٔ کوچکی تبدیل می‌گردد. باز عقربه‌های دستگاههای ما در ارتعاشند واکتشافهای خود راگزارش می‌دهند:

ـ مولکولهای گاز، به‌مقادیر کمتر ازفضای بین سیاره‌ها. و نیز بسیاری الکترونهای آزاد؛

ـ فضا را موجهای الکترومانیتیك با طـول موجهای مختلف فرا گرفته است، یعنی فوتونهایی که دارای انرژیهـای متفاوتی هستند؛

ـ میدانهای گرانشی حساس متعلق به‌ستارگان نزدیك، و جاذبهٔ کلی خوشه‌های ستاره‌ای اطراف هستهٔ راه شیری؛

ـ پرتوهای کیهانی با شدت قابل توجه، کـه فقط اندکی از شدت فضای بین سیاره‌ها کمتر است؛

بازهم به‌راه خود ادامه می‌دهیم وازراه شیری‌خارج می‌شویم. خـورشید تا نـزدیکترین لبهٔ کهکشان[1] در حدود ۴۰،۰۰۰ سال نوری فاصله دارد ـ این مدتی است که طول می کشد تا پرتوی از نور خورشید راه شیری را ترك‌گوید. اما کشتی خیالی مـا از نور هم‌تندتر حرکت می کند (این‌سرعت را فقط کشتیهای رؤیایی می‌تـوانند داشته باشند) و اکنون مـا در فضای بین کهکشانه[2]ها هستیم. ابرمارپیچی درخشانی که دو بازوی مشخص دارد و درآن دور دست دیده می‌شود، همان کهکشان ما یعنی راه شیری است. در سرتاسر گیتی، سحابیها[3]ی دیگر بسیارند ـ آنها کهکشانه‌هایی

1) Galaxy 2) galaxy 3) nebulae

هستند که از بس دورند به‌صورت نقاط درخشانی به‌نظر می‌آیند. از مجاور یك ستارهٔ تنها عبور می‌کنیم، اما بیشتر ستارگان گیتی در کهکشانه‌ها گرد آمده‌اند و آن قدر دورند که رؤیت آنها امکان‌پذیر نیست.

وقت آن است که دوباره دستگاهها را روشن کنیم، اما این بار باید آنها را طوری میزان کنیم که حداکثر حساسیت را داشته باشند. با اینکه عقربه‌ها در حدود صفر نوسان می‌کنند، شکی نیست که حامل پیامهای تازه‌ای هستند:

ـ مولکولهای اتفاقی، اتمها و یونهای اجسام و عناصر مختلف؛

ـ موجهای الکترومانیتیك از کهکشانه‌های دور دست؛

ـ پرتوهای کیهانی، بازهم از کهکشانه‌ها؛

ـ جاذبهٔ محسوس کهکشانه‌ها، که با فاصله ضعیف می‌شوند.

این امکان نیز هست که دستگاهها وجود بعضی از نیروها را که تابه‌حال ناشناخته مانده‌اند نشان دهد. آخرین پژوهشها دربارهٔ کهکشانه‌ها و اوضاع آنها در فضا، مدلل می‌سازد که شکل عجیب و غریبشان را نمی‌توان فقط با نیروهای گرانشی تشریح کرد. از داخل کشتی کیهان پیما می‌توانیم برخی از بدایع نجومی تازه کشف شده را رؤیت کنیم: بعضی از کهکشانه‌ها با «رشته‌هایی» تابان به‌هم متصل شده‌اند، که ظاهراً از ستارگان تشکیل یافته‌اند؛ کهکشانه‌های دیگر پشت سرهم ردیف شده‌اند؛ و بعضی دارای رشته‌های عجیبی هستند، که در جهات مخالف کشیده شده‌اند. تصور می‌رود که در فضای بین کهکشانه‌ها نیروهای وازنش[1] بر نیروهای

1) repulsion

جاذبه حاکمند.

درجهان‌بسیار کوچکها[1] یعنی جایی که‌ذرات‌بنیادی و واکنشهای تلاشی عناصر و سنتز هسته‌های اتمی در بین است، نیروهای هسته‌ای حکمفرما هستند. درمقیاس مولکولی وبلوری، پی‌می‌بریم که میدانهای الکترومانیتیك اهمیت اساسی دارند. با بزرگ‌شدن مقیاس، میدانهای‌گرانشی هرچه بیشتر وارد عمل می‌شوند. این میدانها عامل‌گردش‌قمرها به‌دور سیاره‌ها وسیاره‌ها به‌دور ستارگان هستند. بنابراین، نمی‌توان این عقیده را رد کرد که امکان دارد در مقیاسهای وسیعتر، که شامل اثر متقابل بین کهکشانه‌هاست، تغییر کیفی جدیدی ظاهر شود. بعید نیست که در فضای کهکشانه‌ها انواع ناشناخته‌ای از ماده و میدان با مقیاسهای وسیعی، وجود داشته‌باشد. البته، رشته‌های کهکشانه‌ای را می‌توان بافرض وجود میدانهای الکترومانیتیك توجیه کرد. این‌میدانها برخلاف میدانهای گرانشی که‌دارای تقارن‌کروی هستند، با تقارن استوانه‌ای مشخص می‌گردند (آهنربا همیشه دوقطب دارد). هرچه‌هست باشد، حقیقت موضوع این است که فضای بین کهکشانه‌ها مطلقاً تهی نیست. باید مسلم بدانیم که جستجو برای یافتن خلاء واقعاً کامل، کار بی‌سرانجامی است. ما نمی‌دانیم که‌آیا جایی درگیتی هست که از آنجا نتوان هیچ کهکشانه‌ای را دید. گیتی همگن[2] نیست، و در بعضی جهات تعداد کهکشانه‌ها زیادتر از جهات دیگر به‌نظر می‌آیند. با وجود این، ایمان داریم که در هیچ کجای گیتی ممکن نیست ناحیه‌ای پیدا شود که از ماده تهی باشد، زیرا فضا خود

1) microcosm 2) homogeneous

شکلی از وجود ماده است. فضا تا زمانی وجود دارد که ماده هست؛ و در صورت نبودن ماده، صحبت کردن از «فضا» کاملاً بی‌معنی است.

ماده به‌صورتهای گوناگون تجلی می‌کند. ماده به‌شکلهای جامد، مایع، گاز، و پلاسما (بعد دربارهٔ پلاسما صحبت خواهد شد) در می‌آید که از نظر فیزیکی «محسوس» اند. به‌شکل میدانهای الکترومانیتیك، گرانشی، و هسته‌ای ظاهر می‌شود. شکل پرتوهای کیهانی را به‌خود می‌گیرد، که می‌تواند هم در مقام یك میدان وهم به‌عنوان مادهٔ فیزیکی مورد مطالعه قرار گیرد. بسیاری از اسرار ماده و تغییر و تبدیل شکلهای مختلف آن، هنوز برای ما ناشناخته‌اند. اما خیلی ازاین اسرار و عجایب تاکنون فاش شده است. بنابراین به‌سفر خیال انگیزمان پایان می‌دهیم و باکشتی خیالی به‌زمین باز می‌گردیم. با اینکه در جستجوی خود برای خلاء کامل باشکست مواجه شده‌ایم بجاست این پرسش را مطرح کنیم و پاسخی برای آن بیابیم: گیتی از چه ساخته شده، و پهنهٔ بیحد و انتهای آن را چه چیزی پر می‌کند؟

## حالتها و میدانها

اگر ازکوهنشینی بخواهید که مشخصترین مناظر زمین را برایتان شرح دهد، خواهد گفت: «کوهها، قله‌های پوشیده ازبرف و سر به‌فلك کشیده، مرغزارهای زمردین، دره‌های تنگ و باریك ومرطوب بانهرهای کوهستانی پرجوش و خروشی که با تخته سنگها برخورد کرده به‌پایین می‌لغزند.»

صحرانشین، به‌نحوی دیگر توصیف خواهد کرد:

«زمین دشت وسیعی است که تا نوار باریکی از افق امتداد دارد. چشم‌اندازهای خاکی، چمن‌پوش گونه‌ای هستند که در بادموج می‌زنند ورودخانه‌هایی که در بین کرانه‌ها، به‌آرامی جریان دارند.»

فضانوردی که از فضای خارج به‌سیارهٔ ما نزدیك می‌شود به زحمت این چنین طبعی شاعرانه خواهد داشت. وی مشاهدات خود را بدین مضمون به‌پایگاهش مخابره می‌کند: «سیاره‌ای که به‌آن نزدیك می‌شویم، از لایهٔ ضخیمی آب پوشیده شده که متجاوز از ۷۰ درصد سطح آن را تشکیل می‌دهد. خشکیها فقط اندکی بیش از ۲۹ درصد سطح آن هستند. تپه‌ها و دشتها در مناظر طبیعی آن کم و بیش به‌چشم می‌رسند.»

هدف‌ما اکنون این است که به شرح آنچه ساختمان گیتی را تشکیل می‌دهد بپردازیم. برای اینکه مانند آن مردمی نباشیم که فکر می‌کنند زمین فقط کوهسار یا دشت است، باید تا آنجا که ممکن است با دید وسیعتر و جامعتری به‌گیتی بنگریم. دانشمندان مدتهاست نسبت به‌اینکه سیاره‌های دیگرمنظومهٔ شمسی، خورشید، ستارگان دور دست، و سحابیهای برون کهکشانی از همان عناصر شیمیایی کرهٔ زمین ساخته شده‌اند، کنجکاوند. تا پیش از فرا رسیدن آن روزی که انسانهای کرهٔ خاکی روی سیاره‌های دیگر پیاده شوند، برای پاسخ به‌این سؤال در دوجهت تحقیق می‌شود. اولا، شیمیدانها سرگرم مطالعهٔ ترکیباب مادهٔ غیر زمینی هستند که به‌شکل شهابسنگها[1] به‌زمین می‌رسد. ثانیاً، اخترشناسان برای تجزیهٔ طیف نوری که وارد تلسکوپ آنها می‌شود از دستگاههای

1) meteorites

مخصوصی استفاده می‌کنند و به‌این وسیله ترکیب اختراتی را که نور گسیل می‌کنند تشخیص می‌دهند.

شها بسنگها و طیف نور نشان می‌دهد که تمام گیتی از همان عناصری که سیارهٔ ما را تشکیل می‌دهد، ساخته شده است، و اختلاف فقط در فراوانی نسبی عناصر مختلف است. ستارگان و گاز بین ستاره‌ای عمدتاً از هیدروژن و هلیوم تشکیل یافته‌اند. اتمهای این دو عنصر درگیتی، هزاران بار بیشتر از تمام ترکیبات عناصر دیگرند. لیکن در روی زمین، هیدروژن چندان فراوان نیست و بیشتر آن با اکسیژن ترکیب شده و به‌صورت آب درآمده است. هلیوم نیز در روی کرهٔ زمین نسبتاً کمیاب است؛ و همان طور که از اسمش پیداست نخستین بار در خورشید کشف گردید.

همین طور، فراوانی نسبی عناصر دیگر در ستارگان تقریباً مساوی مقدار آنها در زمین و شها بسنگها است، اگرچه بعضی ستارگان دارای مقادیر زیادی از عناصر کمیاب هستند. طیف این قبیل ستارگان مقادیر غیرعادی لیتیوم، باریوم، تیتانیوم، و زیرکونیوم را نشان می‌دهد. در هرصورت، مقدار این عناصر از یك درصد جمعیت کلی ستارگان تجاوز نمی‌کند و ازقاعدهٔ کلی مستثناهستند.

دانشمندان امریکایی، زوس[1] و یوری[2]، نموداری از وفور عناصر شیمیایی درگیتی تهیه کردند. آنها عناصر مشخص و معلوم را برحسب ترتیب افزایش وزن اتمی در روی محور افقی و تعداد نسبی اتمها را در روی محور عمودی مشخص کردند. منحنی جالبی به‌دست آمد. همان طور که انتظار می‌رفت، فراوانی هیدروژن و هلیوم از همهٔ عناصر دیگر بیشتر است. در برابر، هراتم

1) Suess 2) Urey

سیلیسیوم، که فراوانی آن به‌عنوان نقطهٔ مبدأ نمودار در نظر گرفته شده بود ۴۰،۰۰۰ اتم هیدروژن و اندکی کمتر از این مقدار اتم هلیوم وجود دارد. منحنی پس از گذشتن از نقاط ماکسیمم هیدروژن و هلیوم، شیب تندی پیدا می‌کند و به‌عناصر سبک مانند لیتیوم، بریلیوم، و بور می‌رسد که فراوانی آنها در برابر هر ۱۰۰ میلیون اتم هیدروژن از یك اتم بیشتر نیست. این عناصر دسته‌ای از عناصر دیگر را به‌دنبال دارند که فراوانی آنها تقریباً مساوی سیلیسیوم است، مانند کربن، اکسیژن، نئون، منیزیوم و عناصری از سیلیسیوم تا کلسیم. سپس، افت تند دیگری پیش می‌آید و منحنی ازعناصری نظیر اسکاندیوم، تیتانیوم، وانادیوم، و کروم می‌گذرد. به‌دنبال آن، منحنی قوس صعودی طی می‌کند و به‌نقطه‌ای که اصطلاحاً ماکسیمم آهن نامیده می‌شود می‌رسد: فراوانی آهن تقریباً مساوی فراوانی سیلیسیوم است. از آهن که بگذریم، هرچه وزن اتمی عنصر بالا می‌رود ازفراوانی آن کاسته‌می‌شود. سرانجام منحنی به‌عناصری ختم‌می‌شود که فراوانی آنها صدها هزار مرتبه کمتر از آهن است.

سؤالی که اینجا پیش می‌آید این است که عناصر شیمیایی گیتی درچه حالتهایی یافت می‌شود، و چگونه در ساختمان آن جای می‌گیرند؟

در روی زمین، عناصر جدول تناوبی را به‌صورت ترکیبات گوناگون و بیشماری می‌یابیم. آنها تمام اجسام جامد را تشکیل می‌دهند: میز اتاقتان، صندلی که روی آن می‌نشینید، خانه‌تان، تپه‌ها و کوهسارها، کرهٔ زمین.

در روی زمین، ماده به‌حالت مایع نیز یافت می‌شود: آب و نفت، الکل و جیوه. حالت مایع نسبتاً ناپایدار است. در دمای

بالاتر از ۱۰۰ درجهٔ سانتیگراد* آب به‌جوش می‌آید و به‌بخار تبدیل می‌گردد. پایینتر از صفر درجهٔ سانتیگراد، منجمد می‌شود و به‌صورت جامد در می‌آید. در سرمای شدید، حتی جیوهٔ درون دماسنج یخ بسته مثل هرفلزی دیگری سخت می‌شود. اما حالت جامد آهن یا طلا، گرانیت یا بازالت، یا هرمادهٔ دیگری که کرهٔ زمین از آن به‌وجودآمده خیلی پایدار نیست. ریخته‌گر، کورهٔ ریخته‌گری را تا دمای اندکی بیش از ۱۷۰۰ درجهٔ سانتیگراد گرم می‌کند به‌طوری که آهن نرم می‌شود و مایع می‌گردد. بعد می‌تواند آن را با آب‌گردانی برداشته مانند آب بریزد. در دماهای بالاتر، فولاد به‌جوش آمده و تبخیر می‌شود. ازنقطه نظر کلی ۵۰۰۰ درجهٔ سانتیگراد، که در آن هیچ مادهٔ شناخته شده‌ای نمی‌تواند به حالت جامد یا مایع وجود داشته باشد، دمای فوق‌العاده زیادی است. اما درگیتی، دماهای بالاتر از این حد عادی است. دمای سطح خورشید برابر ۶۰۰۰ درجهٔ سانتیگراد و قسمت داخلی آن میلیونها درجه است. ستارگان دارای دماهایی معادل دهها وصدها هزار درجه‌اند.

یکی از حالتهای ماده گاز است، جو زمین را مخلوطی از چندگاز تشکیل می‌دهد. شیمیدانها به‌ما می‌گویند، هوایی که

* دما به‌درجهٔ سانتیگراد یا سلسیوس (Celsius)، با علامت °C نمایش داده می‌شود و می‌توان آنرا طبق رابطهٔ زیر به‌درجهٔ فارنهایت تبدیل کرد:

$$F = \frac{۹}{۵} C + ۳۲$$

صفر درجهٔ سانتیگراد، نقطهٔ انجماد آب، معادل ۳۲°F است و نقطهٔ غلیان آب °C=۱۰۰ °F=۲۱۲ است

استنشاق می‌کنیم مرکب از مولکولهای‌انت، اکسیژن، هیدروژن، گاز کربنیك، وگازهای دیگر است.

وقتی که دما بالامی‌رود، این‌مولکولها به‌آسانی شکافته شده به‌صورت اتم درمی‌آیند.

ترکیب شیمیایی جو فوقانی بیشتر مانند سطح زمین است، با این تفاوت که رقیق است و دماهای دیگری دارد. اما مهمترین چیزآن است که جو فوقانی را یونها تشکیل می‌دهند. به‌عبارت دیگر، به‌جای مولکولهایی که نظیرشان در روی سطح زمین یافت می‌شود پاره‌هایی از مولکولها هستند که بار الکتریکی دارند.

قبلا، برای مطالعه و شناخت ترکیب‌گاز بین سیاره‌ها و بین ستارگان، سفری به‌فضای بین‌آنها کردیم. دستگاههای ما نشان داد که این‌گاز بیشتر از یونهای با بار مثبت و الکترونهای‌آزاد تشکیل یافته است. فقط در فضای بین‌کهکشانه‌ها، به‌اتمها و مولکولهای‌کامل مواد مختلف دست یافتیم. اما هدف ما از این پیگردی‌کشف خلاء بود، و پیش می‌رفتیم تا شاید جایی بیابیم که خالی از سحابیها، ابرهای‌گازی و غبارآلود، و ستارگان باشد. تعداد ستارگان درگیتی بینهایت است. طبق حسابی که شده، راه شیری به‌تنهایی دارای ۱۰۰،۰۰۰ میلیون ستاره است. ابرهای عظیم تیره از غبار وگاز، هستهٔ کهکشان را از دید ما مخفی می‌سازند. مادهٔ راه شیری‌که جرم کلی آن به‌گرم با یك عدد ۴۵ رقمی بیان می‌شود نیز جزئی ازگیتی‌است. باید دید درچه حالتی، ماده درکهکشان ما بیشتر یافت می‌شود؟

اولا، گاز بین سیاره‌ها و ستارگان را مطالعه می‌کنیم. این گاز به‌حدی رقیق است که در شرایط زمینی به‌عنوان چگالی صفر

محسوب می‌شود. این گـاز از ذرات یونیده تشکیل یافته و تمام انواع تابش با شدتهای مختلف ازآن عبور می‌کنند. بدون شك، توده‌های این گاز باید تابع قوانینی سوای آنهایی بـاشدکـه ما معمولا در موردگازهای کرهٔ زمین به‌کار می‌بریم.

ثانیاً، مادهٔ ستاره‌ای یافت می‌شود. تراکم شدید ماده در ژرفای ستاره، زیاد است، و این فشار به‌حدی است که تصور آن دشوار می‌نماید، و دمای آن قابل مقایسه با دماهایی است که اخیراً انسان درشرایط آزمایشگاهی، برای مدت کسر بینهایت کوچکی از ثانیه به‌دست آورده است. طبق استانده‌های[1] زمینی، در درون ستارگان، ماده نه‌به‌صورت جامد، مایع، ونه‌گاز است؛ بلکه به‌حالت خاصی است که هنوز دربارهٔ آن اطلاعات زیادی نداریم.

با وجود این،گاز بین ستارگان و مادهٔ ستارگان وجـه تشابهی با هم دارند و هردو به‌صورتی هستند که پلاسما نامیده مـی‌شود. پلاسما اصولا ماده‌ای‌است که دمای آن فوق‌العاده زیاد است، و از ذرات آزاد با بار منفی و مثبت تشکیل شده است؛ به‌عبارت دیگر، پلاسما مادهٔ یونیده‌ای است. در دماهای خیلی زیـاد، واکنشهای شیمیایی امکان‌پذیر نیستند وهیچ یك از مولکولهای مواد مرکب وجود نخـواهند داشت. در پلاسما، بیشتر اتمها از الکترونها و پوسته‌های الکترونی خود جدا شده‌اند. توده‌های عظیم پلاسمای متراکم، ستارگان را به‌وجود می‌آورند. پلاسمای رقیق، به‌صورت گـاز بین سیاره‌هـا و بین ستارگـان، در تمام فضـا پخش شده است.

1) standards

در مقیاس کیهانی، حالتهای جامد، مایع، وگازی ماده بسیار نادرند. مادهٔ جامد را می‌توان در ابرهای غبارآلود، که در راه شیری دیده می‌شوند، پیدا کرد. احتمال می‌رود که در رکاب ستارگان، سیاره‌هایی جامد همانند زمین باشند؛ اگر چه معتقدند که برخی ازسیاره‌های منظومهٔشمسی اصولا از گاز درست‌شده‌اند. همچنین ممکن است سیاره‌های مایع با هستهٔ جامد وجود داشته باشند. اما جرم سیاره‌ها در مقایسه با جرم ستارگان فوق‌العاده کم و غیر قابل سنجش است، و جرم ابرهای غباری در مقابل جرم پلاسما که فضای خارج را فراگرفته بسیار کوچك است.

علاوه برحالتهای «قابل سنجش» جامد، مایع، گاز و پلاسما، ماده به‌صورت میدانهای مختلف نیز وجود دارد: الکترومانیتیك، گرانشی، و درجهان ذرات بنیادی، هسته‌ای. مناطق وسیع و نزدیك به‌تمام پهنهٔ بیکران‌گیتی را میدانهای متقاطع گرانشی و الکترومانیتیك فراگرفته است. از آنجا که قابلیت هدایت فضا خوب است، میدانهای الکتریکی دارای انرژی خیلی کمتری نسبت به میدانهای مغناطیسی هستند.

میدان یك حالت مادی است که دربارهٔ آن حتی از پلاسما هم کمتر می‌دانیم. میدانها نادیدنی و ناشنیدنی‌اند. مثلا، حواس ما قادر به درك بیشتر طیف الکترومانیتیك ــ که‌نورمرئی جزء کوچکی از آن است ــ نیست. معهذا، میدانها مادی هستند، و وجودآنها را می‌توان آشکار کرد. مثلا، میدان مغناطیسی، با متوجه ساختن عقربهٔ قطبنما در امتداد خطهای نیرو، خود را نشان می‌دهد. میدانهای گرانشی، حامل نیروهای جاذبهٔ مادهٔ «سنجش پذیر» هستند. میدانهای هسته‌ای ذرات بنیادی هسته‌های اتمی را به

یکدیگر نگاه می‌دارند.

به‌طور خلاصه، ما از فضاهای بین سیاره‌ها، بین ستارگان و بین کهکشانه‌ها بازدید کردیم، و دانستیم که گیتی از عناصر معلوم جدول تناوبی مندلیف ساخته شده است. به‌سخن دقیقتر، می‌توان گفت که گیتی از همان ذرات بنیادی مواد کرهٔ زمین ــ پروتون، نوترون، الکترون، و غیره ــ ترکیب یافته. همچنین بیشتر گیتی را ماده‌ای به‌حالت پلاسما تشکیل می‌دهد که از نظر ما غیر عادی است. انسان در اینجا و آنجا، ماده را به‌صورتهای جامد، مایع، و گاز می‌یابد. اما این مواد ناپایدارند و فقط در شرایط بسیار خاص می‌توانند وجود داشته باشند، که درحقیقت به‌مقیاس کیهانی بسیار نادرند.

فلاسفهٔ پیشین عقیده داشتند که گیتی مادی از چهار عنصر یا مادهٔ اصلی تشکیل شده است: خاك، آب، هوا، و آتش. تصورات ما دربارهٔ عناصر اصلی طبیعت، با پیشرفت علم تغییر یافت و به موجب نظریه‌های نوین، گیتی به‌دو شکل اصلی، یعنی ماده و میدان، وجود دارد. ماده به‌چهار حالت جامد، مایع، گاز، و پلاسما یافت می‌شود؛ و میدانهای شناخته‌شده عبارتند از گرانشی، الکترومانیتیك، و هسته‌ای. اینها هفت عنصر اصلی طبیعت‌اند که ترکیبات و اعمال متقابلشان باعث گوناگونیهای بیشمار گیتی است. چگونه انسان بر عناصر طبیعت چیره شده است؟

## انسان ارشد

موشك خیالی ما که با آن به‌جستجوی خلاء پرداختیم، ماشین زمان هم هست، و می‌تواند ما را هزاران میلیون سال به‌عقب ببرد.

تا به‌عصر هیولای روز ازل و عهدآفرینش برسیم، روزگاری که منظومهٔ شمسی و طبیعت‌آشنای امروز ما، هستی می‌یافتند. با همین موشك می‌توانیم هزاران میلیون سال به‌جلو رویم و خورشید سرکش را باسیاره‌ها ببینیم که آرام در مدارهای خود درحرکتند. اما هدف ما در حال حاضر، اینقدرها جاه‌طلبانه نیست، و فقط چند هزار سال به‌عقب سفر می‌کنیم، به‌زمان آغاز فرهنگ انسانی.

پرتوهای سوزان خورشید به‌پایین می‌تابند. رودخانهٔ باشکوهی آرام به‌سوی دریا درحرکت است. توارهای باریکی از کشتزارها وباغستانها درکرانه‌های آن دیده‌می‌شوند. درآن دور دستها، دشت پهناور وسوزانی قراردارد. اینجامصر باستان، یکی ازگهواره‌های بشریت است. ما درمحل ساختمان بزرگترین اهرام، یعنی هرم خئوپس، هستیم. به‌مدت دهها سال، صدها هزارنفر کوشیدند تا ۲،۳۰۰،۰۰۰ قطعه سنگ عظیم راکه وزن هریك ازآنها به۲٫۵ تن می‌رسید، به‌روی هم قرار دهند. این سنگها با چنان دقت و مهارتی رویهم چیده شده‌اندکه تیغهٔ ظریفترین کاردها نمی‌تواند از میانشان بگذرد. و سرانجام مقبرهٔ شگفت‌انگیز فرعون ساخته می‌شود که گذشت هزارها سال‌هم نمی‌تواندآن‌را ویران سازد. چه ماشینهای عظیم‌الجثه‌ای که سازندگان برای برپاکردن این بنای محیرالعقول لازم داشته‌اند! اما ما ماشینی نمی‌بینیم که درباره‌اش صحبت کنیم، فقط ابزارهای خیلی ساده: قلمهای مسین و سنگی که تخته‌سنگها را از بسترهای آهکیشان جدا می‌سازند. سنگتراشان باره‌ها، مته‌ها، وقلمهای سنگی ومسین سنگها را می‌برند، سوراخ می‌کنند و می‌تراشند. گروههای ده نفری که با طنابهای باریك مهار شده‌اند، با استفاده از اهرمها و غلطکهای چوبی، قطعه‌

سنگهای بزرگ را حمل می‌کنند و صدها متر بالا می‌برند. انسان بدون شك، در اینجا فقط برحالت جامد ماده چیره شده است.

از دورانهای مختلف می‌گذریم و در ۲۵۰۰ سال بعد توقف می‌کنیم، اکنون قرن اول میلادی است. دوباره در مصر هستیم، این بار در شهر افسانه‌ای اسکندریه، شهر حکما و دانشمندان، سخنوران و دانشپژوهان بنام، شهری که کتابخانهٔ بزرگش شهرت جهانگیر دارد. در اینجا کتابی به‌چشم‌می‌خورد به‌نام «پنوماتیك»[۱]، که به‌وسیلهٔ مهندس عالیقدر و مکانیك زبردستی موسوم به هرون[۲] اسکندریه‌ای به‌رشته تحریر درآمده است. محتوای کتاب دربارهٔ ماشینها وابزارهای‌گوناگون صحبت می‌کند. نویسنده، بدون شك تجربیات بسیاری از دانشپژوهان پیش از خود را جمع‌آوری کرده‌است. درصدها سال قبل، معابد مصر دارای درهای «سحرآمیزی» بوده‌اند که باروشن کردن آتش درمحراب، باز می‌شده‌اند، و نیز مجهز به «ماشینهای سکه‌ای خودکاری» بوده‌اند که هنگام انداختن سکه در ماشین، آب مقدس توزیع می‌گردیده است. چرخهای آبی از جنس خیزران، در یك هزار سال پیش از عهد هرون، در چین و هندوستان که پیشرفته‌ترین کشورهای آسیای کهن بودند ساخته می‌شده است. اما کتاب «پنوماتیك» هرون نخستین منبع علمی بود که به‌طرزکار ماشینهایی پرداخت که درآنها ماده علاوه برحالت جامد، به‌صورتهای مایع وگاز نیز به‌کار می‌رفت. محققاً، ابزارهای دقیق هرون، کار برد وسیعی پیدا نکردند. زیرا

۱) pneumatics ــ شعبه‌ای از مکانیك که خواص مکانیکی گازها را مطالعه می‌کند.

2) Heron

پیش از آنکه بتوانند انسان‌را در کار یاری‌دهند بیشتر به‌اسباب‌بازی می‌ماندند، وخیلی زود به بوتهٔ فراموشی سپرده شدند. فقط چرخ آبی کار برد فراوان یافت. اما از آن طرف، آب که چرخ آبی را به‌حرکت در می‌آورد و بادکه قایق بادی را به‌جلو می‌راند و آسیای بادی را به‌گردش می‌اندازد، نیروهای خارجی هستند که انسان بی‌آنکه‌تغییری در آنها پدیدآورد، مهارشان کرده است. آنها را نمی‌توان «اجزای» ماشین نامید، بلکه بیشتر محیطی هستند که ماشین در آن کار می‌کند.

مادهٔ مایع، پس‌از آنکه دانشمند فرانسوی، بلز پاسکال[1]، قانون انتقال فشار در مایعات را به‌سال ۱۶۵۰ کشف کرد، به‌صورت «جزء» عمل کنندهٔ ماشین درآمد. انواع بسیاری از دستگاههای پرس، سازوکارهای بالابر، وسایر ماشینهای مشابه براساس قانون پاسکال کار می‌کنند. تنها پس‌از اختراع موتور بخار جوی‌توسط آهنگر انگلیسی تامس نیوکامن[2] بودکه‌گاز و بخار، جزء عمل کنندهٔ ماشین محسوب‌گردیدند.

حال ماشین زمان را تزك می‌کنیم و در یکی از خیابانهای شهر مدرنی به‌راه پیمایی می‌پردازیم. اتومبیلها، اتوبوسها، وتراموا‌ها بالا و پایین خیابان را طی می‌کنند، چراغهای نئون در تاریکی شب خاموش و روشن می‌شوند، و هواپیمایی غرش‌کنان از بالای سرمان می‌گذرد. اتومبیلی در حاشیهٔ خیابان توقف می‌کند. اکنون ببینیم که چگونه ماده و میدانها در آن به‌کار رفته‌اند. مادهٔ جامد به‌صورت فلز، لاستیك، پلاستیك، و شیشه مهمترین قسمت ماشین

1) Blaise Pascal  2) Thomas Newcomen

را تشکیل می‌دهد. در ایـــن ضمن، مهندسان مایعات را نیز وازد عمل کرده‌اند. راننده پدالهای کلاچ و ترمز را فشار می‌دهد و بـا به‌کار انداختن سوپاپهای مـربوطه، جریان مـــایع را باز یا بسته مـــی‌کند. پیستونها نیرو را به‌کفشکهای ترمز[1] انتقال می‌دهند یا صفحه کلاچ را جابه‌جا می‌کنند. بعضی اتومبیلها دارای کلاچهای روغنی‌هستند که‌در آنها روغن گشتاور چرخشی را از موتور به‌میل کاردان منتقل می‌سازد. اگـر موتور پیاده شدهٔ اتومبیلی را مطالعه کنید، سوراخهایی درمیل‌لنگ[2]، شاتونها[3] وقطعات دیگر خواهید دید. وظیفهٔ‌این‌سوراخها رساندن روغن به‌قطعات متحرك، به‌هنگام کار می‌باشد. محورهای موتور در داخل یاتاقانهایشان قرارگرفته و اندك فاصله‌ای بین‌آنها وجود داردکـــه با قشر نازکی از روغن پرشده است. مهندسان به‌منظور استفاده از روغن به‌عنوان مـایعی که اصطکاك راکاهش می‌دهد و حرارت تولید شده در واحدهای پربار را دفع می‌سازد، دست به‌محاسبهٔ شکل وضخامت قشر نازك روغـــن زده‌انـــد. پس می‌بینیم کـــه موتور اتـــومبیل عملا دارای قسمتهای مایع است.

پیستونهای موتور اتومبیل، توسط انبساط‌گـاز بسیار داغ بـه حـــرکت در می‌آیند. گازهای داغ انبساطی درون سیلندر، مـــانند پیستونها که برای حرکت‌کردن طرح شده‌اند، جزئی ازمـــوتور هستند، اگرچه طول عمر هر «جزء»گـــازی عمل‌کننده فقط‌کسری از ثانیه است و پس از انجام هرسیکل از طریق لوله اگزوز به خارج رانده می‌شود. باوجود این، این قبیل «اجزاء» برای‌همان

1) brake shoes 2) crankshaft 3) connecting rods

مقصودی که مهندسان طرح کرده‌اند دقیقاً کار می‌کنند.

پلاسما نیز در اتومبیل کار انجام می‌دهد. جرقهٔ الکتریکی کوچکی که درهرچهار سیکل موتور یك باربین الکترودهای شمع پدید می‌آید و مخلوط سوخت و هوا را مشتعل می‌سازد، نوعی پلاسمای کم دوام است.

به‌طور خلاصه، رانندهٔ اتومبیل ماده را در تمام چهار حالت جامد، مایع، گاز، و پلاسما کنترل می‌کند. میدانها چطور؟ راننده کلید برق را می‌چرخاند و راه‌انداز[1] را روشن می‌کند که آن هم میل‌لنگ را می‌گرداند، اگر چه هنوز گاز محرك پیستون تشکیل نشده است. عمل چرخش به‌وسیلهٔ روتور راه‌انداز که یك موتور الکتریکی کوچك است صورت می‌گیرد. هرون اسکندریه‌ای پس از چند توضیح ساده، احتمالاً پی به‌اصول کار کلاچ هیدرولیکی، ترمزهای هیدرولیکی و حتی موتور می‌برد. ولی نمی‌تواند طبیعت نیروهایی را که سبب گردش روتور موتور الکتریکی می‌شوند، درك کند. وی نیرویی نمی‌بیند که دستگاه را به‌کار اندازد، نه میله سخت متحرکی، نه جریان مایع و نه گاز انبساط یابنده‌ای.

هرون کوچکترین تصوری دربارهٔ چیزهایی مانند میدانهای نیرو نداشت. امروزه می‌دانیم که وقتی رانندهٔ اتومبیل راه‌انداز را روشن می‌کند میدانهای الکترومانیتیك را وارد در عمل متقابل پیچیده‌ای می‌کند که از آنجا چرخش روتور نتیجه می‌شود. ضمناً، پرتو نوری که در جادهٔ تاریك، جلو اتومبیل را روشن می‌کند نیز نشانه‌ای از وجود میدان الکترومانیتیك است. همچنین، نوای

1) starter

موسیقی که از رادیوی اتومبیل به‌گوش می‌رسد به‌وسیلهٔ میدان الکترومانیتیك از ایستگاه فرستنده‌ای که در فاصلهٔ دور قرار گرفته انتقال می‌یابد. میدانهای الکترومانیتیك تا حال صادقانه به بشر خدمت کرده‌اند؛ از زمانی که الکتریسیته برای نخستین بار جنبهٔ عملی یافت و پاول شیلینگ[1] بین قصر زمستانی تزار در سنت‌پترزبورگ ووزارت حمل ونقل، خط تلگرافی برپا کرد، به‌زحمت ۱۵۰ سال می‌گذرد (البته روشنایی آتش یا چراغ نفتی که نتیجهٔ میدان الکترومانیتیك است، به‌حساب نمی‌آیند). فقط تعداد قلیلی از ماشینهای ساختهٔ دست بشر شامل میدانهای هسته‌ای رام شده هستند، و هنوز وقت مهار کردن میدانهای گرانشی نرسیده است.

انسان در حقیقت فرمانروای طبیعت است. تسلط او برمادهٔ جامد، از زمانی که اهرام بزرگ ساخته شدند تا به‌حال به‌طرز قابل‌توجهی افزایش یافته‌است. برای رفع نیازهایش مواد تازه‌ای ازقبیل فولاد ولاستیك مصنوعی، پلاستیك، سیلیسیوم، ومواد دیگر را خلق کرده است. او اسرار نهفته‌ای از ماده را که دانشپژوهان باستان‌حتی در رؤیا هم نمی‌دیدند کشف کرده و به‌کار بسته‌است: بلورهای پیزوالکتریك که به‌علت خاصیت انبساطی و انقباضیشان در اثر میدان الکتریکی «سخن می‌گویند» و«آواز سرمی‌دهند»؛ سیلیسیوم خالص که نور خورشید را به‌الکتریسیته تبدیل می‌کند؛ رادیوم که از هیچ، نور وگرما می‌آفریند. انسان طرز استفاده از خواص مایعات رافراگرفته واقدام به‌ساختن پرسهای هیدرولیکی، توربینها، دستگاههای انتقال نیرو، و سرومکانیسمها[2] کرده که در

1) Pavel Schilling

۲) servomechanisms اسباب خودکاری که برای به‌کار انداختن ماشین یا چیز دیگری به‌کار می‌رود.ـــم.

آنها مایعات به‌کار گرفته شده‌اند. او کاربردهای گازها و بخار آب را در توربینها و موتورهای بخار، اتصالها و ترمزهای هوایی، متهها و ابزارهای پرقدرت یافته است؛ فورانهای گاز مهار شده پره‌های توربین هواپیمای جت را به‌حرکت درآورده موشکها را به‌اعماق فضا می‌برند.

موارد استعمال پلاسما هنوز آنقدرها زیاد نیست: درخشندگی سردلامپهای فروزنده، جرقه‌های الکتریکی در ماشینهای ابزار، چراغهای قوس‌الکتریکی، یکسو کننده‌های جیوه‌ای نمونه‌هایی از کاربرد پلاسما هستند. دانش ما دربارهٔ اسرار و قوانین پلاسما ناقص وجسته‌گریخته‌بوده و رام‌کردن آن جزو کارهای آینده است.

در مورد میدانهای نیرو وضع حتی بدتر ازاین است. فقط در بارهٔ میدان‌الکترومانیتیك واقعاً مطالعه شده و وارد درعمل گردیده است. از میدانهای هسته‌ای در نیروگاههای اتمی، کشتیهای اتمی نظیر یخشکن لنین، نشان‌دهنده‌های فروزندهٔ رادیومی، ادوات دقیق، و تفنگهای کوبالتی برای معالجهٔ تومورهای بدخیم استفاده شده است. امامیدانهای گرانشی تقریباً بدون‌استفاده مانده‌اند. میدانهای نیرو باید در پیش روی انسان پرده از اسرار خود بردارند.

## جامدها، مایعها، وگازها

انسان هرچه بیشتر درژرفای قوانین حاکم برجامدات، مایعات، وگازها نفوذکرد، وجه‌مشترك بیشتری درمیان آنها یافت. تفاوتهای اساسی بین این سه حالت ماده کدامند؟

جامدات دارای حجم وشکل معینی هستند که فقط براثر اعمال نیرویی که در بعضی حالتها مقدار آن باید خیلی زیاد باشد، تغییر

می‌کند.

مایعات فقط دارای حجم مشخصی هستند، اما شکل آنها نامعین است. در شرایط زمینی، مایعات معمولا شکل ظرفی را که در آن جای گرفته‌اند به‌خود می‌گیرند.

گازها شکل و حجم معینی ندارند و تمام حجم ظرفی را که در آن جای گرفته‌اند اشغال می‌کنند.

تفاوت بین این سه حالت ظاهراً زیاداست، لیکن ماده دربرخی شرایط به‌نحوی از خود رفتار نشان می‌دهد که با حالت آن ناسازگاری دارد. سنگ مرمر جسمی سخت و شکننده است، اما زیر فشار چند صد هزار آتمسفر[1] مانند مایعی جریان می‌یابد. آهن نیز ممکن است زیر فشار کافی جاری شده یاخزش[2] پیدا کند. در زیر فشارهای زیاد، نیروهایی که باعث جا به‌جایی اتمها در شبکهٔ بلورین می‌شوند به‌مراتب بزرگتر از نیروهایی هستند که آنها را به‌یکدیگر نگاه می‌دارد. پیوستگی اتمها در بلورها، که ماهیت الکتروستاتیکی دارند فرو ریخته و اتمها مانند اتمهای سیالات، رفتار مستقلی از خود نشان می‌دهند.

از سوی دیگر، گاز را می‌توان تا درجهٔ معینی متراکم کرد، به طوری که، در دماهای نسبتاً کم، نیروهای التصاق اتمی وارد در عمل می‌شوند و گاز مانند جامد رفتار می‌کند، و حال آنکه هنوز گاز باقی مانده است.

۱) یك آتمسفر (atm) عبارت‌است‌ازفشار متعارفی‌هوا در سطح دریا، ومقدارآن برابر یك‌کیلوگرم برسانتیمتر مربع، یا ۱۴٫۷ پوند براینچ مربع است.
۲) خزش (creep). تغییر بعد تحت‌بار ثابت درطی‌گذشت زمان. این‌خاصیت، مخصوص مواد ویسکوالاستیك (viscoelastic) است، ولی در دماهای بالا در فلزات هم مشاهده می‌شود.ـــم.

جتی* از آب از لـولهٔ آتش‌نشانی خارج مـی‌شود، و مانند ستون جامدی عمودی بالا می‌رود، بی‌آنکه‌قطره‌ای از آن به‌اطراف پراکنده شود. اگر با قطعه چوبی به‌آن بـزنید ممکن است چند قطره‌ای از ستون‌آب به‌بیرون بریزد، امـا امکان دارد چـوب هم شکسته شود؛ گویی به‌میلهٔ آهنی برخورد کـرده است. از جتهای پرقدرت‌آب درماشینهای خاکبرداری هیدرولیکی استفاده می‌شود. تلمبه‌ای‌که با نیروی برق‌کار می‌کند‌آب را بافشاری تا ۱۰ آتمسفر به‌سر لولهٔ ماشین می‌رساند. جت قطور ودرخشان‌آب، مانند کاردی که کـره را می‌برد، سنگهای نـرم را می‌برد و پیش می‌رود. یك کارگر متخصص و ماهر قطعات سنگی را می‌برد، و پس از خرد کردن‌آنها را می‌شوید و کنار می‌زند. از ماشینهای حفاری هیدرو-لیکی درمعادن زغال‌سنگ نیز استفاده می‌شود. با وجود این نباید

* جت (Jet). جریان پیوسته و نیرومندی از گاز، مایع، بخار، یاشعله‌که به‌شدت از دهانه‌ای تنگ خارج شود.ـــم.

---

## به‌زبان ریاضی

### معادلهٔ برنولـی (Bernoulli)

معادلهٔ برنولی، جریان یکنواخت سیال را که‌مستقل‌اززمان است، شرح می‌دهد. برطبق‌این معادله، چنانچه‌ازتلفات‌انرژی ناشی ازاصطکاك داخلی‌وتبادل حرارت بین‌قسمتهای‌مختلف سیال درحال جریان صرف‌نظرشود، انرژی کل‌برای‌هرسطح مقطع جریان مقداری است ثابت. انـرژی ممکن است از صورتی به‌صورتی دیگر تغییر کند، اما مجموع‌آن‌ثابت‌است.

دریك‌گاز جاری درلوله، انرژی به‌چه‌صورتهایی وجود دارد؟ اولا، انرژی جنبشی حرکت‌که با $E_k$ نمـایش داده می‌شود، و مقدار آن برای جرم واحد ازرابطهٔ زیر به‌دست می‌آید، $E_k = \frac{u^2}{2}$ که درآن $u$ سرعت جریان است،

←

تصور کرد که مولکولهای آب در چنین جت «جامد» با اتصالهای شیمیایی موجود در جامدات به‌هم متصل شده‌اند. در اینجا آب به صورت مایع باقی می‌ماند وخواص قابل‌توجه آن ناشی ازسرعت فوق‌العاده زیاد تصادم می‌باشد.

اگر در بعضی شرایط جامدات وگازها خواص مشابهی از خودنشان دهند، وجه‌تشابه بین‌گازها ومایعات خیلی زیادتر است. این مطلب کاملا روشن است زیرا مایعات وگازها غالباً تحت عنوان مشترك سیالات به‌هم مربوط می‌شوند، و از قوانین یکسانی پیروی می‌کنند، و دیگر اینکه به‌منظور استفاده از خواص مایعات یاگازها دستگاههایی طرح‌گردیده‌که وجه مشترك زیادی با هم دارند. ظاهراً بین زیردریایی و دیریژابل[1] (کشتی هوایی) فرق

1) dirigible

---

→

ثانیاً، انرژی پتانسیل. اگر گازی‌تحت فشارباشد، هنگام انبساطمی‌تواندکار انجام دهد. انرژی‌پتانسیل را با علامت $E_p$ نمایش می‌دهیم، مقدارآن برای جرم واحدگاز به‌قرار زیر خواهد بود،

$$E_p = \frac{k}{k-1}\ \frac{p}{\rho}$$

که درآن $p$ فشار، و $\rho$ چگالی گاز و $k=\frac{C_p}{C_v}$ نسبت ظرفیتهای حرارتی گاز در فشار ثابت و حجم ثابت است.

برای هوا $k=\frac{7}{5}$

ثالثاً، سیال دارای انرژی پتانسیل گرانشی است. هرگاه گازی در لوله‌ای بالا رود، انرژی گرانشی آن با

←

زیادی هست، اما هردوآنها براساس قانون معروف ارشمیدس استوارند، که می‌گوید:

هرگاه‌جسم جامدی درسیالی غوطه‌ور باشد تحت تأثیر نیروی رانش،که معادل وزن سیال جا به‌جا شده توسط‌آن جسم است، قرار خواهد گرفت.

نتیجهٔ روشنی که از این قانون به‌دست می‌آید این است که اگر جسم از سیالی که جا به‌جا می‌شود سبکتر باشد، در محیط صعود می‌کند. از این راه است که زیر دریاییها با خارج کردن آب از مخازن تعادل دهنده به‌روی آب می‌آیند. به‌همین ترتیب بالونها و کشتیهای هوایی تا ارتفاع نسبتاً زیادی بالا می‌روند. از این اصل درمورد خودروهای ژرفا پیمای اقیانوس که به‌باتیسکاف[1]

1) bathyscaphe

---

ارتفاع افزایش می‌یابد. انرژی پتانسیل گرانشی را با علامت $E_g$ نشان می‌دهیم، خواهیم داشت،

$$E_g = gh$$

که در آن $h$ ارتفاع و $g = ۹٫۸$ متر بر مجذور ثانیه، شتاب ثقل درسطح زمین است. طبق معادلهٔ برنولی مجموع این‌سه صورت انرژی برای یک‌سیال معین، مقداری است ثابت، یعنی،

$$E_k + E_p + E_g = const$$

برای جرم واحد رابطه به‌صورت زیر در می‌آید،

$$\frac{u^2}{2} + \frac{k}{k-1}\frac{p}{\rho} + gh = const.$$

ازاین‌معادله چندنتیجهٔ‌جالب می‌توان به‌دست آورد. فرض کنیم گازی در لوله‌ای به‌قطر متغیر جریان دارد. بدیهی است که جرم گاز باید یکسان بماند، در نتیجه،

$$\rho u s = const$$

معروفند استفاده می‌شود. این کشتی اکتشافی شباهت زیادی به‌زیر-دریایی دارد؛ با این تفاوت که به‌کف آن اطاقك فولادین کروی شکلی متصل شده است. اطاقك دارای پنجره‌های ذیدبانی است که با کوارتز پوشیده شده و قادر است در مقابل فشار فوق‌العاده زیاد آب اقیانوس مقاومت کند. مخازن تعادل دهندهٔ باتیسکاف با بنزین پرشده‌اند و وزنهٔ آهنینی توسط آهنرباهای الکتریکی قوی به‌زیر آن متصل گردیده است. باتیسکاف و سرنشینان آن و وزنه‌های تعادل بیش از آب جا به‌جا شده وزن دارد، از این‌رو، به‌قعر اقیانوس فرو می‌رود. عمق رکوردگیری شده توسط باتیسکاف نزدیك به ۱۱،۰۰۰ متر است.

هواپیما ظاهراً با کشتی اقیانوس‌پیما تفاوت زیادی دارد. با وجود این، ملخ هواپیما و پروانهٔ کشتی براساس اصول واحدی

---

→ که در آن $s$ سطح مقطع لوله است.

اگر حرکت به‌طور آدیاباتیك (adiabatic) صورت گیرد، یعنی نه حرارتی به‌گاز وارد و نه از آن خارج شود، در این‌حالت بین فشار وچگالی رابطهٔ زیر برقرار خواهد بود:

$$\frac{p}{p_1} = \left(\frac{\rho}{\rho_1}\right)^k$$

که در آن $P_1$ و $\rho_1$ به‌ترتیب فشار وچگالی اولیه گاز هستند. این به معادلهٔ، آدیاباتیك پوآسون (Poisson) معروف است . از این رابطه می‌توان برای تعیین سرعت صوت $a$ در یك محیط معین استفاده کرد.

$$a^2 = \frac{kp}{\rho}$$

درحرکت افقی سیال، مقدار ثابت $= h$، ومعادلهٔ برنولی به‌شکل سادهٔ زیر در می‌آید. ←

استوارند، همانطوری که سکانهای هردو خودرو چنین‌اند. سابقاً خودروهای آبی بال نداشتند اما امروزه کشتیهایی ساخته می‌شود که‌دارای بالهای زیرآبی موسوم به «هیدروفویل»[1] هستند. وقتی که کشتی بالدار دربندر لنگرمی‌اندازد شباهت زیادی به کشتیهای دیگر دارد. اما هنگامی که حرکت می‌کند روی بالهای خود بالا می‌رود. حرکت بالها از میان آب، همان نیروی بالابری را ایجاد می‌کند که هواپیما رادر حین پرواز در هوا نگه می‌دارد. به‌عبارت دیگر، نیروی بالابر جدار کشتی را از داخل آب خارج می‌کند و به‌این وسیله مقاومت به‌مقدار قابل‌ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد، و در نتیجه به‌سرعت افزوده می‌شود.

مهمترین ماشین مولد نیروی ساختهٔ دست بشر، توربین

1) hydrofoil

---

$$u^2 = \frac{2}{k-1}(a_0^2 - a^2)$$

که در آن $a_0$ سرعت صوت در سیال ساکن است.

خال فرض کنید که جریان گاز از بال هواپیما می‌گذرد. آن قسمت از جریان که از روی بال عبور می‌کند باید سریعتر از قسمت دیگری باشد که از زیر بال می‌گذرد تا بتواند فاصلهٔ بین لبهٔ فرار و لبهٔ حمله را در یک زمان واحد بپیماید. اما هرچه سرعت سیال زیادتر شود، فشار داخلی آن پایینتر می‌آید. بنابراین، در بالای بال، منطقه‌ای با فشار کمتر به‌وجود می‌آید که بال را به‌طرف بالا «می‌مکد» و به‌این ترتیب نیروی بالا بر بال ایجاد می‌شود.

معادلهٔ برنولی برای سیالات تراکم پذیر و تراکم‌ناپذیر

(وقتیکه $k \to \infty$ و $E_p = \frac{p}{\rho_0}$) فرق می‌کند و اجزای ←

هیدرولیکی، بخاری وگـازی است. در نظر اول خیلی زیاد بههم شبیه نیستند وکسی که مهندس نیست به‌آسانی نمی‌تواند صفات مشترك بین توربین هیدرولیکی و بخاری را تشخیص دهد. امـا پره‌های آنها طبق‌قوانین واحدی کار می‌کنند، فقط درمورد توربین هیدرولیکی، مقدارحرکت[1] به‌وسیلهٔ آب غیر قابـل‌تـراکم و در مورد توربین بخار به‌وسیلهٔ بخارمنبسط شونده وارد عمل می‌شود. ضمناً، در بسیاری از محاسبات، مهندسان و دانشمندان از تراکم‌پذیری هوا صرف‌نظر کرده و با آن مـانند مایع خیلی سبك رفتار می‌کنند. به‌طور خلاصه، باوجود اختلافهای اساسی که جامدات، مایعات، وگازها با هم دارند، وجوه اشتراکشان‌خیلی زیاد است.

اما پلاسما چطور؟آیا هیچ یك از خواص آن بـا جـامدات، مایعات، و خصوصاً گازها، که ظاهراً بیشتر به‌هم می‌مانند، شباهت دارد؟

1) momentum

---

→ آن را ممکن است برحسب کمیتهای مختلف فیزیکی بیان کرد.

# پلاسما

## حالت چهارم ماده

وقتی دربارهٔ پلاسما صحبت می‌شود بـاید همیشه نوع آن را مشخص کرد. همان طور کـه قبلا ذکـر شد، پلاسما مخلوطی از اتمهای یونیده (یونها) و الکترونهای آزاد، با تعداد کم یا زیادی از اتمهای کامل وگاهی اوقات حتی مولکولهای گاز است.

اگرچه تمام گازها، از جمله هوایی کـه تنفس می کنیم همیشه دارای مقداری اتمهای یونیده و مولکولهای آزاد هستند، اما خواص پـلاسما کاملا بـا گازها تفاوت دارد. در پلاسما، اتمها در وضع تحریک شده‌ای به‌سر می‌برند، و بین آنها مرتباً تبادل الکترون رخ می‌دهد، و یونها و الکترونها در مسیر حرکتهای بی‌ترتیب خود دائماً با هم تصادم دارند. این سلسله عملیات با گسیل[1] فوتون همراه است کـه سبب درخشندگـی پلاسما می گـردد. البته، گـازها معمـولا درخشندگی ندارند.

ساده‌ترین نوع پلاسما با روشن کردن کبریت به‌وجود می آید. شعلهٔ زرد رنگ کوچك همان پلاسماست. هوا عـایق است، یعنی معمولا الکتریسیته را از خود عبور نمی‌دهـد. از ایـن خاصیت

1) emission

هوا در خازنهای متغیر استفاده می‌شود که با آنها می‌توان رادیو را روی ایستگاه مورد نظر میزان کرد. از طرف دیگر، پلاسما هادی الکتریکی بسیار خوبی است.

لزومی ندارد که پلاسما بادماهای بالامربوط باشد. درخشندگی گاز خیلی رقیق در لامپ فلورسنت ناشی از پلاسماست، باوجود این با لمس کردن لامپ گرمای آن به‌زحمت احساس می‌شود. اما اگر دما را انرژی جنبشی متوسط ذرات یك محیط تعریف کنیم، دراین صورت پلاسمای درون لامپ فلورسنت دارای دمای زیادی خواهد بود. الکترونها و یونها با سرعتهایی متناظر با دماهای هزاران درجه در درون لامپ حرکت می‌کنند (در حقیقت، الکترونهای سبك تندتر از یونهای سنگین، که با جرم زیادشان مقاومت زیادتری در برابر شتاب ایجاد می‌کنند، درحرکتند. ممکن است این سؤال پیش بیاید که پس چرا لولهٔ شیشه‌ای که دارای چنین دمای زیادی است ذوب نمی‌شود؟ در پاسخ این پرسش باید گفت که علت این امر رقیق بودن بیش از حد پلاسماست. تصادم یونها و الکترونها آنقدر نادر و اتفاقی است که نمی‌تواند انرژی زیادی را به‌دیواره‌ها منتقل سازد.

اندازه‌گیری دمای جو فوقانی که به‌کمك موشکها و ماهواره‌ها انجام شد، نشان‌داد که دمای لایه‌های گازی از ۵۰۰ تا ۸۰۰ درجهٔ سانتیگراد بیشتر است. به‌نظر می‌آید که زمین را ابر گازی فروزنده‌ای پوشانده است که کشتی فضایی را در هنگام عبور از آن گرم می‌کند. اما واقعاً، این طور نیست، و جو فوقانی به‌قدری رقیق است که می‌تواند جسم را فقط تا چند درجه بالاتر از صفر مطلق گرم کند. در جو فوقانی، دمای جسم بیشتر به‌علت تابش

خورشید و زمین است.

دمای شعلهٔ کبریت در مقایسه با دمای مشعل گازی یا سوخت محترق در سیلندر موتور درونسوز یا گازهای خارج شده از دماغهٔ موتور موشک یا انفجار دینامیت، خیلی زیادنیست. بنابراین، درجهٔ یونش[1] گازها و «پاکی» پلاسما بستگی به‌دمای بالاتر دارد.

حداکثر دمای واکنشهای شیمیایی از ۶۰۰۰ تا ۸۰۰۰ درجهٔ سانتیگراد است. بالاتر از این حد، حالت «حقیقی» پلاسما ظاهر می‌شود، حالتی که هنوز مطالعات ما دربارهٔ آن نارساست؛ زیرا دماهای خیلی زیاد را می‌توان فقط در شرایط آزمایشگاهی برای مدت زمان خیلی کوتاه به‌وجود آورد.

در یک آزمایش، جریان نیرومند الکتریکی ازمیان سیم نازکی که به دو الکترود متصل بود، عبور داده شد. سیم بلافاصله تبخیر شد و بخاری که هنوز انبساط نیافته بود، برای چند لحظه به‌ادامهٔ جریان کمک کرد، و دمایش بازهم بالاتر رفت. سپس ابر کوچک پلاسما به‌وجود آمد که دارای دمایی نزدیک به ۸۰۰۰ درجهٔ سانتیگراد بود، که این دما تقریباً ۲۰۰۰ درجه زیادتر از دمای سطح خورشید است.

تدبیر دیگر برای به‌دست آوردن دماهایی از مرتبهٔ دهها هزار درجه، استفاده از لولهٔ ضربه‌ای[2] است. روش عمل به‌این ترتیب است که لوله‌ای را ازگاز رقیقی پر می‌کنند؛ موج ضربه‌ای که با سرعت ده برابر سرعت صوت از میان گاز می‌گذرد می‌تواند آن‌را تا دمای ۳۰۰۰ درجهٔ سانتیگراد گرم کند. سرعتهای خیلی زیاد

1) ionization 2) shock tube

باعث بالا رفتن میزان دما می‌شوند. اینها تقریباً یگانه روشهای معلومی هستند که می‌توانند پلاسماهایی با دمای پایینتر از ۱۰،۰۰۰ درجهٔ سانتیگراد تولید کنند. متأسفانه هنوز دانشمندان موفق به‌مطالعهٔ حدود بین این مقدار و دمای یك میلیون درجه نشده‌اند.

دماهای بالاتر، باروش زیر کانه‌ای که توسط دانشمندان شوروی، ساخاروف[1] و ایگور تام[2]، اعضای فرهنگستان علوم شوروی انجام گرفته، بدست آمده است، که بعداً دربارهٔ آن صحبت خواهد شد. فراسوی این دماها «سرزمین نامکشوف» و بیکران دیگری جلوه‌گر می‌شود. دماهای فوق‌العاده زیاد غالباً در طبیعت و در شرایطی رخ می‌دهند که مانع مطالعهٔ ماده‌اند. سطح ستارگان دارای دمای ۶۰۰۰ تا ۲۰،۰۰۰ درجه یا حتی بیشتر است. دمایی که از انفجار اتمی حاصل می‌شود در حدود یك میلیون درجه است. دمای درون خورشید متجاوز از یك میلیون درجه، و احتمالا ۱۰ میلیون درجه‌است. دمای درون گرمترین ستارگان احتمالا به‌هزاران میلیون درجه می‌رسد. برطبق نظریهٔ فیزیکدانها، پیدایش هسته‌های آهن، تیتانیوم، منگنز، کوبالت، نیکل، مس، و روی در این دماها صورت می‌گیرد. اما دماهای فوق‌العاده زیاد درون ستارگان اجازه نمی‌دهد که تحت چنین شرایطی به‌مطالعهٔ خواص ماده بپردازیم.

بسیاری از دانشمندان سرگرم مطالعهٔ پلاسماهای پردمایی هستند که دمایشان از ۱۰،۰۰۰ تادهها میلیون درجه می‌رسد. یکی از تدابیر تولید جت پلاسما، سیلندری است که در یك سر آن در-

1) A. Sakharov 2) Igor Tamm

پوش‌گرافیت قرارگرفته که سوراخی در وسط دارد و درسر دیگر سیلندر، یك الکترودگرافیت عبور می‌کند. قطب مثبت یـك منبع الکتریکی به‌الکترود استوانه‌ای و قطب منفی به‌الکتـرود حلقوی متصل شده است. وقتی که جریان الکتریکی برقـرار می‌شود، در داخل سیلندر قوس الکتریکی ایجاد می‌شود وجتی از پلاسما به‌طول ۰٫۶ سانتیمتر از سوراخ انتشار می‌یابد. سازوکار تولید پلاسما به‌این ترتیب‌است که‌اختلاف پتانسیل بین‌دو الکترود میدان الکتریکی به‌وجود می‌آورد و الکترونهای آزاد درون دستگاه بـا سرعت به‌سوی الکترود مثبت رانده می‌شوند. هنگامی کـه چنین الکترونی با مولکولی از هوا برخورد می‌کند پس ازشکافتنش، آن را به‌صورت دویون درمـی‌آورد و چند الکترون جـدیدآزاد می‌سازد، که این الکترونها مجدداً در مسیر حرکتشان به‌سوی‌آند، با اتمها و مولکولهای هوا تصادم می‌کنند. هـوای درون سیلندر بلافاصله به‌جریانی از پلاسما تبدیل‌می‌شود که درآن الکترونهای سریع به‌سوی‌آند درحرکتند و یونهای کندتر راه‌کاتد را درپیش می‌گیرند. بازیاد شدن تصادمهای مکرر، دما بالا می‌رود، و پلاسما شروع به‌درخشیدن می‌کند. وقتی که دما آنقدر بالا رود که یونهای مثبت از سطح‌آند خارج شوند، درآن صورت قـوس الکتریکی باشعله‌ای که دمایش درحدود ۴۰۰۰ درجه است تشکیل می‌گردد. البته این دما بیش از آن حدی است که مواد تشکیل دهندهٔ سیلندر بتوانند تاب بیاورنـد. بـرای خنك کـردن دیواره‌هـای سیلندر، هوای سرد به‌درون سیلندر دمیده می‌شود. این هوا پلاسما را متراکم نموده به ستون نازك بسیار رسانایی تبدیل می‌کنـد، و جـریان با سرعت زیاد ازآن می‌گذرد. دما بازهم بالاتر می‌رود و پلاسما

تحت «اثر فشاری»[1] میدان مغناطیسی خود، بیشتر به‌هم جمع می‌شود: حلقه‌های مغناطیسی نامرئی، پلاسما را مانند توده‌های لاستیك متراکم می‌کنند، و جت فشرده‌ای از گاز یونیدهٔ فروزنده به‌صورت تیغهٔ نازك خیره‌کننده‌ای از سوراخ دیوارهٔ جلویی دستگاه به‌بیرون منتشر می‌شود. این یك پلاسمای حقیقی است که در آن عملاً تمام اتمها یونیده شده و ساختمان آن بیشتر با میدان الکتریکیش تعیین می‌گردد.

دستگاه فوق‌الذکر دارای کاربردهای صنعتی زیادی است. از آن در رشته‌های متالورژی، ساختمان، کانکنی و غیره، استفاده می‌شود. جتهای پلاسما می‌توانند فولاد را، مانند کاردی که کره را می‌برد، ببرند. می‌توانند تندتر از بهترین مته‌های الماس در سنگهای سخت سوراخ ایجاد کنند. می‌توانند برای ذوب و ریخته‌گری فلزات خیلی دیرگداز مانند تنگستن، که تا به‌حال کسی مایع آن را به‌چشم ندیده، به‌کار روند.

مشعلهای صنعتی پلاسما که براساس اصل بالا کار می‌کنند، توسط انستیتوی متالورژی بایکوف[2] در مسکو ساخته شده‌اند. طرز کار و ساختمان این مشعلها ساده است و احتیاجی به‌دستگاههای کمکی مخصوص ندارند. این مشعل می‌تواند در یك ورق ۱۵ میلیمتری از فولاد ضدزنگ که تقریباً در برابر برش اکسیژن مقاومت می‌کند، یك شکاف ۳ میلیمتری خیلی صاف به‌وجود آورد. از جتهای پلاسما می‌توان برای جوش دادن ورقهای فولادین نازك ضدزنگ استفاده کرد. در این حالت خواص مکانیکی درز جوش

1) pinch effect 2) Baikov

داده شده به‌زحمت با جاهای دیگر فلز تفاوت دارد. مشعل پلاسما می‌تواند به‌فلزات شکل دهد و شیارهای فوق‌العاده یکنواخت در آنها به‌وجود آورد. از این مشعل همچنین می‌توان برای صنعت آبکاری فلزات استفاده کرد، که در آن صورت، مواد روکش به شکل پودر وارد جریان گاز می‌شوند، یا میله‌ای از مواد لازم در جت پلاسما قرار می‌گیرد. ابزارهای برش پلاسمایی برای مقاصد تجارتی ساخته می‌شوند و در ردیف سایر ابزارهای ماشینی فلز-تراشی به‌کار می‌آیند.

در دوران جنگ جهانی دوم، دانشمند شوروی، پروفسور گ. ای. بابات[1] سلسله آزمایشهایی با حلقه‌های پلاسما انجام داد، و پی برد که آنها مانند آذرخش گلوله‌ای رفتار می‌کنند. نظیر این آزمایشها توسط دانشمندان آمریکایی در یک مقیاس وسیعتری صورت گرفت. یکی از روشهای تهیهٔ حلقهٔ پلاسما استفاده از وسیله‌ای است که شباهت به‌انگشتانه دارد. دو الکترود تیتانیوم را که از هیدروژن اشباع شده‌اند از انتهای مسدود انگشتانه عبور می‌دهند و ضربانی الکتریکی وارد می‌کنند. در اثر این عمل، بین‌الکترودها قوس الکتریکی می‌جهد. این قوس به‌صورت نیمدایره‌ای از پلاسما منبسط می‌شود که پس‌از جدا شدن به‌شکل حلقهٔ مسدودی درمی‌آید و با سرعت ۲۰۰ کیلومتر در ثانیه پرتاب می‌شود. این سرعت ده برابر سرعت موشکهایی است که روانهٔ فضای خارج می‌گردند. حلقه‌های پلاسما در خلاء خواص قابل توجهی از خود نشان می‌دهند: عملا بدون هیچ‌گونه اثری از

1) G. I. Babat

میان میدانهای مغناطیسی می‌گذرند؛ و در اثر برخورد دو حلقه، مانند گلوله‌های لاستیکی می‌جهند؛ وقتی که حلقه‌ای متلاشی می‌شود، آثار آن متفرق نشده و در صدد رجعت به‌حال نخستین برمی‌آیند؛ اثر متقابل چندین حلقه تولید شکلهای پیچیده‌ای می‌کند که شباهت به کهکشانه‌های مارپیچ و S شکل دارند. اما هیچ یك از آنها پایدار نیست و بعضی از شکلهای پلاسمایی در آزمایشهای بعدی به‌دشواری تولید می‌شوند.

پلاسماهایی که در این بخش شرح داده شد مربوط به‌حوزهٔ «دماهای پایین» تا ۱۰،۰۰۰ درجهٔ سانتیگراد هستند. بین این حد پایین و دمای یك میلیون درجه، منطقهٔ غیر مکشوف وسیعی هست که فراسوی آن، مطالعات راجع به‌پلاسما همچنان ادامه دارد.

## تخلیهٔ همراه با انقباض

پیشرفت علم غالباً با مراحل یك مبارزهٔ نظامی، از بازدید مقدماتی از تأسیسات و وضع دشمن گرفته تا پیروزی نهائی و غلبه بر قلمرو آن، مقایسه می‌گردد. خط جبههٔ پیشروی علم که به اندازهٔ کافی واقعی است، ازمیان آزمایشگاهها و انستیتوها، سیستمهای راهنما و تأسیسات تجربی می‌گذرد. شرکت کنندگان این مبارزهٔ علمی باید حتی‌المقدور همان شهامت، جرئت، فداکاری، و قدرت جسمانی و متانت را که در یك پیکار نظامی از سربازی انتظار می‌رود دارا باشند.

قطب جنوب. سردترین نقطهٔ روی زمین، جایی که شاخص دماسنج تقریباً به ۹۰ درجه زیر صفر می‌رسد. با بادهای شدیدی که

ساکنان منطقهٔ معتدله تاحال با آن مواجه نشده‌اند. آنجا، در پناه‌های پلاستیکی «قطب نارسیدنی»، مبارزه جویان در خط جبههٔ علم، روزگار سپری می‌کنند. با لباسهایی که با نیروی برق گرم می‌شوند، و ماسکهای محافظ، از پناه کلبه‌های پلاستیکی بیرون می‌آیند تا طبق برنامهٔ دشواری که دارند اندازه‌گیریهای لازم را انجام دهند. با این حال کیست که ادعا کند جرئت و شهامت این دلیران کمتر از جاسوسانی است که برای کسب اطلاعات حیاتی بخطوط دشمن نفوذ می‌کنند؟

یک آزمایشگاه مجهز و کاملا تمیز. پرتوهای درخشان خورشید از پنجره‌های بزرگ بدرون می‌تابد. انسانهایی که روپوشهای سفید بر تن دارند بدور میزی که روی آن لوله‌های آزمایش قرارگرفته و با گلوله‌های پنبه‌ای مسدود شده‌اند، گرد می‌آیند. سرم جدیدی برضد بیماری علاج ناپذیری تهیه شده است. این سرم هر آزمایشی را پشت سر گذاشته بجز آزمایش قطعی که باید روی انسان انجام شود. اولین بیماری که با داروی جدید درمان می‌یابد چه کسی خواهد بود؟ اکثر اوقات خود شخص کاشف است که زندگی خویش را در خدمت علم می‌گذارد، و بارها دانشمند از جان گذشته‌ای مانند سربازی در میدان نبرد، زندگیش را فدای پژوهشهای علمی کرده است.

در دنیای علم، مانند صحنهٔ نبرد، هرچیزی ممکن است اتفاق بیفتد. دژهای جدا افتاده‌ای هستند که محاصرهٔ آنها طولانی شده، و طبیعت هنگامی تسلیم می‌شود که اسلحهٔ نیرومندتر ــ تلسکوپ عظیمتر یا میکروسکوپ بهتری ــ وارد عمل شود. وقتی که کشف تازه‌ای راه پیشروی سریع را برای رشته‌های گوناگون علمی

می‌گشاید، ترقیات شگرفی به‌وقوع می‌پیوندند و طبیعت درجبههٔ وسیعی عقب‌نشینی می‌کند. کشف شیوهٔ اتمهای «پیجو» در فیزیك، زمینه‌ای برای استفاده‌های فراوان در دانش پزشکی، متالورژی، زمین‌شناسی، گیاه‌شناسی و بسیاری ازعلوم دیگر فراهم ساخت. علم همچنین از حرکات دورزنی جناح دشمن هنگامی که دستهٔ مقدم جبهه دژ مستحکمی را در قلب قلمرو دشمن تسخیر می‌کند و موفقیت به‌بار می‌آورد به‌خوبی آگاه است. نفوذ دانشمندان شوروی در خطهٔ پلاسماهای با دمای زیاد یك چنین پیروزی است.

بالا بردن میزان دما به‌همان ترتیبی است که می‌توان آن را پایین‌آورد: یعنی برای رسیدن از دمای عادی به‌صفر مطلق باید عمل به‌طور تدریجی و درجه به‌درجه انجام شود. طبیعی است که بعد از ناحیهٔ دماهای هزار درجه می‌توان به‌دماهای دهها و صدها هزار و تا میلیونها درجه رسید. لیکن آنچه واقعاً اتفاق افتاده است، این است که دانشمندان به دماهای میلیونها درجه دسترسی یافته و به‌مطالعهٔ آن پرداخته‌اند و دماهای دهها و صدها هزار درجه را پشت سرنهاده‌اند. فکری که این نفوذ جسورانه را ممکن‌ساخت‌از مغز دو دانشمند به‌نامهای ساخاروف و تام ناشی شد. آنهاموفق‌به طرح مخزنی گردیدندکه قادر به‌حفظ پلاسماهای با دمای زیاد بود.

آب را می‌توان در تنگ شیشه‌ای، بشکهٔ چوبی یا سطل آهنین نگاهداشت. بعید است به‌فکر کسی برسد که ازسنگ نمك فنجانی بسازد. زیرا آب درون‌آن همیشه شور بوده و سرانجام پس ازحل کردن جداره‌ها و کف فنجان ازآن بیرون می‌ریزد. مایعات

گوناگون احتیاج به‌ظروف مختلف دارند. اسید هیدروفلوئوریك شیشه وآهن را در خود حل می‌کند، اما آن را می‌توان در ظرفی از پلاتین یا موم نگهداری کرد. لیکن پلاتین به‌طور کلی بـرای هیدروژن مایع مناسب نیست، زیرا هیدروژن را جـذب می‌کند. آهن مذاب در بوته‌های بزرگی که باآجر نسوزآستر شده‌انـد، نگاهداری می‌شود. برای نگاهداری پلاسمایی که تا دمای دهها و صدها هزار و میلیونها درجه‌گرم شده‌است ازچه ظرفی می‌توان استفاده کرد؟ نه تنها هیچ ماده‌ای وجود ندارد که در چنین دمـایی به‌حالت جامد بماند، بلکه باید از تماس پلاسما با دیواره‌هـای سرد جلوگیری به‌عمل آید. زیرا ضریب هدایت‌گـرمایی پـلاسما میلیون مرتبه زیادتر از هرمادهٔ دیگر است و دفعتاً سرد می‌گـردد. سیمی به‌طول ۱۰۰ کیلومتر در نظر بگیرید که دو دستگاه تلفن را به‌هم متصل می‌کند. اگر این سیم ضریب هدایت‌گرمایی پلاسما را دارا می‌بود، آتشی که دریك انتهای خط می‌افروختیم، درحدود نیم ساعت بعد سبب حریـق در انتهـای دیگـر مـی‌شد. و اگر هیچ گـونه تابشی در محیط اطـراف سیم به‌وجـود نمی‌آمـد دمای این انتهای سیم فقط انـدکی از دمـای انتهای‌گـرم کمتر می‌بود.

ساخاروف وتام ظرفی با «دیواره‌های» میدان مغناطیسی طرح کردند. نخستین آزمایش قبل از سال ۱۹۵۰ انجـام شد. آنهـا لوله‌ای شیشه‌ای که جدارهٔ کلفتی داشت انتخاب کردند وآن را از دوتریوم خیلی رقیق پر کردند (دوتریوم ایزوتوپ هیدروژن است و هستهٔ آن را یك نوترون و یك پروتون تشکیل می‌دهند، اما هستهٔ هیدروژن معمولی فقط شامل یك‌پروتون است). سپس دوالکترود

به دوانتهای لوله متصل کردند، و پس از ایجاد بار الکتریکی در یك سری خازن، آن را به‌الکترودها واردکردند. جریانی معادل چند میلیون‌آمپر که یك نیاگارای الکتریکی واقعی بود به داخل دوتریوم حمله‌ورگردید. توان جریان که فقط چند لحظه‌ای ادامه یافت، از توان بزرگترین نیروگاههای هیدروالکتریك[1] جهان بیشتر بود.

چنین جریانی تولید یك میدان الکترومانیتیك قوی در سطح لوله می کند. دوتریوم به‌طریقی که قبلاگفته شد به‌پلاسما تبدیل می‌گردد. میدان الکترومانیتیك باعث می‌شودکه ذرات باردار در ستون نازکی در امتداد محور لوله‌گردآیند، و این درست همان چیزی بودکه دانشمندان انتظارش را داشتند. هیچ ذرهٔ بارداری نمی‌تواند از میدان مغناطیسی بگریزد. انقباض پلاسما به‌حدی زیاد است که فشار درون ستون‌به میلیون برابر می‌رسد. چنانکه می‌دانیم، دمای‌گاز با فشار افزایش می‌یابد. اگر تابه‌حال لاستیك دوچرخه‌ای را بادکرده باشید، متوجه شده‌اید که انتهای تلمبه، مرتباًگرم می‌شود. این امر به‌علت تراکم هواست، زیرا اصطکاك پیستون در تمام طول لوله یکسان است. به‌این ترتیب، انقباض ناگهانی ستون پلاسما سبب می‌شودکه دما یکباره به میلیونها درجه جهش کند.

متأسفانه مدت دورهٔ عمل فوق‌العاده کوتاه است و فقط کسر بینهایت کوچکی از ثانیه به‌طول می‌انجامد. فشار درون ستون پلاسما سبب انبساط آن می‌گردد. وقتی که انبساط از نقطهٔ تعادل

1) hydroelectric

بین فشار داخلی پلاسما و نیروی تراکمی میدان مغناطیسی بگذرد، پلاسما دوباره فرومی‌ریزد و ستون شروع به ارتعاش می‌کند.

دانشمندانی که نخستین بار آزمایش را مشاهده کردند، با کیفیتهای عجیب و غریبی مواجه شدند. پلاسما ابـداً شباهتی به پلاسمای «سرد» که دمای آن به‌دهها هزار درجه می‌رسد، نـداشت. بیرنگ و تقریباً شفاف بود، و با نـور خیره کننده‌ای کـه انتظار می‌رفت نمی‌درخشید. در لحظات حداکثر انقباض، ستون پلاسما به‌طـور ناگهانی پرتـوهای ایکس و نـوترون ساطع می‌ساخت. کیفیت دیگری که عجیب می‌نمود، این بود که به‌هنگام گـرم شدن پلاسما، خط دوتریوم طیف پهنتر شده بود.

چه عاملی ممکن است مانع ایـن شود که دانشمندان نتوانند با افزودن قدرت تخلیهٔ الکتریکی، به‌دماهای بالاتری دست یابند. متأسفانه مانعی اساسی در این میان وجود دارد. در دماهای زیاد، اتلاف انرژی ناشی از تابش، خیلی سریعتر از نمودما افـزایش می‌یابد. دیواره‌های مغناطیسی که برای ذرات باردار نفوذ ناپذیرند سدراه نوترونهای بی‌بار نمی‌شوند. ازهمه مهمتر، این دیواره‌ها برای نور مرئی، پرتوهای ایکس، موجهای رادیـویی و سایـر انواع تابش که حامل انرژی هستند و دما را پـایین می‌آورنـد، مانعی به‌حساب نمی‌آیند. حداکثر دمایی که تاکنون در آزمایشگاه‌های شوروی به‌دست آمده در حدود ۴۰ میلیون درجهٔ سانتیگراد است.

## سوخت ستاره‌ای

دردهها سال پیش، که دانشمندان ذخایر شناخته‌شدهٔ زغال‌سنگ

و نفت را تخمین زدند و باافزایش سریع مصرف سوخت مقایسه کردند، به‌این نتیجه رسیدند که بشریت بـزودی با فاجعهٔ کمبود سوخت مـواجه خواهدگشت. سیمای ترسناك و مهیبی کـه آنـان ترسیم کردند ناشی از این پیش‌بینی بود. نخست ذخایر نفتی در آیندهٔ خیلی نزدیك به‌اتمام‌خواهد رسید. کارشناسان، درجستجوی خون سیاه زمین، به‌بسترهای کهنه و بهره‌برداری شده باز خواهند گشت، چراکه امروزه به‌زحمت توانسته‌اند نیمی از تمامی نفت این‌بسترها را استخراج کنند. با به‌کار بردن روشهای نوین، مانند راندن بخارآب داغ به‌درون چاهها یاگرم کردن الکتریکی لایه‌ها، تاآخرین قطرهٔ نفت را از چاه بیرون می‌کشند. امـا این عملیات نمی‌توانند فاجعه را برای مدت درازی دور سازند. روزی‌خواهد آمد که‌اتومبیلها ولکوموتیوهای دیزلی درحالی که‌قطره‌ای‌سوخت در مخازن خود ندارند از حرکت باز می‌ایستند، هواپیماها روی زمین خواهند ماند وکشتیها در بنادر زنگ خواهند زد.

به‌طور قطع می‌توان مقداری سوخت‌مایع اززغال سنگ تهیه کـرد، اما ذخایر زغال سنگ هم تقریباً تمام خـواهد شد. ابتدا بهترین نوع زغال سنگ از رگه‌هایی کـه زحمت کمتری دارنـد استخراج می‌شود وسپس نوبت به‌لایه‌های نازك که‌کار استخراج آنها دشـوار است و لایه‌هایی کـه درجهٔ مرغوبیتشان پستتر است می‌رسد. معادن توخالی غرق درآب خواهند شد. تکه‌های زغال‌سنگ همانند اسکلت ماموتها و دینوسورها در موزه‌ها به‌معرض نمایش‌گذارده خواهند شد. لکوموتیوهای بخاری از بی‌سوختی زنگ خواهند زد وتوربینهای بخار ازگردش باز خواهند ایستاد. عصر سنگهای رستی، تورب و سوختهای نامرغوب دیگر پدیدار

خواهدگشت. هرچه که قادر به‌سوختن باشد به‌درون اتاق احتراق موتورها رانده خواهد شد. سپس این‌ذخایر هم پایان می‌پذیرند، و زمین باگرسنگی مصیبت‌آمیز سوخت رو به‌رو خواهدگردید. تمدن‌انسانی که براساس سوختهای معدنی پایه‌ریزی شده محکوم به‌نابودی خواهد بود.

اکنون سالها ازآن زمانی که این پیشگویی نومیدکننده و تاریك برای نخستین‌بار ایراد شد می‌گذرد. پیش‌بینیهای مربوط به‌نفت می‌بایست تا به‌حال تحقق یافته و ذخایر زغال‌سنگ پایان پذیرفته باشد. با این حال هنوز میلیونها اتومبیل در جاده‌ها در حرکتند، هواپیماها درآسمانها به‌پرواز در می‌آیند، وکشتیها و ناوهای پرزرق و برق دریاهای پهناور را طی می‌کنند. استخراج سوختهای معدنی سریعتر ازآنچه پیش‌بینی شده بود صورت می‌گیرد، اما ذخایر کشف شده افزایش می‌یابند و این طورکه دیده می‌شود مسئلهٔ تمام شدن ذخایر سوخت به‌چند قرن یا شاید هم هزاران سال دیگر موکول شده است. آیا معنی این‌سخن این است که ذخایر سوخت معدنی در روی زمین نامحدودند و خیال تهیدستی قدرت به‌هیچ وجه خطرناکتر از افسانهٔ غول بیابانی نیست؟ پرسش شامل دو سؤال متفاوت است که نیاز به‌پاسخهای جداگانه دارند. اولا، ذخایر سوخت معدنی‌زمین نامحدود نیستند. امکان اینکه ذخایر زغال سنگ یا نفت به‌طریق روشهای طبیعی دوباره به‌حال نخستین برگردند بعید است؛ و با وجود تمام عظمتشان، قطعاً روزی به‌انتها خواهند رسید. معذالك، انسان با کمبود نیرو تهدید نشده است. در مرحلهٔ معینی از گسترش و پیشرفت جامعهٔ انسانی، سوختهای معدنی منبع اصلی نیرو را

تشکیل می‌داده‌اند. اما همان طور که انسان در طی هزارها سالی که‌روی‌پاهایش می‌ایستاد و بی‌نفت و زغال سنگ روزگار سپری می‌کرد، روزی خواهدآمد که دیگر نه زغال سنگ و نه نفت هیچ یك منبع مهم نیرونخواهد بود. منبع عمدهٔ نیرو، درآیندهٔ نزدیك، به‌احتمال زیاد هستهٔ اتمی خواهد بود.

چرا توان هسته‌ای بالاتر از انرژی باد و جزرومد، انرژی حرارتی‌اعماق زمین، یاانرژی حرارتی خورشید واقع شده‌است؟

قدرت بازدهی برای هر متر مربع از روتور ژنراتوری که با قوهٔ باد به‌چرخش در می‌آید در صورتی که سرعت باد ۱۲ متر در ثانیه باشد، به ۷ر۶ کیلووات می‌رسد.

ایستگاه برق خورشیدی می‌تواند حداکثر یك کیلووات برمتر مربع برق تولیدکند.

ارزش گرمایی[1] یك کیلوگرم زغال سنگ سخت برابر ۷۰۰۰ تا ۸۰۰۰ کیلوکالری است.

ارزش‌گرمایی‌یك کیلوگرم‌نفت‌برابر ۱۱۰۰۰ کیلوکالری‌است.

در برابر، یك کیلوگرم اورانیوم که یك‌سوخت هسته‌ای‌باکار-برد فراوان است، می‌تواند ۲۲،۳۰۰،۰۰۰ کیلووات ساعت انرژی تولیدکند. اما سوخت هسته‌ای بهتراز اورانیوم، هیدروژن است‌که پتانسیل انرژی هر کیلوگرم‌آن معادل ۱۱۷،۵۰۰،۰۰۰ کیلووات ساعت است.

لف آرتسیموویچ[2]، عضو فرهنگستان علوم شوروی، درحضور

۱) calorific value ــ گرمایی که در اثر احتراق کامل واحد وزن مادهٔ سوختنی تولید می‌شود.ــم.

2) Lev Artsimovich

یکی از نویسندگان این کتاب نقشه‌ای از نیروگاه گرماهسته‌ای آینده ترسیم کرد و چند محاسبه نیز انجام داد. تأسیسات برق این نیروگاه یك میلیون کیلوواتی، در داخل ساختمان یکطبقهٔ مدوری که ۱۲ متر قطر دارد جای می‌گیرند. قدرت بازدهی بازای هر متر مکعب از «حجم عمل کننده» به ۲۰۰،۰۰۰ کیلووات می‌رسد. نیازی نیست که این تأسیسات را بادیگهای عظیم بخار و توربین خانه‌های مراکز مدرن امروزی، یا سدهای یك کیلومتری و واحد‌های توربوژنراتور ۱۰ طبقه‌ای نیروگاههای هیدرولیکی مقایسه کرد.

نخستین کارخانهٔ برق هسته‌ای جهان، درسال ۱۹۵۴، در کشور اتحاد شوروی به‌کار افتاد. در سال ۱۹۵۸، اولین قسمت (۱۰۰،۰۰۰ کیلووات) یك کارخانهٔ برق‌اتمی آمادهٔ بهره‌برداری گردید. امروزه کارخانه‌های عظیم برق اتمی در بسیاری از نقاط اتحاد شوروی و کشورهای دیگر، در دست ساختمان یا سرگرم کارند. اما آینده به‌این نوع کارخانه‌ها تعلق ندارد، اگرچه برای مدتی نقش مهمی‌را در تولید برق جهان ایفا خواهند کرد. درقرن بیست و یکم، تولید برق بیشتر براساس کارخانهٔ گرماهسته‌ای استوار خواهد بود.

ذخایر اورانیوم وتوریوم،سوخت کارخانه‌های نوین برق‌اتمی، با اینکه فراوانند اما محدودند. ذخایر هیدروژن در روی‌زمین و گیتی‌واقعاً پایان ناپذیرند.زیرا هرمولکول آب‌شامل‌دو اتم‌هیدروژن است‌و ۷۰درصد سطح‌زمین‌راآب‌پوشانده‌است.البته‌ستون‌پلاسمای ساخاروف و تام‌که درفصل قبل به‌آن اشاره شد، از دوتریوم بود نه هیدروژن. اما این ایزوتوپ هیدروژن‌آنقدرکه تصور می‌رود کمیاب‌نیست: در روی زمین، به‌ازای هر ۶۰۰۰ اتم از «هیدروژن

معمولی» یك اتم از این ایزوتوپ یافت می‌شود. این نسبت برای آب نیز برقرار است، و به‌ازای هر ۶۰۰۰ مولکول آب معمولی یك مولکول «آب سنگین» $D_2O$ وجود دارد. انرژی دوتریوم موجود در یك گالن آب معادل با انرژی ۴۰۰ گالن نفت است.

آب سنگین بسیار گران است، اما مصارف صنعتی دارد و، در کارخانه‌های برق اتمی، از آن در تولید سوختهای هسته‌ای و سایر فراوندها استفاده می‌شود. وقتی که انسان طرز کاربرد دوتریوم را مانند سوخت اتمی بیاموزد، در آن‌صورت برق تولیدی آن به‌مراتب ارزانتر از برقی است که از نیروگاههای گرمایی یا هیدرولیکی تولید می‌گردد. طبق برآوردی که شده، در آینده هزینهٔ یك کیلووات برق گرماهسته‌ای فقط یك درصد برق گرمایی خواهد بود.

اساس تولید برق گرماهسته‌ای فوق‌العاده ساده است. هیدروژن دارای سه ایزوتوپ است: هیدروژن معمولی یا پروتیوم[1] که هستهٔ آن را فقط یك پروتون تشکیل می‌دهد؛ دوتریوم که هستهٔ آن از یك نوترون و یك پروتون تشکیل یافته؛ و بالاخره تریتیوم[2] که هستهٔ آن دو نوترون و یك پروتون دارد. از ادغام[3] دو هستهٔ دوتریوم، یا یك هستهٔ تریتیوم و یك هستهٔ پروتیوم، یا یك هستهٔ دوتریوم و یك هستهٔ تریتیوم (ترکیبات دیگر نیز امکان‌پذیرند) یك هستهٔ هلیوم و مقدار زیادی انرژی حاصل می‌شود. اما آیا ادغام دو اتم دوتریوم عملی است؟

فرض کنید، میکروسکوپ شگفت‌انگیزی داریم که قدرت

1) protium 2) tritium 3) fusion

بزرگنمایی آن بسیار زیاد است، و با آن می‌توانیم ذرات بنیادی را ببینیم. در عدسی چشمی میکروسکوپ، مولکولهای گاز را رؤیت می‌کنیم که درهم و برهم هستند و مانند گلوله‌های لاستیکی به‌هم برخورد می‌کنند و دوباره به‌حال نخستین باز می‌گردند. قدرت بزرگنمایی میکروسکوپ را بالا می‌بریم وتوسط «کبریتی» که قادر به‌تولید شعله‌ای بادمای چندصد تا چندهزار میلیون درجه است، عدسی شیئی را حرارت می‌دهیم. مشاهده می‌کنیم که در بین مولکولهای کندرو، تعدادی الکترون آزاد و تندرو یافت می‌شوند. یکی از این الکترونها به‌مولکولی برخورد می‌کند و آن را می‌شکافد و به‌دویون و چند الکترون دیگر تبدیل می‌کند. همین‌طور که دمای «کبریت» را بالا می‌بریم تصادمها مرتباً زیاد می‌شوند. در نتیجه، تعداد مولکولهایی که از نظر الکتریکی خنثا هستند، به‌سرعت کاهش می‌یابند و یونها والکترونهای تندرو ظاهر می‌شوند، تا اینکه دیگر هیچ مولکولی باقی نمی‌ماند.

بررسی دقیق نشان می‌دهد که هرقدر هم سرعت هسته‌های هیدروژن دوتریوم، و تریتیوم زیاد باشد، باهم تصادمی نخواهند داشت؛ بلکه بامهارت کامل مانوور می‌دهند، وهریك راه را برای دیگری باز می‌کند. این نوع رفتار را می‌توان برای هسته‌های اتمی که از پروتونهای بابار مثبت و نوترونهای خنثا تشکیل یافته‌اند، به‌آسانی تشریح کرد. اما بارهای همانند یکدیگر را دفع می‌کنند، و این قوای دافعه است که نمی‌گذارد هسته‌ها با هم تصادمی داشته باشند. هرهسته با یك قشر نامرئی، اما واقعی، از میدان الکتریکی احاطه شده است. این قشرها هنگام تماس باهم عکس‌العمل نشان می‌دهند، و باعث می‌شوند هسته‌ها یکدیگر

را دفع کنند.

بازهم دمارا بالا می‌بریم، به‌امید اینکه شاید در میان این هرج ومرج وآشوب شدید هسته‌ها، تصامی رخ دهد. مسلماً، در این‌جا دو هسته هستند که به‌پیش می‌روند و مقدار حرکت آنها به‌قدری زیاد است که برخوردشان قشرهای میدان الکتریکی را تغییر شکل می‌دهد و هسته‌ها کاملا به‌هم نزدیک می‌شوند. انتظار می‌رود که نیروهای وازنش الکتریکی مانند فنر محکمی رجعت نموده و هسته‌ها را ازهم‌جدا سازد. اما ناگهان دوهسته به‌سوی هم حمله‌ور می‌شوند و مانند دو قطرهٔ جیوه که از پیوستن آنها قطرهٔ بزرگتری تشکیل می‌یابد، در هم فرو می‌روند و هستهٔ جدیدی به‌وجود می‌آورند. معنی این کار این است که نیروهای هسته‌ای وارد عمل شده‌اند. ادغام مانند انفجار است. کوآنتومهای موجهای مختلف درتمام‌جهات منتشرمی‌شوند وهستهٔ جدید هلیوم سرعت فوق‌العاده زیادی پیدا می‌کند.

با بالارفتن دمای پلاسما، تصادم بین هسته‌ها مکرر اتفاق می‌افتد، وانرژی‌حاصل از واکنش گرماهسته‌ای‌نیزافزایش‌می‌یابد. سرانجام لحظه‌ای فرامی‌رسدکه انرژی ناشی از واکنش خود در دمای پلاسما شرکت می‌کند و تعداد تصادمها به‌سرعت بالا می‌رود. بهتر نیست از میکروسکوپ دور شویم مبادا انفجار هیدروژنی رخ دهد؟ در حقیقت باید چنین کرد. بالاتر از دمای معین، پلاسمای دوتریوم بهمنی از انرژی تولید می‌کند؛ و این اساس بمب هیدروژنی است.

برای نیروگاه گرماهسته‌ای، چندین طرح پیشنهاد شده است. در یکی از این طرحها، لولهٔ پلاسما به‌شکل حلقه‌ای خم می‌شود،

که ریاضیدانان به‌آن چنبره[1] می‌گویند. چنین دستگاهی به‌قطر بیش از ۱۰ متر احتیاجی ندارد و ضخامت لوله فقط یك متر است. در اطراف چنبره، تلمبه‌هایی جهت تخلیه‌کردن لوله، گیرنده‌های جریان و سایر دستگاههای نیروگاه نصب شده‌اند. در داخل لوله، سوخت گرماهسته‌ای ــ مخلوطی از دوتریوم و تریتیوم ــ به‌وسیلهٔ میدان مغناطیسی متراکم می‌گردد. چند حلقه سیم‌پیچ دور چنبره پیچیده می‌شوند: یکی برای ایجاد «بطری مغناطیسی»، یکی برای کنترل ستون پلاسما، و یکی هم برای تولید جریان الکتریکی.

به‌طوری که می‌بینید، این سیستم نه‌تنها دیگهای بخار و توربینها، بلکه ژنراتورهای برق را هم کنار می‌زند. در حقیقت، نیروگاه گرماهسته‌ای نیازی به ژنراتور خاص ندارد. یادآور می‌شویم که پلاسما یك هادی خوب الکتریکی است و تولید میدان الکترومانیتیك می‌کند. نوسانهای ستون پلاسما موجب نوسانهایی در جریان الکتریکی، و در نتیجه در میدان الکترومانیتیك می‌شود. و میدان مغناطیس متغیر در هادیی که آن را قطع می‌کند، جریان برق القا می‌سازد. به‌عبارت دیگر، نیروگاه گرماهسته‌ای نیازی به توربین، ژنراتور، و سایر تأسیسات برقی متداول ندارد، و درصورت لزوم می‌توان از آنها به‌عنوان دستگاههای کمکی استفاده کرد. همان‌طور که قبلا ذکر شد، پلاسما مقادیر بسیار زیادی انرژی می‌تاباند. دیواره‌های چنبره طبعاً خیلی داغ خواهند شد و باید آنها را با آب خنك کرد. بخار حاصل از این آب در قسمتهای کمکی نیروگاه گرماهسته‌ای به‌مصرف می‌رسد.

۱) torus ــ سطحی که از گردش یك دایره یا بیضی در حول محوری که در صفحهٔ آن هست ولی آن را قطع نمی‌کند به‌وجود می‌آید.ــم.

نقشه‌ای از این نوع نیروگاه بود که پروفسور آرتسیموویچ در دفتر یادداشتش رسم کرده بود. او به‌اشکالاتی که در تحقق یافتن چنین پروژه‌ای وجود دارند نیز اشاره کرد. مانع اصلی تا به‌امروز همان ایجاد «بطری» است که بتواند بی‌آنکه خنک شود پلاسما را برای مدت مدیدی در خود نگه دارد. اخیراً، دو نوع تلهٔ پلاسما مورد مطالعه قرارگرفته است.

دربارهٔ یکی از این تله‌ها در بالا صحبت کردیم، یعنی لوله‌ای توخالی که به‌شکل چنبرهٔ بزرگی خم‌گشته ازگاز دوتریوم پرشده است. بار الکتریکی خارجی گاز را یونیده می‌کند و حلقه‌ای از پلاسما تولید می‌کند. جریانی که از پلاسما می‌گذرد آن را گرم می‌کند و میدان مغناطیسی پدید می‌آورد که از تماس پلاسما با دیواره‌های لوله جلوگیری می‌کند. حلقه‌های سیمی که به دور چنبره پیچیده شده‌اند، یك میدان مغناطیسی دیگر به‌وجود می‌آورند که ناپایداری پلاسما را «التیام» می‌بخشد. هنوز خیلی زود است که بگوییم این روش می‌تواند جداسازی لازم را برای پلاسما تأمین کند.

روش دیگر توسط دانشمند شوروی گ. بودکر[1] پیشنهاد شده است. او چنین استدلال کرد که نیازی نیست لولهٔ ساخاروف و تام را خم کرد، وآن را به‌شکل چنبره درآورد. به‌جای آن، می‌توان دو سر لوله را با آینه‌های مغناطیسی مسدود ساخت. با محاسبات ریاضی معلوم شد که در شرایط معین، ذرات پلاسما در چنین لوله‌ای ــ که به‌نام تلهٔ آدیاباتیك[2] معروف است ــ به‌جلو و عقب

1) G. Budker 2) adiabatic trap

حرکت می‌کنند و مانند گلوله‌های فولادینی که در اثر برخورد با کف مرمرین به‌بالا می‌جهند، از آینه‌های مغناطیسی دور می‌شوند. تأسیسات گرماهسته‌ای اگرا[1] در اتحاد شوروی، روی این اصل تلهٔ آدیاباتیک بنا شده است. این روش نیز جداسازی کامل را تأمین نمی‌کند، و ذرات یونیده می‌گریزند و انرژی هدر می‌رود. دانشمندان، در مورد اتلاف انرژی از طریق «درپوشهای» تلهٔ آدیاباتیک، و رابطهٔ بین انرژی خروجی بادما، محاسباتی انجام داده و منحنیهایی رسم کرده‌اند. می‌دانیم که هرچه دما بالاتر رود، برتعدادتصادمهای هسته‌ای افزوده می‌شود ومیزان انرژی خروجی افزایش می‌یابد. همچنین، معلوم شده است که هرچه دما بالاتر باشد اتلاف انرژی پلاسما در تله کمتر است. محل تقاطع این دو منحنی در روی نمودار، دمایی را به‌دست می‌دهد که در آن دما، تعادل گرمایی برقرار می‌شود و هدر رفتن گرما به‌وسیلهٔ پلاسما، با ورودگرمای حاصل از واکنش ترکیبی هسته‌های هلیوم، متعادل می‌گردد. دمای تعادل برای ادغام دوتریوم-تریتیوم در حدود ۱۰۰۰ میلیون درجهٔ سانتیگراد برآورد شده است. برای ادغام دوتریوم-دوتریوم دمای مطلوب درحدود ۱۰،۰۰۰ میلیون درجه است.

با این ترتیب، باید راه را پیش ازآنکه نیروگاههای گرما-هسته‌ای روی کارآیند، هموار ساخت. از طرف دیگر، علم هرگز با چنین سرعتی که در عصر ما دارد پیش نرفته است. دماهای صدها میلیون و هزارها میلیون درجه را می‌توان با نمو تدریجی

1) Ogra

دما، و کامل کردن چنبره‌های گرماهسته‌ای و تله‌های آدیاباتیك به دست‌آورد، اگرچه در این راه موانع زیادی قرارگرفته‌اند. اما پیشرفت احتمالی، مانور یورش‌وار جدیدی خواهد بود که در نتیجهٔ آن دانشمندان برقلمرو دمای هزارمیلیوندرجه دست می‌یابند و «منطقهٔ بکر» صدها میلیون درجه را پشت‌سر می‌گذارند.

به‌عقیدهٔ اخترفیزیکدانان، انرژیی که آتش خورشید را جاودان نگه می‌دارد، انرژی گرماهسته‌ای است. شگفتتر ازاین، کار پرومتئوسهاست که آن آتش اختری را خواهند دزدید و در زمین خواهند افروخت.

# میدان

## مادهٔ لمس‌ناپذیر

داستانسرای نامدار انگلیسی اچ. جی. ولز[1] در داستانش «کشور کوران» به‌سرگذشت مردی می‌پردازد که خود را در میان دره‌ای خشك و محصور از کوههای غیرقابل‌گذر می‌یابد؛ مکانی که همهٔ ساکنانش کور مادرزاد بوده‌اند. حتی افسانه‌هایشان نیز به‌اینکه اجدادآنها می‌توانسته‌اند ببینند اشاره‌ای نمی‌کند. صرف نظر ازنظریهٔ فلسفی داستان، که مردم کور آن دره نمونهٔ همهٔ آدمیان هستند، ببینیم آیا یك انسان نابینا می‌تواند فقط از راه حواس بویایی، چشایی، بساوایی، و شنوایی دانش کافی از این جهان به‌چنگ‌آورد؟ و خصوصاً اینکه قادر است چیزی دربارهٔ نور و رنگ بیاموزد؟

در پاسخ باید گفت بدون شك آری. مسلماً، درك و تشخیص، پیچیده‌تر و کندتر خواهد بود، زیرا انسان در حدود ۸۰ درصد دانستنیهای دنیای خارج را از راه چشمانش کسب می‌کند. اما قدرت تشخیص و ادراکش به‌راستی بی‌پایان است. نژادکوری از انسانها به‌خوبی ازتابش خورشید به‌علت گرمایی که می‌بخشد،

1) H. G. Wells

آگاه می‌شوند. و دانشمند کور به‌کمك چند افزار ساده و دماسنج، به‌کشف قوانین انکسار نور توفیق می‌یابد. دماسنج او می‌تواند یك نوار دوفلزی[1] باشد که در اثر گرما کج می‌شود و میزان دما را نشان می‌دهد. به‌این ترتیب، انسان کور می‌تواند با لمس کردن نوار دما را به‌آسانی تشخیص دهد.

دانشمندان نابینا طیف نور خورشید را کشف می‌کنند. در حقیقت، آنان از دیدن مرزبین قسمت «مرئی» و قسمت فرابنفش و فروسرخ طیف عاجزند. سپس با مشاهدهٔ جزر و مد دریا و استفاده از ترموکوپلهای خیلی حساس می‌توانند به‌وجود ماه و ستارگان پی ببرند وسیاره‌ها را از ستاره‌ها جدا سازند. خواندن دستگاه برحسب صداها، بوها و تغییرحالتهای محسوس انجام خواهد شد. بدیهی است که آدمیان نابینا هرگز قادر نخواهند بود آن چیزهایی را که ما درك می‌کنیم، مثل سرخی خون یا سبزی گیاه را توصیف کنند. اما فیزیکدان کور، در تمدنی پیشرفته، می‌تواند بگوید: «نور سرخ نشانهٔ نوسانهای الکترومانیتیك باطول موج ۰٫۷۵ میکرون است، نور سبز دارای طول موج تقریباً ۰٫۵۵ میکرون و طول موج نور بنفش ۰٫۴ میکرون است.» و این اساساً همان چیزی است که هر فیزیکدان دیگری می‌گوید.

از طرف دیگر، می‌توانیم موجودی را تصور کنیم که قادر است نه تنها آن قسمت از طیف را که ما می‌بینیم، بلکه تمام طیف الکترومانیتیك ــ ازموجهای رادیویی گرفته تا پرتوهای ایکس ــ را ببیند. برای چنین موجودی، آنتنهای فرستنده‌های رادیویی به

1) bimetallic strip

چراغهای درخشان می‌مانند، سیمهای تراموا و شبکه‌های اصلی برق می‌درخشند، بدن گرم انسانها ورادیاتورهای حرارت مرکزی هاله‌ای از تابش می‌فشانند. واژما را مانند خفاش کوری می‌پندارد. باوجود این، به‌او می‌توانیم بگوییم: «مسلماً، ما نمی‌دانیم که تابش الکترومانیتیك با طول موج ۳ه‌رع متر به‌نظرتان چگونه می‌آید. اما از قوانینی که این موج پیروی می‌کند آگاه هستیم، وبااینکه نمی‌توانیم با هیچ‌یك‌ازحواس طبیعی‌خود درکش کنیم، آن‌را به‌کار گرفته‌ایم. مثلا ایستگاه تلویزیون محلی، این طول موج را پخش می‌کند. درحقیقت، ما ازتمام‌طیف‌الکترومانیتیك‌دانش کافی‌داریم.»

یك منشور شیشه‌ای انتخاب کنید وآن را طوری بگیرید که پرتو نوری ازآن بگذرد. نور به رنگهای ترکیبی خود تجزیه می‌شود. تشخیص جایی که نور قرمزطیف پایان می‌یابد وسرانجام نامرئی می‌شود کار بسیار دشواری است. به‌علاوه، احتیاجی به این کارنیست فراسوی آن را ناحیه‌ای از تابش فروسرخ فرا گرفته که‌چندین برابر بزرگتر از قسمت مرئی است. پس از آن، پخش موجهای رادیویی شروع می‌شود که تاکنون کار بردهای علمی یا فنی نیافته‌اند. حمله‌ای برعلیه آنها آغاز گردیده، و هنگامی که مهار شوند یکی از رؤیاهای نویسندگان داستانهای تخیلی علمی تحقق می‌یابد، و هر کس می‌تواند برای خود یك «فرستنده‌گیرنده»[1] با طول موج خصوصی داشته باشد.

سپس باندهای موجی فراپربسامد[2] (UHF) پیش می‌آیند که به‌تازگی کاربرد فراوان یافته‌اند. این ناحیه قسمت پخش امواج

1) walkie-talkie 2) ultrahigh frequency

تلویزیونی و صوتهای بدون تداخل را تشکیل می‌دهد. به‌دنبال آن باندهای رادیویی شناخته شده با طول موج کوتاه، متوسط، و بلند فرامی‌رسند که مورد استفادهٔ بسیار دارند. به این ترتیب، هرمتخصصی بیدرنگ می‌تواند برای تماس با ناو فضایی که به سوی مریخ در حرکت است یا ارتباط بین دو ایستگاه رادیویی که زمین را دور می‌زنند، بهترین طول موج را پیشنهاد کند. او به‌خوبی می‌داند که چگونه کار محاسبه و ساخت مولدهای این نوع موجها را انجام دهد و برای آنها گیرنده‌های فوق‌العاده حساس در نظر بگیرد.

در انتهای دیگر طیف مرئی، ناحیهٔ بنفش تیره، و آنگاه ناحیهٔ فرابنفش باموج کوتاهتر است که تدریجاً واردباند پرتوهای ایکس می‌گردد (در حقیقت، در تمام طول طیف مرزهای مشخصی وجود ندارند). البته، انسان نحوهٔ استفاده از قدرت نفوذ پرتوهای ایکس را آموخته است. بعد از پرتوهای ایکس، تابش گاما قرار گرفته که قدرت نفوذ آن به‌مراتب زیادتر از پرتوهای ایکس است؛ به‌طوری که یك ورقهٔ آلومینیوم به‌ضخامت ۲۰ سانتیمتر، شدت آن را به‌نصف کاهش می‌دهد. یکی از منابع اصلی تابش گاما فرآورندهای هسته‌ای‌اند.

تفاوت بین قسمتهای مختلف طیف الکترومانیتیك به‌راستی درخور توجه است. برخلاف تابش گاما که قدرت نفوذ آن فوق‌العاده زیاد است، نور مرئی توانایی نفوذ در ورقهٔ نازکی از فلز را ندارد و با عبور از محیطی به محیط دیگر به‌آسانی خم می‌شود. باوجود این، در خلاء تمام موجهای الکترومانیتیك، صرف نظر از منشأ و قسمتی از طیف که به‌آن تعلق دارند، به‌هم شبیه‌اند

و از قوانین واحدی پیروی می‌کنند؛ زیرا همهٔ آنها فرآورده‌های گسیل میدان الکترومانیتیك هستند. تفاوتهای بین آنها نتیجهٔ طبیعی تجمع اختلافهای کمّی است. اگر در طول طیف الکترومانیتیك حرکت کنیم می‌بینیم که چگونه تجمع تغییرات کمّی به‌تغییرات کیفی می‌انجامد.

موجهای الکترومانیتیك از میدانهای الکترومانیتیك جدایی ناپذیرند. میدان الکترومانیتیك با جریان الکتریسیته به‌وجود می‌آید. هرگاه جریانی از یك هادی بگذرد بلافاصله در اطراف آن میدان الکترومانیتیك پدیدار می‌گردد. به‌عبارت دقیقتر، میدان فوراً ظاهر نمی‌شود: سرعت انتشار آن در خلاء فوق‌العاده زیاد و معادل ۳۰۰،۰۰۰ کیلومتر در ثانیه است. تغییرات جریان برق میدان را تغییر می‌دهد. بنابراین، نوسانهای الکتریکی ایجاد میدان الکترومانیتیك در آنتن فرستنده می‌کند که در تمام جهات انتشار می‌یابد. این میدان با آنتن گیرنده تلاقی می‌کند و در آن جریان الکتریکی القا می‌سازد. مسلماً جریان برق القایی میلیونها بار از برق آنتن فرستنده ضعیفتر است، اما نوسانهای آن مطابق همان الگوی قبلی است؛ و ما از رادیو خودآهنگ اصلی را که در استودیو پخش می‌شود می‌شنویم.

اغلب از صداهای دلخراش وسوتهای جوی وتداخلهای دیگر رادیویی آزرده می‌شویم. آنها زاییدهٔ موجهای رادیویی «وحشی» اند که از علل طبیعی ناشی می‌شوند. در کجا تظاهر می‌کنند؟ طبیعت در کجا آنتنهایش را مستقر ساخته ولامپهای الکترونی خود را نصب کرده است؟ نیازی به‌این کارها ندارد، و موجهای رادیویی در تخلیهٔ ویرانگر آذرخش، در پرتو ضعیف و بیصدای

شفق شمالی و در تصادم الکترونها در ابرهای دوردست گاز کیهانی به‌وجود می‌آیند. تمام‌اینها فرایندهایی هستند که در پلاسما رخ می‌دهند، و اگرچه انسان در برابر طیف موجهای رادیویی نابیناست، آموخته که چگونه آنها را به‌کمك دستگاههای ساده و دقیق بنگرد.

از خواص مهم میدان الکترومانیتیك طبیعت دوگانهٔ آن است. پیش ازآنکه این پرسش مطرح شود که، «میدان الکترومانیتیك چیست؟»، این پرسش مطرح شد، «نور چیست؟»

برخی از دانشمندان معتقد بودند که نور جریانی از ذرات ریز است. دیگران می‌گفتند که نور از موجها تشکیل یافته و این موجها به‌وسیلهٔ «اتر روشنی‌بخش» (محیطی که وجودش را فقط برای توجیه انتشار نور لازم می‌دانستند) انتقال می‌یابند. وآنها برای‌تأیید نظریه‌های خود انکسار، پراش[1]، و سایر پدیده‌های نوری را با نظریه‌هاشان توجیه می‌کردند. با اینکه در علم خیلی به‌ندرت این طور پیش می‌آید، معهذا نظریه‌های هردو دسته صحت داشت. بسیاری از مشاهدات بی‌شبهه‌ای که از نظر علمی به‌اثبات رسیده‌اند نشان می‌دهد که نور، تابش الکترومانیتیك، و میدانها دارای طبیعت دوگانه‌اند. با نور می‌توان مانند جریان فوتونهایی که انرژی مختلف‌دارند، ونیزمانند رشته‌ای ازموجهای الکترومانیتیك که طول موج یا بسامد[2] آنها متفاوت است، رفتار کرد. هرچه موج بلندتر باشد مشاهدهٔ خواص ذره در رفتارش دشوارتر است؛ و برعکس، هرچه موج کوتاهتر باشد خواص

1) diffraction 2) frequency

موجی آن کمتر آشکار می‌شود. پرتوهای گاما به دشواری خواص موجی از خود نشان می‌دهند، به‌این دلیل آنها را ذرات گاما نیز می‌نامند. مهمترین چیزی که باید به‌خاطر سپرد این است که موجهای رادیویی، پرتوهای نوری و ذرات گاما همه اساساً طبیعت واحدی دارند، و مبین انواع مختلف میدان الکترومانیتیك هستند.

ذرات ریز نور، فوتون نامیده می‌شوند؛ ذرات میدان الکترومانیتیك به‌طور کلی کوآنتوم[1] نام‌دارند. کوآنتمها مانند الکترونها، پروتونها، و نوترونها که ذرات بنیادی ماده هستند، ذرات بنیادی میدان الکترومانیتیك لقب گرفته‌اند. ساختمان کوآنتومی میدانها با آزمایش به‌اثبات رسیده و مانند وجود الکترونها در آن شبهه‌ای

1) quantum

---

## به‌زبان ریاضی

**فشار میدان**

چگالی ماده درفضای بین ستارگان از $10^{-24}\,g/cm^3$ زیادتر نیست، واین معادل با یك اتم‌هیدروژن‌درهرسانتیمتر مکعب است. امافضای خارج را میدانهای مختلف، الکترومانیتیك (خاصه، نور) وگرانشی پرکرده‌اند. از نظرتئوری نسبیت، این میدانها سنجش‌پذیرند، به‌عبارت دیگر، جرم دارند.

نور،مانند هرمیدان دیگر،فشارضربه‌ای وارد می‌کند. صحت این حقیقت نخستین بار در قرن نوزدهم (قبل از اعلام تئوری نسبیت) به‌وسیلهٔ جیمز کلارك ماکسول، به‌طور نظری معلوم گشت، و در سال ۱۹۰۱، فیزیکدان روسی پ. ن. لبدف[1] با آزمایش آن را به‌اثبات رساند. فشار ضربهٔ نور، $P$، از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید. ←

1) P. N. Lebedev

نیست.

آیامیدان الکترومانیتیك وجودی مادی است؟ بدون شك میدان برماده اثر متقابل دارد. انرژی حمل می‌کند. جـرم دارد. جسمی که مولد میدان الکترومانیتیك است قسمتی ازجرم و انرژیش را در طی این فرارونـد مصـرف می‌کند. در حقیقت، روابط کمّی طوری هستند که اندازه‌گیری تقلیل جرم، مثلا، شمشی که از شدت گرماگداخته شده و در تمام جهات نور می‌افشاند، کـاری محـال است. اما تقلیل جرم خورشید در اثر تابش و تولید مداوم میدان الکترومانیتیك درمحیط پیرامون، که‌ازموجهای رادیویی تاپرتوهای گاما را شامل می‌شود، بـه‌خوبی محسوس است. روزانه هزاران میلیون تن از مادهٔ خورشید هدر می‌رود. اما نباید هراسی به‌خود راه دهیم، زیرا خورشید با ایـن میزان مصـرف کنونی، هـزاران

---

→

$$P=\frac{E}{c}$$

که درآن $E$ انرژی و $c=۳۰۰,۰۰۰\ \mathrm{km/s}$ سرعت نور است.

رابطهٔ بین انرژی نور و بسامد و طول موج با فرمول زیر مشخص می‌شود:

$$E=h\nu=\frac{hc}{\lambda}$$

کـه درآن $h=۶\times۶۲\times۱۰^{-۲۷}$ ارگ×ثانیه، ثـابت پلانك، $\nu$ بسامد ارتعاش و $\lambda$ طول موج است. باقراردادن‌این فرمول در رابطهٔ قبلی خواهیم داشت:

$$P=\frac{h}{\lambda}$$

میلیون سال دیگر دوام خواهد داشت. دربعضی شرایط، تبدیل معکوس امکان‌پذیر است، ومیدان به ماده تبدیل می‌گردد.

کلیهٔ موجهای الکترومانیتیك، کاربردهای بسیاری در صنعت دارند. و با اینکه هنوز خیلی مطالب باید دربارهٔ طیف الکترومانیتیك بیاموزیم وبرای قسمتهای مختلف آن تدابیر وکاربردهای تازه‌ای بیندیشیم، معهذا از تمام میدانها بهتر شناخته شده و کمتر اسرارآمیز است. ضمناً، میدانی که در اطراف آهنربای معمولی تشکیل می‌شود، حالت خاصی از میدان الکترومانیتیك است.

میدانهای گرانشی و هسته‌ای هنوز بسیار ناشناخته‌اند، و بیشتر به سرزمینهای نامکشوفی می‌مانند که درانتظار کریستف کلمب‌های خود به‌سر می‌برند. حال ببینیم چه اکتشافهایی دربارهٔ آنها صورت گرفته است. اول از میدانهای گرانشی شروع می‌کنیم.

## نیروی همه‌جایی

از جاذبه نمی‌توان گریخت قوانین ابدی آن در دورترین نقاط گیتی، به‌قوت خود باقی است خلاء و متراکمترین اجسام را به طور یکسان فرا می‌گیرد؛ در برابرش به‌هیچ وجه نمی‌توان ایستادگی کرد یاعملی روی آن انجام داد. مقدارش با فاصله کاهش

---

→

یعنی فشار نور به‌نسبت عکس طول موجش تغییر می‌کند. فشار نورعبارت‌است از

$$P=\frac{\omega}{c}(1+R)\text{erg/cm}^3$$

که در آن ω انرژی تابشی است که درهر ثانیه بریك‌سانتیمتر مربع به‌طور عمودی می‌تابد.

می‌یابد، اما هرگز به طور کامل محو نمی‌شود. این قانون گرانش عمومی است. جاذبه سبب سرازیرشدن آب رودخانه به‌سوی دریا می‌شود و جو را در اطراف زمین نگه می‌دارد. برای قراردادن ماهواره‌ای در مدار زمین، سرعتی در حدود ۸ کیلومتر در ثانیه، و برای فرار از زمین سرعت ۱۱٫۲ کیلومتر در ثانیه و بالاخره برای غلبه بر نیروی جاذبهٔ خورشید، سرعتی برابر ۱۶٫۷ کیلومتر در ثانیه لازم است.

از زمانهای خیلی قدیم تاکنون، انسان ناگزیر بوده که جاذبه را به‌حساب آورد، و نحوهٔ سازگاری آن را با نیازهایش آموخته است. با اینکه کهنترین نیروی شناخته شده به‌شمار می‌رود، قرنها بدون توجیه باقی ماند. نخستین کسی که تئوری علمی جاذبه را بیان داشت و از آن برای مطالعهٔ گیتی استفاده کرد، بزرگمرد انگلیسی، سر آیزاك نیوتن[1] بود.

این حکایت که نیوتن قانون گرانش عمومی را با مشاهدهٔ افتادن سیبی از درخت کشف کرد ممکن است حقیقی باشد یا نباشد. می‌گویند که او برای رهایی از دست مردمی که مرتباً شرح چگونگی کشف این قانون بزرگ را از وی می‌خواستند داستان اخیر را ساخته است. امروزه هر شاگرد دبیرستانی با آنچنان سادگی این قانون را فرا می‌گیرد که به‌راستی عجیب به‌نظر می‌رسد که در زمانی دانشمندان کمترین تصوری دربارهٔ آن نداشتند. اما این طور هم که ظاهر امر نشان می‌دهد، آنقدرها ساده نیست و این نبوغ نیوتن بود که سبب کشف نیروی جاذبه گردید.

قانون گرانش عمومی می‌گوید که هر دو جسم مادی همدیگر را با نیرویی که نسبت مستقیم با حاصل ضرب اجرامشان و نسبت

1) Sir Isaac Newton

معکوس با مجذور فاصلهٔ بین آنها دارد جذب می کنند. نیوتن قانون جاذبه را برای اکثر پدیده‌های گوناگون به‌کار برد و جسورانه آن را برای تمام گیتی شناخته شده تعمیم داد. معلوم شده که این قانون در سطح کرهٔ زمین و در مقیاس عمومی به‌طور یکسان صادق است.

شصت یا هفتاد سال پیش از زمان نیوتن، دانشمند بزرگ آلمانی یوهانس کپلر[1] کشف کرد که در حرکت سیاره‌ها به‌دور خورشید، قوانینی اساسی حکومت می کند. امروزه هرشاگرد دبیرستانی با این قوانین آشنایی دارد، اما در زمان کپلر اساس پا برجایی نداشت. مسلم بود که حرکت سیاره‌ها ازقوانین کپلر پیروی می کند، اما هیچ کس علت آن را نمی‌دانست. سالها سپری گشت تا نیوتن ظهور کرد، و او بود که ثابت کرد حرکت سیاره‌ها تحت حاکمیت قانون گرانش صورت می گیرد، و ازآن در بسط و توسعهٔ فرمولهای کپلر استفاده کرد.

صحت قانون گرانش عمومی با کشف سیارهٔ نپتون به‌طور درخشانی محرز گردید. اخترشناسان مدتها بود که می‌دیدند سیاره اورانوس گاهگاهی از مداری که قوانین گرانش برایش در نظر گرفته‌اند منحرف می‌شود. حرکت این سیاره در میان ستارگان، به‌طرز وصف ناپذیری کند شده و دوباره تند می‌شود، گویی با نیرویی نامرئی به‌سمتی کشیده می‌شود. اخترشناس روسی لکسل[2] در اواخر قرن هجدهم، دربارهٔ این پدیده تعمق زیادی کرد و به این نتیجه رسید که سیارهٔ نامعلومی در فراسوی اورانوس سبب

1) Johannes Kepler 2) Leksell

بی‌نظمی‌درحرکت این سیاره‌شده است. درسال۱۸۴۶،ریاضیدان فرانسوی لوریه[1]، موضع سیارهٔ جدیدرا درآسمان محاسبه کرد، و دیری نگذشت که اخترشناسان درکشف آن توفیق یافتند. کشف اخیر یك پیروزی بزرگ علمی به شمار می‌رفت.

به‌مدت دهها سال، تئوری کلاسیك گرانش نیوتن، لغزش ناپذیر و بی‌شبهه می‌نمود. سپس حقایقی آشکار گردید که تنها با قانون گرانش شرح وتفسیرشان امکان‌پذیر نبود. یکی‌ازآنها پارادوکس زلیگر[2] است که ادعایی چنین دارد: گیتی، لایتناهی وبینهایت تغییر-پذیر است. طول عمرش نیز بیپایان است. کمایش ازاجرام مادی پرشده و می‌توان‌گفت، به‌طور کلی، دارای چگالی متوسط ماده

1) Leverrier 2) Seeliger

---

## بزبان ریاضی

### قوانین نیوتن وکولن

همان‌طور که‌نیوتن ثابت کرد، بین‌دوجسم نیروی جاذبه‌ای اثر می‌کندکه با حاصل ضرب اجرامشان، $M_1 M_2$ نسبت مستقیم و بامجذور فاصلهٔ بین‌آنها، $r$، نسبت معکوس دارد. قانون‌گرانشی نیوتن با فرمول زیر نمایش داده می‌شود:

$$F = G\frac{M_1 M_2}{r^2}$$

که درآن $G$ ثابت‌گرانشی نامیده‌می‌شود. دردستگاه‌اندازه‌گیری C.G.S (سانتیمتر ـ گرم ـ ثانیه)

$$G = ۶٫۶۷ \times ۱۰^{-۸} cm^3 g^{-1} s^{-2}$$

است. این مقدار از راه تجربه به‌دست‌آمده است.

←

است. زلیگر تصمیم گرفت که با به‌کار بردن قانون نیوتن، نیروی جاذبه‌ای را که گیتی بیکران بر نقطه‌ای دردرون خود اعمال می‌کند. تعیین کند. نیرویی که او کشف کرد متناسب بود با شعاع گیتی. اما اگر گیتی بینهایت است نتیجتاً باید نیروی جاذبه در هر نقطه نیز بینهایت باشد که چنین موردی وجود ندارد. اما آیا معنی بیان اخیر این است که قانون گرانش در تمام گیتی معتبر نیست؟

برای توضیح این پارادوکس، فرضیه‌های زیادی عنوان گردید. یکی از نخستین فرضیه‌ها مسلم می‌پنداشت که چگالی ماده در گیتی با مسافت کاهش می‌یابد. این بدان معنی است که اگر به‌قدر کافی دور شویم به‌منطقه‌ای می‌رسیم که تهی از ماده است. مفهوم این نظریه این است که فضا می‌تواند بدون ماده وجود داشته باشد، که سخن پوچی است، زیرا فضا را فقط می‌توان به‌صورت

---

→ کمیت $\frac{F}{M_۲}=g=\frac{GM_۱}{r^۲}$ عبارت است از، شتاب جسمی به جرم $M_۲$ که تحت کشش گرانشی جسم به‌جرم $M_۱$ قرار گرفته است.

قانون کولن، بی‌شباهت به‌قانون جاذبه نیست. برطبق این قانون، دو ذرهٔ باردار با نیروی $f$ همدیگر را می‌ربایند (در صورتی که بارهای غیرهمنام داشته باشند) یا دفع می‌کنند (در صورتی که بارهای همنام داشته باشند) که مقدار این نیرو، با حاصلضرب بارها نسبت مستقیم و با مجذور فاصلهٔ بین آنها نسبت معکوس دارد،

$$f=A\frac{e_۱e_۲}{r^۲}$$

که در آن $e_۱$ و $e_۲$ به‌ترتیب بار ذره‌ها و $A$ ضریب تناسب است. اگر در دستگاه C.G.S، بار یك الکترون ←

وجودی از ماده مجسم کرد. زلیگر خود توضیح دیگری در این باره داد. وی فرض کرد که نیروی جاذبه، نه با عکس مجذور مسافت، بلکه سریعتر، رو به تقلیل می‌رود. این استدلال تا اندازه‌ای پارادوکس را شرح می‌داد اما پایهٔ اعتبار قانون کلاسیك نیوتن را سست می‌کرد.

پدیدهٔ دیگری که در آن نتایج تئوری گرانشی با مشاهدات اخترشناسی تطبیق نمی‌کرد، در پیراهور[1] عطارد (نقطه‌ای از مدار سیاره که از نقاط دیگرش، به‌خورشید نزدیکتر باشد) کشف گردید. با محاسبات بسیار دقیق دربارهٔ مدارهای بیضی شکل سیاره‌ها، معلوم شده که پیراهور آنها در جهت چرخش سیاره تغییر مکان می‌دهد. برای عطارد، تغییر مکان حساب شده در حدود ۵۵۸،۵ ثانیهٔ زاویه‌ای در ۱۰۰ سال است. اما مشاهدات نجومی، انحرافی معادل ۶۰۰،۵ ثانیهٔ زاویه‌ای را نشان می‌دهد. اختلاف این دو مقدار (۴۲ ثانیه) به‌صورت یکی از غرایب لاینحل طبیعت در آمد.

۱) perihelion. پیراهور = پیرا [برابر peri_ (نزدیك؛ اطراف)] + هور (خورشید).ـــم.

---

→

$$e = ۴۷۸ \times ۱۰^{-۱۰} g^{۱/۲} mc^{-۳/۲}$$

مساوی واحد بار فرض شود، در این صورت خواهیم داشت،

$$f = \frac{e_۱ e_۲}{r^۲}$$

از روابط بالا می‌توان نتیجه گرفت که در قلمرو پدیده‌های زیر اتمی، اثرات نیروهای گرانشی در مقایسه با قوای الکترومغناطیك فوق‌العاده کم است.

برای توضیح آن انقلابی در علم پدیدار گشت، و این انقلاب به دست دانشمند بزرگ آلمانی، آلبرت اینشتین، انجام شد.

## انقلاب دکتر اینشتین

از زمانهای خیلی پیش معلوم شده بود که صوت با سرعتی محدود که خیلی زیاد نیست حرکت می‌کند. اگر توپی را در فاصله‌ای از شما آتش کنند، نور آن را لحظه‌ای پیش از شنیدن صدایش می‌بینید. بنابراین سرعت انتشار صوت را می‌توان به آسانی اندازه گرفت، که مقدار آن در هوای مجاور زمین تقریباً برابر ۳۳۰ متر در ثانیه است. اما اندازه‌گیری سرعت نور، که امروزه می‌دانیم در حدود ۳۰۰،۰۰۰ کیلومتر در ثانیه است، کار بسیار دشواری است. پرتوی از نور می‌تواند زمین را در مدت کمی بیش از ۱ر۰ ثانیه دور بزند. و انسان در طی مدتهای طولانی از اندازه‌گیری سرعت نور عاجز بود. سرانجام، با مشاهدهٔ خسوف قمرهای مشتری از دو نقطه واقع درروی مدار زمین به‌دور خورشید، یعنی نزدیکترین و دورترین فاصلهٔ زمین تا مشتری، در تعیین سرعت نور توفیق یافت. زمان خسوف با دقت زیاد و تا کسوری از ثانیه حساب شد، اما با زمانهایی که از راه مشاهدات نجومی به‌دست آمد چند دقیقه‌ای اختلاف داشت. این اختلاف به علت مسافت اضافی بود که نور قمر می‌بایست طول قطر مدار زمین را بپیماید. با معلوم شدن این مسافت، دانشمندان برای نخستین بار موفق شدند سرعت نور را حساب کنند. امروزه سرعت نور در شرایط آزمایشگاهی، به‌وسیلهٔ آینه‌های دوار، با دقت خیلی زیاد اندازه‌گیری می‌شود. سرعت نور عبارت است از سرعت

انتشار میدانهای الکترومانیتیك در فضا.

میدان‌گرانشی با چه سرعتی حرکت می‌کند؟ با سرعت صوت در هوا، با سرعت نور در خلاء، یا با سرعت دیگری؟ روزگاری تصور می‌شد که اجسام یکدیگر را مستقیماً، بدون دخالت واسطه‌ای، جذب می‌کنند. اما تفکر ماتریالیستی نمی‌تواند این مفهوم را بپذیرد که دو جسم دورازهم از «میان هیچ» برهم اثر متقابل دارند. علم می‌گوید که فراروند فیزیکی فقط می‌تواند مستقیماً از جسمی‌به‌جسم دیگر انتقال یابد. به‌ناچار باید ترادف دوجانبه‌ای از علت و اتفاق در مکان و زمان وجود داشته باشد. گلوله، پس از رهاشدن از لولهٔ تفنگ به‌هدف اصابت می‌کند. صدای شلیك‌گلوله پس از برخوردش به‌هدف به‌گوش می‌رسد. از مفهوم انتشار متوالی چنین برمی‌آید که نیروهای‌گرانشی و میدانهای‌گرانشی به‌طورآنی منتشر نمی‌شوند، و باید دارای سرعت محدودی‌باشند که ازقرار معلوم معادل سرعت نور است. برای به‌حساب‌آوردن این امر، به‌تئوری جدیدی نیاز بود. اساس این تئوری در سالهای ۱۹۱۵–۱۹۰۵ به‌وسیلهٔ‌آلبرت اینشتین در تئوریهای نسبیت خاص و عام، پایه‌گذاری‌گردید. اینشتین، برای تکمیل تئوریهای خویش، از هندسه‌های لوباچفسکی[1] و ریمان[2] استفاده کرد.

یکی ازنتایج اساسی تئوری نسبیت‌خاص، که روابط بین مکان و زمان را تعریف می‌کند، برابری جرم و انرژی است. بموجب این تئوری، جسم متحرك حامل‌انرژی جنبشی است. و ازاین رو

1) Lobachevsky 2) Riemann

جرم آن از هنگامی که در وضع سکون قرارگرفته زیادتر است. هرچه انرژی نهانی جسم زیادتر باشد، جرم آن بیشتر است؛ مثلا یك فنجان قهوهٔ داغ سنگینتر از همان فنجان است اگر درونش قهوه‌سرد باشد. ازفرمول برابری جرم وانرژی اینشتین چنین برمی‌آید که یك کیلوگرم جرم معادل باانرژی باورنکردنی $۹٫۱۸ \times ۱۰^{۱۵}$ کیلوگرم متر است.

اما مقصود از جرم جسم چیست؟ از نظر مفهوم مکانیکی، جرم عبارت از اندازهٔ اینرسی جسم است. از این‌رو، جرم را می‌توان برحسب نیرو و شتابی که به‌جسم داده می‌شود تعریف کرد. در فیزیك، جرمی که به‌این طریق اندازه‌گیری می‌شود جرم اینرسی می‌نامند. اما جرم را می‌توان از راه فرمول جاذبهٔ نیوتن نیز به‌دست‌آورد. این نوع جرم اجسام راکه ممکن است نسبت به‌یکدیگر ساکن‌باشند، جرم‌گرانشی می‌نامند. تعبیر فیزیکی جرم اینرسی و جرم‌گرانشی با هم تفاوت دارد. اما برای یك جسم واحد، مقادیرشان ازنظر کمّی مساوی‌است، وبه‌نحوهٔ اندازه‌گیری بستگی ندارد. گفتیم که جرم اینرسی جسم باسرعت حرکت تغییر می‌کند. از اینجا بودکه اینشتین استدلال کردکه جرم‌گرانشی نیز باید با سرعت تغییر کند. نتیجه‌ای که او از این بحث عایدش شد این بودکه نیروهای اینرسی وگرانشی باید دارای ریشهٔ مشترکی باشند.

از تساوی بین سرعت انتشار موجهای الکترومانیتیك و نور، جیمزماکسول نتیجه‌گرفت که نور صورتی ازتابش الکترومانیتیك است. او موجهای الکترومانیتیك و نوری را با هم وارد طیف الکترومانیتیك (که قبلا دربارهٔ آن بحث شد) کرد. با تأیید صحت

فرضیهٔ او پیشرفت قابل ملاحظه‌ای درعلم به‌وجودآمد. کار اینشتین در تشخیص اینرسی وگرانی، که براساس تعادل جرم اینرسی و جرم‌گرانشی صورت‌گرفت، به‌همان اهمیت بود. به‌این ترتیب، اینشتین به‌سال ۱۹۱۵ تئوری نسبیت عام را اعلام کرد ــ تئوری نوین‌گرانش، که خیلی دقیقتر و عمیقتر از تئوری نیوتن، خواص اجسام را مورد بحث وتفسیر قرار می‌داد. تئوری اینشتین انقلابی در فیزیك به‌وجودآورد، و به‌کمك آن، دانشمندان موفق شدند بسیاری از پدیده‌های علمی راکه تاآن وقت لاینحل مانده بود، تشریح کنند.

بسیاری از نتایج تئوری نسبیت عام، درآزمایشها و مشاهدات علمی به‌طرز درخشانی تأیید شده‌اند. مثلا به‌موجب این تئوری، پرتو نوری‌که از یك میدان‌گرانشی نیرومند می‌گذرد باید خم

---

**به‌زبان ریاضی**

**تئوری‌گرانش اینشتین**

تئوری‌گرانش‌اینشتین درتئوری‌نسبیت عام اونشان داده شده است. هرگاه به‌جسمی به‌جرم $m$ نیرویی معادل $F$ وارد کنیم، شتابی پیدا می‌کندکه‌آنرا با $g$ نمایش می‌دهیم، به طوری‌که $F=mg$ . اگر جسم همان شتاب را در میدان گرانشی به‌دست‌آورد، نتیجه می‌گیریم‌که تحت نیروی $F=mg$ قرارگرفته است. در حالت اول،جرم اینرسی‌جسم مورد بررسی واقع می‌شود (به‌این معنی‌که برای غلبه بر اینرسی‌جسم باید نیرویی به‌کار برد)، اما درحالت دوم جرم‌گرانشی مورد بحث است (به این معنی‌که در میدان گرانشی،تمام اجسام شتاب‌یکسانی دارند). بنابراین نتیجه می‌شودکه جرم اینرسی معادل با جرم‌گرانشی است. مطلب اخیر اصل مهم‌تئوری نسبیت را تشکیل می‌دهد، یعنی اصل برابری جرم‌گرانشی و جرم اینرسی. ←

شود، درست مثل مسیر سنگی که به‌موازات زمین پرتاب می‌شود و به‌وسیلهٔ جاذبهٔ زمین کج می‌گردد. زیرا پرتو نور، مانند سنگ، دارای جرم است. مسلماً، چون جرم آن خیلی کم و سرعتش فوق‌العاده زیاد است، بنابراین احتیاج به‌میدان پرقدرتی دارد که خمیدگی آن را نمایان سازد. چنین میدانی را خورشید تأمین می‌کند و از این میدان برای اثبات «اثر اینشتین» استفاده گردید. در مدت کسوف روز ۲۹ ماه مه ۱۹۱۹، اخترشناسان از ستارگان مجاور قرص خورشید عکسبرداری کردند. شش ماه بعد، از همان قسمت آسمان که تا خورشید فاصلهٔ دورتری داشت، مجدداً عکسبرداری شد. وقتی که عکسها روی هم گذاشته شدند، جای بعضی از ستارگان با هم تطبیق نمی‌کرد. علت این امر کشش گرانشی خورشید بود که پرتوهای نوری را درحین عبور از نزدیکی آن خم

---

→

حتی پیش از اعلام تئوری نسبیت، محاسبهٔ جالبی انجام شده بود. به‌فرض اینکه نور نیز به‌وسیلهٔ اجرام سماوی، مثلاً خورشید، جذب شود، می‌توان مسیر پرتو نوری که لبهٔ خورشید را می‌خراشد حساب کرد. در این محاسبات، از قوانین مکانیک و گرانش نیوتنی برای جسمی فرضی که در میدان جاذبهٔ خورشید با سرعت نور، $c$، حرکت می‌کند، استفاده شده است. نتیجه‌ای که ازاین محاسبات به‌دست آمد این بود که برای ناظری که در روی زمین ایستاده است مقدار انحراف پرتو نوری که از کنار خورشید می‌گذرد و از ستارهٔ دوری آمده باید معادل با ۸۵ر″ ۰ = ۸۳ر″ ۰ باشد. اما عکسهایی که در مدت کسوف گرفته شد، مقدار انحراف را درحدود ۷۵ر″ ۱ نشان می‌داد، که تقریباً دو برابر مقدار نظری بود. این اختلاف با تئوری نسبیت شرح داده شده است.

←

کرده در نتیجه وضع ظاهـری ستارگان را تغییر داده بود. مقدار این انحراف که هشت‌مرتبه بین سالهای ۱۹۵۲–۱۹۱۹ با دقت زیاد، تا تقریب ۱۲ درصد، مشاهده گردید به‌خوبی بامقدار پیش‌بینی‌شده مطابقت دارد (برای پرتو نوری که ازکنارقرص خورشید می‌گذرد، انحراف پیش‌بینی‌شده برابر ۷۵ر″۱ است؛ وانحرافهای مشاهده شده از ۶۱ر″۱ تا ۹۸ر″۱ تغییرمی‌کنند). تئوری نسبیت عام دربارهٔ پیراهور عطارد، که از نظر مکانیك سماوی کلاسیك، یك نوع «بد رفتاری» محسوب می‌شد، شرحی ابراز داشت.

در اینجاسؤالی پیش می‌آید که‌آیا می‌تـوان نسبیت عـام را برای‌سراسرگیتی بیکران به‌کاربرد؟ معادلات نسبیت‌عام فوق‌العاده بغرنجند و ازدستهٔ معادلات دیفرانسیل غیرخطی هستند که، به‌ازای شرایط اولیهٔ اختیاری، راه‌حلهای دقیقی ندارنـد. از نظـر تشبیه

---

→

به‌موجب‌این‌تئوری، ماده‌فضای‌اطراف‌خود را تغییرشکل می‌دهد و می‌پیچاند. هرچه چگالی ماده در یك حوزهٔ معین بیشتر باشد انحنای فضا زیادتر خواهدبود. حرکت اجسام در امتداد مسیرهـای خمیده، تـولید پدیده‌های گـرانشی می‌کند، درست مثل حرکت قطاری که در سرپیچ، ایجـاد نیروهای مرکزگریز اینرسی می‌کند.

درفضای‌منحنی، کوتاهترین‌فاصلهٔ بین‌دونقطه خط مستقیم نیست، همانطورکه درروی سطح کره، کوتاهترین فاصله بین دو نقطه، قوسی از دایرهٔ عظیمـه است (دایـرهٔ عظیمه یـا ژئودتیك، فصل مشترك سطح‌کروی و صفحه‌ای است‌کـه از مرکز هندسی‌کره بگذرد). شرح ریـاضی اجسام در چنین مسیرها، فوق‌العاده پیچیده است و هیچ‌گونه رابطهٔ ساده‌ای به‌چشم نمی‌خورد. نیروهای‌گرانشی بستگی به‌انحنای فضا و همچنین سرعت اجسام دارند.

←

می‌توان گفت که دانشمندان تفنگ تیرانداز ماهری را در دست دارند که قادر است هدف را بزند، اما آنها در به‌کار بردن آلات نشانه‌روی ناشی‌اند. پیش‌از اینکه بتوانند معادلات را حل کنند و به‌کار برند، باید آنها را ساده کنند یا شرایط اولیهٔ ساده‌تری را در نظر بگیرند. اینشتین از این معادلات در راه بررسی و مطالعهٔ خواص عمومی گیتی استفاده کرد.

مقایسه ادامه می‌یابد، اما به‌علت اینکه «تیراندازان ماهر» در به‌کار بردن آلات نشانه‌روی تفنگ عاجزند، آنها را از روی تفنگ برمی‌دارند و به‌درون لولهٔ آن می‌نگرند تا هدف را بزنند. معادلات ساده شده عباراتی از مرتبهٔ دوم و سوم بوده و خطای حاصل چندان بزرگ نیست. بنابراین، در معادلات اساسی اثرات متقابل میدان الکترومانیتیک، که به‌وسیلهٔ پرتو نوری تولید شده،

---

جاذبه نه‌تنها نوررا منحرف می‌کند، بلکه طول موجش‌را نیز تغییر می‌دهد. طول موج پرتو نوری که از یك جسم سنگین می‌گذرد زیاد می‌گردد (قرمزتر به‌نظر می‌آید)؛ طول‌موج پرتونوری که به‌سوی جسم سنگینی حرکت می‌کند کم می‌شود (آبیتر به‌نظر می‌آید). این پدیده با معادلهٔ سادهٔ زیر شرح داده می‌شود،

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \pm\frac{mG}{rc^2}$$

که در آن $\Delta\lambda$ تغییر طول موج، $r$ فاصله تاجسم و $m$ جرم آن است. این اثر قابل ملاحظه است، و می‌توان آن را در ستارگان سنگین مشاهده کرد. برای خورشید داریم،

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = ۲ \times ۱۰^{-۶}$$

اثردیگرنسبیت عام ــ تغییرمکان اجسامی که‌درمدارهای

با میدانهای گرانشی اجسامی که از نزدیکی آن می‌گذرد، و نیز اثرات میدانهای گرانشی روی خودشان، به‌حساب آورده می‌شوند. در معادلات ساده‌شده از این اثرات متقابل صرف‌نظر می‌گردد، زیرا در شرایط زمینی و در قلمروهای فضایی که به‌اندازهٔ زمین یا حتی به‌اندازهٔ قطر مدار آن هستند، این اثرات قابل چشم پوشی‌اند. اما در مسافات وسیعی که نور می‌پیماید انرژی اثر متقابل متناسب با انرژی جریان نوراست و بنابراین باید با مقادیری که از راه‌حلهای تقریبی به‌دست می‌آیند تفاوت محسوسی داشته باشد.

به‌طور خلاصه، تا آنجا که دانش ریاضیات معاصر اجازهٔ کاربرد تئوری نسبیت اینشتین را می‌دهد، این تئوری به‌مراتب دقیقتر از تئوری کلاسیك نیوتن است. از آن می‌توان برای مطالعهٔ مناطق خیلی وسیع فضایی استفاده کرد، اگر چه به‌کار بردن آن در مورد سراسر گیتی لایتناهی امکان‌پذیر نیست. برتری تئوری گرانش اینشتین بر تئوری نیوتن این است که می‌توان آن را برای تشریح پدیده‌هایی چون پارادوکس زلیگر و مطالعهٔ گیتی در مسافات بیکران به‌کار برد؛ بی‌آنکه نیازی به ضرایب تصحیح باشد.

---

→

بیضی شکل درحرکتند ــ در متن ذکر گردیده است.

با توجه به‌امکان جذب انرژی گرانشی و پیدایش زوجهای ذره، قانون گرانش را برای یك میدان ضعیف می‌توان به‌صورت

$$F = \frac{Gm_1m_2}{r^2} e^{-\frac{r}{R}}$$

نوشت که در آن $R$ مسافت حرکت آزاد ذرهٔ گراویتون است که از $10^{27}$ تا $10^{30}$ سانتیمتر است (مسافتی که ذره می‌تواند بپیماید، بی‌آنکه جذب شود)، و ... $e = 2{,}72$ پایهٔ لگاریتم طبیعی است.

## گیتی انبساط یابنده

یکی از راه‌حلهای معادلات اساسی نسبیت عام که به‌وسیلهٔ دانشمند شوروی فریدمان[1] به مرحلهٔ ظهور درآمد، به این‌نتیجه می‌انجامد که گیتی پیوسته در حال انبساط است. یعنی، چگالی ماده درگیتی مرتباً کاهش می‌یابد و نیز فواصل بین کهکشانه‌ها افزایش می‌یابد. اثبات فرضیهٔ «کهکشانه‌های گریزان» و «گیتی انبساط یابنده» با اندازه‌گیری سرعت ظاهری کهکشانه‌های قابل رصد، امکان پذیر است. گفتن این‌مطلب بدون‌شك ازانجام‌دادنش آسانتر است، اما اخترشناسان راهی برای این کاریافته‌اند. روش آنها براساس پدیده‌ای است که به‌آن پدیدهٔ دوپلر[2] می‌گویند. اگر تا به‌حال روی سکوی راه‌آهن ایستاده وقطاری را دیده‌باشید که بدون توقف می‌گذرد، ملاحظه کرده‌اید که به‌تدریج که قطار نزدیك می‌شود ارتفاع صدای سوت‌آن پیوسته زیادتر می‌گردد و صدا زیرترمی‌شود. اندازه‌گیری میزان تغییرات ارتفاع صدا منجر به‌اندازه‌گیری سرعت نزدیك شدن قطار به‌ایستگاه می‌شود. از همین‌اصل برای‌اندازه‌گیری سرعت کهکشانه‌های دوردست استفاده می‌گردد، با این تفاوت که به‌جای تغییر بسامد ارتعاشهای صوتی، تغییر بسامد ارتعاشهای الکترومانیتیك اندازه‌گیری می‌شود. ازاین رو، دیده می‌شود که خطوط طیفی عناصر موجود در طیف نوری کهکشانه‌ها، تغییر مکان می‌دهند. با اندازه‌گیری سرعت دسته‌ای ازکهکشانه‌های دور و نزدیك، معلوم شد که خطوط طیفی به‌سوی انتهای قرمز طیف ــ به‌نام تغییر مکان‌قرمز ــ نقل محل کرده‌اند.

1) A. A. Friedman  2) Doppler effect

و این نشان می‌داد که کهکشانه‌ها به‌راستی ازما دور می‌شوند. دانشمندان پی‌بردند که هرچه کهکشانه دورتر باشد، سرعت آن زیادتر می‌نماید. تغییر مکان قرمز، دلیل قاطعی است بر اینکه، کهکشانه‌ها پیوسته «درحال گریزند»؛ وسرعت گریز برای دورترین کهکشانه‌های قابل رصد، ۶۰،۰۰۰ کیلومتر در ثانیه است.

اما اگر کهکشانه‌ها دروضع کنونی ازهم‌می‌گریزند، منطقی‌است که بگوییم روزگاری خیلی به‌هم‌نزدیك بوده‌اند. محاسبات اختر-شناسان‌نشان می‌دهد که درهزاران میلیون سال پیش، همهٔ کهکشانه-ها در فضای کوچکی ازبخش گیتی ما متمرکزبوده‌اند. دانشمندان علم ژئوفیزیك، دست اندرکار شدند تا عمر سنگهای زمینی و شهابسنگها راکه ازنظرمطالعهٔ مستقیم، برای مایگانه اجرام کیهانی موجود هستند، به‌طریق‌سالیابی‌رادیوآکتیو تعیین کنند. اکتشافهای آنها نشان می‌دهد که مادهٔ زمین وشهابسنگها در۶،۰۰۰ـ۵،۰۰۰ میلیون سال پیش به‌وجودآمده، و این رقم به‌خوبی با محاسبات اخترشناسان تطبیق می‌کند.

این اکتشافها به منزلهٔ اساس فرضیه‌ای هستندکه برطبق آن تمام مادهٔ گیتی دیده شدنی زمانی در «تخم نخستین» متمرکزبوده است. هنگامی‌که منفجرگردید، تکه پاره‌هایش با سرعت بسیار زیادی به‌اطراف پراکنده شدند. کهکشانه‌ها، سحابیها وسایراجرام آسمانی از انبساط فرآورده‌های انفجار تشکیل یافتند، و ازآنها ستارگان ومنظومه‌های سیاره‌ای نمایان‌گردیدند. برطبق این تئوری، تمامی‌گیتی در محدودهٔ منطقهٔ انفجار واقع شده است.

به‌عقیدهٔ ما، نتیجهٔ اخیر را دشوارمی‌توان منطقی دانست. بدون شك، چنین به نظر می‌آید که‌گیتی رو به‌انبساط است. حقایق

موجود و تغییر مکان قرمز، نشانهٔ روشنی است ازاینکه کهکشانه‌ها در حال گریزند. از طرفی «ساعت اورانیوم»، تاریخ پیدایش مواد متشکلهٔ زمین و شهابسنگها را مشخص کرده است.

مدل زیر را درنظر بگیرید: فرض کنید که در زمانی، ذرات گاز به‌سوی مرکز حجم خود فرومی‌ریزند. هنگامی که دورهم‌جمع شوند، سیستم با ذخیرهٔ عظیمی از انرژی جنبشی ذرات، به‌حال سکون در خواهدآمد. با آزاد شدن این انرژی، ذرات از هم دور می‌شوند. یك موج‌ضربه‌ای ازمرکز به‌سوی پیرامون کره حرکت می‌کند و انبساط آغاز می‌گردد. ذرات واقع در پیرامون کره، سریعتر ازذرات درونی پرتاب‌می‌شوند. این عمل را می‌توان با آزمایش بسیار ساده‌ای نشان داد. چند عدد مهرهٔ نرد را در یك ردیف قرار دهید به‌طوری که هریك از مهره‌ها با مهرهٔ مجاورش در تماس باشد؛ حال با خطکش ضربهٔ شدیدی به‌یکی از مهره‌های دوسر بزنید. ضربه به‌تمام مهره‌ها منتقل می‌شود، و مهرهٔ آخری را از جای خود حرکت می‌دهد. مهرهٔ ما قبل‌آخر فقط جزئی حرکتی می‌کند، اما بقیهٔ مهره‌ها عملا در جای خود بیحرکت می‌مانند. حال اگر ذرات گاز منبسط شونده متقابلا یکدیگر را جذب کنند، زمانی می‌رسد که ذرات داخلی به‌سوی مرکز فرو می‌افتند. این فرو ریختگی، انبساط جدیدی به دنبال دارد و تا ابدالدهر ادامه می‌یابد: هسته خواهد تپید. نظیر این وضع را قبلا در تپش ستون پلاسما دیدیم.

مدل خود را تا مقیاس گیتی توسعه می‌دهیم. می‌توان تصور کرد روزگاری وجود داشته که تمام مادهٔ گیتی تحت نیروی جاذبه به‌سوی مرکز هندسیش فرو ریخته است. فشارهای مهیب

حاصل، انواع مختلف واکنشهای هسته‌ای را به‌وجود آورده و انفجاری هولناك تولید کرده است که در این انفجار تکه‌های عظیم ماده در جهات گوناگون رها شده‌اند. ممکن است ما شاهد آثار این انفجار ناگهانی باشیم. زمان وقوع این حادثه به‌وسیلهٔ «ساعت اورانیوم» تعیین شده است. بدیهی است که طبیعت انفجار را فقط می‌توان حدس زد. برای شناخت شکلهایی که ماده پیش از انفجار و در مدت انفجار به‌خود گرفته است راهی به‌چشم نمی‌خورد: اگر چه ماده جاودان است، اما صورتهایش ممکن است به‌طور بیپایانی تغییر یابند. چیزی که با اطمینان می‌توانیم بگوییم، این است که انفجار و پراکندگی ماده معلول «آفرینش» نیست، و آن را نمی‌توان روز زایش گیتی نامید. طوفان مهیبی که از فوران آن جهانها و کهکشانه‌های شناخته شده پدیدار شدند، چیزی نبوده است جز حادثه‌ای در ناحیهٔ کوچکی از گیتی بیکران، در جهت تکامل مادهٔ ابدی.

برخی از پژوهشگران را عقیده براین است که گیتی محدود به‌ناحیهٔ مادهٔ منبسط شونده‌ای است که می‌توان با استفاده از فرمولهای اساسی اینشتین آن را تشریح کرد، و حال آنکه این عقیده‌ای کاملا بی‌اساس است. گیتی از نظر مکان و زمان بیپایان است، و قسمتی از آن که مورد مطالعهٔ موفقیت‌آمیز انسان هوشمند قرار گرفته است به هیچ‌وجه نمی‌تواند اندیشه‌ای از همهٔ گیتی در انسان به‌وجود آورد؛ چنانکه با داشتن اطلاعاتی از چگونگی وضع داخلی آپارتمانی درشهری بزرگ، نمی‌توان به‌اثاثه ولوازم سایر آپارتمانهای شهر پی برد.

از روی فرضیهٔ انبساط گیتی، همچنین می‌توان به‌شرح معقولانهٔ

ساختمان کهکشانه‌های گرداب‌مانند مارپیچی، از جمله راه شیری، پرداخت. در هر انفجار همیشه موج ضربه‌ای منبسط شونده در جبهه قرار می‌گیرد، و مه وگاز پیچان را به‌دنبال می‌کشد. ازقرار معلوم، جبههٔ بخش انبساط یا بندهٔ جهان مه بعدی ما مرتباً درفضای بیپایانی از گیتی بزرگتر پیش می‌رود، گیتی‌ای که اطلاعات ما از آن کاملا نارساست. کهکشانه‌های مارپیچی را می‌توان شکلهای حلقویی تصور کرد که به‌علت جرم زیادشان و نیروی گرانش عمومی، دارای پایداری بسیارند. تکامل ستارگان نوزاد وتشکیل منظومه‌های سیاره‌ای، در درون ابرهای گازی و غبارآلود این کهکشانه‌های مارپیچی رخ می‌دهند.

دیده‌ایدکه وقتی کشتی تندروی حرکت می‌کند، چگونه در شیاری که براثرعبور به‌جای‌می‌گذارد، گردابهای پیوسته‌ای تشکیل می‌گردند. هرچه‌این گردابها به‌پاشنهٔ کشتی نزدیکتر باشند، سریعتر ردکشتی‌رامی‌گیرند، وبالعکس‌هرچه‌فاصله‌هایشان‌زیادترشود،عقبتر وعقبترمی‌مانند. برای‌ناظری که درعقب کشتی این وضع رامی‌بیند، چنین به‌نظر می‌آید که‌گردابهای دورتر تندتر ازنظر دور می‌شوند. جبههٔ ضربه‌ای‌گیتی منفجرشونده نیزممکن است، به‌همین ترتیب، در طول‌گردابهای کهکشانه‌ها پیش برود.

به‌خوبی می‌توان فرض کرد که انبساط‌گیتی مرئی، پدیده‌ای محلی و موقتی است؛ و در سراسرگیتی بیکران تعداد بیشماری نواحی تپنده یافت می‌شوند، که در مراحل مختلف انبساط یا انقباض‌اند. اماحتی کشتی خیالی ماهم نمی‌تواند ما را به‌فراسوی مرزهای منطقه‌مان در این‌گیتی ببرد، تا نخستین لحظهٔ انفجار

فراکهکشانه‌ای[1] (فوق کهکشانه‌ای) یا قسمت فروریزنده‌ای از گیتی را ببینیم. قلمروهای فضایی آنقدر دورند که حتی با جسورانه‌ترین پروازهای فضایی شگفت‌انگیز وفانتزی هم رسیدن به‌این سرزمینها رؤیایی بیش نیست.

و این است همهٔ آنچه که علم دربارهٔ نیروهای گرانشی می‌داند. به‌علاوه، تئوری کلاسیك گرانشی نیوتن یا تئوری نسبیت عام اینشتین، دربارهٔ اینکه چرا اجسام به‌سوی یکدیگر کشیده می‌شوند، ابداً از نظر فیزیکی توضیحی نمی‌دهند.

## ذره‌های جاذبه

اینشتین به‌این نتیجه رسید که انتشار نور، جریان پیوسته‌ای نیست، بلکه به‌صورت بسته‌های مجزایی است که کوآنتوم یا فوتون[2] نامیده می‌شوند. وجود کوآنتومهای نور با آزمایشهای متعدد به‌اثبات رسیده، وگروهی از دانشمندان در به‌وجود آمدن تئوری کوآنتوم سهیم بوده‌اند. درحال حاضر که تئوری کوآنتومی میدان الکترومانیتیك به‌تفصیل تشریح گردیده و پیش‌بینیهای نظری با آزمایش تأیید شده‌است، می‌توان فرضیه‌ای عنوان کرد که مربوط به‌تئوری کوآنتومی میدان گرانشی باشد.

پیش از اینکه بحث زیر را آغاز کنیم، نویسندگان کتاب توجه خوانندگان را به‌این نکته معطوف می‌دارند که قضیه‌های آمده در این بخش به‌وسیله جامعهٔ علمی پذیرفته نشده است.

فرض می‌کنیم، تمام اجسام خود به‌خود «بسته‌های جاذبه» گسیل می‌دارند، که آنها را گراویتون[3] می‌نامیم. دیگر اینکه، هرچه «دمای

1) metagalactic 2) photon 3) graviton

هسته‌ای» (انرژی ذخیره‌ای هسته) زیادتر باشد، به‌همان‌نسبت شدت تابش گراویتون بیشتر است، درست‌همان طور که هرچه دمای جسم بالاتر باشد، شدت تابش فوتون زیادتر است. از قرار معلوم، ارتباط بین تابش گراویتون و «دمای هسته‌ای» باید خیلی ضعیف باشد، زیرا تا به‌حال دیده نشده است.

بنابراین، شدت تابش گراویتون اجسام به دما بستگی دارد؛ نه به دمای کلی جسم، بلکه به دمای درونی ذره‌های بنیادی تشکیل دهندهٔ آن؛ یعنی به درجهٔ تحریک آنها وابسته است. به دلیل اینکه کلیهٔ ذرات بنیادی، حتی اگر تحریک نشده باشند، با بسامد $10^{22}$ تا $10^{24}$ سیکل در ثانیه ارتعاش می‌کنند، و این ارتعاشها در خلاء رخ نمی‌دهند، زیرا چنین چیزی وجود ندارد، بلکه درمیدانی حادث می‌گردند که یك محیط اعمال‌کنندهٔ نیروست، می‌توان فرض کرد که با هرتپه[1]، ذره بستهٔ کوچکی از انرژی به‌درون محیط اطراف می‌افشاند. انرژیی که به‌این‌طریق‌فشانده می‌شود، گراویتون نام دارد، ومادهٔ معادل آن‌را (که مساوی‌است باحاصل‌تقسیم‌انرژی برمجذور سرعت نور) جرم‌گراویتون می‌نامیم. و بالاخره فرض می‌کنیم که شمارهٔ (انرژی) گراویتونهای گسیل شده که تا درجهٔ معینی تحریك شده‌اند، متناسب با ذرهٔ گسیلیده باشد.

یك مدل هیدرودینامیکی مجسم کنید که در آن دولولهٔ باز، از سر روبه‌روی هم قراردارند. انفجاری دردرون لوله‌ها رخ می‌دهد وگازهای حاصل ازاحتراق، از دوانتهای هریك ازلوله‌ها به‌بیرون رانده می‌شوند. در وهلهٔ اول تصور می‌رود که در چنین سیستمی،

1) pulse

معمولا بایدلوله‌ها براثر جتهای‌گاز ازهم دور شوند؛ ولی عکس این عمل اتفاق می‌افتد، و لوله‌ها به‌هم نزدیك می‌گردند. علت این امر منطقهٔ فشار قوی است که در فضای بین آنها به‌وجود می‌آید و به‌تدریج که جریان‌گاز در این منطقه کاهش می‌یابد نیروی عکس‌العمل جتها که در دو سر مخالف لوله‌ها ایجاد شده است آنها را به‌سوی هم می‌کشاند.

حال دو جسم را مجسم کنید که در تمام جهات گراویتون منتشر می‌سازند. بدیهی است که شدت میدان‌گرانشی در فضای بین‌آنها زیادتر از جهات دیگر است، و گسیل‌گراویتون از دو جسم، درجهت شدت بیشتر، کمتر ازجهات دیگر است. بنابراین، نیروی واکنش گراویتونهایی که در جهات مخالف رها می‌شوند، دو جسم را مجذوب یکدیگر می‌کند.

درآزمایش ما، لوله‌ها علاوه برنیروی واکنش تحت تأثیر نیروی وازنش منطقهٔ فشار قوی بین خود نیز قرار می‌گیرند. بین دوجسمی که مجذوب یکدیگر می‌شوند نیز باید نیروی وازنش مشابهی در منطقهٔ پرشدت آنها وجود داشته باشد. برآوردها نشان می‌دهد که این‌نیرو بی‌اندازه کوچکتراز نیروهای جاذبه است. اما اگرماده را درحالتی که چگالیش فوق‌العاده زیاد، ازمرتبهٔ $10^{16}$ گرم برسانتیمتر مکعب، باشد تصورکنیم (یعنی هرسانتیمتر مکعب این ماده ۱۰،۰۰۰ میلیون تن وزن دارد)، شدت و فشار میدان گرانشی اطراف دو جسم به‌قدری زیاد خواهد شد که نیروهای وازنش را می‌توان متناسب بانیروهای جاذبه‌دانست. درچگالیهای بالاتر، ماده‌خود به‌خود تجزیه می‌شود و ذراتش یکدیگر را دفع می‌کنند.

از آنجا که میدان گرانشی دارای انرژی و در نتیجه دارای جرم است، اجسامی که گراویتون می‌گسیلند باید جرم و انرژی از دست بدهند. همان طور که پروفسور ایوانکو[1] برای نخستین بار به‌اثبات رساند، می‌توان فرض کرد که دوگراویتونی که باهم تصادم می‌کنند، قادر به‌تولید زوج ذره، مثلا الکترون و پوزیترون هستند، که به‌نوبهٔ‌خود می‌توانند به‌گراویتونهای دیگر تبدیل شوند. اما برای اینکه از برخورد دوگراویتون، دو ذره حاصل شود یا برعکس، برای اینکه ذرات تولیدگراویتون کنند، به‌انرژی اولیهٔ بسیار زیادی نیاز است، و شانس اینکه چنین تغییر و تبدیلی رخ دهد خیلی کم است. از طرف دیگر، گسیل خود به‌خودگراویتون، امکان خیلی زیادتری دارد.

چون هرگراویتون پاره‌ای از جرم ذرهٔ بنیادیی راکه وجودش به‌آن بستگی دارد می‌رباید، لذا در صورتی که انرژی گراویتونها معلوم باشد، می‌توان مدت زمانی‌راکه طول می‌کشد تا ذرهٔ بنیادی به‌نصف تقلیل یابد، یا به‌عبارت دیگر، می‌توان نیمه عمر ماده را که روبه‌تباهی یانقصان‌می‌رودتا به‌میدان گرانشی تبدیل شود، محاسبه کرد. چنین محاسباتی انجام شده و مقادیری که به‌دست‌آمده از مرتبهٔ دهها هزار میلیون سال است. برآوردهای دیگر، جرم یك گراویتون را مقدار بینهایت خردی معادل $۵ \times ۱۰^{-۶۶}$ گرم، و انرژی‌آن را $۵ \times ۱۰^{-۴۵}$ ارگ تعیین کرده‌اند. و ازآنجا که جرم یك پروتون $۱٫۷ \times ۱۰^{-۲۴}$ گرم (یك الکترون ۱،۸۴۰ برابر سبکتر است) و بسامد ارتعاشی آن تقریباً $۱۰^{۲۳}$ سیکل در ثانیه

1) D. Ivanenko

است، نیمه عمر پروتون در تباهی[1] یا نقصان‌گرانشی از مرتبهٔ $۱۰^{۱۰}$ سال است. با فرض اینکه چگالی گراویتون متناسب با چگالی پروتون باشد ــ که‌چگالی آن $۱۰^{۱۴}$ گرم‌برسانتیمترمکعب است ــ دراین‌صورت شعاع آن تقریباً $۱۰^{-۲۷} \times ۲$ سانتیمترخواهد بود. چون شعاع پروتون $۱۰^{-۱۳} \times ۱٫۵$ سانتیمتراست، بنابراین گراویتون‌درمقایسه‌باپروتون،مانندذرهٔغباری‌درمقابل کرهٔزمین است.

تبدیل ماده به‌گراویتونها احتمالاً بستگی به‌تعدادی شرایط فیزیکی دارد، که چگالی محیط و«دمای» (انرژی) اجزای بنیادی هسته‌ها مهمتر است. وقتی‌که این «دما» نسبتاً پایین باشد گراویتون کمتری از جسم منتشر می‌شود، که عمل متقابل آن با اجسام دیگر کمتر است، و درنتیجه وزن خیلی کمی‌خواهد داشت. با بالا بردن «دمای» هسته‌ای، افزایشی درگسیل گراویتونها و در نتیجه در وزن حاصل می‌گردد. آیا مواد «فوق‌العاده سنگین» و «فوق‌العاده سبك» درجایی ازگیتی وجود دارند؟ دوباره برکشتی خیالی خود سوار می‌شویم و به‌جستجوی آنها می‌پردازیم.

مقصد ما یکی ازستارگان اسرارآمیز وکم فروغ‌آسمان، یعنی ستارهٔ همدم شعرای یمانی[2] است. چون به‌آن نزدیك می‌شویم در می‌یابیم که ستارهٔ بزرگی نیست، و از خورشید کوچکتر است. ستاره‌ای‌است بسیارسوزان که دمای سطحش در حدود ۱۵،۰۰۰ درجهٔ سانتیگراد است. این ستاره از دستهٔ ستارگانی است که کوتوله‌های سفید نام دارند. مطلب قابل توجه دربارهٔ‌آن این است

1) decay

۲) Sirius. ستاره‌ای از صورت فلکی‌کلب اکبرکه درخشانترین ستارهٔ آسمان است.ــم.

که کشتی کیهان پیمای خیالی مارا با نیرویی که باجثه‌اش تناسبی ندارد به‌سوی خود می‌کشد. آنچه سبب این اتفاق می‌شود چگالی آن است که، برطبق آخرین برآوردها، هزاران میلیون بار بزرگتر ازچگالی آب است. یك سانتیمترمکعب ازمادهٔ آن، هزار تن وزن دارد و دکمهٔ کتی که‌ازآن‌ساخته شود معادل‌باوزن‌یك‌قطار راه‌آهن خواهد بود. یك موشك اکتشافی را روانهٔ هبدم ستارهٔ شعرای یمانی می‌سازیم تا نمونه‌ای ازماده‌آن را برای‌ما بیاورد. دربازگشت ازآنجا، پس از اینکه نمونه را درآزمایشگاه مورد مطالعه قرار می‌دهیم، متوجه چیز عجیبی می‌شویم: جرم اینرسی وجرم سکون‌آن با هم تطبیق نمی‌کنند. پدیدهٔ اخیر را می‌توان به این صورت تعبیر کرد که نمونه از خود به‌مقادیر غیر عادی گراویتون‌گسیل می‌کند و تبدیل این ماده به‌میدان‌گرانشی سریعتر از مواد معمولی است که در روی کرهٔ زمین یافت می‌شوند. دانشمندان خواص غیر عادی کوتوله‌های سفید را نتیجهٔ حالت ویژهٔ ماده می‌دانند. در این حالت، هسته‌های اتمی از الکترونهای خود جدا شده‌اند و تشکیل توده‌ای را می‌دهند که درآن تقریباً با هم در تماس هستند.

آیا آزمایشی وجود دارد که درستی یا نادرستی فرضیهٔ فوق را تحقیق کند؟ بدون شك این کار پرزحمتی است، اما ناممکن نیست. مشکل اخیر را باآزمایش زیر می‌توان حل کرد. فرض کنید دوجسم داریم که برهم‌تأثیرگرانشی می‌گذارند. دفعتاًیکی از این دوجسم، به‌سرعت دورمی‌شود، خبراین حادثه به‌وسیلهٔ‌گراویتونها، که با سرعت نور حرکت می‌کنند، به‌جسم دوم داده می‌شود. در این هنگام، موج گرانشی ضعیف شده‌ای در میدان جاذبه انتقال

می‌یابد. طبق محاسبه‌ای که به‌عمل آمده، سرعت این موج تقریباً ۲/۵ سرعت گراویتونهاست. فقط هنگامی که موج مذکور به‌جسم دوم می‌رسد آن جسم «احساس» می‌کند که جسم اول دور شده است.

نکتهٔ قابل توجه دیگر، جذب گراویتون توسط ماده‌است. این آزمایش را می‌توان در طی کسوف کلی، که ماه سطح خورشید را می‌پوشاند، انجام‌داد. سؤالی که اکنون مطرح می‌شود این است که اگر نیروی جاذبهٔ خورشید اجسام را به‌سوی خود می‌کشد، تا چه حدی این کشش در مرکز سایهٔ ماه کاهش می‌یابد؟ اصولا گراویتونها باید جذب ماده شوند، اما بدون انجام آزمایش تعیین این حد امکان‌پذیر نیست. آزمایش سودمند دیگر، مطالعهٔ پدیدهٔ دوپلر در میدان گرانشی است.

ضمناً به‌کمك تئوری هیدرودینامیکی گرانش عمومی، می‌توان دلیل این راکه چرا نیروی جاذبه سریعتر از عکس مجذور فاصله (مطابق قانون نیوتن) کاهش می‌یابد بیان داشت. این سرپیچی ناشی از تبدیل گراویتونها به‌ذرات بنیادی دیگر است. به‌این ترتیب تفسیر پارادوکس زلیگر، که برای دانشمندان دردسر بزرگی ایجاد کرده، عملی می‌گردد. هدف ازتئوری هیدرودینامیکی گرانش این نیست که آن را جانشین تئوری میدان گرانشی اینشتین سازند، و چه‌بسا که در بعضی حالتها از احکام آن پیروی می‌کند. اما تصور جامعتری از ماهیت جاذبه به‌دست می‌دهد، خصوصاً اینکه نیروهای وازنش بین اجسام را به‌حساب می‌آورد.

## در قلب اتم

این طور که به‌نظر می‌آید، نیروی جاذبه نیرومند و قادر مطلق است. سرزمینی که در آن حکم می‌راند منحصر به جهان لایتناهی سیاره‌ها وقمرها، ستارگان و کهکشانه‌هاست. درجهان بسیار کوچك هسته‌های اتمی، نیروهای گرانشی ناچیزند و از نظر مقدار، ۳۶ مرتبه ضعیفتر از نیروهای هسته‌ای هستند. معنی سخن اخیر، این است که اگر شدت میدان هسته‌ای را، در اعمال متقابل ذرات بنیادی، به‌عنوان واحد فرض کنیم، اثر گرانشی متقابل بین آنها یك کسر اعشاری خواهد بود که پس از ممیز ۳۶ صفر دارد. اما، در مقام مقایسه، نیروهای میدان الکترومانیتیك محسوسند و ۱۰۰ بار کوچکتر از میدان هسته‌ای هستند.

بنابراین، نخستین چیزی که می‌توان دربارهٔ میدانهای هسته‌ای متذکر شد، شدت فوق‌العادهٔ آنهاست. اما عمل این میدانها در مسافتهای بینهایت کوچك مشهودتر است، و اثر متقابل دو ذرهٔ بنیادی، که به‌فاصلهٔ $10^{-9}$ میکرون از هم قرار دارند، عملا صفر است. (قطر یك اتم هزار برابر بزرگتر است.) ذرات بنیادی هسته فقط برذرات مجاورشان اثر متقابل دارند. این خاصیت که اشباع میدان هسته‌ای نامیده می‌شود، تاکنون توصیف نشده است. از روی این خاصیت، شاید بتوان وجود برخی از اعمال متقابل ناشناخته‌ای را که موجب دفع ذرات بنیادی درهنگام نزدیك شدن به‌یکدیگر می‌شود، آشکار ساخت. اما خاصیت قابل توجه دیگر میدانهای هسته‌ای این است که اثر متقابل دو ذرهٔ بنیادی نه تنها به‌فاصلهٔ بین آنها، بلکه به‌جهت چرخششان[1] نیز بستگی دارد.

1) spin

سابقاً، ذرات بنیادی را مهره‌های سخت کوچکی تصور می‌کردند، و در همین احوال بود که کلمهٔ «چرخش» به‌عنوان مشخص کنندهٔ حالت ذره، به‌کار رفت. مشاهدات دقیق نشان داد که این ذرات به‌دور محور خود می‌چرخند، و این چرخش را مقدار حرکت زاویه‌ای[1] ذره تعریف کردند. پس از اینکه معلوم شد ذرات با مهره‌های سخت تفاوت دارند، مفهوم فیزیکی چرخش عوض شد. باوجود این، به‌خاطر سادگی مطلب، ذرات بنیادی را مهره‌های کوچکی از ماده در نظر می‌گیریم که به‌دور محورخود می‌چرخند، و معلوم شده که اعمال متقابل بین این ذرات بستگی به‌این دارد که از جهت «قطب» یا «استوا» به‌هم نزدیك شوند.

قبلا، راجع به هیدروژن سنگین یعنی دوتریوم که هستهٔ آن را یك پروتون و یك نوترون تشکیل می‌دهد، صحبت کردیم. این هسته خیلی پایدار است، و برای شکافتن آن به‌انرژی زیادی نیاز است. اما هستهٔ دوتریوم فقط موقعی می‌تواند ظاهر شود که چرخشهای پروتون و نوترون مفهوم واحدی داشته باشند. در این مورد، میدان هسته‌ای تفاوت فاحشی با میدان گرانشی دارد. به عبارت دیگر، میدان هسته‌ای بیشتر به‌تأثیر متقابل بین دوآهنربا می‌ماند، که جهت عمل در این مورد بستگی به‌نزدیك شدن قطبهای همنام و ناهمنام ونیز جهات متقابل محورهای آهنرباها دارد.

آخرین خاصیت اعمال متقابل هسته‌ای این است که مستقل از بار ذره هستند. میدان هسته‌ای با نیروی واحدی دوپروتون یا یك

1) angular momentum

نوترون و یك پروتون یـا دو نوتـرون را بهم پیوند می‌دهـد، ولواینکه دوپروتون زیرتأثیرنیروهای وازنش الکترومانیتیك قرار گرفته باشند.

طبیعت میدانهای هسته‌ای هنوز مکتوم‌است. تئوریهای بسیاری وجود دارند که کمابیش مورد قبول واقع شده‌انـد. معقولانه‌تـرین این تئوریها در حال حـاضر، نظریهٔ مزون[1] است. میدان الکترو-مانیتیك راکوآنتومها ومیدان‌گرانشی را ظاهراً گراویتونها تشکیل می‌دهند. اما می‌توان تصورکردکـه میدان هسته‌ای از مزونها بـه وجودآمده است، یعنی یکـی از ذرات بنیادی ماده کـه جـرمش ۳۰۰ برابر جرم الکترون است؛ بهمین دلیل،گاهی اوقات‌آن را میدان مزونی می‌نامند. برطبق نظریهٔ یوکاوا[2]-تـام[3]، نیروهـای چسبندگی‌هسته‌ای‌ناشی‌ازمبادلهٔ‌پیوستهٔ‌مزونها بین‌ذرات‌بنیادی است.

با اینکه اطلاعات ما دربارهٔ میدانهای هسته‌ای کـه اعمالشان وجود حقیقی ماده را مشخص می‌کند، اندك است، دانش مـا از هستهٔ اتمی پیوسته رو به‌ازدیاد است. بدون شك، دیر یا زود پرده ازهمهٔ اسرارآن‌برکنار می‌شود وهمچون میدانهای‌الکترومانیتیك، مطیـع و خدمتگزار واقعی بشر خواهد شد.

## کارخانه‌های ماده

طی‌قرنهای متوالی، کیمیاگران قرون وسطا، زندگی‌خویش را وقف تبدیل جیوه و سایر عناصر شیمیایی به‌طلاکردند. شبانه‌روز

۱) meson ـ ذره‌هایی که جرمشان بین‌جرم پروتون و جـرم الکترون است. مزونها جزء «سخت» پرتوهای‌کیهانی را تشکیل می‌دهند.ـــم.

2) Yukawa 3) Tamm

در سردابه‌ها به‌سر بردند و با تنگهای آزمایشگاهی وقرع و انبیقها به‌آزمایشهایی از قبیل حل کردن، سوزاندن، تبخیر کردن، ترکیب کردن، وجدا کردن عناصرمختلف دست زدند تاشاید با این تلاش بیهوده راه میان‌بری برای رسیدن به ثروت بیابند. باچه الهامهای ناگهانی، اکتشافهای امیدوارکننده، سرخوردگیهای تلخ، وامیدهای از دست رفته‌ای که مواجه‌گردیدند! در تمام علوم، فقط تصور حرکت دائمی[1] چنین باج هنگفتی از تلاشهای عقیم گرفته است. در حقیقت، ماشینهای باحرکت دائمی ناممکن‌اند و هرگز به‌وجود نخواهند آمد. اما تبدیل یك عنصر شیمیایی به‌عنصر دیگر ناممکن نیست. امروزه این مسئله حل شده است، وفیزیکدانان عملاً عناصر جدیدی خلق می‌کنند که در روی‌زمین یافت نمی‌شوند. باکوشش این دانشمندان تاکنون ۱۱ عنصر جدید به۹۲ عنصرجدول‌تناوبی افزوده شده‌است. یقیناً روزی خواهد رسید که کارخانه‌های صنعتی نوینی روی‌کار می‌آیند تا از عناصر فراوان، عناصر کمیاب بسازند.

تبدیل عناصر شیمیایی ناشی از تغییراتی است که در ساختمان هسته‌ای آنها به‌وجود می‌آید. هستهٔ اتمی به‌وسیلهٔ میدان نیرومند الکترومانیتیك و با یك یا چند قشر الکترونی محافظت می‌شود. برای نفوذکردن به‌این مرزها، نیروی فوق‌العاده زیادی لازم است.

هسته‌های اتمی به‌وسیلهٔ ذرات بنیادی که معمولا هسته‌های هیدروژن هستند بمباران می‌شوند. این ذرات در داخل تأسیسات

1) perpetuum mobile

عظیم الکترومانیتیك قرارمی‌گیرند، وآنقدر شتاب آنها بالا می‌رود که سرعتشان به‌سرعت نور نزدیك می‌شود. یکی از بزرگترین شتابگر[1]های ذره‌ای جهان، در شهر دوبنا[2] درنزدیکی مسکو واقع است. این شتابگر که به سنکروترون[3] پروتون موسوم است، می‌تواند انرژیهای تا ۱۰ BEV (بیلیون یا هزارمیلیون الکترون‌ولت) به ذرات شتاب گیرنده منتقل سازد. تأسیسات نیرومندتری اکنون دراتحاد شوروی دردست ساختمان‌است که ظرفیت انرژی یکی ازآنها ۵۰–۷۰ BEV برآورد شده است.

روش دیگر برای نفوذ به ذرهٔ هستهٔ اتمی، شتاب دادن ذرات به‌وسیلهٔ گرماست. یکی از روشهای شناخته شده‌ای که در طی آن جسم را به‌اندازهٔ کافی گرم می‌کنند تا هسته‌های اتمی باهم برخورد کنند، در انفجار بمب اتمی مشهود است.

به‌وسیلهٔ نوترونها نیزمی‌توان در قلب هستهٔ اتمی نفوذکرد. از آنجا که نوترونها بار الکتریکی ندارند، قادرند با سرعت نسبتاً کمی به‌هستهٔ اتمی نزدیك شوند. نوترونی که وارد هسته می‌شود باعث تبدیل هسته می‌گردد. امکان دارد که چنین واکنشهایی در طبیعت رخ دهد. مثلا، پرتوهای کیهانی جریانهای نیرومندی‌از ذرات بنیادی‌اندکه باسرعتهای اعجاب‌آوری‌که دارند، می‌توانند انرژی مورد نیاز را برای تولید عناصر مختلف فراهم سازند. پرتوهای‌کیهانی با جریانهای نسبتاً یکنواختی به‌زمین می‌رسند، اما گاهی شدت‌آنها یکباره فزونی می‌یابد. اخترشناسان پس از مشاهدهٔ لهیبها[4]ی خورشید متوجه وقوع این حادثه شده‌اند. این

1) accelerator 2) Dubna 3) synchrotron
4) flares

لهیبهای درخشان ونامنظم معمولاً در مجاورت کلفها[1]ی خورشیدی حادث می‌گردند. لهیب خورشید فقط چنددقیقه‌ای دوام می‌یابد، اما درهمین مدت کوتاه جریانهای عظیمی از پرتوهای کیهانی از آن فوران می‌کنند که پس از برخورد بایونهای موجود درجو خورشید، عناصر جدیدی را پدید می‌آورند.

بیست یا سی‌سال قبل، دانشمندان دمای داخلی ستارگان را ده یا بیست میلیون درجه تخمین زدند. این دما برای تبدیل هسته‌های هیدروژن به‌هستهٔ هلیوم کافی است، اما برای ایجاد عناصر سنگینتر کفایت نمی‌کند. در سالهای اخیر معلوم شده که دمای درون ستارگان ممکن است خیلی زیادتر باشد. در هنگام تبدیل هیدروژن به هلیوم، وضع لایه‌های ستاره همان طور که قبلا بوده حفظ می‌شود. هیدروژن مرتباً در سطح ستاره می‌سوزد، اما ازآن طرف هستهٔ داغ و متراکمش تکامل می‌یابد؛ وپوشش انبساط‌یابنده و نسبتاً سردی پیرامونش را فرا می‌گیرد. محاسبات نشان می‌دهد که دمای درون هستهٔ ستارگان «سوزان» در حدود ۱۵۰ میلیون درجهٔ سانتیگراد است، و همین دما کافی است تا عناصری چون اکسیژن، نئون، وسایر عناصرجدول تناوبی تا کلسیم به‌وجود آیند. برای‌ایجاد عناصر سنگینتر، به دماهای هزاران میلیون درجه نیازاست. این‌عناصر ازانفجار نواختران[2] وا بَرنواختران[3]حاصل می‌شوند که بعداً دربارهٔ این دسته ازستارگان بحث خواهیم کرد.

برای وقوع واکنشهای هسته‌ای، سه‌راه مختلف به‌قرار زیر پیشنهاد شده است: شتاب الکترومانیتیکی ذرات بنیادی، شتاب گرمایی هسته‌ها، و نفوذ «سرد» نوترونها. احتمال می‌رود که

1) sunspots 2) novae 3) supernovae

فرارونـد تولید عناصر در درون ستارگان «سوزان» بیشتر با روش اخیر باشد. تئوری ایـن پدیده به وسیلهٔ کامرون[1] در کـانادا و گرینستاین[2] در ایالات متحدهٔ آمریکا، عنوان گـردید. مشاهـدات مستقیم تأیید می کنند که تکوین عناصر در درون ستارگان، امروزه به‌راستی صورت می گیرد.

یك دلیل توسط اختر فیزیکدان شوروی گ.آ. شاین[3] ارائـه گردید، زیرا وی پی‌برد که درطیف بعضی از ستارگان، مقدار غیر عادی از ایزوتوپ کربن وجود دارد. این فقط می‌تواند ناشی از واکنشهای پی‌درپی هسته‌ای در درون ستارگان باشد.

دلیل دیگـر کشف خطوط روشن تکنتیوم[4] در طیف بعضی از ستارگان بـود. تکنتیوم عنصر رادیـو آکتیو ناپایداری است کـه نیمه عمر آن را چند صد هزار سال می‌دانند. اگر هم روزگاری این عنصر در روی زمیـن وجـود داشته، تـا کنون بر اثر تباهی رادیو آکتیو محـو و ناپدیـد شده‌است. نخستین بار دو دانشمند ایتالیایی به‌نامهـای سگـره[5] و پری‌یر[6]، که درآمریکا سرگـرم پژوهش بودند، توانستند این عنصر را به‌طور مصنوعی بسازند. تکنتیوم عنصری است که نمی‌تـوان آن را از طـریق واکنشهای طبیعی شکافت هسته به‌دست آورد، وامکان تولید آن فقط در کوره‌های مذاب واکنشهای ادغام گرماهسته‌ای است. وجود تکنتیوم درطیف ستارگان دلیل قاطعـی است بـراینکه هسته‌های اتمـی در درون ستارگـان پدید می‌آیند، چنانکه از دودی که از بخـاری خارج می‌شود می‌توان به‌وجود آتش درون بخاری پی‌برد.

1) Cameron 2) Greenstein 3) G. A. Shain
4) technetium 5) E. Segre 6) C. Perrier

## قاره‌ها در انتظار کریستف کلمب‌های خود

آیا می‌توانیم با همان اطمینانی که ادعا می‌کنیم هیچ قارهٔ کشف نشده‌ای روی زمین وجود ندارد، بگوییم که تمام شکلهای ماده و انواع میدانها را می‌شناسیم؟ اخترشناس شوروی ورونتسوف‌ولیامینوف[1]، پس از بررسی عکسهایی که از کهکشانه‌های دوردست به‌وسیلهٔ بزرگترین تلسکوپ جهان‌گرفته شده بود، به‌این نتیجه رسید که شکل کهکشانه‌ها را نمی‌توان فقط براساس نیروها و میدانهای شناخته شده توضیح داد. از این‌رو، وی مسلم دانست که میدان وازنش ناشناخته‌ای، با مقیاس متاگالاکتیك (فراکهکشانه‌ای)، وجود دارد. نویسندگان این کتاب با این فرضیه موافق نیستند. آنها عقیده دارند که شکلها و اعمال متقابل کهکشانه‌ها را تنها می‌توان با میدانهای الکترومانیتیك و گرانشی توجیه کرد.

نظریه‌ها هرچه باشد، برطبق اطلاعات موجود، ماده به صورتهای گوناگون وجود خود را آشکار می‌سازد که هنوز برای ما ناشناخته‌اند. دربارهٔ حالت پلاسمای ماده در دمای بالا، دانش کنونی ما بسیار ناچیز است. نام «پلاسما» را برای شعلهٔ کبریت، گوی آتشین انفجار اتمی، و مادهٔ ستارگان انفجاری که دارای دماهای بیلیونها درجه‌اند، به‌کار می‌بریم. اما پلاسما وجودی ناهمگن است. هرچه دمایش بیشتر باشد، تعداد ذرات باردار و فوتونهایی که حامل انرژی هستند زیادتر خواهد بود. امکان

1) B. Vorontsov-Velyaminov

دارد که در مرحله‌ای از تراکم تغییرات کمّی دما، یك جهش کیفی روی دهد، و پلاسما به‌صورت جدید و ناشناخته‌ای درآید.

همان‌طور که می‌دانیم، صفرمطلق پایینترین حد دماست (وجود دمای صفر مطلق ابتدا از طریق نظری پیش‌بینی شد، و سپس از راه آزمایش توانستند به‌آن‌نزدیك شوند). اما ازطرف دیگر، به نظرمی‌رسد که دمای حداکثری وجود ندارد. آیا این مطلب‌حقیقت دارد؟ به‌علاوه، چنین چیزی ممکن‌است؟ روی‌هم رفته، یك سرعت حدی وجود دارد، و دما به‌وسیلهٔ سرعت ذرات متحرك تعیین می‌گردد. به‌نظر می‌رسد که حداکثر دمای ممکن با حرکت ذراتی که سرعت نور دارند به‌دست می‌آید. اما واقعیت موضوع به‌این سادگی نیست. یکی از نتایج تئوری نسبیت این است‌که جرم جسم با زیادشدن سرعت افزایش می‌یابد، وهرگاه سرعت جسم به‌سرعت نور نزدیك شود، جرم‌آن به‌سوی بینهایت میل می‌کند. اما هیچ ذرهٔ جرمداری نمی‌تواند با سرعت نور حرکت‌کند.

می‌توان انتظار داشت، ذرات ماده‌ای که با سرعتهایی نزدیك به‌سرعت نور حرکت می‌کنند، و جرمشان از جرم سکون خیلی زیادتر است، خصوصیتهای‌کاملا تازه‌ای از خود نشان دهند. این کیفیت را می‌توان حالت جدیدی از ماده دانست و ستارگان و سحابیهایی‌که ازچنین ماده‌ای هستی یافته‌اند، باید در جایی از گیتی وجود داشته باشند.

حالتهای‌جدیدماده را می‌توان در پاد ـ ماده[1]، یعنی ماده‌ای

1) antimatter

که از پاد ـ ذره‌ها تشکیل‌شده است، مجسم کرد. وجود پاد ـ ذره‌ها توسط فیزیکدان انگلیسی پول دیرك[1] پیش‌بینی شد، و اخیراً آنها را در شتابگرهای عظیم به‌دست آورده‌اند. پادماده ممکن است به‌صورتهای شناخته شدهٔ جامد، مایع، گاز، و پلاسما وجود داشته باشد، و ضمناً امکان دارد که دارای حالتهای مخصوص به خود باشد. انسان به‌تازگی فقط راه‌گشودن دری را که به‌سوی جهان «آینه‌نمای» پاد ـ ماده باز می‌شود، آغاز کرده است. بدون شك، کاشفان آینده در این سرزمین نامشکوف دست به اکتشافهای بسیاری خواهند زد.

فشار نیز می‌تواند به‌طور نامحدودی فزونی یابد، و در درون ستارگان غول‌پیکر، ماده به‌حدی متراکم شده که تصور آن ناممکن است. می‌توان رفتار یك اتم را که در معرض فشار یکنواخت و افزایش‌یابنده‌ای قرار گرفته مجسم کرد. ابتدا الکترونهای خارجی که ظرفیت و قدرت ترکیب شدن اتم را با ترکیبات شیمیایی تعیین می‌کنند، خردشده، واردقشرهای الکترونی زیرین می‌شوند. این اتفاق در فشار نسبتاً کم چند صد هزار آتمسفر رخ می‌دهد که دست‌یافتن به‌آن در آزمایشگاههای زمینی امکان‌پذیر است. این اتم اصلیت‌خود را از دست نمی‌دهد، وخواص شیمیایی‌اش مانند عنصری پایدار می‌ماند. اما اگر فشار تا میلیونها آتمسفر بالا رود، اصلیت شیمیایی اتم از بین می‌رود، و اتمهای تمام عناصر حالت فلزی پیدا می‌کنند؛ نمونهٔ این‌رویداد را می‌توان درهستهٔ سیاره‌ها، از آن جمله زمین، مشاهده کرد.

1) Paul Dirac

بررسیهایی که از انتشار امواج ضربه‌ای ناشی از زلزله، یا انفجارهای ساختگی به‌عمل آمده، نشان می‌دهد که در درون زمین دو مرز مشخص وجود دارد که در این مرزها خواص ماده به‌طرز فاحشی تغییر می‌کند. اولین مرز درعمق ۱۵ تا ۷۵ کیلومتری، و دومین مرز درحدود ۲،۹۰۰ کیلومتری ازسطح زمین واقع شده‌است. در بالای مرز اول، ماده به‌حالت جامد یافت می‌شود. بین مرزهای اول ودوم، فشار احتمالا از ۵۰ تا تقریباً ۱۰۰،۰۰۰ آتمسفر افزایش می‌یابد. پایینتر ازعمق ۲،۹۰۰ کیلومتری، میزان فشار ازیک میلیون آتمسفر تجاوز می‌کند. این مرزها مبین نقاطی هستند که در آن نقاط افزایش تدریجی فشار موجب تغییر ناگهانی درحالتهای ماده می‌گردد.

هستهٔ زمین که ازعمق ۲،۹۰۰ کیلومتری آغاز می‌شود، موجهای عرضی را انتقال نمی‌دهد، و دراین مورد مانند مایع رفتار می‌کند. اما ازآنجا که بعید می‌نماید مایع باشد باید فرض کرد که چون هسته زیر فشارهای عظیم و خردکننده‌ای قرار می‌گیرد، فاصلهٔ منظمی که بین اتمهای جامدات وجود دارد، دیگر امکان‌پذیر نیست. بنابراین، مادهٔ هستهٔ زمین ممکن‌است به‌صورت ناشناخته‌ای باشد. فشار داخلی کرهٔ ماه به‌زحمت از ۵۰،۰۰۰ آتمسفر تجاوز می‌کند. از این‌رو، ماه هستهٔ «فلزی» ندارد، و همین نشان می‌دهد که فاقد میدان مغناطیسی مرئی است.

ماده به راههای گوناگون به‌انسان خدمت می‌کند، اما پیوسته اسرار فراوانی را در خود نهفته می‌دارد. چنانکه آلبرت اینشتین می‌گوید، «احساس راز سپهر، پاره‌ای از نیکوترین و ژرفترین عواطف ما را برمی‌انگیزد... هرآن کس که این عواطف را حس نتواند کرد، هرآن کس که دربیم وامید شگفت‌زده ومبهوت نتواند

شد، به‌مردگان مانند است».

اسرار کشف نشدهٔ طبیعت بسیارند. برخلاف جزایر یا تپه‌های کوچك مرجانی که به‌زحمت از سطح اقیانوس بیرون می‌آیند، قاره‌هایی از پدیده‌های ناشناخته وجود دارند که به‌امید روزی که کریستف کلمب‌ها آنها را بیابند، انتظار می‌کشند.

# ماشینهای پرتوی و جتها

## سفری به پس فردا

دوباره برماشین زمان سوارمی‌شویم و به‌آینده سفرمی‌کنیم، تا ببینیم برخی‌ازماشینهای کنونی ماچگونه تکامل‌یافته‌اند. میلهٔ کنترل را از وضعیت صفر به‌آهستگی فشار می‌دهیم. سالها پشت‌سرهم از روی‌سرعت‌نما می‌گذرند. مقصدما مارس سال ۲۰۶۵ میلادی‌است.

در یکی ازخیابانهای شهر زیبایی هستیم. باغچه‌هایی ازگلهای رنگارنگ طول پیاده‌رو را آراسته‌اند. ابر درخشانی درآسمان موج می‌زند. در روی یك نیمکت پلاستیکی، مرد جوانی نشسته ودرجعبهٔ کوچکی که به‌اندازه قوطی سیگاراست مشغول گفتگوست. این جعبه چه می‌تواند باشد؟

بدیهی است که راجع به‌دنیای‌آینده پرسشهای زیادی وجود داردکه پاسخ یکایك‌آنان را می‌توان درکتاب بزرگتری جستجو کرد. هدف ما این است که ببینیم حالتهای مختلف ماده و میدانها چگونه به‌انسانهای قرن بیست و یکم خدمت می‌کنند. بعضی از چیزها را خودمان می‌توانیم حدس بزنیم؛ اما برای اطلاعات بیشتر، باید از انسانهای قرن بیست و یکم پرسشهایی بکنیم.

قبل از هرچیز، جعبهٔ کوچکی که در دست مرد جوان قراردارد یك‌تلویزیون جیبی دوطرفه یعنی یك‌فرستنده‌ـگیرندهٔ بصری‌است.

این دستگاه سه دگمهٔ کنترل دارد. دگمهٔ اول برای به‌کار انداختن یکی از صدها کانال طول موج رادیویی است؛ که از طریق آن شخص می‌تواند با دوست یا همکار خود که او نیز چنین اسباب جیبی را دراختیار دارد، تماس حاصل کند. دگمهٔ دوم برای کنترل دقت تصویر است، و درصورتی که شخص بخواهد عکس ازیك کتاب یا اسلاید میکروسکوپ یا صحنه‌ای را نشان دهد، از آن استفاده می‌کند. دگمهٔ سوم به‌منظور تنظیم صدا و شفافیت تصویر به‌کار می‌رود. دارندهٔ چنین دستگاه دارای طول موجی است که به‌خود او اختصاص دارد. این کار موقعی ممکن شد که بشر بر طول موجهای رادیویی بسیار پربسامد دست یافت.

اکنون دربارهٔ آن گوی آتشینی که درآسمان می‌تپد گفتگو می‌کنیم. این جسم خورشید ساختهٔ دست بشر است، که در محل تلاقی چندین تابه[1] ازتابش الکترومانیتیك، فروزان به‌نظر می‌آید. تابه‌ها، در جامهای عظیمی که ۱۰۰ متر قطر دارند تولید می‌شوند. ابرپلاسما که در ارتفاع ۳۰ کیلومتری پرسه می‌زند، تا دمای دهها هزار درجه گرم شده است. اندازه، دما، و تابش گرمایی این ابر، به‌آسانی باکم و زیادکردن شدت تابه‌های الکترومانیتیك تنظیم می‌شود. خورشید مصنوعی در زمستان به اوج گرمایش می‌رسد و در طول ۲۴ ساعت فروزان می‌ماند. اما در تابستان فقط برای روشنایی هنگام شب، آن را روشن می‌کنند. یکی از مشخصات مهم خورشیدمصنوعی، کنترل‌طیف آن است، که‌در تابشش پرتوهای فرابنفش و فروسرخ وجود دارند. با این ترتیب، دیگر آدمیان

1) beam

فضایی نیازی به‌لباسهای زمستانی ندارد وگیاهان در تمام فصول سال‌شکوفانند. به‌عبارت‌دیگر، انسانهای‌قرن‌بیست‌ویکم کنترل آب وهوای شهرهای بزرگ را دردست دارند. این‌کار موقعی امکان‌پذیرشد که‌توان بازدهی نیروگاههای گرماهسته‌ای به‌میزان شگرفی افزایش یافت.

ماشینهای پرندهٔ یکنفرهٔ کوچکی ازروی خیابانهای شهر پرواز می‌کنند. این ماشینها از میدان‌الکترومانیتیك پربسامدی که به‌وسیلهٔ آنتنهای مخصوص‌گسیل می‌شود، نیرو می‌گیرند.

یکی از جالبترین چیزهایی کـه در جهان‌آینده دیدیـم، فیلم تلویزیونی «قرن فضانوردی» بود. ما آن را در خیابان روی پردهٔ مقعر بزرگی که ۳۰ متر ارتفاع داشت تماشا کردیم. کلفتی پـرده از ۲۰ سانتیمتر تجاوز نمی‌کرد، و سطح ناهموارآن‌کدر به‌نظر می‌آمد. هنگامی که فیلم‌شروع شد، مثل اینکه پرده‌ای درکار نبوده است. نمایش فیلم به‌طریقه سه بعدی بودکه اثر آن وصف‌ناپذیر است. بجای پرده، پنجره‌ای پدیدار شدکه از طریق‌آن توانستیم دنیای زنده را تماشا کنیم.

درآغاز فیلم، تصویری ازکنستانتین تسیولکوفسکی[1] نشان داده می‌شود؛ مردی که برای نخستین‌بار راه به ستارگان را نشان داد. طبیعی‌است که مردم‌آینده ازکسی که دست‌به‌کار بزرگی زده باشد تجلیل به‌عمل می‌آورند؛ و نیز از دانشمند دیگری به‌نام نیکولای کیبالچیچ[2] یاد می‌کنند، کـه سالها پیش از تسیولکـوفسکی، در سیاهچال انفرادی قلعهٔ پطر[3] وپاول[4] به‌طرح اولین ماشین موشکی

1) Konstantin Tsiolkovsky 2) Nikolai Kibalchich
3) Peter 4) Paul

پرداخت. سپس سرگذشت کسانی آغاز می‌شود که کـار دشواری را دنبال کردند؛ از پرواز با نخستین هواپیماهای جت و موشکهای زمینفیزیکی گرفته تا اولین پیروزی بر نیروی جاذبه.

سال ۱۹۵۷ میلادی است. بدنهٔ خاکستری رنگ موشك، به آرامی از روی ستون آتشین گازهایی که از آن خارج می‌شود، بالا می‌رود. شتاب می‌گیرد و در آسمان ناپدید می‌شود تا اسپوتنیك-۱، نخستین ماهوارهٔ زمین را در مدار قرار دهد.

آغاز سال ۱۹۵۹ میلادی است. موشکی به‌سوی ماه پرتاب می‌شود تا نخستین سیارهٔ ساختهٔ دست‌بشر گردد. به‌دنبال آن حوادث جالبی به‌وقوع می‌پیوندد. ناو فضایی آینده با اولین سیارهٔ ساختهٔ دست بشر، در اعماق فضای بین سیاره‌ای ملاقات می‌کند و از آن فیلم برمی‌دارد.

گویندهٔ داستان چنین اظهار می‌دارد، «این سیاره به‌مدت صدها و هزاران سال به‌حرکت خود در مدارش، کـه بین مریخ و زمین است، ادامه خواهد داد. اما روزی فرا می‌رسد که انسان آن را به زمین باز می‌گرداند و در موزه، در ردیف نفیسترین آثار فرهنگ انسانی قرار می‌دهد. مردم نوشتهٔ باشکوه روی پرچم را با احساسی سرشار از حرمت و حق‌شناسی خواهند خواند، «اتحاد جمـاهیر شوروی سوسیالیستی، ژانویهٔ ۱۹۵۹».

تاریخهای زیادی از روی پـرده می‌گذرند. نخستین موشکی که پرچم شوروی را به‌ماه می‌برد. نخستین عکسهایی که به‌وسیلهٔ سوندهای فضایی خودکار[1] از پشت ماه گرفته می‌شود. نخستین پرواز

1) automatic probes

فضایی یوری گاگارین. نخستین سفر علمی به‌ماه. اکتشاف سیاره مریخ. دیدنیهای زهره. برپا کردن ایستگاه خورشیدی در عطارد، نزدیکترین سیاره به کرهٔ فروزان خورشید. روانه‌شدن به‌سوی قمرهای مشتری و زحل. فرودآمدن در پلوتون، و...

گامهای بزرگی که در طی این صد سال در راه پیشرفت دانش فضانوردی برداشته شد موجب کشف نوین منظومهٔ شمسی گردید. گویندهٔ تاریخ، به‌دنبال گفته‌های خود، به‌توصیف طرح ناوهای فضایی می‌پردازد. نخستین پروازهای کیهانی، از جمله مسافرت به مریخ و زهره، به‌وسیلهٔ موشکهای باسوخت‌شیمیایی صورت گرفت. طرح موتور این موشکها معروف است. مخازن جداگانه‌ای، سوخت محرکه و عامل اکسیدکننده را با خود حمل می‌کنند و سپس تلمبه‌هایی این مواد سوختنی را به‌اتاق احتراق می‌رسانند. سوخت، درمسیرش دیواره‌های شیپوره[1] راخنك می‌کند ودر داخل

1) nozzle

---

## به‌زبان ریاضی

### فرمول اساسی موشك

کنستانتین تسیولکوفسکی ثابت کرد که اگر مقدار کمی گاز به‌جرم $\Delta m$ با سرعت $v$ ازشیپورهٔ راکت خارج شود، سرعت موشك به‌جرم $m$ به‌قرار زیر خواهد بود.

$$\Delta u = v \frac{\Delta m}{m}$$

اگر جرم گازخروجی درطی مدتی که موتورموشك کار می‌کند برابر $M$ باشد، سرعت نهایی موشك ازرابطهٔ زیر به‌دست می‌آید.

$$u = -v \log_e \left(1 - \frac{M}{M_0}\right) = -2{,}3 \log_{10} \left(1 - \frac{M}{M_0}\right)$$

←

اتاق احتراق، ساده‌ترین نوع انرژی، یعنی انرژی گرمایی، از واکنش شیمیایی سوخت به‌وجود می‌آید. گازهای سوخته شده، پس از خروج از اتاق احتراق، راهی برای فرار می‌یابند، و سرانجام از طریق شیپورهٔ خروجی به‌بیرون رانده می‌شوند. شیپوره نقش مهمی دراین میان برعهده‌دارد، بدین‌معنی که حرکت حرارتی نامنظم ذرات مادی را به‌حرکت حرارتی منظم جت‌گاز تبدیل می‌سازد. انرژی حرارتی حاصل به‌انرژی مکانیکی تبدیل می‌شود، و در نتیجه موشك را به‌حرکت در می‌آورد.

در روی پرده، نخستین سفینه‌های سرنشین‌دار را می‌بینیم که انسانها را به‌سیاره‌های همسایه بردند. موشکهای غول‌پیکرچند-طبقه‌ای که پراز سوخت بودند. محلی که برای مسافر و بار در

---

→ که در آن $M_0$ جرم ابتدایی موشك است. این‌فرمول را می‌توان به‌صورت سادهٔ زیر نوشت،

$$\frac{M}{M_0} = ۱ - e^{-\frac{u}{v}} = ۱ - ۱۰^{-۰٫۴۳\frac{u}{v}}$$

که در آن $e = ۲٫۷۲۰۰۰$ پایهٔ لگاریتم طبیعی است.

اگرسرعت‌جت‌گاز، $v$، به‌سرعت‌نور نزدیك شود ــ که‌این سرعت درموتورهای هسته‌ای‌آینده به‌دست خواهدآمد ــ از نسبیت خاص باید استفاده‌کرد، و فرمول اساسی تسیولکوفسکی به‌شکل زیر در می‌آید،

$$\frac{\Delta u}{۱ - \frac{u^۲}{c^۲}} = v\,\frac{\Delta m}{m}$$

که در آن $u$ سرعت‌موشك و $c$ سرعت نور است.

فرمول دوم‌تسیولکوفسکی رامی‌توان‌به‌صورت زیر نوشت،

سفینه در نظر گرفته شده از یك هزارم حجم آنها تجاوز نمی‌کند. اینها سفینه‌های نسبتاً کندروی بودند، اما توانستند با سرعت‌گریز ۱۱ تا ۱۲ کیلومتر در ثانیه از جو زمین گذشته و پس از غلبه بر کشش گرانشی زمین، به کرانهٔ میدان گرانشی خورشید نزدیك شوند. مسیر پرواز آنها طوری محاسبه شده بود که به‌آنها امکان می‌داد در حالیکه موتورهایشان خاموش بود، بیشتر مسافت بین سیاره‌ای تا سیاره‌ای دیگر را طی کنند. نخستین فضانوردان فقط تا آن اندازه سوخت دراختیار داشتند که روی سیارهٔ بیگانه‌ای فرودآیند، و برخیزند.

سپس ناوهای فضایی اتمی پیش آمدند. اصول کار موتورهای آنها نسبتاً ساده است، و مانند موشك با سوخت شیمیایی، دارای شیپوره‌اند با این تفاوت که به‌جای اتاق احتراق، از رآکتور

---

$$\frac{M}{M_0} = 1 - \left( \frac{1 - \frac{u}{c}}{1 + \frac{u}{c}} \right)^{\frac{c}{2v}}$$

$$\frac{u}{c} = \frac{1 - \left(1 - \frac{M}{M_0}\right)^{\frac{2v}{c}}}{1 + \left(1 - \frac{M}{M_0}\right)^{\frac{2v}{c}}}$$

در مورد موشك فوتونی $v = c$ واین‌روابط به‌شکل ساده‌تری در می‌آیند،

$$\frac{M}{M_0} = 1 - \sqrt{\frac{1 - \frac{u}{c}}{1 + \frac{u}{c}}}$$

←

اتمی در آن استفاده شده است. یکی از راههای حرارت دادن آب در رآکتور کارخانهٔ برق اتمی این است که آب را از لـوله‌های اورانیوم عبور می‌دهنـد. در رآکتور ناو فضایی نیز لوله‌هـای اورانیوم به‌کار رفته، که گاز هنگام عبور از آنها گرم می‌شود و در شیپورهٔ خروجی، کـار انجام می‌دهد. موشك، به‌جای سوختهای محرکه، ذخیره‌ای از مواد شیمیایی غیر فعال، مثلا آب، با خـود حمل می‌کند. این نوع موتور اتمی، اگرهم به‌کار بیفتد، سرعت ناو را چندان افزایش نمی‌دهد. سرعت موشك بستگی به‌سرعت گاز-های خروجی از شیپوره دارد، که این سرعت به‌نوبهٔ خود بستگی به‌دمای گازهای درون اتاق احتراق خواهد داشت: یعنی سرعت جت گاز، ناشی از تبدیل انرژی حرارتی گاز به انرژی مکانیکی است که موجب حرکت می‌گردد. از این‌رو، هرچه دمای گـاز درون اتاق

---

→

$$\frac{u}{c}=\frac{۱-\left(۱-\frac{M}{M_{۰}}\right)^{۲}}{۱+\left(۱-\frac{M}{M_{۰}}\right)^{۲}}$$

مثلا، اگـر ۶۰ درصد جـرم کلی موشك سوخته شود، یعنی $\frac{M}{M_{۰}}=$ ۰٫۹ باشد، خواهیم داشت $\frac{u}{c}=\approx$ ۰٫۹۸.

مصرف جرم را می‌توان با گذر زمـان در موشك مـربوط ساخت. رابطهٔ بین گذر زمان و سرعت، از فرمول زیـر به دست می‌آید:

$$t'=t\sqrt{۱-\frac{u^{۲}}{c^{۲}}}$$

احتراق زیادتر باشد، سرعت فوران‌گاز بیشتر خواهد بود. در دمای ۲،۵۰۰ درجهٔ سانتیگراد، سرعت گازهای خروجی به ۳،۰۰۰ متر در ثانیه می‌رسد. در دمای ۲۵،۰۰۰ درجهٔ سانتیگراد، مقدار سرعت از ۱۰،۰۰۰ متر در ثانیه تجاوز می‌کند.

اما از طرفی، هیچ ماده‌ای نمی‌توان یافت که در مقابل چنین دمایی تحمل بیاورد. این مسئله یکی از مشکلات اساسی استفاده از سوخت اتمی در نیمهٔ قرن بیستم است. متخصصان ذوب فلزات در جستجوی آلیاژهای فوق‌العاده دیرگداز هستند، و از مقیاس دما خیلی آهسته بالا می‌روند. طراحان متوسل به‌تمام انواع اسبابها و دستگاههای دقیق شده‌اند تا بتوانند دیواره‌های اتاق احتراق را خنک کنند، و به‌طریقی آنها را ازگازهای داغ آتشین جدا سازند. مثلا دیواره‌های اتاق احتراق و شیپوره را به‌صورت متخلخل در-

---

→

که در آن $t$ زمان در روی زمین و $t'$ زمان در موشك است. رابطهٔ بین سوخت مصرف شده وگذر زمان به‌شکل زیر درمی‌آید،

$$\frac{t'}{t} = ۲\frac{۱ - \frac{M}{M_۰}}{۱ + \left(۱ - \frac{M}{M_۰}\right)^۲}$$

مثلا اگر ۹۰ درصد جرم سوخته‌شود، یعنی $\frac{M}{M_۰} = ۰ر۹$ باشد، داریم $t' = ۰ر۲t$ ، یعنی گذر زمان درموشك‌پنج‌برابر کمتر ازگذر زمان در روی زمین است.

ازبررسی‌روابط معلوم می‌شودکه فقط درحالتی که‌سرعت جت‌گاز $v$ باشد، سرعت موشك‌بازای نسبیت مطلوبی از

←

می‌آورند و سپس سوخت مایع را از طریق سوراخها، بـافشار وارد اتاق احتراق می‌کنند. سوخت تبخیر می‌شود و پس ازخنك کردن فلز دیواره‌ها، تشکیل قشر نازکی از بخار سرد می‌دهـد. گازهای گداخته در داخل این پوشش غبارروار پیچیده شده و به قسمت سردتر جت می‌روند.

از سوی دیگر، در رآکتور اتمی، دیوارهٔلـوله‌های اورانیوم را باید تادمای بالاتر ازحدی که به‌گاز «عمل کننده» داده‌می‌شود، گرم کرد. با اینکه اصولا بالا بردن دمای درون رآکتور تا جایی که بخواهیم امکان‌پذیر است، اما نباید فراموش کـردکه خـود اورانیوم در دمـای ۱۰۱۳۳ درجهٔ سانتیگراد ذوب می‌شود. البته می‌توان رآکتوری را مجسم کردکه با اورانیوم مایع یاگازی کار می‌کند. اما در کجـا می‌شود موادی یافت کـه بتوانند پلاسمای اورانیومی راکـه دمای آن مثلا ۱۰،۰۰۰ درجـه است در خـود نگهدارند؟ به‌علاوه کنترل چنین رآکتور اورانیوم-پلاسما، کـه

---

→

$\frac{M}{M_0}$، زیاد خواهد بود. حتی در سرعت $v = 15{,}000$ کیلو متر در ثانیه، مقدار سوخت مصرفی که سرعتی معادل ۱۰۰،۰۰۰ کیلومتر در ثانیه برای موشك فراهم می‌سازد به‌قدری زیاد خواهد بودکـه امکان اجرای پروژهٔ فنی را با اشکال مواجه می‌سازد، یعنی:

$$\frac{M}{M_0} = 1 - \left(\frac{1}{2}\right)^{10} \simeq 1 - 0{,}001$$

یعنی۹۹۹ر۰ ازجرم‌کلی باید بسوزد تا باقیماندهٔ ۰۰۱ر۰ را تا سرعت مطلوب، شتاب دهد.

هر لحظه ممکن است تبدیل بـه‌بمب اتمی شود، کار فـوق‌العاده دشواری است.

اما فرض کنید بتوانیم رآکتوری بسازیم که قادر باشد دمـای لازم را بـرای لـوله‌هایی کـه بخار آب را به‌شیپورهٔ خـروجی می‌رسانند، تأمین کند. هدف ازاین کار آن است که اطمینان حاصل شود که بخار در طی چند لحظه‌ای کـه از لوله‌هـا عبور می‌کند، تادمای لازم گرم می‌شود. هیدروژن دارای قابلیت هدایت حرارتی زیادی است، اما چگالی آن خیلی کم است، و درمورد سفر فضایی ذخیرهٔ کافی از این سوخت جای خیلی زیادی را اشغال خـواهد کرد. به‌این‌علت است که طراحان موشك اتمی، آب را که ماده‌ای بی‌اثر است پیشنهاد کرده‌اند. آب در دمـای زیـاد بـه‌اکسیژن و هیدروژن تجزیه می‌شود، و قابلیت هدایت حرارتی ایـن مخلوط برای هدف مورد نظر کفایت می‌کند.

فیلم تلویزیونی راه‌حلهای گوناگون این‌مسئله را، که درزمانهای مختلف پیشنهاد شده، وصف می‌کند. در یکی از راهها، رآکتور و شیپوره درردیف هم قرار می‌گیرند. گاز درمحل ورودی‌شیپوره، تابالاترین دمای ممکن گرم می‌شود. با ورود به‌شیپوره، برسرعتش افزوده می‌شود و از فشارش کاسته می‌گردد، اما با حـرارت دادن گاز دمایش ثابت می‌ماند. در این طرح، انرژی حرارتی که باید به‌انرژی مکانیکی جت خروجی تبدیل شود، در چند مرحله به‌گاز داده می‌شود. اول مقداری حرارت به‌گاز داده می‌شود کـه تبدیل به‌حرکت مکانیکی گردد، سپس مقدار دیگـری حـرارت داده می‌شود و این وضع همین طـور ادامـه می‌یابد. به‌ایـن ترتیب، اصولاً می‌توان به‌جت گاز شتاب داد و سرعت مطلـوب را به‌دست

آورد. اما درعمل، ساختن چنین موتوری، که شیپورهٔ متباعد خیلی طویلی داشته باشد، کار بسیار دشواری است.

در طرح دیگر، بخار اورانیوم داغ به‌داخل جریانی از یك گاز غیر فعال تزریق می‌شود. این بخار در حین عبور ازشیپوره، باگاز مخلوط می‌شود، و با از دست دادن حرارت خود تقطیر می‌گردد، و به‌صورت قطرات ریزی درمی‌آید که بعداً به‌حالت جامدتبدیل می‌شوند. امااورانیوم فراوردهٔ فوق‌العاده‌گرانی است و نباید همراه‌گازهای خروجی از موشك خارج شود؛ بنابراین، غبار اورانیوم ازگاز جدامی‌شود وبه رآکتور باز می‌گردد. به‌این ترتیب، اورانیوم در مدارگردش می‌کند، یعنی در رآکتورگرما می‌گیرد و درجت خروجی خنك می‌شود. اما اجرای این‌طرح هم کار بسیار پیچیده‌ای است.

طرح یك ناو فضایی هسته‌ای چندان ساده نیست. موشك به شتاب زیادی نیاز دارد و موتورآن باید دارای نیروی پیشرانهٔ[1] بسیار نیرومندی باشد. برای اینکه موشك در مدت ۴۰۰ ثانیه به سرعت گریز ۱۱ تا ۱۲ کیلو متر در ثانیه برسد، باید پیشرانهٔ آن‌بازای هرکیلوگرم بار، ۱۰ برابر بیش از ظرفیت قدرت رآکتورهای اتمی نیمهٔ قرن بیستم باشد. یك رآکتور به‌ظرفیتی معادل میلیونها کیلووات نیاز خواهد داشت تاموشك را روی ماه پیاده کند. امروزه بزرگترین رآکتورها دارای ظرفیت صدهزار کیلووات هستند. با وجود این، موتور موشك هسته‌ای ساخته شد. تاریخ پیروزیهای جدید علم و تکنولوژی، که به‌سرعت از

1) thrust

روی پردهٔ تلویزیون گذشتند، خاطرمان نیست.

صحنه‌های فیلم مرتباً ازمقابل دیدگانمان می‌گذرند، و سرانجام نمایش پرتاب نخستین ناو فضایی هسته‌ای آغاز می‌گردد. با وزن نسبتاً کمی که سوخت هسته‌ای دارد، موتور ناو می‌تواند برای مدت زمان طولانی کار کند. امکان روشن کردن موتور در حین پرواز باعث شد که سرعت «معمولی» موشك از ۵۰ کیلومتر در ثانیه تجاوز کند. مدت پرواز کمتر شد، مسیر ناوهای فضایی کوتاهتر شد، و فضانوردی دستخوش دگرگونی گردید. قرن بیستم به‌پایان می‌رسد. و در ربع اول قرن بیست ویکم، ظهور کشتیهای اتمی بین سیاره‌ای را می‌بینیم که امکان مسافرت انسان را به کلیهٔ سیاره‌های منظومهٔ شمسی فراهم می‌سازند.

گوینده می‌پرسد: «و اکنون چه خواهد شد؟ آیا انسان در کرانهٔ فضای خالی منظومه‌های ستاره‌ای توقف خواهد کرد؟ آیا ایستگاه پژوهشهای علمی در پلوتون ــ دورترین سیارهٔ منظومهٔ شمسی ــ به‌صورت دورترین مرکز دیدبانی بشر در گیتی باقی خواهد ماند؟»

منظرهٔ حیرت‌انگیزی روی پرده ظاهر می‌شود. پرتگاههای سبز-فام مایل به‌آبی مانند یخی که رگه‌هایی از بلورهای عظیم در آن دویده باشند به‌نظر می‌آیند. تونلی که نور درخشانی درون آن می‌تابد، به‌غارهای ساختهٔ دست بشر رهنمون می‌گردد. ناو فضایی روی سکوی پرتاب قرار گرفته‌است. خورشید کوچك وضعیفی از جایی در آن دوردستها نور می‌پراکند، و سایهٔ ناو فضایی در روی کف دره همانند جاده‌ای است که به‌ناشناخته‌ها می‌رود. چند مرد که لباس فضانوردی به‌تن دارند، روی سکوی پرتاب ایستاده‌اند،

و درجهت سایه می‌نگرند.

گوینده می‌افزاید: «مسافرت ما به‌درون منظومهٔ شمسی سفرهایی بود درامتداد جویبارها و رودخانه‌ها؛ اما امروز ما درساحل اقیانوس عظیمی ایستاده‌ایم.»

هیچ وجه تشابهی مابین فواصل بین‌ستارگان وبین سیاره‌ها وجود ندارد. دایره‌ای به‌قطر ۱۵ میلیمتر روی ورقه‌ای ازکاغذ رسم کنید. این دایره منظومهٔ شمسی ماست. در روی این مقیاس، دیدن نقاطی که نشانهٔ سیاره‌ها هستند حتی‌در زیر میکروسکوپ‌امکان‌پذیر نیست. اندازهٔ خود خورشید حتی از یك میکرون کمتراست. فکر می‌کنید در چه فاصله‌ای باید دایرهٔ دیگری رسم کنید که نمایندهٔ منظومهٔ سیاره‌ای‌باشد؟ نه‌تنها ورق کاغذ وکف اتاق، بلکه محدودهٔ شهری هم که درآن زندگی می‌کنید درصورتی که زیاد بزرگ نباشد برای این مقصودکافی نیست. نزدیکترین ستاره در روی این مقیاس، بایده۳۰ کیلومتر ازخورشید فاصله داشته باشد. فاصلهٔ حقیقی‌آن نزدیك به ۴۰،۰۰۰،۰۰۰ میلیون‌کیلومتر است. نور که با سرعت ۳۰۰،۰۰۰ کیلومتر درثانیه حرکت می‌کند، ۴٫۲۷ سال طول می‌کشد تا این فاصله را بپیماید، و این مقیاس حقیقی بین ستارگان است. اما مسافرت با سفینهٔ بین سیاره‌ای ربع‌آخر قرن بیستم، که ۳۰ تا ۴۰ کیلومتر در ثانیه سرعت دارد، ۲۰۰۰ سال به طول می‌انجامد. حتی بابهترین ناوهای فضایی نیمهٔ قرن بیست و یکم که سرعتی ۳برابر سرعت اخیر دارند، ۷۰۰ سال طول می‌کشد تا یك طرف این سفر پیموده شود. به‌طوراختصار، مسئلهٔ سفر بین ستارگان با سفینه‌هایی که ازموتورهای شیمیایی، اورانیومی یا حتی خیال‌انگیزترین موتورهای گرماهسته‌ای نیرو

می‌گیرند قابل حل نیست. پیشرانهٔ این موتورها بسیار کم است، وسرعت ناو برای پیمودن مسافات طولانی فوق‌العاده کند. با وجود این، مسافرت بین ستارگان امکان‌پذیر است!

## پرواز از سیارك پالاس

داستان فیلم علمی ما که برروی پردهٔ جادویی قرن بیست ویکم ظاهرمی‌شود نسبتاً نارساست. بازگو کردن همهٔ داستان کاری محال است، اما تشریح قسمتهایی از آن، کـه به‌اکتشافهایی در جهان ذرات بنیادی می‌انجامد، جالب توجه‌است. برطبق منطق دیالکتیك، کشفهایی که درجهان بسیار کوچکها روی می‌دهد منجر به‌تسلط و پیروزی انسان برکیهان بـزرگ می‌گردد. از همین راه است که می‌توان درانجام سفر بین ستارگان توفیق‌یافت.

از قبل می‌دانیم که در ربع اول قـرن بیستم، تمام مواد جهان را متشکل از الکترونها (ذرات سبك با بار منفی) و پـروتونها (ذرات سنگین با بارمثبت) می‌پنداشتند. سپس‌تعداد ذرات بنیادی جدید به‌طرزحیرت‌آوری افزایش یافت. به‌دنبال آن، ذرات سنگین بی‌بار، نوترونها، پوزیترونها[1]ی سبك با بارمثبت؛ انواع مزونها؛ نوترینوها[2]ی خیال‌انگیز؛ فوتونها، ذرات بنیادی میدان الکترومانیتیك؛ ودستهٔ کاملی از هیپرونها[3] به‌مرحلهٔ ظهور رسیدند. آنگاه به‌کمك ماشینهای غولپیکری کـه می‌توانند ذرات بنیادی را تـا نزدیکی سرعت نور شتاب دهند، انسان برپادذره‌ها دست یافت. درمیان پاد ذره‌ها، ضد پروتون بودکه ذره‌ای است سنگین با بار

1) positrons 2) neutrinos 3) hyperons

منفی؛ وضد نوترون، که تفاوت آن با نوترون معمولی ازنظر بار نیست، زیرا بار ندارد؛ بلکه در «تقارن آینه‌ای» خواص دیگری است که ویژهٔ ذرات بنیادی‌است.

تا نیمهٔ قرن بیستم، دانشمندان از خود می‌پرسیدند که آیا می‌توان از هسته‌های با بار منفی که اطرافشان را ابرهایی از پوزیترونها گرفته‌اند، «ضد اتمها» به‌وجودآورد. موادی که از چنین اتمها ساخته می‌شوند، چه خواصی را دارا هستند؟ آیا آنها هم برای خودشان جدول تناوبی پاد ساده تشکیل خواهند داد؟ برخی از پژوهشگران عقیده داشتند که بهتر است نگاه دقیقتری به کهکشانه‌های دور دست بیفکنیم و ببینیم که آیا بعضی ازآنها از پاد ماده درست شده‌اند یا نه. با وجودآنچه می‌دانیم، ممکن است ساکنان سیاره‌ای در منظومه‌ای ازکهکشانه‌ای دوردست، در شتابگرهای‌نیرومندخود «پاد پاد ذره» تولیدکرده‌باشند، و ندانند که امکان دارد جهانهایی هم باشندکه درآنها «ضدپوزیترونها» ــ یعنی الکترونها ــ به‌دور هسته‌های با بار مثبت درحرکتند. پاسخ بسیاری از این گمانها و حدسهای قرن بیستم را در فیلمی که بر پردهٔ سحرآمیز قرن بیست ویکم نمایش داده می‌شود می‌توان یافت.

پاد ماده می‌تواند تولید شود، و درخلاء تهی از ذرات مادهٔ معمولی، حتی اگر میدانها درآن نفوذکرده باشند، مانند مادهٔ معمولی پایدار خواهد بود. اما این دو نمی‌توانند باهم درتماس باشند، زیرا ضدیت عجیبی با یکدیگر دارند. کوتاه بودن عمر پاد ذراتی که در شتابگرهای غولپیکر به‌وجود می‌آیند این نظریه را تأیید می‌کند. تصادم بین ذره و پاد ذرهٔ مشابه، منجر به‌معدوم

شدن هردو ذره و صدور فوتون می‌گردد. به‌همین نحو، اگر یك اتم معمولی با یك ضد اتم تماس حاصل کند، انفجار این دو همراه با صدور ذرات دیگر و مقدار زیادی انرژی است، که به مراتب زیادتراز انرژی حاصل‌از ادغام‌هسته‌های هیدروژن وتولید هستهٔ هلیوم است.

همان‌طورکه قبلا متذکر شدیم، یکی از نتایج تئوری نسبیت عام اینشتین، اصل برابری جرم و انرژی است. یك لیوان چای داغ سنگینتر ازلیوان مشابه محتوی چای سرد است. گلوله‌ای‌که از تفنگ خارج می‌شود جرمش از وقتی‌که هنوز شلیك نشده زیادتر است. تبدیلهایی‌که شامل تغییر شکل انرژی هستند ناشی ازتقلیل جرم مواد مربوطه‌اند. ارتباط بین جرم و انرژی به‌نحوی است‌که مقادیرعظیمی ازانرژی بامقادیربسیارکمی ازجرم برابری می‌کنند. بنابراین، چنانچه‌بتوانیم تمام فرآورده‌های احتراق چند قطار زغال‌سنگ راکه یك کارخانهٔ برق روزانه می‌سوزاند ــ کلیهٔ گازها، تهماندهٔ کوره‌ها و خاکسترها ــ جمع‌آوری کنیم، درمی‌یابیم که وزن همهٔ آنها فقط درحدود ۰٫۵ گرم کمتر از وزن زغال سوخته شده است. این مقدار ، «جرم» انرژی الکتریکی تولید شده به‌وسیلهٔ این کارخانه است.

اما سوختهای هسته‌ای چنین نیستند. درآنها نسبت انرژی به جرم‌زیادتراست و«کاهش جرم» به‌خوبی محسوس است. مثلا، در شکافت هستهٔ اورانیوم، کاهش جرم معادل ۰٫۵ درصد است. در ادغام هیدروژن به‌هلیوم، این‌مقدار معادل ۰٫۹ درصد است، یعنی با زای هر کیلوگرم ماده، ۹ گرم‌کاهش جرم وجود داردکه‌به‌آسانی سنجش‌پذیر است.

در تأثیر متقابل هستهٔ ماده و هستهٔ پاد ماده، عملا تمام جرم آنها به‌صورت کوآنتومهای میدان الکترومانیتیك و انواع دیگر تابش درمی‌آید. درحقیقت، عمل تبدیل آنی نیست، و صورت تبدیل یك سلسله‌ازمزونهای گوناگون‌را به‌خودمی‌گیرد. انرژی‌تولیدشده‌تقریباً یك صد برابربیش‌از انرژی‌حاصل ازواکنش‌ادغام‌هیدروژن‌است.

سازندگان فیلم علمی قرن بیست ویکم، بـرای کاوش درجهان ذرات بنیادی، به‌گشت وگذاری احتیاج داشتند تا اندیشهٔ نیرومند‌ترین موتور تئوریك را بـه معرض نمایش گذارند، یعنی یگانه موتـوری کـه قادر است انسانهای کـرهٔ خاکی را بـه سوی نزدیکترین ستاره، یعنی پروکسیما-قنطورس[1] ببرد.

شکل ساختمان غولپیکر ناو فضایی بـر پردهٔ سحرآمیز ظاهر می‌شود. برای نگهداری از پاد ماده که به‌صورت پودر ضدآهن است اتاق بزرگی درنظرگـرفته شده و یك میدان الکترومانیتیك آن را درفضای اتاق معلق می‌سازد، به‌طوری که هیچ ذره‌ای نمی‌تواند با دیواره‌ها در تماس بـاشد. با تغییردادن شدت و شکل میدان مغناطیسی، پودر ضدآهن به‌مقادیر کم وارد اتاق «احتراق» می‌شود. در حین راه، یك میدان الکترومانیتیك پربسامد پودر را حرارت داده تبخیر می‌کند. (بـرای تأمین نابودی کامل سوخت، به‌تبخیر اولیه‌ای نیازاست که درآن هر پاد ذره‌ای با ذرهٔ مخالفش برخورد خواهدکرد.) در اتاق «احتراق» یا نابودی، بخار ضد آهن با بخارآهن معمولی مواجه می‌شود(بدون چنین احتیاطهایی تزریق می‌شود). در محل تلاقی دو جت، شعلهٔ خیره‌کننده‌ای می‌

1) Proxima Centauri

جهد ومقادیر باورنکردنی انرژی نوری درفضای کم‌حجم به‌وجود می‌آید. البته، از تصادم ماده و پادماده، انفجاری حاصل می‌شود، اما واکنش فقط ذراتی را دربر می‌گیرد که در محل تماس هستند. بیشتر اجرام ازهم دور شده وعمل نابودی باز می‌ایستد.

به‌موجب طرحی دیگر، پاد مـاده در داخل ناو فضایـی، در دستگاههای پیچیده‌ای تـولید می‌شود کـه از شتابگرهای ذره‌ای امروزی مشتق شده‌اند. پاد ذراتی که تازه به‌وجود می‌آیند به‌درون اتاق نابودی رهسپار می‌گردند. طرح این اتاق چگونه باید باشد تا نیروی پیشرانهٔ لازم را به‌ناو فضایی بدهد؟

درحقیقت، چنین اتاقی وجود خارجی ندارد. لوله‌ها وپمپهای مغناطیسی که ماده و پادماده را به‌قسمتهای مربوطه می‌رسانند ، از قسمت خارجی‌عقب موشك تا کانون آینهٔ شلجمی عظیمی امتداد دارند. تابشی کـه از واکنش نـابودی به‌دست می‌آید پس از برخوردبا آینه به‌صورت تابهٔ متمرکزی بازمی‌تابد، به‌طوری که می‌تواند فلزاتی راکـه میلیونها کیلومتر ازآن فاصله دارند وآن را قطع می‌کنند تبدیل به‌بخارکند. این‌آینه، بادبان ناو فضایی است.

در سال ۱۹۰۰، فیزیکدان روسی پ. ن. لبدف[1] ثابت کـرد که نور فشار وارد می‌کند. مقدار ایـن فشار در شرایط معمولی خیلی زیاد نیست، و فشار نوری کـه از خورشید به‌زمین می‌رسد درحدود نیم‌میلیگرم برمترمربع‌است. امافوران شدید فوتونهایی که درنابودی «ماده-پاد ماده» تولید می‌شوند فشار نسبتاً زیادی

1) P. N. Lebedev

اعمال می‌کند که قادر است نیروی محرکهٔ لازم را به‌ناو فضایی بدهد.

این اندیشه‌ها حتی ازنظر انسانهای قرن بیست و یکم نیز به آینده مربوط می‌شوند. درناوهای فضایی آنان، اتاق احتراق شبیه «بطری» الکترومانیتیك است که قبلا به‌آن اشاره شد. این بطری مانند بطری معمولی دارای گردن باریکی است که به‌طرف عقب باز می‌شود وکار شیپوره را درموتورهای موشك«معمولی» انجام می‌دهد. در درون بطری الکترومانیتیك، واکنش گرماهسته‌ای پایداری روی می‌دهد، و ذرات باردار پلاسما از شیپوره به‌بیرون رانده می‌شوند. برای بالابردن دمای پلاسما و درنتیجه سرعت جت واکنش، در حدود ۱۰ درصد پودر پادماده به‌داخل شعلهٔ گرماهسته‌ای تزریق می‌گردد.

و اکنون طرح کلی موشك بر روی پرده ظاهر می‌شود. می‌بینیم که ناوهای بین ستاره‌ای نیز خودروهای چند طبقه‌ای هستند که مخازن خالی از هیدروژن را از خودجدا می‌سازند. چنین سفینه‌ای می‌تواند سرعتی معادل ۲۵۰،۰۰۰ کیلومتر درثانیه، که پنج ششم سرعت نور است به‌دست آورد.

گوینده می‌افزاید: «سرنشینان ناو فضایی می‌توانند در مدت فقط ۵ سال به‌پروکسیما-قنطورس برسند. و ۵ سال دیگرطول می‌کشد تا به منظومهٔ شمسی بازگردند. اگرفضانوردان مدت ۵ سال به‌اکتشاف در سیاره‌های پروکسیما بپردازند، می‌توان ۱۵ سال دیگر انتظار بازگشت آنها را داشت. این‌مدت زیاد طولانی نیست، مخصوصاً اگر به‌خاطر داشته باشیم در ۵۰۰ سال قبل بود

که مسافرت ماژلان[1] به‌دور کرهٔ زمین، برای نخستین‌بار، ۳سال به‌طول انجامید.» فیلم‌پایان می‌یابد. برای چند لحظه، پردهٔ نقره‌ای رنگ در موجهای بی‌تصویری می‌لرزد. سپس چهرهٔ گوینده بر پرده ظاهر می‌شود که با صدایی هیجان انگیز شروع برنامه‌ای را اعلام می‌دارد:

«تا ده دقیقهٔ دیگر، یك ناو فضایی بین ستاره‌ای از سیارك پالاس[2] پرتاب خواهد شد. ما اکنون جزئیات پرتاب را از راه دور مستقیماً برای شما پخش می‌کنیم.»

ناو بین ستاره‌ای که با نورافکنهای درخشانی روشن شده، آمادهٔ پرتاب است. سرزمین صخره‌ای کوچکی که قطرش از ۵۰۰ کیلومتر تجاوز نمی‌کند، به‌جای پایگاه ساختمانی ناو به‌کار رفته و از پاره‌ای صخره‌های سیارك استفاده شده‌است. کار مونتاژ کردن موشك در روی سیارك، ۵ سال زمینی طول کشید. موشك اکنون دهها کیلومتر درفضا کشانده شده: زیرا جت خروجی آن در هنگام پرتاب باسطح سیارك برخورد می‌کند و به‌سازندگان پایگاه وخود سیارك آسیب شدیدی وارد می‌سازد.

موشك فضاپیما، برخلاف آنچه که انتظارمی‌رود، ابداً مقاومتی دربرابر جریان هوا ندارد. بدنهٔ اصلی آن از تعدادی مخازن سیگارشکل تشکیل شده که دهها کیلومتر طول دارند. روی آن چندین ناو فضایی «معمولی» برای اکتشاف سیاره‌های پروکسیما سوار شده‌اند. مکانهای حلقه‌وار قابل سکونت که درآنها نیروهای مرکزگریز چرخشی تولید جاذبهٔ مصنوعی می‌کنند.

1) Magellan 2) Pallas

آزمایشگاههای کروی و گرمخانه‌ها. سپر دولایه‌ای که مقاوم در برابر شهابسنگهاست درجلو ناو نصب گردیده و در «سایهٔ» آن حرکت می‌کند. جدال سپر با شهابسنگها بستگی به‌سرعت ناو دارد. به‌این معنی که شهابسنگهایی را که به ناو نزدیك می‌شوند دور ساخته، آنهایی را که تحت زاویه‌ای با ناو برخورد می‌کنند به کناری می‌زند و بالاخره برآنهایی که در جهت واحدی حرکت می‌کنند سبقت می‌جوید.

ضربان منظم مترونوم[1] آخرین ثانیه‌های قبل ازبرخاستن ناو را می‌شمارد. ناگهان می‌ایستد وتیغهٔ سفیدی ازآتش، ازعقب ناو بیرون می‌زند ومانند فنری آن را ازجا می‌کند و به‌جلو می‌راند. ناو فضایی تدریجاً برشتابش افزوده می‌شود و طول پرده را طی می‌کند. اکنون پشت آن را می‌بینیم و به‌نظر می‌آید که جت شعله متوجه ماست. چند دقیقه می‌گذرد و شعله ناپدید می‌شود. ناو، که سرعتی معادل ۷۰ کیلومتردرثانیه کسب کرده، در روی یك منحنی هذلولی به‌سوی مرزهای خارجی منظومهٔ شمسی درحرکت است. سرنشینان ناو، پس‌از بازرسی نهایی از تمام دستگاههای فعال، موتور را روشن می‌کنند تا به‌سرعت نور نزدیك شوند، پرده تاریك می‌شود. داستان پیشرفتهای قرن بیست ویکم به‌پایان می‌رسد و اکنون وقت آن است که به‌عصر خویش بازگردیم. موتورهای ماشین زمان را روشن می‌کنیم و در طول زمان روانهٔ «سرازیری» می‌شویم! این است خلاصهٔ آنچه که بیان کنندهٔ خاطرات ماست:

1) metronome

درقرن بیست ویکم، ماده درچهار حالت ــ جامد، مایع، گاز و پلاسما ــ به‌انسان خدمت خواهدکرد. نقش پلاسما به‌طرز قابل‌توجهی افزایش یافته است. ازآن در چنبره‌های نیروگاههای گرماهسته‌ای، در خورشیدهای مصنوعی که برفراز شهرها ایستاده‌اند و در شعله‌ای که از «بطری» مغناطیسی موتورهای ناو فضایی خارج می‌شود، استفاده می‌گردد. کاربردهای میدان الکترومانیتیك زیادتر شده است . فرستنده‌ـگیرندهٔ بصری، و میدان پربسامد را بخاطر بیاورید که موجب حرکت ماشینهای پرنده می‌شود، یعنی خودروهایی که جانشین وسایط‌نقلیهٔ شهری شده‌اند. تابه‌های‌تابش الکترومانیتیك را به‌خاطر بیاورید که خورشید مصنوعی را فروزان می‌سازند. همچنین اتاق مغناطیسی ناو فضایی و پردهٔ بزرگ تلویزیون را به‌یاد داشته‌باشید. میدانهای‌هسته‌ای‌درتأسیسات‌گرما‌ـهسته‌ای و رآکتورهای ناوهای بین سیاره‌ای و بین ستاره‌ای، خدمتگزار انسانهای قرن بیست ویکم خواهند بود.

## سفر به ستارگان

طبقهٔ کمکی[1] موشکی که ماهوارهٔ زمین را بالا می‌برد، فقط چند دقیقه‌ای دوام دارد. علت‌آن روشن‌است: هرچه شتاب زیادتر باشد، سرعت به‌دست‌آمده تندترخواهدبود، وهرچه‌قدرت موتور بیشترباشد مصرف سوخت‌کمتراست. اما درمورد ناوهای فضایی مسافربری به‌علت محدود بودن تحمل طبیعی ارگانیسم انسان، تضییقاتی برای شتاب فراهم شده‌است. یادآورمی‌شویم که‌کشش

1) boost stage

گرانشی زمین سرعت جسمی را که به‌طور آزاد سقوط می‌کند، در هر ثانیه ۹٫۸ متر افزایش می‌دهد. این را شتاب جاذبه (ثقل) در سطح زمین می‌خوانند، و آن تعیین‌کنندهٔ وزن جسم در روی زمین است. اگر شتاب موشك ۵۰ متر بر مجذور ثانیه باشد، افزایش بارثقلی ۵ برابرخواهد بود، یعنی انسانی که ۷۰ کیلوگرم وزن دارد، در این‌حالت ۳۵۰ کیلوگرم وزن خواهد داشت. این بار برای مدت کوتاهی قابل تحمل است، اما شتابهای زیادتر خطرناکند.

فرض کنید یك ناو فضایی ناگزیر است سرعتش را به ۱۰۰،۰۰۰ کیلومتر در ثانیه برساند. بدیهی است که نمی‌توان در عرض چند دقیقه به‌چنین سرعتی دست یافت، ولازم هم نیست. ناو فضایی بین ستاره‌ای از زمین پرتاب نخواهد شد، چون باید باسرعت هرچه تمامتر ازنیروی جاذبهٔ زمین بگریزد. محل پرتاب مکانی است درفضای خارج که به‌وسیلهٔ فرمول تسیولکوفسکی تعیین می‌شود. برطبق این فرمول، سرعتی که از یك ناو فضایی به‌دست می‌آید بستگی به سرعت گاز خروجی و مقدار سوخت مصرفی دارد. حتی یك مشعل گازی که قادربه‌پرواز نیست، وممکن است با دست کارگر غضبناکی پرتاب شود، می‌تواند در شرایط فضای‌خارج ــ درصورتی که زمان کافی داشته باشد ــ سفینه‌ای را شتاب داده به سرعت مطلوب برساند. دراینجا سؤالی پیش می‌آید که پس موتورهای یك ناو فضایی بین ستاره‌ای چه‌نیروی پیشرانه‌ای باید داشته باشند، و این ناو با چه شتابی باید سفر کند؟

در پاسخ قسمت دوم پرسش، باید گفت که فقط ۱۰ متر بر

مجذور ثانیه. این مقدار عبارت از شتابی‌است که سرنشینان ناو، در روی زمین به‌آن عادت دارند؛ و هر مسافری در سفینه، خود را سنگینتر از روی زمین احساس نخواهدکرد. در مدت ۱۲۳ روزکار مداوم، موتورها به‌ناو فضایی شتاب داده سرعتش را به سرعت معمولی می‌رسانند. در طول این زمان، مسافت زیادی پیموده خواهد شد. درحقیقت، مسافت پیموده شده معادل راهی است که پرتو نور درمدت ۵۰۶ ساعت و ۳۰ دقیقه، یا ۲۱ روز طی می‌کند. البته، این مسافت فقط نزدیك به‌یك صدم فاصله تا پروکسیما می‌باشد.

انسانهای کرهٔ خاکی هرگز با چنین سرعتهایی سفر نکرده‌اند، و سرنشینان ناو ظاهراً با بسیاری حوادث بیسابقه مواجه خواهند شد. همچنانکه ناو فضایی سرعت می‌گیرد، آنها متوجه تغییرات محسوسی درستارگان اطراف خود می‌شوند. ستارگانی که مستقیماً در پشت ناو قرارگرفته‌اند، قرمزتر و قرمزتر می‌شوند تا به‌کلی «خاموش گردند». این یکی از نتایج مستقیم پدیدهٔ دوپلر است که بر طبق‌آن طیف مرئی به‌سوی ناحیهٔ فروسرخ نامرئی‌تغییر-مکان می‌دهد. به‌همین دلیل است که ستارگانی‌که در جلو ناو هستند به‌رنگ بنفش درمی‌آیند و ازنظر محو می‌گردند. فقط ستارگانی ثابت باقی می‌مانند که در نوار باریکی ازآسمان (نواری‌که اندکی به‌طرف‌پاشنهٔ ناو انتقال یافته‌است) واقع شده باشند. در پشت این نوار، ستارگانی هستند با نور قرمز خارق-العاده، ودرجلوآنها ستارگانی درخشان همچون‌لکه‌های ارغوانی-فام جلب‌نظر می‌کنند. هرچه سرعت زیادتر شود، نوار ستارگان مرئی باریکتر شده تمایل آن به سوی پاشنهٔ ناو بیشتر می‌گردد.

درسرعت نور، اگر ممکن باشد، نوار به‌نقطه‌ای درپشت ناوتبدیل خواهد شد.

ناو فضایی ما با سرعت۱۰۰،۰۰۰ کیلومتر درثانیه درحرکت است. پرواز این ناو مدت دوازده سال و نیم به‌طول می‌انجامد، اما درمورد کارهای تحقیقاتی، تعیین اوضاع و حرکات ستارگان، مطالعهٔ طیف ستارگان، و آزمایشهایی که روی جاذبه و سایرمسائل علمی به‌دست سرنشینان ناو انجام می‌پذیرد، برای آنان زمان زیادی‌نخواهدبود. ضمناً ناگزیرند بیشتر وقت را صرف محافظت از خویش‌دربرابرخطرهای فضای خارج،به‌ویژه شهابسنگها، کنند.

دانشمند جوان شوروی ف. ن. یاسینسکی[1]، روش جالبی برای مبارزه با شهابسنگها پیشنهادکرده است. در جلو ناو فضایی، «چتر» فلزی نازکی قرار می‌گیرد که قطرش اندکی بزرگتر از بدنهٔ ناو است. بدیهی است که اگر ناو در حال سکون باشد، «چتر» فقط در مقابل شهابسنگهایی که به سوی شیپورهٔ ناو می‌شتابند ایستادگی می‌کند. امااگرناو باسرعتی‌تندترازشهابسنگها درحرکت باشد، «چتر» «سایه‌ای» می‌افکندکه کاملاً عاری از ذرات تیرآساست. آنهایی که به‌طرف سر ناو پیش می‌آیند طبیعتاً با «چتر» رو به‌رو می‌شوند، آنهایی که از پهلو می‌آیند بلافاصله دفع می‌گردند و بالاخره آنهایی که در مسیر ناو پیش می‌تازند هرگز به‌آن نمی‌رسند. ذرات کوچک‌آسیب چندانی به«چتر» وارد نمی‌سازند. در اثر برخورد ذرات‌با«چتر»، انرژی‌جنبشی‌آنهافوراً تبدیل به‌گرما می‌شود وشهابسنگها وخرده‌های«چتر» به‌شکل ابری

1) F. N. Yasinsky

ازگازانبساط‌یابنده درمی‌آیند. اثرخورندگی مادهٔبین ستاره‌ای‌تاچه حدمی‌تواندباشد، و«چتر» تاچه مدتی‌دربرابرآن‌تاب‌خواهدآورد؟

هرچند چگالی فضای بین ستاره‌ای تقریباً درحدود $۱۰^{-۲۴}$ گرم برسانتیمتر مکعب است ــ یعنی در هر سانتیمتر مکعب فضا یك اتم‌هیدروژن وجود دارد ــ درسرعتهای نزدیك به‌سرعت نور هر سانتیمتر مربع از بزرگترین مقطع موشك، ثانیه‌ای معادل $۳ \times ۱۰^{-۱۴}$ گرم ماده را جاروب خواهدکرد. انرژی حاصل از تصادمهای پی درپی، در هرثانیه به $۳ \times ۱۰^{۷}$ ارگ بر سانتیمتر مربع می‌رسد. از طرفی، انرژی تولید شده از انفجار یك گرم ماده تی. ان. تی.[۱] درحدود $۴ \times ۱۰^{۱۰}$ ارگ است. بنابراین، هر سانتیمتر مربع از«چتر» یاسینسکی در هرثانیه درمعرض انرژیی معادل با انفجار یك‌هزارم‌گرم تی. ان. تی. قرارخواهدگرفت، که در مدت یك ساعت مقدارش به ۴ گرم می‌رسد. در حقیقت، اثر تصادم با ذرات بسیار خرد یا حتی اتمهایی‌که با سرعتی نزدیك به‌سرعت نور حرکت می‌کنند، اصولا با انفجار معمولی فرق دارد. درحالت اخیر، سطح فلز به‌آسانی خورده می‌شود، درحالی که درحالت اول انواع گوناگون تابش از قبیل پرتوهای‌ایکس و تابش گاما پدید می‌آید و قسمت کمتری از انرژی صرف خورندگی «چتر» می‌گردد.

بر اثر انفجار یك گرم مادهٔ تی. ان. تی. تقریباً یك‌گرم فلز از بین می‌رود. چون در تصادم با ذراتی‌که با سرعتهای‌کیهانی در حرکتند، بیشتر انرژی تبدیل به‌تابش می‌شود، و فقط حدود ۱ر۰

۱) T.N.T تری‌نیتروتولوئن.ــم.

درصدآن تلف می‌گردد، رویهٔ «چتر» به‌میزان تقریباً ۰٫۰۰۰۴ گرم در ساعت، یعنی یك‌گرم در ۱۰ روز خورده می‌شود. اگر «چتر» ازچند لایه ورق سربی درست شده‌باشد، میزان سایبدگی به‌مقدار قابل توجهی‌کاهش می‌یابد. طبق برآوردی که‌شده، میزان‌سایبدگی در این حالت برای هر سانتیمتر مربع از سطح بیش از ۱۰ گرم درسال نخواهد بود. اگر سرعت ناو فضایی نزدیك به سرعت نور باشد سطح سپر شروع به‌درخشیدن می‌کند. شدت تابش به حدی زیاد خواهدبودکه ذرات مادی را پیش‌ازاینکه به‌ناوبرسند، ازفاصلهٔ دور، به‌بخار تبدیل می‌کند.

با وجود این، یك شهاب‌وارهٔ[1] بزرگ می‌تواند در «چتر» نفوذکند، و بیشتر سرعت و جرم خود را حفظ‌کند. ضمناً، اثر اصابت به‌خوبی محسوس‌است. برای مواجه شدن باچنین پیشامد بحرانی، ناو فضایی باید مجهز به‌برجهای رادار باشد. حسابگر-های الکترونیکی[2] که به‌سیستمهای رادار متصل شده‌اند بلافاصله کار محاسبهٔ جهت پرواز شهاب‌واره و احتمال تصادم آن‌را با ناو فضایی به‌عهده می‌گیرند. اگر مسیرهایشان با هم تلاقی‌کنند، یك تفنگ پرتوی فوران نیرومندی از تابش پربسامد ساطع می-سازد، وشهاب را به‌صورت ابر بی‌آسیبی از غبار وگاز در می-آورد.

دراینجا خطر دیگری فضانوردان‌آینده را تهدید می‌کندکه باید به‌حساب آید. در نتیجهٔ تأثیر تابش ایکس‌کیهانی‌که فضای خارج را فرا گرفته است، ناو فضایی دارای بار مثبت

1) meteoroiod 2) electronic computers

خواهد شد. بر اثر تصادم ذرات و کـوآنتومهای الکترومانیتیك با سطح ناو، الکترونها از آن بیرون می‌پـرند، و تعادل الکترو-مانیتیك بدنهٔ عظیم فلـزی ناو را.دستخوش اغتشاش می‌سازنـد. این عمل اثری برفضانوردان نخواهد گـذاشت، وعدم تعادل را می‌توان فقط با دستگاههـای حساس مشاهده کرد. امـا میدانهای الکترومانیتیك فضای خارج، بـر ناو فضایی بارداری که ازمیان آنها می‌گذرد تأثیر می‌گذارند و موجب کند شدن سرعت آن می-گـردند. درست است کـه شدت تـأثیر میدان الکترومـانیتیك از مسافتهایی دوردست و از سحابیهای گازی وغباری که موجب پیدایی آن می‌گردند کم است، اما نباید فراموش کرد که در طول روزها و هفته‌هـا و ماههای متوالی تـأثیرش برسرعت تدریجاً مشهود می‌گردد.

ضمناً، اثر معکوسی که نـاو فضایی را شتاب می‌دهد بعید می-نماید که بهتر باشد، زیرا ممکن است شتاب ناو به‌حدی برسد که سوخت موجود برای کاستن سرعت کافی نباشد.

درآیندهٔ دور، که فضانوردان همچون دریانوردانی که به‌کاوش و پویش دریاها و اقیانوسهای سیارهٔ ما می‌پـردازند، به‌اکتشاف فضای بین ستاره‌ای بپردازنـد، نقشهٔ میدانهای الکترومانیتیك و گرانشی راه شیری را تهیه خواهند کرد. سپس پویندگان فضا در راه بهره‌برداری از نیروهای تندکننده یا کندکننده توفیق خواهند یافت. بار پوستهٔ خارجی ناو فضایی را می‌توان با وصل کـردن آن به قطب منفی یك دینامو خنثا کرد. یا که می‌شود به‌آن بار منفی داد به‌طوری که میدان الکترومانیتیك مانند شتابگـر عمل کند، و به‌این ترتیب جبران کندی حرکت اولیه خواهد شد.

نخستین فضانوردانی که به‌سوی پروکسیما می‌روند، در سفر دوازده سال و نیمهٔ خود با خطرهای بسیار روبه‌رو می‌شوند. اما سرانجام روزی خواهد رسید که ستاره شروع به‌بزرگ شدن کرده به‌صورت قرصی مرئی در می‌آید. معنی این سخن آن است که اکنون باید سرعت ناو را کم کرد. یك‌بار دیگر، موتورهای تابشی برای ۱۲۳ روزکار پیوسته به‌کار می‌افتند. مکانهای مسکونی حلقه‌وار، که جاذبهٔ مصنوعی تولید می‌کنند، از چرخش باز می‌ایستند. اخترشناسان کار جستجوی سیاره‌های پروکسیما را آغاز می‌کنند، و دانش مکانیك مقدمات لازم را جهت اکتشاف و فرود بر این سیاره‌ها، برای ناوهای بین سیاره‌ای فراهم می‌سازد فضانوردان مداری را که ناو فضایی باید مثل‌یك سیارهٔ مصنوعی، پروکسیما را دوربزند محاسبه می‌کنند، وفیزیکدانان به‌کار پژوهش در بارهٔ ستاره‌ای می‌پردازند که پس از خورشید نخستین ستارهٔ «در دسترس» است.

اکنون سرنشینان ناو فضایی را به‌حال خود می‌گذاریم، و با شتاب به‌سوی زمین باز می‌گردیم؛ تا روزی که نخستین فضانورد ازسفرش به‌ستاره‌ای دیگرمراجعت می‌کند درآنجا باشیم.

## پارادوکس زمان

در یکی از روزهای سپتامبر سال ۱۵۲۲، کشتی‌ای در بندر سان لوکار[1] اسپانیا لنگر افکند. بدنهٔ بدشکل آن، بادبانهای وصله خورده وتخته‌های سیاه عرشه‌اش همه ازسفری دراز ودشوار

1) San Lucar

حکایت می‌کردند. پل کشتی به‌اسکله نرسیده‌بود که مرد ریشداری ازآن باعجله بیرون پرید، زانو زد و زمین‌را بوسید. او سباستیان دل کانو[1] بودکه در رأس‌نخستین هیئت اعزامی، قصد مسافرت به دورکرهٔ زمین کرد. سه سال پیش ازآن، ناوگان‌کوچکی مرکب از پنج‌کشتی و ۲۶۵ سرنشین از همین اسکله حرکت‌کرد، ولی فقط ۱۸ نفر ازآنها بازگشتند. درمیان‌کسانی‌که جان خود را از دست دادند فردیناند ماژلان[2] بود؛ وی سردستهٔ نخستین هیئتی بود که دشوارترین قسمت مسافرت را به‌دوش‌کشید.

دیری نگذشت‌که بازماندگان هیئت اعزامی ماژلان از طرف کلیسای‌کاتولیك فراخوانده شدند: زیرا به‌دلایل عجیب و غریبی، تقویم آنها یك روز از تقویم هم‌میهنانشان عقبتر بود. به‌این معنی که‌آنان تعطیلات مذهب‌کاتولیك را اشتباهاً در روزهای دیگری به‌جاآورده بودند، وکلیسا باکسانی‌که از قوانین شرع به‌هرگونه سر باز می‌زدند، به شدت رفتار می‌کرد. اما دانشمندان به‌زودی برای این‌یك‌روز «از دست‌رفته»توضیحی‌یافتند. چون‌گروه‌اعزامی کرهٔ زمین را از مغرب به‌مشرق، و در تعقیب خورشید دور زده بودند، گویی به‌اندازهٔ یك‌روز زمین را به‌عقب برگردانده بودند. اگربه طرف مغرب‌حرکت می‌کردند، یك‌روز به‌دست می‌آوردند. امروزه به‌وسیلهٔ خط تاریخ بین‌المللی‌که از دوقطب می‌گذرد و اقیانوس‌آرام را طی می‌کند، علت این اختلاف ذکر شده است. هرکس‌که ازآن عبورکند یا باید یك روز به‌فردا ببرد یا یك‌روز به‌دیروز بازگردد.

1) Sebastian del Cano 2) Ferdinand Magellan

پرسش ما اکنون این است: آیا تقویم زمینی با تقویمی که فضانوردان در سفرهایشان به‌ستارهٔ مجاور نزد خویش نگاه می‌دارند تطبیق می‌کند؟

مردم کرهٔ زمین خود را برای استقبال از مسافرانی که از سفر فضای خارج بازمی‌گردند، آماده می‌کنند. دور تا دور پایگاه فضایی، روی سکوهای آراسته ازگل، جمعیت انبوهی ازمستقبلین موج می‌زند. در این موقع صدای غرشی ازآسمان به‌گوش می‌رسد و لرزه بر اندام تماشاچیان می‌افکند. متصدیان دستگاههای هدایت فرود ناو فضایی، به‌حال‌آماده‌باش درمی‌آیند. نه، این‌خود ناو فضایی نیست. ناو نمی‌تواند روی زمین فرودآید زیرا زمین بر اثر وزن‌آن فرو می‌ریزد، ازاین‌روآن را در مداری بیضی‌شکل به دور زمین قرار داده‌اند. در نتیجه‌سرنشینان آن با موشك

---

## به‌زبان ریاضی

### روابطی از تئوری نسبیت خاص

تئوری‌نسبیت‌خاص مسلم می‌داندکه‌کلیهٔ قوانین فیزیکی در تمام دستگاههای مختصاتی که نسبت بیکدیگر به‌طور یکنواخت‌ومستقیم‌الخط حرکت می‌کنند(موسوم به‌دستگاههای اینرسی) یکسان هستند، و سرعت نور همواره در دستگاه اینرسی مقایسه ثابت است.

نتیجهٔ مهمی که‌ازتئوری‌نسبیت به‌دست می‌آید رابطهٔ بین جرم وانرژی را روشن می‌سازد، به‌این‌معنی‌که جرم انرژی است وانرژی دارای جرم است. در تئوری نسبیت، قوانین پایندگی‌جرم‌وانرژی‌جای‌خودرا به‌قانون‌پایندگی‌جرم-انرژی می‌دهند.

درمکانیك کلاسیك، هرگاه دستگاه مقایسهٔ $O'$ نسبت به

مخصوصی که به‌منظور پرواز بین سیاره‌ای درنظر گرفته شده بـه پایین می‌آیند موشك کم کم ظاهر می‌گردد، درحالی که در پیشاپیش شعلهٔ درخشانی هوا را می‌شکافد و نزدیك می‌شود. درظرف چند لحظه بر روی زمین فرود می‌آید. پلکان آلومینیومی سبکی به‌سوی موشك حـرکت داده می‌شود، و تـا در خـروجی آن پیش می‌رود. مرد خاکستری مویی که لباس فضانوردی چسبانـی بر تن‌دارد بر روی سکوی پلکان ظاهر می‌شود. زمانی که او زمین را به قصد مسافرت فضایی ترك گفت ۲۷ سال داشت. برطبق تقویم زمینی، مسافرت رفت و برگشت وی ۲۵ سال طول کشیده، مضافاً به‌اینکه پنج‌سال هم درجهان ستارهٔ دوردست به‌سر بـرده است. اکنون سن این مرد چقدر است؟ ۵۷ سال؟

فضانورد از موشك پیاده می‌شود. و مانند سباستیان دل‌کانو در

---

→

دستگاه $O$ با سرعت $v$ در روی محور $x$ در حرکت باشد، روابط زیر برقرارند:

$$x = x' + vt' \quad , \quad y = y' \quad , \quad z = z' \quad , \quad t = t'$$

که در آن $x$، $y$، $z$، $t$ به‌ترتیب مختصات و زمان در دستگاه ساکن، و $x'$، $y'$، $z'$، $t'$ به‌ترتیب مختصات و زمان دردستگاه متحرك هستند. اگر سرعت جسمی در دستگاه اول $u'$ باشد، سرعتش در دستگاه دوم $u = u' + v$ خواهـد بـود. زمان در هر دو دستگاه یکسان است. این روابط را تبدیلهـای مختصات کلاسیك گالیله می‌نامند.

زمین با سرعت ۳۰ کیلومتر در ثانیه به‌دور خورشید می‌گردد، که معادل یك ده هزارم سرعت نـور است. به‌نظر می‌آید، اگر دانشمندان سرعت نور ستاره‌ای را که مستقیماً در جلو

←

پانصد سال پیش، زانو می‌زند و سنگفرش فرودگاه را می‌بوسد. برادرجوانترش جلومی‌رود تااز او استقبال کند، اما برادر کوچکتر پیرتر به‌نظر می‌رسد، و فضانورد ارشدیت او را به‌جا می‌آورد.

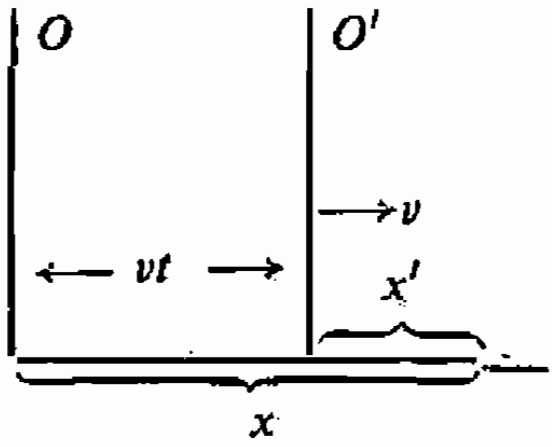
فضانورد می‌گوید، «وقتی که پروازکردیم من چهارسال بزرگتر از شما بودم. اما اکنون شما ۱۰ سال از من بزرگترید، زیرا طبق ساعت ناو فضایی، من ۳۰ سال زمینی را فقط در ۱۶ سال گذرانده‌ام.»

پارادوکس؟ بلی، اما نه این دو برادر و نه مردمی که در اطراف آنها جمع شده‌اند، ازاین وضع تعجب نمی‌کنند. دربارهٔ این مسئله به‌خوبی مطالعه شده است. مدتها پیش از عزیمت هیئت اکتشافی به اختر پروکسیما، دانشمندان بر طبق ساعتهای

---

→

زمین قرارگرفته(هنگامی که سرعت زمین باسرعت نورجمع می‌شود) و سرعت نور ستاره‌ای راکه مستقیماً درعقب زمین قرارگرفته (هنگامی که سرعت زمین از سرعت نورکس می‌گردد) اندازه بگیرند، به‌اختلافی معادل ۶۰ کیلومتردر ثانیه برخورد خواهندکرد، که مقدار قابل توجهی است؛ و می‌توان به‌کمك دستگاههای دقیق آن را اندازه‌گرفت. اما




←

زمینی و ساعت داخل ناو فضایی، گذشت زمان را محاسبه کرده بودند. اما برای اینکه ما این پارادوکس را درك کنیم، باید به زمانی برگردیم که دانشمندان برای نخستین بار با آن مواجه شدند.

در نیمهٔ قرن نوزدهم، دانشمندان عقیده داشتند که میدانهای الکترومانیتیك خصوصاً نور، به‌وسیلهٔ ارتعاشهایی از اتر، یعنی مادهٔ قابل ارتجاعی که تمامی گیتی را پر کرده است انتقال می‌یابند. کوششهای فراوان برای مجزا کردن این ماده و شناخت خواص قابل ملاحظهٔ آن، همه با شکست روبه‌رو گردید. دانشمندان می‌دانستند که اتر ماده‌ای کاملا مرتجع است و نور را جذب نمی‌کند. آنها از خود می‌پرسیدند، آیا کشف «باد اتری» امکان‌پذیر است؟ آیا کسی می‌تواند جهتی را که منبع نور حرکت

---

بعداً معلوم شد که سرعت نور در هر جهتی اندازه‌گیری شود، مقدارش همیشه ثابت است. آلبرت اینشتین اظهار داشت که قوانین ترکیب سرعتها در مکانیك کلاسیك، واز آن‌رو قوانین اساسی مکانیك کلاسیك را نمی‌توان درمورد سرعتهای نزدیك به‌سرعت نور به‌کار برد. هندریك لورنتس[1] وسپس اینشتین، روابط مکانیکی جدیدی به‌شکل ساده‌تر و متقاعدکننده‌ای ارائه کردند. برطبق تئوری جدید، که در آن قضایای فوق‌الذکر منظور گردیده، مختصات و تبدیلهای سرعت که به تبدیلهای لورنتس موسومند عبارتند از،

$$x = \frac{x' + vt'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}};$$

1) Hendrik Lorentz

می‌کند، با معلوم بودن سرعت انتشارنور درجهات مختلف، تعیین کند؟

قبلا متذکر شدیم که در مورد تعیین جهت حرکت منبع صوت اشکالی وجود ندارد، و اگـر منبع سریعتر از سرعت صوت در حرکت باشد، به‌سادگی نمی‌توان‌نزدیك شدن آن را شنید. اما نور چطور؟ آیا آنهم ازاین قوانین پیروی می‌کند؟

درسال۱۸۸۱، یکی‌از بزرگترین‌آزمایشگران زمان، فیزیکدان آمریکایی، آلبرت مایکلسون[1] آزمایشی انجام داد که هدفش تعیین تـأثیر حـرکت منبع نور بـر انتشار نور بود. نور بـا سرعت فوق‌العاده زیادی حرکت می‌کند و مایکلسون ناگزیر بود جسمی بیابدکه نسبت به «اتر هادی نور» بـا سرعت کافی حرکت کند.

1) Albert Michelson

---

→

$$t = \frac{t' + \frac{v}{c^2}x'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$y = y'; \quad z = z'$$

$$u = \frac{u' + v}{1 + \frac{u'v}{c^2}}$$

که درآنها $c$ سرعت نور است.

همان‌طورکه ملاحظه می‌شود، گذشت‌زمان دردستگاههای مختلف مقایسه فرق دارد. یعنی زمان برخلاف آنچه تصور

←

زمین که با سرعت ۳۰ کیلومتر در ثانیه به‌دور خورشید می‌گردد، می‌توانست جسم مطلوبی برای این‌منظور باشد. درحقیقت، دقت دستگاه مایکلسون(موسوم به‌تداخلسنج[1]) طوری بود که حتی اگر زمین با سرعت ۲٫۵ کیلومتر درثانیه نسبت به‌اترحرکت می‌کرد، باز می‌شد باآن «باد اتری» را تشخیص داد.

مایکلسون آزمایش خود را چندین بار تکرار کرد، و صحت آن به‌وسیلهٔ سایرین تأییدگشت. نتیجهٔ تمام آزمایشها یکسان بود؛ کشف «باد اتری» ممکن نبود. مفهوم تناقضی این کشف این بود که سرعت نور بستگی به‌سرعت منبع آن ندارد. ولی در این‌صورت، بسیاری ازمسائل شگفت‌انگیز به‌حقیقت می‌پیوندند.

1) interferometer

---

→

می‌شد، یك کمیت مطلق نیست. اگر $c \gg v$ باشد، تبدیلهای لورنتس به‌صورت تبدیلهای کلاسیك گالیله درخواهندآمد.

ملاحظه می‌شود که برطبق فرمول جدیدترکیب سرعتها، مجموع دوسرعت هرگز نمی‌تواند ازسرعت نور تجاوزکند، و این بستگی به‌این ندارد که هریك از سرعتها تا چه حد به سرعت نور نزدیك باشد. مخصوصاً، از روی فرمول دیده می‌شود که اگر $u' = c$ باشد $u = c$ خواهد بود که مستقل از $v$ است. بنابراین قانون ترکیب سرعتها اصل ثبات نور را در هـر دستگاه مقایسهٔ اینرسی مسلم می‌داند. سرعت نور ماکزیمم سرعت ممکن در طبیعت شناخته شده است.

بعضی از نتایج جالب توجه را می‌توان از تبدیلهای لورنتس به‌دست آورد. و ما دراینجا به‌ذکر دو تا از آنها می‌پردازیم.

فرض کنید که بامبدأ دستگاه‌مختصات $O'$ درحرکت باشیم.

←

فرض کنید که قطاری با سرعت ۲۴۰،۰۰۰ کیلومتر درثانیه از ایستگاهی بگذرد. بازهم فرض کنید که طول این قطار متناسب با سرعتش و برابر ۳۰۰،۰۰۰ کیلومتر باشد. چنین قطاری که فیزیکدان معروف روسی، لف لانداآن را قطار اینشتین نامیده است می‌تواند جهان را چندین بار دور بزند، و به‌خوبی مناسب مقصود ما می‌باشد. حال تصور کنید که قطار به ایستگاه نزدیك می‌شود، و رئیس ایستگاه روی سکویی ایستاده؛ در این موقع چراغی که بالای دیوارهٔ جلویی واگن اول قرار دارد روشن می‌شود. پی می‌بریم که اثر این عمل ساده ازنظر مسافران و رئیس ایستگاه باهم تفاوت دارند. مسافران می‌بینند که دیوارهٔ عقبی واگن آخر دقیقاً پس ازیك ثانیه روشن می‌گردد. رئیس ایستگاه می‌بیند که دیوارهٔ عقبی واگن به‌پرتو نورانی نزدیك می‌شود. با یك محاسبهٔ ساده

---

→

این دستگاه نسبت به‌دستگاه مختصات $O$، که به‌زمین چسبیده، با سرعت $v$ حرکت می‌کند. ما با ساعت خود زمان $t'$ را اندازه می‌گیریم، و زمان در دستگاه $O$، در روی زمین، $t$ اندازه‌گیری می‌شود. از آنجاکه $x' = 0$ است، رابطهٔ بین دو زمان به‌صورت زیر درمی‌آید:

$$t' = t\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

مشاهده می‌کنیم که مطابق باساعت ما زمان کمتری در مقایسه با ساعت زمینی گذشته است (پارادوکس زمان). حال طول میله‌ای راکه درامتداد محور $x$ دستگاه $O$ به حال سکون قرار گرفته اندازه می‌گیریم. در دستگاه پریم‌دار، مختصات دوسر میله $x'_1$ و $x'_2$ هستند. بدیهی است که،

می‌تواند بگوید که پرتو نور در مدت متجاوز از نیم ثانیه بر دیواره می‌تابد. با وجود این رئیس ایستگاه و مسافران هر دو حق دارند.

نتیجه اینکه، از نظر رئیس ایستگاه، زمان در داخل قطار کند-تر از روی سکو می‌گذرد. اگر قطار اینشتین با همین سرعت در گیتی به راه خود ادامه دهد، و دوباره ازسکوی ایستگاه عبور کند، مسافرانی که ساعتهای خویش را با ساعت ایستگاه مقایسه می‌کنند با تعجب در می‌یابند که گذشت زمان در قطار متحرك کمتر ازگذشت زمان در ایستگاه ساکن است. این بیان که «گذشت زمان در قطار متحرك کمتر ازگذشت زمان درایستگاه ساکن است» باید به‌این ترتیب تفهیم شود که عقربه‌های ساعت‌قطار بامقایسه با عقربه‌های ساعت‌ایستگاه، درزمانهای کمتری صفحهٔ‌ساعت را دور

---

→

$$x'_2 - x'_1 = (x_2 - x_1)\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

طول میله در دستگاه مقایسهٔ ما عبارت است از:

$$l' = x'_2 - x'_1$$

دردستگاه مقایسهٔ زمینی، طول میله عبارت خواهد بود از:

$$l = x_2 - x_1$$

بنابراین:

$$l' = l\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

و چنین به نظر می‌آید که میله منقبض شده است. اگر با سرعت $v$ در امتداد میله حرکت کنیم یا اگر میله با همان سرعت از مقابل ما بگذرد، به‌نظر می‌رسد که میله به‌نسبت

←

زده‌اند و درنتیجه سن مسافران قطار از سن مردمی که در سکوی ایستگاه ایستاده‌اند کمتر به‌نظر می‌آید.

چرا این پدیده را در زندگی روزمره نمی‌بینیم؟ چرا سواره رفتن به محل‌کار انسان را از کسی که پیاده می‌رود، جوانتر نمی‌سازد؟ علتش این‌است که وابستگی گذشت زمان به‌سرعت حرکت (که به‌انبساط زمان معروف است)، فقط در سرعتهای خیلی زیاد نسبیتی، یعنی سرعتهایی که به‌سرعت نور نزدیک‌هستند، قابل‌ملاحظه است.

مطلب فوق‌الذکر یکی از نتایج خلاصه‌شدهٔ تئوری نسبیت خاص‌اینشتین راتشکیل می‌دهد. اینشتین تئوری خود را به‌صورت کامل درسال ۱۹۰۵ وقتی که فقط ۲۶سال ازعمرش می‌گذشت، به‌اطلاع عموم رساند. امروزه این تئوری از راه آزمایش به‌اثبات

---

→

$\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$ منقبض شده‌است.

به‌کمك یك سلسله ازتبدیلهای لورنتس، می‌توان ثابت کردکه اگرجرم یك جسم ساکن (جرم سکون) برابر $m_0$ باشد، جرم‌جسم درحین‌حرکت ازرابطهٔ زیر به‌دست‌می‌آید:

$$m=\frac{m_0}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$

هرگاه $v$ در مقایسه با $c$ کوچك باشد (یعنی $\frac{v}{c} \ll 1$)

$$mc^2=m_0c^2\left(1+\frac{v^2}{2c^2}\right)=m_0c^2+\frac{m_0v^2}{2}$$

←

رسیده‌است. پرتوهای کیهانی زمین را با جریان پیوسته‌ای از ذرات مختلف بمباران می‌کنند. تصادم آنها با هسته‌های اتمهای موجود در جوّ، منجر به‌پیدایش ذراتی چون مزونها و هیپرونها می‌گردد. این ذرات بسیار ناپایدارند و پس از مدت فوق‌العاده کوتاهی متلاشی شده به‌ذرات بنیادی دیگری تبدیل می‌شوند. با اندازه‌گیری دقیق طول عمر این ذرات معلوم شده‌است که عمرشان کفاف مسافرت به‌نقاط دوردست را نمی‌دهد. باوجود این، برخی از مزونها و هیپرونها به‌سطح زمین می‌رسند. طول عمر آنها از ذراتی که در شرایط آزمایشگاهی دیده شده‌اند درازتر است. دلیلش این است که سرعت آنها به‌سرعت نور می‌رسد. ساعتی که با چنین ذره‌ای حرکت کند، طول عمر آن را درست همان‌طور که باید باشد، نه زیادتر ونه کمتر، نشان می‌دهد. اما درنتیجهٔ انبساط

---

→

دراین‌رابطه کمیت $E_k = \frac{m_0 v^2}{2}$ را انرژی‌جنبشی‌جسم؛ کمیت $E_0 = m_0 c^2$ را انرژی‌سکون وکمیت $E = mc^2$ را مجموع انرژی جسم متحرك می‌نامند. بنابراین:

$$E = \frac{E_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

اینشتین ثابت کرد که انرژی‌جسم‌ساکن معادل $E_0 = m_0 c^2$ است. در واکنشهای هسته‌ای، قسمتی ازجرم $(\Delta m_0)$ مادهٔ واکنش‌کننده، طبق فرمول $\Delta E_0 = \Delta m_0 c^2$ تبدیل به‌انرژی می‌شود. مثلا برای‌اورانیوم $U^{۲۳۵}_{۹۲}$، $\frac{\Delta m_0}{m_0} \approx \frac{۱}{۱۵۰۰}$ است(در

←

زمان، زمان «مخصوص» ذره ازنظر ناظرساکن خیلی کندتر به‌نظر می‌رسد، مثل اینکه زمان بیشتری گذشته و ذره مسافت زیـادی را می‌پیماید.

ماهواره‌هـای زمینی اجسام نسبتـاً سریعی هستند. در حقیقت سرعت آنها ــ درحدود ۸ کیلومتردرثانیه ــ درمقایسه باسرعت‌نور بسیارکم است، و انبساط زمان مقدار ناقابلی است. اما می‌توان آن را اندازه گـرفت. دانشمند شوروی، و. گینسبورگ[1] پیشنهاد می‌کندکه ساعت خیلی دقیقی در مـاهواره‌ای کارگذاشته شود. و اعداد زمانی آن باسرعت دیگری در روی زمین، درمدتی مثلا یك سال مقـایسه شود. اختـلاف پیش بینـی شده معـادل یك صـدم

1) V. Ginsburg

---

→

واکنشهای گرماهسته‌ای $\frac{\Delta m_0}{m_0} \approx \frac{1}{100}$ است) مقدارحرکت جسم

$$M = \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{Ev}{c^2}$$

در یك انرژی مشخص، با سرعت جسم زیاد می‌شود. در صورتی‌که $u = c$ باشد، داریم $M = \frac{E}{c}$ اماجرم‌سکون $m_0$ جسم باید به‌سوی صفرمیل کند. مثلا، فوتونها جرم سکون ندارند.

←

ثانیه، مبین پیروزی جدیدی برای تئوری نسبیت خاص‌خواهد بود.

امروزه نه‌تنها دانشمندان، بلکه مهندسان نیز ازفرمولهای تئوری نسبیت در تأسیساتی که درآنها الکترونها، پروتونها، نوترونها، و سایرذرات‌بنیادی باسرعت زیرسرعت‌نورحرکت می‌کنند، استفاده می‌کنند؛ درغیر این‌صورت پاسخهای‌آنها همه اشتباه خواهدبود. درمورد مطالعهٔ سرعتهای زیاد، مکانیك نیوتنی به‌یپفایدگی تور پروانه‌گیری درگرفتن گلوله است.

به‌این دلیل است که پس از مسافرت به پروکسیما-قنطورس، برادر پیرتر جوانترشده است.

زمان یکی از اسرارآمیزترین مفهومهایی‌است‌که انسان روزانه و مرتباً باآن سروکار دارد. زمان نیز مانند فضا صورتی از وجود ماده است. زمان جدا از ماده وجود ندارد، و گذشت زمان با تغییراتی در ماده اندازه‌گیری می‌شود. اگر ماده حتی به‌صورت حالتها و میدانهای ناشناخته وجود داشته باشد بازهم امکان دارد که شکلهای وجودی‌آن ــ ازنظر درك ما، زمان و مکان ــ متفاوت باشند.

این دانش‌که زمان «مخصوص» یك جسم متحرك وابسته به سرعت جسم است، چند پرسش پیش می‌آورد. هرچه جسم با سرعت تندتری حرکت‌کند جریان زمان‌کندتر است. آیا معنی این سخن‌آن است‌که برای فوتونها، کوآنتومهای نور، که با

---

→

اما حامل انرژیی هستندکه مقدارآن معادل جرم سکون مشخصی است.

سرعت نور حرکت می‌کنند، زمانی وجود ندارد؟ بنابراین نتیجه می‌شود که برطبق ساعتهایشان، مسافتهای بین‌ستاره‌ای و بین‌سیاره‌ای را آناً می‌پیمایند.

دانشمندان به‌قلب اتم نفوذ کرده و ماده را به صورت ذرات بنیادی پاره‌پاره کرده‌اند. آنها به‌کشف‌ساختمان مجزا و کوآنتومی الکترومانیتیك و احتمالاً میدانهای گرانشی توفیق یافته‌اند. برای «کوآنتومی کردن» خود فضا نیز تلاشهایی صورت‌گرفته است. اما زمان چطور؟ آیا چیزی مثل کوآنتوم زمان، که کوچکترین ذرهٔ بخش‌ناپذیر زمان است، وجود دارد؟ و به‌طور کلی، اصل وجوهر و مکانیسم فیزیکی زمان چیست؟

اینها پرسشهایی هستند که دانشمندان باید پاسخی برای یکایکشان بیابند. آنها به‌تازگی فقط پژوهش دربارهٔ ماهیت زمان را آغاز کرده‌اند. یکی ازکوششهای انجام شده در این زمینه، «کوآنتومی کردن» زمان است. فرض کنید که ذرات بنیادی که به‌فاصلهٔ خیلی نزدیکی ازهم قرار دارند، وارد عمل متقابل شوند. اعمال متقابل در زمان محدودی رخ می‌دهند ومدت زمان بین این دونوع عمل متقابل نمی‌تواند صفر باشد، اگرچه می‌تواند بسیار کوچك باشد. کوچکترین فاصلهٔ زمانی بین دوعمل متقابل متوالی رامی‌توان کوآنتوم زمان نام نهاد. بعد ازعمل متقابل، زمان برای آنها «متوقف می‌شود»، زیرا حالتهاشان تا عمل متقابل جدید تغییرنمی‌کند. بنابراین، تغییر حالت ذره مخصوصاً حالت انرژی آن، مبین جریان «زمان» است، که‌ماهیت‌آن کوآنتومی و مجزا است.

بدیهی‌است که کوآنتوم زمان باید بسیارکوچك باشد، و از

$۱۰^{-۲۴}$ ثانیه تجاوز نکند. اما باید به‌خاطر داشت که این‌مطلب، هنوز سرزمین نامکشوف بزرگی است.

# انفجار

## دینامیك گازها

جو، پوشش گازیی که کرهٔ زمین را احاطه کرده، پیوسته در تلاطم است. هرچند هوا را عموماً سیالی نامرئی می‌دانند، متأسفانه از شفافیت کامل به دور است. اگر از خلبانی که ناگزیر است درحین پرواز همواره با چشمانش افق را بنگرد بپرسید، خواهدگفت که ابرها وتوده‌های مه در جو فراوانند، وبه‌نظر می‌رسد که هواپیما درمیان شیر شناور است، چنانکه نوك بالهایش ازکابین خلبان دیده نمی‌شود. اوخواهدگفت که حتی در یك روز صاف و روشن، مه‌آبی‌رنگ رقیقی افق‌را می‌پوشاند به‌طوری که تیزبینترین چشمها قادر به‌نفوذ در آن نیست.

اگر از فیزیکدانی بپرسید، درپاسخ خواهدگفت که جو برای بسیاری از قسمتهای طیف الکترومانیتیك کدر است. فقط نور مرئی، تابش‌فروسرخ وآن دسته از موجهای رادیویی که طول موجهای مشخص دارند می‌توانند ازآن عبور کنند.

اخترشناسان از جملهٔ کسانی هستندکه از وضع شفافیت جو ناراضی‌اند. آنان برای رصدخانه‌های خویش مکانهایی را انتخاب می‌کنند که هوا بویژه رقیق وآسمان صاف باشد.دستگاه‌های بصری مورد لزوم را تا قلهٔ کوهها بالا می‌برند، به‌این منظور

که از قشر هوای بین عدسی چشمی و فضای خارج تا حد امکان کاسته شود. به‌علاوه تیرگی چو پدیده‌های جالب توجه‌گوناگونی به‌وجود می‌آورد که کاملا نامرئی‌اند. لـرزش هوا در اثر گرمـا، سیاره‌هایی را که باتلسکوپ رصد می‌شوند ازشکل حقیقی خارج می‌سازد. و این درست در همـان شبی روی می‌دهد کـه سیاره‌ای پس از ده سال یـا بیشتر به‌نزدیکتریـن فاصله از زمین می‌رسد. کارشناسان علمی به‌نقاط دور افتادهٔ کرهٔ زمین سفرمی‌کنند تاگرفت خورشید را رصدکنند، اما با دست خالی باز می‌گـردند، بدون اینکه حتی یك عکس ساده گـرفته باشند، زیرا یك ابر تصادفی کوششهای چند ماههٔ آنها را نقش برآب می‌سازد.

نه‌تنها جو زمین سد راه اخترشناسان است، بلکه ابرهای عظیم گاز و غبـاری کـه مناطق وسیعی از راه شیری را تیره کرده‌انـد مشکلات فراوانی به‌وجود آورده‌اند. مرکز راه شیری، که خوشهٔ فشرده‌ای از ستارگان را تشکیل مـی‌دهد، به‌علت پنهان بودن در پشت این ابر نمی‌تواند دیده شود. فقط به‌کمك تابش‌فروسرخ، که‌قدرت نفوذآن به‌مراتب زیادتر ازپرتوهای طیف مرئی است، اخترشناسان توانسته‌اند ازهستهٔ درخشان کهکشان که کشش گرانشی آن برحرکتِ میلیونها ستاره، از جمله خورشید، حکومت می‌کند عکسبرداری کنند.

ابرهـای غولپیکر گاز و غبـار از نظر اکتشاف و پـژوهش موضوعات جالب تـوجهی هستند. دانشمندان علاقه‌مندند کـه از ترکیب، انـدازه، و چگالـی این ابرها آگاهـی یابند، و نیز از میدانهای گرانشی و الکترومانیتیك کـه تولید می‌کنند و حرکات متعارفی و دوجانبه‌شان اطلاعاتی کسب کنند. از روی حرکت مادهٔ

بین ستاره‌ای می‌توان پی به‌نیروهایی برد که این حرکت را پدید می‌آورند، و این‌خود کلیدی است برای شناخت ترکیب و بنای عمومی گیتی، و بسیاری از شگفتیهای دیگر که مجهول مانده‌اند.

حرکت سیال را مـی‌شود یکنـواخت یا نایکنواخت دانست. فـرض کنید پـژوهنده‌ای جریـان گازی را در لولهٔ اصلی مورد مطالعه قرار می‌دهد. دمـا، سرعت، وفشارگاز را درنقاط مختلف مسیر جریـان انـدازه می‌گیرد، و هـر ده دقیقه‌ای یك بـار این عملیـات را از نو انجام مـی‌دهـد. سپس پـی می‌بردکـه نتایج اندازه‌گیری برای تمام دستگاهها یکسان‌است، یعنی پارامترهای جریان‌بازمان تغییر نمی‌کنند. این‌موردراجریان‌یکنواخت[1] می‌نامند.

1) steady flow

---

**به‌زبان ریاضی**

**معادلهٔ ریمان**

درموردجریان‌نایکنواخت (یعنی جریانی‌که بستگی به زمان دارد) رابطهٔ بین سرعت، چگالـی، و فشار سیال از معادلهٔ ریمان[1] به‌دست می‌آید:

$$u=\pm\frac{۲}{k-۱}\sqrt{\frac{kp}{\rho}}+\text{const}=\pm\frac{۲}{k-۱}a+\text{const}$$

که درآن $a$ سرعت صوت، $\rho$ چگالـی‌سیال، $p$ فشار و $k$ ضریب تناسب است.

درموردسیالی‌که‌ازطرفی‌خارج می‌شود، علامت‌منفی وارد عمل می‌شود، زیرا فشارکاهش می‌یابد وسرعت افزوده می‌گردد؛ بنابراین:

$$u=\frac{۲}{k-۱}(a_{۰}-a)$$

←

اگر پژوهنده به‌آزمایشهای خود ادامه دهـد درخواهد یافت که سرعت جریان هنگام شب اندکی کمتر از روزاست، همچنین سیال در زمستان سردتر ازتابستان است. ازآنجاکه این تغییرات تناوبی هستند حرکت را شبه یکنواخت[1] می‌نامند.

درموقع‌مطالعهٔ حرکت‌گازها درآتش توپ یا انفجارنارنجك درمی‌یابیم که فشار، دما، سرعت، وجهت‌گازهای متحرك مرتباً تغییر می‌کنند، این حرکت نمونه‌ای ازجریـان نایکنواخت یا متلاطم است‌که در ابرهای‌گاز وغبارکیهانی دیده می‌شود.

در طی مسافرت خود درگیتی، دانستیم کـه بیشتر مادهٔ متشکلهٔ آن به‌حالت پلاسماست. جرم خورشید «پلاسمایی» ما ۷۵۰برابر جرم همهٔ سیاره‌هایی‌است کـه به دورش می‌گردند. در راه شیری درصد پلاسما از این حد بیشتر است، زیرا علاوه بر ستارگانی

1) quasisteady

---

→ که درآن $a_0$ سرعت صوت در سیال ساکن است.

درموردجریان‌یکنواختی‌ازگاز در خلاء که‌درآن $a = 0$ است، سرعت حد جریان‌گاز از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید:

$$\bar{u}_{lim} = \sqrt{\frac{2}{k-1}}\, a_0$$

درموردجریان‌نایکنواخت، سرعت‌گازعبارت است‌از:

$$u_{lim} = \frac{2}{k-1}\, a_0$$

ونسبت سرعتها به‌قرار زیراست:

$$\frac{u_{lim}}{\bar{u}_{lim}} = \sqrt{\frac{2}{k-1}}$$

برای هوا $k = \frac{7}{5}$ است و رابطهٔ فوق چنین خواهد شد:

که قسمت اعظم کهکشان را تشکیل می‌دهند، سحابیهای گازی بین کهکشانی ومحیط بینهایت رقیق بین ستاره‌ای نیز از پلاسما به‌وجودآمده‌اند. درحقیقت، حالت جامد و به‌ویژه حالت مایع ماده، به‌ندرت درمقیاس کهکشانی یافت می‌شوند. مادهٔ جامدگذشته از سیاره‌ها، سردنباله‌داران و شهاب‌واره‌ها، در سحابیهای بسیار تیره‌ای که ازتجمع غبارکیهانی هستی یافته‌اند، نیز دیده می‌شود. و بالاخره ممکن است ستارگان سردی هم وجود داشته باشند که در درون پوستهٔ سختی جای گرفته‌اند، هرچند تاکنون درمورد این قبیل اختران مشاهدات مستقیم صورت نگرفته است. خلاصه، مادهٔ جامد به‌زحمت می‌تواند یك‌دهم جرم کهکشان به‌حساب آید، و احتمال دارد که مادهٔ مایع حتی کمتر از یك میلیونیم جرم کلی کهکشان باشد.

---

→

$$\frac{u_{lim}}{\bar{u}_{lim}} = \sqrt{۵} \approx ۲٫۲۵$$

بنابراین نتیجه می‌شود که سرعت حدگاز در جریان نایکنواختی که تشکیل موج رقیقی می‌دهد، درصورتی که افت فشار زیاد باشد، زیادتر از وقتی است که جریان یکنواختی با همان افت فشار برقرار باشد. اما این حالت فقط در جلو جریان نایکنواخت وجود دارد و در عقت، سرعت کمتراز $\bar{u}_{lim}$ است.

هرگاه گازی به‌وسیلهٔ پیستونی که‌سرعتش تدریجاً تغییرمی‌کند فشرده شود، ازآنجاکه فشار باسرعت افزایش می‌یابد خواهیم داشت:

$$u = \frac{۲}{k-۱}(a - a_۰)$$

ازاین رابطه نتیجه می‌شود که، ←

گازهای کیهانی مانند هـر پدیدهٔ دیگر گیتی، حرکت دائمی دارند. به‌استثنای چند مورد، مانند دم دنباله‌داران، حرکت نسبتاً یکنواخت است. در سایـر موارد، مثل انفجار ستاره‌ای «نـو» گازهای خروجی دارای ماهیت انفجاری هستند. این مطلب ما را از مرزهـای اخترشناسی به‌سوی مبحث دینـامیك گازها رهنمون می‌سازد، یعنی علمی که دربارهٔ قوانین حرکت سیالات تراکم‌پذیر گفتگو می‌کند. باید به‌خاطـر داشت که کلمهٔ سیال به‌پلاسماهـا، گازها و مایعات اطلاق می‌گردد، و درحالتی که فشار به‌حدکافـی زیاد باشد حتی‌جامدات را نیزشامل می‌شود(همانطورکه‌قبلا ذکر شد، درفشارهای‌بالا،جامدات‌مانند مایعات عمل‌می‌کنند). دینامیك گازها بخشی از علـم فیزیك است کـه پیشرفت روزافزون دارد. قوانین و نتایج‌آن نـه‌تنها در تئوری «محض» بلکه در زمینه‌های

---

→

$$a = a_0 + \frac{k-1}{2} u$$

وفشارگاز عبارت خواهد بود از،

$$p = p_0 \left(\frac{a}{a_0}\right)^{\frac{2k}{k-1}} = \left(1 + \frac{k-1}{2} \frac{u}{a_0}\right)^{\frac{2k}{k-1}}$$

درهنگام انبساط حجمی کروی ازگازدرخلاء،سرعت انبساط عبارت است از،

$$u_{lim} = \frac{2}{k-1} a_0$$

هرگاه شعاع کره به۱۰ تا ۱۵ برابرشعاع اولیه‌افزایش پیداکند، سرعت گاز بـا معادلهٔ زیـر نمایش داده خواهد شد،

عملی مانند مهندسی هسته‌ای و موشك سازی کاربرد فراوان یافته‌اند. جای بسی تأسف است که اخترشناسان به‌بسیاری از نتایج نظری دینامیك گازها وقعی نمی‌نهند. متجاوز از یك قرن از زمان تحقیقات کلاسیك کانت[1] و لاپلاس[2] در زمینهٔ کیهان‌شناسی منظومهٔ شمسی سپری شده است. فرضیه‌های آنها بر پایهٔ روشهای دینامیك گازها قرار داشت؛ اما ازآن‌پس، اخترشناسان تماماً این‌علم‌را از یاد بردند. فقط در چند سال اخیر، آتش اشتیاق به‌این علم در وجود برخی از دانشمندان زبانه‌کشیده است.

دینامیك گازی فضای خارج با دینامیك گازی «زمینی» تفاوت زیادی دارد، و مبحث بینهایت پیچیده‌تری است. اما پیچیدگی موضوع را نمی‌توان فقط به‌علت وجود مقیاس بزرگتر دانست. بیشتر مادهٔ گیتی به‌حالت پلاسماست. حرکت ماده زیر تأثیر نیروهایی قرار می‌گیرد که درددون پلاسما تولید می‌شوند؛ وعمل میدانهای‌گرانشی و الکترومانیتیك در حرکت‌آن بی‌تأثیر نیستند. در سرعتهای نزدیك به‌سرعت نور، جرم ماده با جریان زمان تغییر می‌کند. بدیهی است که دینامیك گازهای کیهانی هنوز سرزمین

1) Kant 2) Laplace

---

→

$$u = \frac{r}{t}$$

که درآن $r$ فاصله از مرکز، و $t$ فاصلهٔ زمانی بین‌آغاز و انجام فرارونده است. در هر زمان معین، سرعت هر ذرهٔ گاز بافاصله‌اش ازمرکزانفجار نسبت مستقیم دارد. چگالی گاز درمرکزانفجار حداکثراست، وهرچه به‌طرف پیرامون برود از مقدارش کاسته می‌گردد.

نامکشوفی است، و ما اکنون به‌بررسی پاره‌ای ازنتایج و نظریه‌ها یی که جدیداً پیدا شده‌اند، می‌پردازیم.

## جریان گاز در خلاء

احتمال ظهور آبَرنواختر بسیار اندك است. و در تمامی راه شیری این اتفاق به‌طور متوسط هر دویست یا سیصد سال یك بار حادث می‌گردد. بنابراین بی‌جهت نیست که وقتی اخترشناسان می‌بینند لکهٔ روشن ریزی روی صفحات عکاسی پیدا شده که روزانه با سرعت کسری از میلیمتر بزرگ می‌شود، این همه به‌هیجان می‌آیند. با استفاده از سایر روشهای تحقیقی نیز می‌توان اطلاعاتی دربارهٔ حادثهٔ ناگهانی که برای این ستارهٔ دور دست پیش‌آمده فراهم آورد. طیفنماها، طیف تقریباً پیوسته‌ای رانشان می‌دهند که نوارهای پهن و درخشانی درآن به‌چشم می‌خورند. همهٔ این نوارها را نمی‌توان به خطوط طیفی عناصر شیمیایی معلوم نسبت داد. رادیوتلسکوپها منبع نیرومند جدیدی از علائم رادیویی را فاش می‌سازند که ممکن است حتی خورشید را «تحت‌الشعاع» قرار دهد.

اصطلاح «آبَرنواختر» به این معنی نیست که این‌ستاره واقعاً «فوق نو» است. پیش از مشتعل شدن، ستاره‌ای کوچك و بی‌اهمیت بوده که برای تعیین فراوانی نسبی عناصر شیمیایی‌اش حتی از مطالعات طیف‌شناسی چشم‌پوشی شده است. اکنون با انفجار خود، مقادیر زیادی پلاسما را با سرعت ۵،۰۰۰ تا ۱۰،۰۰۰ کیلومتر درثانیه به‌فضای خارج پرتاب کرده است. این حرکت سریع می‌تواند علت پهن شدن خطوط طیفی را توجیه

کند. حرکت واقعی ابـر پلاسما، تند و متلاطم است و از فاصلهٔ زمین نمی‌شود آن را دید.

علائم رادیویی نیرومندی که از ابرنواختر می‌رسند، هرگـز نمی‌توانند فریادهای کمك ازسوی موجودات هوشمندی باشند که در یکی از سیاره‌های آن سکنی گـزیده‌اند. زیرا خیلی پیشتر از این، به‌تمام ایـن بحثهـا خاتمه داده شده است. این علائـم از الکترونهایی صادر می‌شوند کـه باسرعتی نزدیك به‌سرعت نور در حـرکتند و به‌وسیلهٔ میدان الکترومـانیتیك از سرعتشان کاسته می‌گردد.

هفته‌ها خواهندگذشت، تابندگی ستاره به‌تدریج کم می‌شود و به‌موقع خود به‌ستارهٔ کوچك و پیری کـه قبلا بوده مبدل خواهد شد؛ با این تفاوت که اطراف آن را سحابیی که ازمصنوعات خود ستاره است فرا می‌گیرد. در پیرامون نواختران و ابرنواختران، سحابیهایی ازایـن قبیل دیده شده‌اند. یکی از مشهورتـرین آنها سحابی خرچنگ[1] نام دارد، که بقایای انفجار ابـرنواختر سال ۱۰۵۴ محسوب می‌شود. وقـوع این انفجار توسط اخترشناسان معاصر چینی ثبت شده است، وبا محاسبهٔ ساده‌ای، مبتنی براین که سحابی با سرعت معینی گسترش می‌یابد، می‌توان پی به‌زمانی برد که سحابی درنقطه‌ای متراکم بوده است.

انفجار، یك طغیان یـا فوران ناگهانی است کـه در نتیجهٔ آن مقادیر عظیمی انرژی انتشار می‌یابد. بنابراین، در انفجاری که بر اثرآن سحابی‌خرچنگ به‌وجودآمد، $۱۰^{۴۹}$ ارگ انرژی آزادگردید.

1) Crab Nebula

انفجار نواختر، آذرخش، یا احتراق آنی دینامیت در فشنگ، همه از انواع مختلف انفجارها هستند. اما قبل از اینکه بحث دربارهٔ قوانین حرکت گازها و پلاسما را در پدیدهٔ انفجار آغاز کنیم، ابتدا از یك مطلب مقدماتی سخن خواهیم گفت.

گاز، سیال قابل تراکمی است. برای اثبات این مطلب می‌توان از یك تلمبهٔ معمولی، که برای بادکردن لاستیك دوچرخه به‌کار می‌رود، استفاده کرد. در بعضی موارد، تغییرات چگالی گاز خیلی ناچیز است، و ازقابلیت تراکم آن چشم می‌پوشند. بنابراین، درموقع محاسبهٔ بال هواپیمای زیرصوتی[1] مهندسان قابلیت تراکم هوا را در محاسبات دخالت نمی‌دهند. و فرض می‌کنند که هوا یك سیال غیرقابل تراکم است. اختلاف ناشی‌ازمحاسبه باحرکت حقیقی هواپیما مقدار قابل اغماضی‌است. این‌مورد، حالتی ازجریان یکنواخت هوا می‌باشد.

اگر انتشار صوت را مورد مطالعه قرار دهیم، الزاماً باید تغییراتی‌راکه درفشار وچگالی هوا به‌وجود می‌آیند بررسی کنیم؛ و در این حالت نمی‌توان هوا را سیال غیرقابل تراکمی دانست. به‌طورکلی درمواردی‌که سرعت گاز از سرعت صوت تجاوز می‌کند، باید قابلیت تراکم هوا را حتی اگرجریان‌آن یکنواخت هم باشد به‌حساب‌آورد.

حالت ساده‌ای ازجریان نایکنواخت گازی را در زیر تصور کنید. لولهٔ مسدودی به‌دوقسمت تقسیم شده‌است، یك‌قسمت شامل گاز تحت فشار و قسمت دیگرخلاء است. اگر دیوارهٔ فاصل را

1) subsonic

به‌طور ناگهانی برداریم، حالتی شبیه انفجار رخ می‌دهد. ذراتی که در مجاورت دیواره هستند، به‌وسیلهٔ ذراتی کـه در عقب قرار گرفته‌اند، با فشار به‌درون قسمت خلاء لولـه رانده می‌شونـد و ظاهراً فشار افت پیدا می‌کند. موج حاصل از این افت فشار (با پراکندگی ذراتی کـه به‌دنبال دارد) با سرعت صوت به ذراتی منتقل می‌شود که‌هنوز پراکنده‌نشده‌اند. همینکه موج به‌قشر تازه‌ای از ذرات برسد، آنها را با فشاری رو به‌رو می‌کند که به‌مراتب از فشاری که ذرات دارند زیادتـراست؛ وآنها هم شروع به‌پراکنده شدن می‌کنند. اما چون اختلاف فشار بین ذرات جلو وعقب دائماً کاهش می‌یابد بنابراین ازسرعت قشرهای متوالی ذرات پراکنده مرتباً کاسته می‌شود. هنگامی که نخستین قشرشروع به‌پراکنده‌شدن کند فشار درجلوآن صفراست، و ذراتش‌درمعرض فشاریکطرفه‌ای که معادل با فشار ابتدایی است قرار خواهند گرفت. برای هر قشر متوالی، فشار در عقب‌آن ثابت است، امـا در جلو جرم گاز پیوسته زیاد می‌شود. گـاز بر اثـر اختلاف فشار شتاب می‌گیرد، اما چون مقدار این فشار ازفشار اولیه‌کمتراست از میزان سرعت کاسته می‌گردد.

وقتی‌که موج از اولین قشرگازی در حال انبساط به عقب برگردد وازمیان قشرهای‌گازی متوالی‌عبورکند، به‌دیوارهٔ انتهایی لوله می‌رسد و پس از بـرخورد با آن منعکس می‌شود، و دوباره به طرف موج اصلی‌باز می‌گـردد. بدیهی است‌که گاز به‌انبساط خود ادامه می‌دهد، اما نوع حرکت‌آن تغییر خواهدکـرد. پیش از اینکـه مـوج منعکس شود، از درون گـازی عبور می‌کردکـه انبساط نمی‌یافت، اما اکنون ازگاز متحرکی عبور مـی‌کند. باید

توجه داشت با اینکه در موج اولیه، فشار از جبههٔ موج تا لبهٔ انبساط شدیداً افت می‌کند، اما درموج منعکس شده، فشارتقریباً برای تمام حجم‌گاز یکنواخت است،گرچه با زمان به‌سرعت رو به‌کاهش می‌رود.

انرژی پتانسیل ذرات گاز پیش از انبساط، برای تمام حجم گاز دارای مقدار ثابتی‌است. پس ازانبساط، بیشترانرژی پتانسیل تبدیل به‌انرژی جنبشی می‌شود، و فشار به‌طور محسوسی پایین می‌افتد. اما قسمتهای مختلف گاز دارای انرژی جنبشی متفاوت هستند. مقدار این انرژی درجبههٔ انفجار به اوج خود می‌رسد، و در ذرات مجاور دیواره حداقل مقدار (صفر) را داراست. برای نتیجه‌گیری از استدلال فوق، مبنی براینکه سرعت ذرات جلو زیادتر از سرعت متوسط است، احتیاجی به‌محاسبه نیست، زیرا از روی اصل سادهٔ پایندگی انرژی می‌توان پی به‌این نتیجه برد. وضعی مشابه این‌حالت، هنگام رجعت فنرفشرده‌ای که یك سرش ثابت است دیده می‌شود. انرژی انتهای ثابت فنر صفر است، در حالی‌که انرژی انتهای‌آزادآن از انرژی متوسط زیادتر است. مقایسهٔ دیگر را می‌توان هنگام «بیرون جستن» مسافران از یك قطار شلوغ زیرزمینی مشاهده کرد. مسافران داخل واگن مانند مولکولهای گاز به‌یکدیگر فشار می‌آوردند. اما همینکه قطار به ایستگاه رسید و درهای کشویی خودکار باز شدند، آنهایی که کنار درها ایستاده‌اند غفلتاً به‌بیرون پرتاب می‌شوند، اما آنهایی که عقبتر هستند در مقابل در خروجی اجتماع می‌کنند، و در نتیجه سرعت جریان، همان‌طورکه در مورد گاز صادق است، کاهش می‌یابد.

اکنون حرکت گاز را در لوله‌ای مورد مطالعه قرار می‌دهیم، اما این بار به‌جای اینکه گاز درخلاء جاری شود، درمحیطی جریان می‌یابد که ازگاز کم فشاری پر شده است. به طوری که از تئوری و تجربه برمی‌آید، گاز جاری در این‌حالت منبسط می‌شود، و از فشارش کاسته می‌گردد. فشار گازی که مورد هجوم واقع شده آن‌قدر بالا می‌رود تا سرانجام هردو قسمت به‌حال تعادل درآیند. دراین حالت، در لحظهٔ آغاز انبساط گاز، یك موج ضربه‌ای تولید می‌شود. این پدیده درجای خود جالب است وپیش ازآنکه ساز و کار انفجار را بشناسیم، ابتدا به‌بررسی آن می‌پردازیم.

## موجهای ضربه‌ای

موجهای ضربه‌ای را می‌توان در انواع مختلف پدیده‌های طبیعی مشاهده کرد. متأسفانه، به‌کاربندی‌آنها در زمینهٔ نیازهای انسانی، بیشتر به‌مقاصد نظامی اختصاص دارد. آذرخش، غرش رعدبه‌همراه دارد که‌انتشار موج ضربه‌ای در هواست. در حقیقت، پرتاب گلوله یا حرکت هواپیمای مافوق صوت، یا هر حرکت دیگری که با سرعتی تندتر از سرعت صوت در گاز انجام شود، تولید موج ضربه‌ای می‌کند، که موج‌پرتابیك[1] (بالیستیك)، یاموج انفجاری‌نامیده می‌شود؛ و درمورد پروازهواپیمای مافوق صوت، به‌غرش صوتی نیزموسوم است.

هنگام انفجار نارنجك یا بمب، موج انفجار در تمام جهات

۱) مربوط به‌علم توپ اندازی، مربوط به‌علم حرکت اجسامی که درهوا پرتاب می‌شوند.ـــم.

منتشر می‌شود. موجهای شدیـد انفجاری در موقع انفجار بمبهای اتمی یاهیدروژنی تولید می‌شوند. اما عظیمترین‌موجهای‌ضربه‌ای در انفجار نواختران یا ابرنواختران دیده شده‌اند، کـه از سهمناکترین جلوه‌های طبیعت به‌شمار می‌روند.

هرچند پدیده‌های انفجاری، صرف‌نظر از تندر، قرنها بر بشر شناخته شده بوده‌اند، از زمـان کشف موجهای ضربـه‌ای و پژوهش آنها به‌عنوان پدیده‌ای فیزیکی بیش از یك‌صد سال نمی‌گـذرد. وجود موجهای ضربـه‌ای نخستین بار به‌طور نظری در اواخر نیمهٔ اول سدهٔ نوزدهم، توسط بـرنهارد ریمان[1] ریاضیدان نامورآلمانی پیش‌بینی شد. می‌توان گفت کـه موجهای ضربه‌ای، مانند سیاره‌های نپتون و پلوتون، «در روی کاغذ» کشف شدند، و به‌انحصار علم درآمدند.

در سال ۱۸۷۰، دانشمند انگلیسی سمیوئـل ارنشاو[2] پس از یك سلسله استدلالهای متفاوت، به‌نتایج مشابهی دست یـافت. در اواخرسال ۱۸۸۰، دانشمندفرانسوی اوگونیو[3] درراه‌مطالعهٔ‌موجهای ضربه‌ای و تعبیر فیزیکی آنها خدمـات شایانی انجام داد. مقارن این احوال، ارنست ماخ[4] فیزیکدان و فیلسوف اتریشی، بـرای اولین بار موفق شد موجهای ضربه‌ای را با افزارهای آزمـایشی تولید کند. اما دانشمندان مدتهای زیـاد فقط درپاره‌ای از اوقات به‌موجهای ضربه‌ای توجه نشان می‌دادند، چه ازنظر آنها موجهای ضربه‌ای کاربرد عملی نداشتند.

1) Bernhard Riemann 2) Samuel Earnshaw
3) Hugoniot 4) Ernst Mach

در اواخر سال ۱۹۲۰، این پدیده بـار دیگر از نظر تئوری مورد توجه قرار گرفت؛ زیرا معلوم شد که پیشرفت هوانوردی سرانجام به‌حوزهٔ مافوق صوت راهی می‌شود. پروازگلوله‌هـای توپ، که با سرعتی مافوق سرعت صوت حرکت می‌کردند؛ مورد پژوهشهای دقیق قـرار گـرفت. اما مطالعات جـدی در خصوص موجهای ضربـه‌ای، در دوران جنگ جهانی گذشته آغاز گردیـد. پیشرفت علـم و تکنولوژی، مصرانه طالب این بود کـه دربارهٔ موجهای ضربه‌ای مطالعات جـامعتری از نظر تئوری و آزمایشی به‌عمل آید. امروزه دربسیاری ازکشورها صدها تن از دانشمندان دربارهٔ این پدیده مطالعه مـی‌کنند، و دانش موجهای ضربـه‌ای اکنون بخش وسیعی از فیزیك نـوین را تشکیل داده است. در اتحاد شوروی، تحقیقات اساسی دراین زمینه به‌دست دانشمندانی چون‌لف لاندا[1]، سدوف[2]، زلدوویچ[3] وکومپانیتس[4] انجام گرفته است.

در یك محیط قـابل تراکم، هـر اغتشاشی ازجمله تغییر فشار در یك نقطه، با سرعت صوت انتشار می‌یابد. درحقیقت، سرعت صوت را می‌توان سرعت انتقال اغتشاش درگـاز تعریف کرد. با اینکه موجهای ضربه‌ای می‌توانند درپلاسماها، مایعات، وجامدات تولید شوند، به‌منظور سادگی، فقط دربارهٔ گازهـا صحبت خواهد شد. سرعت صوت درگاز یا پلاسما باتغییرات چگالی آنها نسبت مستقیم دارد؛ ومقدارش درهوا، در صفردرجـهٔ سانتیگراد و ۷۶۰

1) Lev Landau 2) L. I. Sedov
3) Y. B. Zeldovich 4) A. S. Compan eyets

میلیمتر جیوه، معادل ۳۴۰ متر درثانیه است.

سازوکار موج ضربه‌ای به‌این ترتیب است: لولهٔ خیلی بلندی درنظر بگیرید و فرض کنید که پیستونی در یك انتهای آن حرکت می‌کند. پیستون گاز را متراکم می‌کند و درفشار و چگالی آن افزایش موضعی به‌وجود می‌آورد. این اغتشاش با سرعت صوت در طول لوله منتشر می‌شود. اگر سرعت پیستون زیادتر شود، تراکمی اضافی درقسمتهای متراکم شدهٔ قبلی پیش می‌آید. این اغتشاش جدید نیزبا سرعت صوت منتقل می‌گردد اما دراین‌حالت چون از میان‌گاز متراکمتری عبور می‌کند، سرعتش زیادتراست. اگر بازهم بر سرعت پیستون افزوده شود قسمتهایی ازگازکه قبلا دوبار متراکم شده‌بودند مجدداً متراکم می‌گردند. فشار وچگالی تازه بازهم باسرعت صوت حرکت می‌کنند، که مقدارش ازحالت

---

## به‌زبان ریاضی

### موجهای ضربه‌ای

هرگاه گازی به‌وسیلهٔ پیستونی‌متراکم‌شده و سپس پیستون باتکان شدیدی باسرعت $v$ به‌حرکت درآید، موج ضربه‌ای حاصل‌گاز را با سرعت زیر طی خواهدکرد

$$u=\frac{k+1}{4}v+\sqrt{\left(\frac{k+1}{4}v\right)^2+a^2}$$

که درآن $a$ سرعت صوت‌است. (وقتی‌که سرعت پیستون زیاد نیست، و $v \ll a$ نتیجه می‌گیریم‌که جبههٔ موج ضربه‌ای با سرعت صوت، یعنی $a$ منتشر می‌شود.)

فشار وچگالی‌گاز از معادله‌های زیر به‌دست می‌آیند:

$$p=p_0+\rho_0 v^2\left[\frac{k+1}{4}+\sqrt{\left(\frac{k+1}{4}\right)^2+\frac{a^2}{v^2}}\right]$$

←

قبل بیشتراست. به‌این ترتیب، اغتشاشهای متوالی فشار براغتشاش‌های پیشین سبقت می‌گیرند و این وضع همچنان ادامه می‌یابد تا بالاخره درنقطه‌ای ازطول لوله همگی به‌اغتشاش اولیه برسند. بعد ازآن چه خواهد شد؟

در چگالی، فشار، و درنتیجه در دمای گاز جهشی حاصل می‌شود. در انتهای دیگر لوله، گاز چگالی وفشار اولیهٔ خود را دارا است؛ درحالی‌که در پشت این جهش مقادیر زیادتری دارند. این جهش یا ترقی ناگهانی در ناحیهٔ باریکی است که ضخامت آن از کلفتی مسیرهای آزاد یك مولکول تجاوز نمی‌کند. وآن عبارت از فاصله‌ای است که برای مبادلهٔ انرژی مولکولها لازم است، و به‌نام موج‌ضربه‌ای یا جبههٔ تراك[1] خوانده می‌شود. از این رو،

1) detonation

---

→

$$\rho=\rho_{\circ}\frac{(k+1)p+(k-1)p_{\circ}}{(k-1)p+(k+1)p_{\circ}}$$

که درآن $p_{\circ}$ و $\rho_{\circ}$ به ترتیب فشار و چگالی محیط ساکن هستند.

درموردموج‌ضربه‌ای‌قوی، یعنی،وقتی‌که $P\gg P_{\circ}$ باشد، معادلات فوق به‌صورت ساده‌تری درمی‌آیند:

$$u=\frac{k+1}{2}v$$

$$p=\frac{k+1}{2}\rho_{\circ}v^{2}$$

$$\frac{\rho}{\rho_{\circ}}=\frac{k+1}{k-1}$$

←

موج ضربه‌ای در یك گاز بی‌تلاطم و غیر متراکم، خیلی تندتر از سرعت صوت حرکت می‌کند. هرچه سرعت پیستون زیادتر باشد وگازی که در جلو آن است بیشتر متراکم شود، بر سرعت موج ضربه‌ای افزوده می‌گردد. هرچه شتاب پیستون زیادتر باشد، موج ضربه‌ای زودتر تشکیل می‌شود. اگرشیب تغییرات سرعت تند باشد؛ موج ضربه‌ای فوراً به وجود می‌آید.

همچنین اگر جتی ازگاز با مانعی برخوردکند موج ضربه‌ای تشکیل می‌شود و در طول جت به‌عقب بـاز می‌گردد. در این حالت، مانع مانند پیستون عمل می‌کند. ازسرعت حرکت ذرات تصادم کننده کاسته می‌شود تااینکه به‌حالت ایست درمی‌آیند. نیازی نیست که جت گاز باسرعت مافوق صوت درحرکت باشد.

سرعت موج ضربه‌ای، مانند سرعت انتشار اغتشاش، نباید با سرعت جریان گاز اشتباه شود. همینکه موج ضربه‌ای ازگازی عبور

---

→

و دما عبارت خواهد بود از،

$$T = T_{\circ}\frac{k-1}{k+1}\frac{p}{p_{\circ}}$$

که در آن $T_{\circ}$ دمای اولیه است.

برای هوا داریم،

$$u = \frac{6}{5}v;\quad p = \frac{6}{5}\rho_{\circ}v^{2}$$

$$\frac{\rho}{\rho_{\circ}} = 6;\quad \frac{T}{T_{\circ}} = \frac{p}{6p_{\circ}}$$

بـاید توجه داشت که چگالی گاز در جبههٔ موج ضربه‌ای قوی، ثابت‌است، و دما متناسب بافشار افزایش‌می‌یابد، یعنی نمو دما به‌مراتب تندتر ازوقتی‌است که‌تراکم کندتر باشد. چون

←

می‌کند، فشار، چگالی و دمای گاز را بالا می‌برد. گرمای ناشی از موج ضربه‌ای خیلی زیادتر از گرمای حاصل از تراکم عادی است.

اکنون از لوله چشم می‌پوشیم و فرض می‌کنیم که پیستون با سرعت نسبتاً زیادی در هوا در حرکت باشد. هوا فقط به‌وسیلهٔ پیستون جریان می‌یابد و تراکم حاصل در تمام جهات منتشر می‌شود، بدون اینکه موج ضربه‌ای تولید شود. اما وقتی که «پیستون» سرعت صوت پیدا کند (و به‌گلولهٔ توپی مبدل شود) وضع به‌طور محسوسی تغییر می‌کند. اغتشاش فشار، که با سرعت صوت در حرکت است، به‌هیچ وجه نمی‌تواند بر گلوله‌ای که سرعت مافوق صوت دارد پیشی جوید. ترقی ناگهانی فشار درجلو گلوله ظاهر می‌شود که به‌وسیلهٔ موج ضربه‌ای از گاز نامغشوش جدا می‌گردد. برخلاف حالت قبل که جبههٔ موج ضربه‌ای درون لوله عمود بر

---

→

$$\frac{T}{T_0}=\left(\frac{p}{p_0}\right)^{\frac{k-1}{k}}$$

برای هوا داریم،

$$\frac{T}{T_0}=\left(\frac{p}{p_0}\right)^{\frac{2}{7}}$$

مثلا اگر $T_0=300^\circ k$ و $p_0=1$ آتمسفر مطلق باشد. دراین صورت درتراکم $P=100$ آتمسفر خواهیم داشت، درحالت اول

$$T=\frac{300\times 100}{6}=5{,}000^\circ k$$

درحالت دوم، ←

جهت حرکت بود، دراینجا باگلوله زاویه‌ای می‌سازد. دوربینهای عکاسی خیلی سریع می‌توانند ازحرکت گلوله در هوا عکسهای بسیار زیبایی بردارند، و دراین عکسها می‌شود موجهای ضربه‌ای را دیدکـه از نوك گلوله به صورت مخروطی انبساط می‌یابند. چنین تصویری در پرواز هواپیمای مافوق صوت نمودار می‌شود. ناظری که در روی زمین است، اول غرش صوتی راکه به وسیلهٔ موج ضربه‌ای حاصل می‌شود می‌شنود، و بعد صدای موتور بـه گوشش می‌رسد.

رفتار موجهای ضربـه‌ای مسطح، مخروطی، استوانه‌ای، یـا کروی مطابق قوانین‌فیزیکی واحدی می‌باشد. از ویژگیهای اصلی آنها افزایش ناگهانی فشار و دماست، کـه ممکن است حتی بـه صدها و هزاران مرتبه بالغ گردد. درآزمایشگاهها، از موجهای ضربه‌ای برای تولید دماهای خیلی زیاد استفاده می‌شود. دستگاه مناسب برای این‌کارلولهٔ فولادین مستطیل شکل یاگردی است‌که ۱۰ سانتیمتر ضخامت و چندین متر طول دارد. در ایـن دستگاه، دیافراگمی به‌کار رفته‌که قسمت فشارقوی‌را ازقسمت فشارضعیف جـدا می‌کند. فشار در قسمت فشار قوی، درحدود ۱۰۰ آتمسفر است درحالی‌کـه درقسمت فشار ضعیف معمولا به‌چند صدم یـا

---

→

$$T = ۳۰۰ \times ۱۰۰^{\frac{۲}{۷}} = ۱،۱۰۰^{\circ}\mathrm{k}$$

و چنانکه دیـده می‌شود، میزان دما تقریباً ۵ برابر کمتر است.

در تصادم‌فشاری، بیشتر انرژی‌به‌شکل گرما تلف‌می‌شود و در افزایش چگالی‌گاز دخالتی ندارد.

حتی چند هزارم آتمسفر می‌رسد. وقتی که دیافراگم پاره می‌شود، گاز فشار قوی به‌سوی قسمت فشار ضعیف یورش می‌برد و مانند پیستونی گاز آن محل‌را متراکم می‌سازد. اغتشاش فشاری آناً مبدل به‌موج ضربه‌ای می‌شود، که در طول محفظهٔ فشار ضعیف انتقال می‌یابد. گازعمل کنندهٔ فشار قوی معمولاً هیدروژن است، که گرم نمی‌شود و فقط مانند پیستونی کار می‌کند. محفظهٔ فشار ضعیف از گاز سنگینی مثل کریپتون پرشده که موج ضربه‌ای از آن عبور می‌کند. درنقطه‌ای که موجهای ضربه‌ای مستقیم و منعکس شده با هم تلاقی می‌کنند، دما به ۲۵،۰۰۰ درجه می‌رسد.

هنگام انفجار بمب اتمی، دماهای خیلی زیادتری به‌دست می‌آیند، و حتی در انفجار بمب هیدروژنی میزان دما بیشتر است. در مرحلهٔ اول، که جبههٔ تراك حجم کوچکی را دربر دارد، دما در موج ضربه‌ای به‌چند میلیون درجه می‌رسد. اما دماهایی که در موجهای ضربه‌ای‌ناشی ازانفجار ابرنواختران تولید می‌شوند همهٔ این دماها را پشت سر می‌گذارند.

## ستارگان انفجاری

روزی از روزها رصدخانه‌ای، انفجار ابرنواختری را در ناحیهٔ دور دستی از راه شیری گزارش خواهد داد. اگر بتوان از همزمانی رویدادهایی که درچنین مناطق پهناور کیهان رخ می‌دهند سخن گفت، بیشك مردمانی که به هنگام وقوع انفجار آسمان پرستاره را می‌نگریستند، غارنشینانی بودند که پوست حیوانات بر تن داشتند. قرنها و هزاران سال سپری گشت. انسان حیوانات را رام کرد و نحوهٔ کشت و زرع را فراگرفت. فرهنگ را به

وجودآورد و دولتها را برپا ساخت. فلاسفه، از راه تعبیرهای زیرکانهٔ منطقی، به‌نوعی شناخت ساختمان جهان دست یافتند. و هنوز اخترك کم فروغ، محجوبانه در آسمان چشمك می‌زد و کسی به‌آن توجه نداشت. عصر معرفت و آگاهی جهان پیش‌آمد. تلسکوپهای غولپیکر به‌دقت آسمان را زیرنظر گرفتند. طیفنماهای حساس، پرتوهای ضعیف ستاره‌ای را که به‌زمین می‌رسیدند تجزیه کردند، و هنوز کسی به‌این ستارهٔ کوچك توجه نداشت. اکنون که دهها هزار سال از وقوع حادثه می‌گذرد، تلسکوپها با شتاب متوجه ستاره می‌شوند تا تاریخ این واقعهٔ پرهیبت را بررسی کنند. درهنگام انفجار، ستاره تقریباً ۱۰ درصد جرم کلی خود را از دست می‌دهد، و برشدت تابندگی آن صد میلیون مرتبه اضافه می‌گردد. باید دید در اندرون سوزان آن وفضای اطرافش، چه اتفاقی روی می‌دهد.

با اطمینان می‌توان گمان کرد که این انفجار زاییدهٔ واکنشهای هسته‌ای است، و احتمالاً شامل عناصر سبك و سنگین است. ابرنواختر برای مدت یك روز یا بیشتر، نهایت تابندگی خود را حفظ می‌کند. و این مدت زمان تقریباً مساوی نیمه عمر عنصر سنگین کالیفرنیوم[1] است که در ماورای عنصر اورانیوم واقع شده است. آیا می‌توان علت اصلی رویدادهای کیهانی را کالیفرنیوم، یعنی مادهٔ منفجره‌ای دانست که شعلهٔ ابرنواختری را برمی‌افروزد؟ یا که دوتریوم سوخت را فراهم می‌آورد؟ اگر فضای اطراف ستاره را هسته‌های دوتریوم به‌مقدار فراوان گرفته باشند، کشش

1) californium

گرانشی نیرومند ستاره آنها را به‌درون می‌کشد، و انفجار گرما-هسته‌ای حاصل موجب تحولات ناگهانی وعمده‌ای درسطح ستاره می‌گردد. ما فقط می‌توانیم فرضیه‌ای ارائه دهیم که به‌سازوکار انفجار مربوط باشد. نتیجهٔ ممکن وقتی به‌دست می‌آید که فشار-های عظیم و دماهای فوق‌العاده زیادی که به‌دهها میلیون درجه می-رسند بتوانند موجبات انجام واکنشهای گرماهسته‌ای و سایر واکنشها را درمیان ستاره فراهم آورند. بازده عظیم انرژی ایجاد موج ضربه‌ای می‌کند که از مرکز به‌سوی محیط ستاره انتقال می-یابد. با اینکه هرچه از مرکز به‌سوی سطح خارجی ستاره برویم به‌سرعت از چگالی آن کاسته می‌شود، موج ضربه‌ای صرف‌نظر از کاهش فشاری که درجبههٔ آن دیده می‌شود، شتابان پیش می‌رود. در پس این جبهه، دمای پلاسما به دهها میلیون درجه می‌رسد. پلاسما هم‌جهت با جبههٔ موج ضربه‌ای، اما اندکی کندتر از آن به‌راه می‌افتد. با وجود این، این کندی سرعت محتملا به‌صدها، هزاران، وحتی دهها هزار کیلومتر درثانیه بالغ می‌گردد. به‌محض اینکه موج ضربه‌ای جو ستاره را ترك می‌کند، به‌رؤیت درمی-آید. برق درخشان موج ضربه‌ای که دمایش هزاران بار بیش از دمای سطح ستاره است، نخستین علامتی است که وقوع حادثه را به‌جهانیان اطلاع می‌دهد.

چون توده‌های پلاسما، که در پی موج ضربه‌ای روانند، سرعتشان خیلی زیاد است، پاره‌ای از آنها بر جاذبهٔ ستاره غالب می‌آیند، و در فضای خارج ازهم می‌پاشند. هرچه ذرات از جبههٔ موج ضربه‌ای دورتر و به‌مرکز ستاره نزدیکتر باشند، سرعت آنها کمتر است. در مرکز ستاره، سرعت صفر و چگالی ماکزیمم

است. به‌این ترتیب، فقط قسمت کوچکی از ستاره برای پرتاب شدن به‌فضای خارج سرعت کافی می‌یابد.

سرعت قسمت عمدهٔ مواد دفع شده تدریجاً کند می‌شود، و آنها شروع به‌ریزش می‌کنند. همینکه مادهٔ پرتاب شده به درون ستاره فرو ریزد، تولید موج ضربه‌ای جدید منبسط شونده‌ای خواهد کرد. وقوع این حادثه حتمی است، حتی اگر هیچ‌گونه واکنش گرماهسته‌ای انرژی‌زا رخ‌ندهد. در این‌حالت نور خیره‌کنندهٔ تازه‌ای، که به‌شدت نور اولی‌است، مشاهده می‌شود. این‌گونه تپشها که با برون‌فکنی ماده وانفجار درخشانی همراه هستند، ظاهراً تاجایی پیش می‌روند که ستاره بیشتر جرم خود را ازدست بدهد و دمای هسته‌اش به‌حدی پایین رود که واکنشهای نیرومند داخلی نتوانند ادامه یابند. دورهٔ این قبیل تغییرات نامنظم ممکن است از چند ساعت تا چند هزار سال باشد.

هنگامی که ستاره فروکش کند و به‌اندازهٔ نسبتاً کوچکی درآید، به‌طور یکنواخت شروع به‌تپیدن می‌کند. این گروه ستارگان متغیر وتپنده را قیفاووسی[1] می‌نامند. ریتم آنها مانند کارساعت ثابت‌است. قیفاووسیها ممکن‌است نمایشگر آخرین مرحلهٔ تکامل ستارگانی باشند که ابتدا به‌صورت ابرنواختران پیدا شدند و پس‌از گذشت صدها هزار سال از مراحل تطور به‌صورت نواختران درآمدند. چنین می‌نماید که انفجار ابرنواختر فقط یك بار می‌تواند برای ستاره‌ای رخ دهد، وسرنوشت بسیاری از ستارگان آن‌چنان نیست که به‌حدی شعله‌ور شوند که از کهکشانه‌های دیگر قابل رؤیت

1) Cepheid

باشند.

طبیعی است که بپرسیم آیا نزدیکترین ستاره‌ای که می‌شناسیم یعنی خورشید، هرگز بدین ترتیب منفجر خواهد شد. خورشید عملا منبع بیپایانی از انرژی است. مقادیر شگرف انرژی که از داخل به‌سوی سطح آن فوران می‌کنند، موجب انفجارهای عظیمی می‌گردند که می‌توان آنها را در جوّ خورشید مشاهده کرد. با اینکه در اوضاع و احوال کرهٔ زمین فرارونده‌های طبیعی که دارای ماهیت انفجاری هستند (مثلا، فورانهای آتشفشانی) نسبتاً کمیابند، در خورشید و جوّش این‌گونه، حوادث مرتباً روی می‌دهند. به‌عنوان نمونه می‌توان فوران زبانه‌های خورشیدی[1] را نام برد.

پانزده یا بیست سال پیش تصور می‌رفت که زبانه‌ها حرکت ساده‌ای دارند، که به‌آسانی قابل توجیه است. رویهٔ خورشید را ابرهای عظیمی ازگاز ملتهب می‌پوشانند. وزن این ابرها به‌وسیلهٔ فشار نوری که ازطبقهٔ رخشان‌سپهر[2] آن نشرمی‌کند به‌حال موازنه در می‌آید. اینها را زبانه‌های خاموش می‌نامند. سپس در زیر زبانه‌های خاموش، گازهای سوزانی فوران می‌کنند؛ فشار نور به‌سرعت افزایش می‌یابد، و زبانه مانندآتشفشانی به‌بالا می‌جهد. این تصویر در هنگامی آشکار شد که دانشمندان موفق شدند در لحظات نادری که خورشید کاملا می‌گیرد، از زبانه‌ها عکسبرداری کنند. اما با مطالعات اخیر معلوم شده که این پدیده چندان هم ساده نیست.

1) solar prominences 2) photosphere

امروزه با استفاده از تکنیکهای جدید و بـه کمك دوربینهای سینمایی می‌توان در هـر موقع روز از زبانـه‌هـای خورشیدی عکسبرداری کرد. با بررسی دقیقی که از این عکسها به‌عمل آمده معلوم شده است که زبانه‌ها می‌توانند در کلیهٔ جهات، از جمله بـه سوی بالا یا به‌سوی پایین (به‌جانب سطح خورشید) حـرکت کنند. از نظر خصوصیات ویـژه، هیدروژن، گاز کلسیم، و سایر ترکیبات گازی مسیرهایی را دنبال می‌کنند که شبیه خطوط نیرو-های میدانهای الکتریکی یـا مغناطیسی هستند. جای تردید نیست که علاوه بر گرانش خورشید وفشار نور، نیروهای الکترومانیتیك نیز درتشکیل زبانه‌ها نقش مهمی بازی می‌کنند.

زبانه‌های فوران‌کننده فقط ۱۰ درصد از کل زبانه‌های مرئی به حساب می‌آیند. طغیانهای سریع آنها که سرعتشان به ۷۰۰ کیلومتر در ثانیه می‌رسد، دارای ماهیت انفجاری هستند. ازآنجا می‌توان به قدرت انفجارهای خورشیدی پی برد که پاره‌ای از زبانه‌ها به ارتفاعی معادل قطر خورشید ــ بیش از یك میلیون کیلومتر ــ می-رسند. معمولاً طول عمر زبانـهٔ فوران‌کننده درحـدود نیم ساعت است. همینکه به‌اوج خود رسید سقوط می‌کند ومبدل به‌فورانهای گازی می‌گردد که قسمتی پراکنده می‌شونـد و قسمتی هم به‌سوی خورشید فرو می‌ریزند. پیشنهاد تئوری مفصلتر ودقیقتری که بتواند پدیده‌های جوّی خورشید را تـوجیه کند از وظایف اخترشناسان آینده است.

یکی دیگر از شگفتیهای خورشید لهیبها هستند که پیوسته در

رنگین‌سپهر[۱] رخ‌می‌دهند. این لهیبهادرنورگسیلیده‌ازهیدروژن بهتر دیده می‌شوند و نمودی از انفجارها هستند. گاهی اوقات هستهٔ مرکزی درخشانی دیده می‌شودکه فورانهایی ازگاز ملتهب را با سرعت ۳۰۰ کیلومتر درثانیه در تمام جهات می‌پراکند. برخی از لهیبهای خورشیدی به‌انفجارهای زیرآبی می‌مانند. یك ابر فوق‌العاده درخشان مانند جوهر بر روی کاغذ خشك‌کن، به‌سرعت انتشار می‌یابد. اخترشناسان شوروی سورنی[۲] و شاپوشنیکووا[۳] بسیاری ازاین قبیل پدیده‌ها را با تکامل و تجزیهٔ کلفها مربوط می‌دانند. سورنی، در روز دهم ماه مه ۱۹۵۰، لهیبی‌را مشاهده‌کرد که ازآن‌فورانی از هیدروژن تابان با تابندگی غیرعادی باسرعت ۴۰۰ کیلومتر درثانیه به‌بیرون جهش می‌کرد.

فراروندهای خورشیدی بر پدیده‌های زمینی اثر می‌گذارند. مثلا لهیب عظیمی در تاریخ ۲۳ فوریهٔ ۱۹۵۶، موجب قطع ارتباطات رادیویی سراسر جهان گردید و احتمالا حتی برآب و هوا نیز تأثیرگذاشت. درطی لهیبهای خورشیدی، شدت پرتوهای کیهانی به‌طرزمحسوسی افزایش می‌یابد. این امرنشانهٔ این‌است که امکان‌دارد لهیبها ناشی ازفراروندهای هسته‌ای باشندکه نظیر-شان در انفجار بمب گرماهسته‌ای به‌وقوع می‌پیوندد. چندی قبل برای نخستین‌بار، توسط تلسکوپ کوچکی که بر بالاترین نقطهٔ موشك بلندپروازی قرارداشت، از خورشید عکسبرداری شد. فیلم عکاسی، رویهٔ‌خورشید را همان‌طورنشان دادکه روزی اخترشناسان

۱) chromosphere ــ قسمت سفلای جو خورشیدکه بخش اعظم‌آن‌گازهیدروژن و به‌رنگ قرمزاست. ــ م.

2) A. B. Severny 3) E. F. Shaposhnikova

از رصدخانه‌ای در کرهٔ ماه خواهند دید؛ بی‌آنکه جو زمین آن را از شکل بیندازد. این عکس زمینه‌ای را آشکار می‌کرد که از انفجارها می‌جوشید و کوچکترین آنها قادر بود زمین را به‌تلی از خاکستر مبدل سازد. چه زمین در برابر جریانی از زبانهٔ عظیم خورشید که به‌وسیلهٔ انفجار پلاسمایی به‌بیرون پرتاب می‌شود، بسان تراشه‌ای در گردابی بزرگ، درمانده خواهد بود.

با وجود این، نباید از اینکه ممکن است روزی خورشید ما منفجر شود هراسی به خود راه دهیم. خورشید به‌دسته ستارگان آرام و پابرجا تعلق دارد. و با اینکه نسبتاً کوچك است، ونمی‌توان آن‌را ستارهٔ خیلی سوزانی نامید، بیلیونها سال انرژی مورد نیاز بشر را تأمین خواهد کرد، بی‌آنکه منفجر یا خاموش شود. انسان برای اینکه فرهنگش را تا حد غیر قابل تصوری ارتقا بخشد وقت کافی دارد و پیش از آنکه خورشید به دوران خطرناك پیریش برسد به راه شیری بزرگتر راه خواهد یافت، و در بسیاری از سیاره‌های منظومه‌های اختری دیگر سکونت خواهد گزید.

## ابرهای کیهانی

در یکی از شبهای صاف زمستان می‌توان لکهٔ کم‌فروغی را در صورت فلکی جبار[1] مشاهده کرد. این لکه سحابی جبار نام دارد، و یکی از جالبترین اجرام سماوی است. ابر عظیمی از گاز رقیق و پلاسماست که ۱۵ سال نوری قطر دارد. اتمهای گاز، نور

1) Orion

ستارگان سوزان مجاور را جذب می‌کنند و انرژی ذخیره‌شده را دوباره به‌صورت درخشش فسفرسان[1] سرد پس می‌دهند. سحابی جبار بارها مورد مطالعهٔ بسیاری از اخترشناسان قرارگرفته است. اطلاعاتی که اخیراً ازاین سحابی توسط دانشمند شوروی ف. گ. فسنکوف[2] به‌دست‌آمده در نوع خود جالب توجه و چشمگیر است.

آنچه در سحابی جبار به‌چشم می‌خورد، پیچیدگی ساختمان آن است: به‌نظر می‌رسد که از پیچانها[3] وجتهای توده‌های عظیمی از گاز که حرکت شدید و متلاطمی دارند، تشکیل شده باشد. سحابی جبار در حدود ۵۰۰ سال نوری با زمین فاصله دارد، و این امر رؤیت‌حرکت‌گازهارا به‌طور مستقیم امکان‌ناپذیرمی‌سازد. برای اینکه رؤیت سحابی ازچنین فاصله‌ای عملی باشد، باید الگوی‌تلاطم به‌قدرکافی‌تغییر کند، واین هزاران سال طول خواهد کشید. فقط ازطریق جا به‌جایی خطوط طیفی است که دانشمندان می‌توانند پی‌به‌حرکت‌گاز وفورانهایی‌برند که‌باسرعت ۷ کیلومتر درثانیه درحرکتند. منطقی است که بگوییم سحابیهای دیگر نیز همچون سحابی جبار حرکت متلاطم همانندی دارند.

چه عاملی باعث حرکت‌گاز وپلاسما درفضای خارج می‌شود؟ در پیش‌گفتیم که یکی از نیروهایی که سبب این حرکت می‌گردد همانا کشش میدان گرانشی ستارگان مجاور و به‌طورکلی میدان گرانشی راه شیری است. از جمله عوامل دیگر می‌توان فشارگاز

1) phosphorescent glow 2) F. G. Fesenkov
3) eddies

ومیدانهای الکترومانیتیك رانام برد. باید به‌خاطرداشت که ذرات اصلی و تشکیل‌دهندهٔ ابرهای کیهانی دارای بار هستند و ضمن حرکتشان تولید میدانهای الکترومانیتیك می‌کنند که با آنها وارد عمل متقابل می‌گردند.

پژوهشهای برجستهٔ گ.آ. شاین[1] و سایر اخترشناسان شوروی در سالهای اخیر نشان می‌دهد که ساختمان سحابیهای گازی بیشتر با تأثیر نیروهای الکترومانیتیك مشخص می‌گردد. حتی احتمال می‌رود که ساختمان مارپیچی راه شیری بر اساس مقیاس کیهانی، به‌واسطهٔ تأثیر میدان الکترومانیتیك باشد. و بالاخره ممکن است که در برخی موارد، فشار نور ستارگان مجاور روی حرکت سحابیها اثر بگذارد.

نیروهایی که در پیچانهای گازی سحابیهای مرئی آشکار می‌شوند نیز بر روی گاز بینهایت رقیق و پلاسمایی بین ستارگان که در فضای کهکشان پراکنده شده است اثر می‌گذارند. کشف گاز بین ستارگان به‌سال ۱۹۰۴ مربوط می‌شود، یعنی زمانی که خطوط جذبی کلسیم بین ستارگان درطیف‌ستارهٔ دوتایی دلتا ـ جبار کشف گردید. در ابتدا تصور می‌شد که گاز بین ستارگان منحصراً از اتمهای یونیدهٔ کلسیم تشکیل شده، اما بعدها اتمهای سدیم، تیتانیوم، آهن و سایر عناصر و نیز پاره‌ای از مولکولهای ترکیبات سیانوژن(CN) و هیدروکربورها کشف شدند. گاز بین ستارگان دارای چگالی بسیار اندك و نزدیك به $۱۰^{-۲۴}$ گرم بر سانتیمتر مکعب‌است. یعنی درهرسانتیمترمکعب ازفضاقطیك مولکول گاز

1) G. A. Shain

وجود دارد. با این‌همه، این گاز را نمی‌توان محیط همگنی دانست و حتی در ساختمان رقیق آن، تراکمها، رقتها، و اغتشاشهای عظیمی وجود دارند که، به‌علت رقیق بودن بیش از حدشان، دیده نمی‌شوند. این گاز حرکت متلاطم و پیوسته‌ای دارد و علاوه بر این، چنانکه اخیراً معلوم شده درچرخش راه شیری نیز شرکت دارد.

منشاء گاز بین ستارگان و سحابیهای گازی روشن نیست. بر طبق پژوهشهایی که‌دانشمند شوروی ب. آ. ورونتسوف‌ـ ولیامینوف انجام داده‌است، امکان زیادی دارد که‌منبع گاز بین ستاره‌ای خود ستارگان باشند. گذشته از نواختران و ابرنواختران، ستارگانی هم‌هستند که مقادیر زیادی گاز درفضای خارج می‌پاشند. بعیدنیست که‌همین گازهای خروجی، در بعضی شرایط بتوانند دوباره‌منقبض گردند و به اختران جدیدی تبدیل شوند. فسنکوف از این فرضیه حمایت می‌کند، ومعتقداست که‌رابطهٔ نزدیکی بین‌شکل رشته‌های گازی سحابیها وتجمع خطی ستارگان درون‌آنها وجود دارد.

ازاین‌رو در پاره‌ای موارد، ممکن است حرکت پلاسما سبب انفجارهای مهیبی گردد و در حالتهای دیگر به‌آفرینش جهانهای اختری تازه‌ای منتهی شود.

انفجارهای عظیمی که به‌تازگی کشف شده‌اند درمقابل انفجار ابرنواختران بسان خورشید دربرابر کبریت برافروخته‌ای است. عکسبرداری ازکهکشانه‌ای در صورت فلکی سنبله[1]، که به NGC ۴۴۸۶ نامگذاری شده، تصویر جالب توجهی را نشان می‌دهد:

1) Virgo

دنباله یا رشتهٔ عظیمی ازهستهٔ کهکشانـــه تا پیرامون آن کشیده شده است. در روی این رشته گره‌هایی به‌چشم می‌آیند که با سرعت ۳۰۰ کیلومتر در ثانیه به‌خارج رانده می‌شوند. این رشته درسال ۱۹۱۸ کشف شد، اما پس ازآنکه معلوم شد کهکشانـهٔ NGC ۴۴۸۶ یك منبع نیرومند رادیویی‌است، پخش رادیویی آن محرز گردید. تجزیهٔ طیفی این‌رشته‌نشان می‌دهدکه احتمال دارد ماهیت پلاسمایی داشته باشد. شاید هم جت نیرومندی ازگازها باشدکه از هستهٔ کهکشانه پرتاب می‌شود. الکترونهای آزاد این جت می‌توانند سرعتی نزدیك به‌سرعت نـور داشته باشند، و از این دو موجب پخش رادیویی قوی می‌گردند. و نیز ممکن است که این جت ناشی از انفجار مهیبی باشدکه ازآن انرژی عظیمی که دهها میلیون بار افزون بر انرژی حاصله از انفجار ابرنواختر است، آزاد گشته است. این پدیده را بـزرگترین انفجار شناخته شدهٔ طبیعت می‌دانند. یگانه منبع انـرژی شناخته شده‌ای کـه بتواند چنین نتیجه‌ای به‌بـار آورد، تصادم ماده با پاد مـاده است. فقط می‌توان به‌این گمان بردکه چگونه ابرعظیمی از پاد ماده توانسته است به درون هستهٔ کهکشانه نفوذ کند و چگونـه انفجار پیشروی کرده است.

اکنون معلوم شده که این‌گونه جتها، در جهان کهکشانه‌هـا فراوان یافت می‌شونـد. اخیراً، اخترشناس نامدار روسی و. آ. آمبارتسومیان[1] متوجه چندین جت ورشته در کهکشانه‌ها گردیدکه ممکن است ناشی از انفجارهایـی باشند کـه بسیار عظیمتر از

1) V. A. Ambartsumyan

انفجارهایی هستند که در کهکشانهٔ NGC ۴۴۸۶ رخ می‌دهند.

اما پاره‌ای بر این عقیده‌اند که رشته‌های نمودار شده ممکن است درنتیجهٔ انفجارها نباشند. در پیش گفتیم که حرکت ماده در سحابیها و همچنین شکلها و اثرهای متقابلشان را نمی‌توان فقط با نیروهای گرانشی توجیه کرد، و حتماً باید تأثیر نیروهای الکترومانیتیك هم درمیان آنها منظور گردد. نیروهای گرانشی با مجذور مسافت کاهش می‌یابند. در یك محیط رسانا، مانند فضای خارج، عملا از میدانهای الکتریکی خبری نیست، اما وجود میدانهای مغناطیسی محرز است. میدان مغناطیسی دارای تقارن محوری است و ازاین‌رو کندتر ازمیدان گرانشی با مسافت کاهش می‌یابد و نقصان شدت میدان مستقیماً با مسافت تغییر می‌کند. بنابراین درمسافتهای خیلی زیاد،اثرهای متقابل میدانهای مغناطیسی کهکشانه‌ای ممکن است به‌مراتب زیادتر از اثرهای متقابل گرانشی باشد. و عمل یکنواخت وآرام میدانهای مغناطیسی را می‌توان علت جتهای عظیم پلاسمایی دیده شده دانست. برای پاسخ به‌این پرسشها، به زمان احتیاج است. ضمناً مطالعه دربارهٔ این‌گونه حقایق چشمگیر از وظایف دانش اخترفیزیك و تئوری دینامیك گاز در خصوص انفجارهاست.

## سرعت به‌منزلهٔ انفجار

مقصود از «انفجار» درحقیقت تبدیل آنی انرژی از صورتی به‌صورت دیگر است، که به‌عنوان مثال می‌توان تبدیل انرژی شیمیایی به‌انرژی گرمایی (مانند انفجار تی. ان. تی.)، یا تبدیل

انرژی الکتریکی به‌انرژی‌گـرمایی را درآذرخش نام برد. علت هرچه باشد، انرژی نهانی و «راکد» ناگهان به‌صورت جریانهای تابشی، غرش تندر، یا فورانهای پلاسما خودنمایی می‌کند.

اما نوع دیگری از انفجار وجود دارد که درآن انرژی جنبشی حرکت تبدیل به‌انرژی‌گرمایی می‌گردد. با محاسبه‌ای ساده معلوم می‌شود که اگرجسمی که با سرعت چهار یا پنج کیلومتر در ثانیه در حرکت باشدآناً بایستد منفجر خواهد شد، گویـی از مواد منفجرهٔ قویی ساخته شده است. خرابی ناشی از شهاب بزرگـی که سرعتی معادل ۳۰، ۴۰ یا حتی ۷۰ کیلومتر درثانیه دارد، قابل مقایسه با ویرانی ناشی از انفجار هسته‌ای است. زمین ما دارای زخمهای فراوانی است که یادآورتصادمهای بسیارش با این‌گونه مواد منفجره است. بزرگترین حفرهٔ شناخته شده‌ای که ازبرخورد شهابسنگها با زمین به‌وجودآمده در لابرادور[1]، ناحیه‌ای در شمال شرقی آمریکا، واقع است، که ۳ کیلومتر قطر دارد. مشهورتـرین این حفره‌ها، درآریزونا[2] است که قطرش به ۱۲۰۰ متر و عمقش به۱۷۵ متر می‌رسد. دربسیاری ازنقاط جهان، حفره‌های کوچکتری دیده شده‌اند. آنهاشباهت به‌سوراخها وآثاری دارند که‌گلوله‌های توپ یا خمپاره‌ها برزمین می‌گذارند و به‌همان ترتیب هم تشکیل می‌شوند.

سنگی که دهها یا صدها تن وزن دارد وبا سرعت دهها کیلومتر در ثانیه وارد جو زمین می‌شود، حامل انرژی جنبشی فـوق‌العاده زیادی است. مقاومت جو به‌حدی نیست کـه بتواند کاهش قابل

1) Labrador 2) Arizona

توجهی در این انرژی به‌وجودآورد، در نتیجه سنگ از جو می‌گذرد و با همان سرعت کیهانی اولیه‌اش با زمین برخورد می‌کند، در اثر اصابت، موجهای ضربه‌ای تولید می‌شوند که از محل اصابت شروع به‌انتشار درشهابسنگ و زمین می‌کنند. اگرسرعت برخورد از حد معینی زیادتر باشد، ممکن است فشار در جبههٔ موج ضربه‌ای به‌قدری زیاد شود که مولکولها و اتمهای شبکهٔ بلورین تحت فشار قرارگیرند وخیلی به‌هم نزدیك شوند. در این حالت نیروهای دافعه واردعمل می‌شوند وهنگامی که موج ضربه‌ای می‌گذرد به‌جای جسم جامد، در واقع جسم گازیی خواهیم داشت که درآن همهٔ بندهای بلورین ازبین رفته‌اند. این گاز تازه فشار فوق‌العاده زیادی دارد، چراکه حجم اولیهٔ جسم جامد را اشغال می‌کند. ازآنجاکه گاز است پس درکلیهٔ جهات شروع به‌انبساط می‌کند، و محیط اشغال‌کننده را به‌کناری می‌زند ــ به عبارت دیگر منفجر می‌شود.

در روز ۳۰ ژوئن سال ۱۹۰۸، جسم آتشین عظیمی در حالی که از جنوب به‌شمال می‌رفت، از روی جنگل سیبری گذشت و در نزدیکی رودخانهٔ پادکامنایا تونگوسکا[1] با زمین اصابت کرد. صدای هراسناکی که ازاین تصادم برخاست درسرتاسرسرگذشت زمین بیسابقه بوده است. موج زلزله‌ای بلافاصله دور تا دورکرهٔ زمین را پیمود و صدای انفجار از فاصلهٔ هزارکیلومتری به‌گوش رسید. متأسفانه روسیهٔ قدیم فاقد دستگاههایی بودکه بتواند این پدیدهٔ جالب توجه را مورد مطالعه قرار دهد. فقط پس ازانقلاب

1) Podkamennaya Tunguska

سوسیالیستی۱۹۱۷، نخستین هیئت علمی به‌ریاست ل.آ. کولیك[1] به محل واقعه رهسپار شد. آنچه او در مرکز انفجار دید، به‌راستی شگفت‌انگیز بود. به‌جای حفرهٔ عظیمی که انتظارش را داشتند، درختان بی‌شاخ و برگ سوخته‌ای‌را یافتند. کولیك چندین بار به‌کاوش محل شهابسنگ تونگوسکا پرداخت، اما کوچکترین اثری از تکه‌ای شهابسنگ نیافت.

جنگ ۴۵-۱۹۴۱، تحقیق در بارهٔ این پدیدهٔ یکتای طبیعت را سالها به‌تعویق انداخت. درسال ۱۹۵۸ بود که هیئت علمی دیگری به‌ریاست دانشمند جوان شوروی ك. پ. فلورنسکی[2] زوانهٔ محل حادثه شد. دانشمندان پس ازبررسی دقیق این محل، به‌این نتیجه رسیدند که انفجار باید درهوا رخ داده باشد. چگونه چنین چیزی ممکن است؟ روی هم رفته، بعید می‌نماید که شهابسنگ از مادهٔ منفجره‌ای درست شده باشد.

شاید با بررسی شرایط سقوط‌شهابسنگ سیخوت ـ آلین[3] که به‌سال ۱۹۴۷ در سیبریه فروافتاد و به‌دقت مورد مطالعه قرار گرفت، بتوان کلیدی برای گشودن این معما پیدا کرد. این شهابسنگ‌آهنین، ضمن حرکت، بر زمین پیشی جست وبا سرعت ۱۲ کیلومتر در ثانیه وارد جو زمین گردید. در ارتفاع ۱۴-۱۲ کیلومتری که چگالی هوا در مرز ستراتوسفر[4] و تروپوسفر[5] به شدت افزایش می‌یابد، کندشدن حرکت شهابسنگ به‌قدری زیاد بودکه موج ضربه‌ای آن را به‌قطعات کوچك وبزرگ بسیاری

1) L. A. Kulik 2) K. P. Florensky 3) Sikhote-Alin
4) stratosphere 5) troposphere

تقسیم کرد. با مطالعهٔ آثار و بقایا معلوم شد که ساختمان شهابسنگ موجب تلاشی آن شده است. علاوه به این، چرخش شهابسنگ در هوا خرد شدن آن را آسانتر می کند. شهابسنگها دارای شکلهای نامنظمی هستند وبسته به‌سطحی که درجلو دارند، موجهای ضربه‌ای گوناگونی از آنها می‌گذرد. قطعات متلاشی شهابسنگ سیخوت ـ آلین درمنطقهٔ وسیعی پراکنده شدند، و پاره‌ای از آنها به‌کیلومترها دورتر فرو افتادند. چون از سرعت قطعات بزرگتر درحین عبور از جو تحتانی خیلی زیاد کاسته نشد، با سرعت چند کیلومتر درثانیه با زمین برخورد کردند. اما قطعات کوچکتر با سرعت صدها متر در ثانیه فرودآمدند. قطعات بزرگتر در اثر اصابت با زمین منفجر شدند و حفره‌های بزرگی به‌وجودآوردند. قطعاتی که اندازهٔ متوسطی داشتند در اعماق زمین نفوذ کردند، وحال آنکه کوچکترین وکندترین آنان در روی زمین جای گرفتند. بسیاری از قطعات بزرگ منفجر شدند، اما از قرار معلوم سرعتشان کافی برای تبخیر نبود. حفره‌ها دارای مواد شهابی فراوان بودند و علاوه بر تکه‌های خرد، درآنها قطعات متلاشی بزرگ نیز دیده می‌شد. مهمتر از همه، در حفره‌هایی که از تمام حفره‌ها بزرگتر بودند ابداً آثاری از قطعات بزرگی که منفجر شده باشند به‌چشم نمی‌خورد. از طرف دیگر، حفره‌های کوچکتر دارای قطعات بزرگ و قابل ملاحظه‌ای بودند که منفجر نشده بودند.

ممکن‌است شهابسنگ تونگوسکا هم مانند شهابسنگ‌سیخوت ـ آلین درهوا متلاشی شده باشد. این فرضیه معقولانه‌تر به‌نظر می‌آید، زیرا طبق حسابی که شده سرعتش به‌هنگام ورود به‌جو زمین

۳۰ کیلومتر در ثانیه بوده است. همچنین امکان دارد که هردو شهابسنگ دارای تکه‌های بزرگی بوده‌اند که در اثر مقاومت هوا و دمای زیاد به‌اطراف پراکنده شده‌اند. موج ضربه‌ای نیرومندی که در ردآنها حرکت می‌کرده یکباره محو نشده است. طبق محاسباتی که شده، موج ضربه‌ای تا زمانی که شهابسنگ با زمین اصابت نکرده به‌دنبال آن در حرکت بوده است. سرانجام این حادثه منجر به‌سقوط برخی از درختان و بی‌شاخ و برگ شدن بسیاری دیگر شده است. موج زلزله‌ای حاصل ازنیروی برخورد شهابسنگ با زمین به‌قدری زیاد بود که به‌وسیله بسیاری ایستگاه‌های لرزه‌شناسی ثبت گردید. انعکاس موج ضربه‌ای درهوا، تولید موج صوتی کرد که کرهٔ زمین را دور زده است و به‌وسیلهٔ بسیاری از ایستگاه‌های هواشناسی که مجهز به‌فشارنگار[1] بوده‌اند ثبت شده است. حال تا چه حد این مورد می‌تواند درست باشد، پژوهشهای آینده به‌آن پاسخ خواهند داد.

## کار انفجار

انسان معمولاً انفجارها را با جنگ، صدای خوفناك بمبهای سقوط‌کننده و میدانهای مین‌گذاری شدهٔ مرگبار همراه می‌داند. اما غافل ازاین است که مواد منفجره دراکثر اقدامات صلحجویانهٔ بشر کاربرد فراوان دارند.

از انفجار در کان‌کنی استفاده می‌شود. برای این‌کار سوراخ‌

۱) barograph ــ دستگاهی که تغییرهای فشار هوا را برکاغذ ثبت می‌کند. ــم.

های باریك و گـودی حفر می‌کنند، و سپس مواد منفجره را در کف آنها قـرار می‌دهند. پس از انفجار، زغال از رگه آزاد می‌گردد و با وسایل باربری حمل می‌شود. مادهٔ منفجره‌ای که برای استخراج یك تن زغال‌سنگ مصرف می‌شود، از صدگرم تجاوز نمی‌کند.

از انفجار همچنین در احداث جاده‌ها و عبوردادن آنها ازمیان باطلاقها و کوهستانها استفاده می‌شود. درزمینهای باطلاقی، انفجار لایهٔ گیاهی مرداب را که بستر جاده از روی آن می‌گذرد سست می‌کند؛ و به‌تدریج که بستر جاده فرو می‌رود لجنها را پس می‌زند. درصورت لزوم، ردیف دیگری را منفجرمی‌کنند، وبا این انفجار گلهای مرداب از زیر بسترجاده به‌بیرون پرتاب می‌شوند، وبه‌این ترتیب زیرسازی جاده محکمتر می‌گردد. درکوههای سنگ خارا و سنگ سیاه می‌توان به‌کمك انفجار به حفر تـونلها و گودالها پرداخت.

با انفجار می‌شود از درون چاههایـی که میزان بهره‌بـرداری نفت آنها کم است، صدها هزار تن نفت استخراج کـرد. طریقهٔ عمل به‌این ترتیب است که «اژدری» به‌درون چاه می‌فرستند و آن را در رگهٔ نفتدار منفجر می‌کنند. در اثر انفجار، سنگهای اطراف درهم خرد می‌شونـد، و راه برای عبور نفت به‌دهانهٔ چاه بـاز می‌شود.

از انفجار می‌توان برای حفر چاهها استفاده کرد. روش عمل امیدبخش است. بدین‌ترتیب که کپسولهـای محتوی مادهٔ منفجره را باجریان مایعی به‌درون چاه روانه می‌کنند، که پس از برخورد به ته چاه منفجر می‌شوند. در اثـر این انفجار، سنگهـای خرد

شده به‌وسیلهٔ مایع به‌بالامی‌آیند، وچاه گودتر و گودتر می‌شود.

از سودبخشیهای دیگر انفجار می‌توان باز کردن راه رودخانه‌های یخبندان، و از جاکندن کنده‌هـای درختان و همچنین معدن‌یابی و استخراج تورب را نام برد. در سالهای اخیر از نیروی انفجار در تکنیکهای مهندسی به‌منظور شکل دادن بسیار دقیق‌فلزها استفاده شده است.

استفاده از انفجار انتقالی در جای خود جالب تـوجه است. ابتدا تصور می‌شد که کنترل حرکت توده‌های سنگ و غیره که در اثر انفجار شدیدی به‌اطراف پرتاب می‌شوند امری محال است. اما دانشمندان و مهندسان کشف کردند که حرکات درهـم برهم و آشفتهٔ هوای داغ متلاطم وسنگهای متلاشی شده ازقوانین صریح و مشخصی پیروی می‌کنند، که با دانستن آنها می‌توان انفجارهـا را زیرفرمان درآورد. امروزه مهندسان برای اینکه سنگهای منفجر شده در مکان مشخصی فرو بریزند، روش انفجار انتقالی را به‌کار می‌بندند. برای این‌منظور دو ردیف خـرج منفجره در زمین کار می‌گذارند. ردیف اول، سنگها را سست کرده به‌بالا می‌پراکند، اما ردیف دوم که قدرت انفجاری آن زیادتر است، و یك یـا دو ثانیه پس از انفجار ردیف اول منفجر می‌گردد، قادراست سنگها را درجهت لازم پرتاب کند. نخستین انفجار انتقالی در بیست و پنج یا سی سال قبل انجام شد، و تـا به‌امروز از این تکنیك در گودبرداری، پاك کردن کانالها، و سایر امور استفاده‌های فراوان شده است. بزرگترین انفجار انتقالی در اتحاد شوروی، درفاصلهٔ ۱۶۰ کیلومتری شهر کراسنویارسك[1] انجام شد، و هدف ازاین‌کار

1) Krasnoyarsk

کندن معدن سطحی زغال‌سنگ بود. چهار ردیف‌خرج منفجره، که روی‌هم‌رفته ۱۸۶۰ تن وزن داشت، توانست ۳۹۱،۰۰۰ مترمکعب سنگ را به‌بیرون پرتاب کند وگودالی به‌عمق ۲۰ متر، طول ۴۰۰ متر، وپهنای ۸۵ تا ۱۲۵ متر پدیدآورد.

از انفجار انتقالی می‌توان برای برافراشتن سدهای خاکی نیز استفاده کرد. خرجهای منفجره طوری کارگذارده می‌شوند که توده‌های خاکی‌پس ازانفجار به‌هوا پرتاب شده در امتداد عرض بستر رودخانه فرو می‌ریزند. صرف‌نظر ازکارهای مقدماتی لازم، برای ایجاد چنین سدی درعرض رودخانه، مصرف نیروی انسانی حداقل است، وعملا به‌وقت زیادی نیاز نخواهد بود. در سال ۱۹۴۸، رودخانه آنگرن[1] در جمهوری ازبکستان شوروی، آب‌بند بندهای حفاظی را شکست و به‌سوی مزارع روان شد. در این میان دهکده‌ها، کشتزارهای پنبه، و تاکستانها را سیل و طغیان شدیدآب تهدید می‌کرد. در این هنگام، مهندسان به‌یاری این منطقه شتافتند، و درظرف چند ساعت باکارگذاشتن مواد منفجره و با استفاده از روش انفجار انتقالی، دیواری خاکی به‌ارتفاع ۱۳ متر در جلوآب برافراشتند. جمعاً ۱۲ خرج منفجره به‌وزن ۵۰ تن دراین راه مصرف‌گردید.

در اواخر قرن نوزدهم، چارلز مانرو[2] گراورساز آمریکایی، آزمایش با مواد منفجره را در کارش آغازکرد. ابتدا با استفاده از انفجارکوچکی صفحهٔ حکاکی شده‌ای را روی صفحهٔ فلزی دست نخورده‌ای پرس‌کرد. و به‌این ترتیب کپیه‌ای ازکنده‌کاری

1) Angren 2) Charles E. Munroe

به‌دست آورد. سپس پی برد که چنانچه حروف را در زیر پایهٔ خرج منفجره‌ای که در روی صفحهٔ فلزی منفجر می‌شود حل کند، تصویر دقیقی نقش می‌بندد. به‌نظر می‌رسید که برخورد گازهای انبساطی درنقاطی که مادهٔ منفجره دورتر از صفحهٔ فلزی قرار داشت، زیادتر بود. مانرو نتوانست برای این تجربهٔ خود که به اثر «خرج شکل یافته» یا «خرج حفره‌ای»[1] موسوم است، توضیحی بیابد.

لیوانی از آب بردارید و قطره‌ای آب روی سطح آن بیندازید. خواهید دید در نقطه‌ای که قطره می‌افتد، فوارهٔ کوچکی به‌بالا می‌جهد. افتادن این قطره سبب ایجاد سوراخ کوچکی در سطح آب می‌شود. ذرات آب ضمن جمع شدن به‌طرف این سوراخ در وسط باهم تصادم می‌کنند وانرژی جنبشی حاصل فواره را به‌بالا می‌پراند. این ساده‌ترین مثال در مورد اثر «خرج شکل یافته» است. هنگامی که‌در توده‌ای ازمادهٔ منفجره حفره‌ای به‌وجودمی‌آید، گازهایی که متوجه این حفره هستند در وسط باهم تصادم می‌کنند، وتولید جت نازکی ازگاز می‌کنند، که سرعت آن به‌مراتب زیادتر از سرعت گازهای همگرا[2] است. سرعت این جت گاز بلافاصله به ۹ــ۸ کیلومتردر ثانیه‌می‌رسد، وفشاری‌معادل ۵۰۰،۰۰۰ آتمسفر ایجاد می‌کند. جای تعجب نیست اگر بگوییم این جت می‌تواند در زره وبتون نفوذ کند.

اگر حفره با ورقهٔ نازکی از فلز پوشیده شود، برمقدار نیروی

1) shaped- or hollow-charge

۲) مقصود از گازهای همگرا آنهایی هستندکه به‌سوی حفره نزدیک می‌شوند.ــم.

جت «خرج حفره‌ای» افـزوده می‌گردد. عمل روکش را می‌توان به‌این طریق توجیه کرد. فرض کنید کـه دو فوارهٔ آب نخست بـا زاویه‌ای به هم بخورند. از تصادم آنهـا دو فوارهٔ تازه به‌وجود می‌آید: فوارهٔ بزرگتر در صفحهٔ تقارن دو فوارهٔ اول و هم‌جهت با آنها حرکت می‌کند، اما حرکت فوارهٔ کوچکتر درست در جهت مخالف آنهاست. مجموع مقدار حـرکت جتهای برآیند معادل با جتهای اولیه است. حال، این دوجتی را که تحت زاویه‌ای با هم برخورد می‌کنند، به یکدیگر نزدیك می‌سازیـم. نقطهٔ تقاطع آنها به‌سرعت به‌طرف شیپوره‌ها تغییرمکان می‌دهد. سرعت جت کوچکتر به‌مراتب از سرعت حرکت نقطهٔ تقاطع زیادتـر است؛ اما سرعت جت بـزرگتر از حیث مقدار کمتر می‌باشد. در مورد خرج حفره‌ای آسترشده، فشار مادهٔ منفجره که معادل صدها هزار آتمسفر است، این آستر را بـه داخل می‌راند. در جایی که آستر، در طول محور حفره، با سرعت حرکت می‌کند، تدریجاً به‌طرف کانونش جمع می‌شود، و مـانند سیال تراکم‌پذیری عمل خواهد کرد (چگالی فلز درنقطهٔ همگرایی ۳۵ــ۲۵ درصد زیاد می‌شود). این «سیال فلزی» به دو جت تقسیم می‌گردد، که یکی ازآنها بـا سرعت زیادی به طـرف جلو رانده می‌شود. جتی کـه در جهت مخالف قرارگرفته، جرم خیلی زیادتری دارد، اما سرعت آن فوق‌العاده کم و عملا صفر است. بنابراین در عمل فقط یك جت بـه بیرون پرتاب می‌شود، و تمام انرژی جنبشی فلـز متحرك به‌قسمت کوچکـی از آستر انتقال می‌یابد. مثلا اگر مخروطی که زاویـهٔ واگرایـی آن ۱۲ درجه است، با ورقه‌ای از فلـز پوشانده شود، فقط ۱۵ درصد از جرم کلـی پوشش وارد جت تنـدرو می‌شود.

به‌این ترتیب، تراکم انرژی دراین جت ده برابر زیادتر از تمام فلزی است که به‌طرف مرکز حفره رانده شده‌است. سرعت متوسط جت نامبرده بیش از سه‌برابر سرعت آستری است که مقدار آن چند کیلومتر درثانیه است. بنابراین سرعت جت ممکن است به ۱۰ کیلومتر درثانیه بالغ گردد. آنچه که رخ می‌دهد تمرکز انرژی درجرم کوچکی از ماده می‌باشد.

اگر مخروطهایی بسازیم که زاویهٔ واگرایی آنها خیلی کوچك باشد وآنها را با ورقهٔ بسیار نازکی از فلز سبکی مثلا بریلیوم بپوشانیم، دراین‌صورت می‌توان به‌کمك چند حقهٔ تکنیکی‌سرعت جت را به ۱۰۰ کیلومتر در ثانیه رساند. از اصول فنی «خرج شکل‌یافته» در ساختمان موشکهای بلندپرواز هواشناسی، که به منظور مطالعه در اوضاع پدیده‌های جوی به‌کار می‌روند، استفاده شده است.

هنگامی که جت «خرج شکل یافته» با سرعت دهها کیلومتر در ثانیه به‌مانعی برمی‌خورد، میلیونها آتمسفر فشار تولید می‌کند. در سال ۱۹۴۴، لف لاندا ویکی ازمؤلفان این کتاب توانستند عمل موجهای ضربه‌ای را در انفجاری که همگرایی آن فوق‌العاده زیاد بود محاسبه کنند. اگر موج ضربه‌ای در سطح یك خرج حفره‌ای کروی‌شکل به‌وجود آید و به‌داخل حرکت کند، فشار موج تقریباً به‌نسبت عکس فاصله تا مرکز، افزایش می‌یابد. اگر خرج به‌قدرکافی بزرگ باشد، سرعتهای فوق‌العاده زیادی به‌دست می‌آیند، و درنتیجه حجم زیادتری ازگاز را می‌توان تحت فشارهای عظیم فشرد.

موجهای همگرا امروزه در مهندسی و برنامه‌های تولیدی

واکنشهای گرماهسته‌ای برای بـه دست آوردن جمع شدگیهای عظیم انرژی درحجمهای نسبتاً بزرگ یك محیط به‌کار رفته‌است. مطالعات تام‌وساخاروف‌دربارهٔ‌پلاسمایی که‌به‌طوراستوانه‌ای‌همگرا می‌شود براساس بررسیهای مـوجهای ضربـه‌ای همگرا استوار است. هرچه بازده انرژی درانفجار سریعتر باشد، شدت تخریب انفجار زیادتر است. فشنگ تی. ان. تی. می‌تواند درهوای‌آزاد بسوزد، بـدون‌آنکه هیچ‌گونـه خطر انفجاری درپیش باشد. در هنگام جنگ، سربازان خط جبهه غالباً با خنثا کردن مینهای دشمن ازمادهٔ تی. ان. تی. آن برای گرم‌کردن پناهگاههای خود استفاده می‌کردند. اما وای اگر فتیله‌ای بـه داخل بخاری راه می‌یافت! همین‌سوختن آرام‌به‌انفجاری‌تبدیل می‌شد، و بخاری‌آهنی‌درهم‌فرو می‌ریخت و درپناهگاه بر اثرموج‌انفجار ازجا کنده‌می‌شد. چه شد که‌این سوخت ظاهراً بی‌زیان‌مبدل‌به‌مادهٔ منفجرهٔ‌خطرناکی‌گشت؟

لوله‌ای را تصور کنید کـه ازمخلوط احتراق‌پذیری، مثلا متان و اکسیژن، پـر شده است. اگر این گاز را در نقطه‌ای از لولـه آتش‌بزنیم، جبههٔ شعله درهردوجهت پیش‌می‌رود. وقتی که احتراق شروع می‌شودسیگنال حادثه باسرعت صوت ازگاز عبور می‌کند. درنتیجه، اشتعال لایهٔ مجاور درشرایط نسبتاً مغایری روی می‌دهد: موج ضربه‌ای ضعیفی ازآن‌گذشته و اندکی‌آن‌را متراکم و گـرم کرده است. اما در دمای بالاتر، اکثر واکنشهای شیمیایی تندتـر رخ می‌دهند، از این‌رو لایهٔ جدید اندکی تندتر ازلایهٔ اولیه می‌سوزد. با سوختن دومین لایهٔ گاز، شدت موج ضربه‌ای زیادتـر می‌شود، ولایهٔ سوم بادمای اولیهٔ بیشتری شروع‌به‌سوختن می‌کند. احتراق بازهم به‌سرعت پیشروی می‌کند، وباگذشتن ازلایه‌ای به

لایهٔدیگر، برشتابش مرتباً افزوده می‌گردد. جبههٔ احتراق درظرف کسوری ازثانیه، شتابش از چند سانتیمتر یا متردرثانیه به‌چندصد وحتی دهها‌هزار متر درثـانیه بالغ می‌شود. سرعت جبههٔ احتراق آن‌قدر زیاد می‌شود تا باسرعت موج ضربه‌ای که ازاحتراق ناشی شده، برابرگردد. افزایش سرعت ازاین‌حد بیشترامکان‌پذیرنیست، زیرا احتراق‌درجبههٔ موج‌ضربه‌ای‌رخ می‌دهد. فرارونـد احتراق در جبههٔ موج ضربه‌ای را تراك می‌نامند، وآن موج ضربه‌ای کـه در جبهه‌اش انـرژی پدید می‌آید موج تـراك گفته می‌شود. بـرای مخلوطهای متداول ازگازهای قابل احتراق، موج انفجارباسرعت چندکیلومتر درثانیه منتشر می‌شود. اگـرفشار اولیهٔگاز معادل فشار آتمسفر باشد، فشارنهایی به‌دهها آتمسفر می‌انجامد. چنانچه فشار اولیهٔگاز اضافه شود، افزایشی‌درسرعت وفشارتراك پدیدمی‌آورد.

درمواد منفجره‌ای کـه حاوی اکسیژن هستند، ازآنجاکـه اکسیژن به‌ادامهٔ احتراق‌کمك می‌کند، کیفیت این تراك اندکی با کیفیت تراك مخلوطهای گـازی تفاوت دارد. تراك براثر ضربـهٔ اولیه‌ای کـه به‌نوبـهٔ خود به‌وسیلهٔ فتیلهٔ چاشنی یا خرج ابتدایی فراهم شده ومادهٔ منفجرهٔ فوق‌العاده سریعی‌است، حادث می‌گردد. به‌هنگام انفجار خرج اولیه، که بـا مادهٔ منفجره در تماس است، مقدار قابل توجهی انرژی پدید می‌آید وفشار یکباره به‌هزارها یا دهها‌هزارآتمسفر می‌رسد. ضربهٔ فشار به‌خرج منفجره منتقل می‌شود و موج ضربه‌ای پس ازگذشتن از مادهٔ منفجره، آن‌را متراکم می‌کند وباعث‌کم‌شدن فـاصلهٔ بین مولکولها و اتمها می‌گـردد. محل وقوع انفجار درجبههٔ موج ضربه‌ای، یعنی درجایی است که موج تراك برموج ضربـه‌ای منطبق می‌گردد. در بسیاری از مواد

منفجره، فشارهایی معادل صدهاهـزار آتمسفر در جبههٔ موج تراك به‌وجود می آید.

دانش و اطلاعات ما دربـارهٔ فیزیك ستارگان انفجاری، یعنی نو اختران، ابرنواختران، و ستارگان تپنده[1] بسیار انـدك است. اما می‌توان حدس زدکه در پاره‌ای ازآنها سازوکار موج تـراك واردعمل شده‌باشد. پیدایش انرژی حاصل از واکنشهای هسته‌ای که براثرفشارهای عظیم موجود درمیان ستاره‌آغاز می‌شود، تولید موج ضربه‌ای می کندکه بیدرنگ مبدل به موج تراك می گـردد. این موج، فشار و دمایی‌راکه قبلا برای انجام واکنشهای هسته‌ای مداوم‌کافی نبوده‌اند بالا می‌برد، وضمناً درانفجارستاره هم دخالت می کند.

در سالهای اخیر، دانشمندان دست به‌مطالعات دامنه‌داری در زمینهٔ فیزیك وتکنولوژی پدیده‌هـای «انفجار انتقالی» و «خرج شکل‌یافته» زده‌اند. هدف ازاین پژوهشها، آگاهی یافتن، کنترل، و مهارکردن نیروهای ویران‌کننده‌ای است‌که از انفجارهـا آزاد می‌گردند. انسان جـاه‌طلب وآرزومند است، و در وضع کنونـی انفجارها را درمقیاس کیهانی بررسی‌می کند. پروفسور گ. پاکروفسکی[2] پروژه‌ای پیش‌آورده که درآن زمین‌را به‌ناو فضایی عظیمی تبدیل می کند، و درصورت لزوم می‌توان به‌کمك نیروی واکنش حاصل از انفجارهای‌گرماهسته‌ای متوالی در جنوبگان، آن‌را از قلمرو منظومهٔ شمسی خارج کرد، و روانـهٔ فضای کیهانی ساخت. یکی دیگرازپروژه‌های تخیلی، انتقال قمرها به مدد نیروی‌نابودی

1) pulsating stars 2) G. Pokrovsky

ماده و پادماده است. احتمال می‌رود که در دهها هزار سال دیگر، واقعیت موضوع به‌مراتب جاه‌طلبانه‌تر از خودسرانه‌ترین رؤیـا- های امروزی ما باشد، و انسانهای آینده بتوانند با معرفت ازکار- برد قدرت انفجارها همهٔ کهکشانه‌ها را نوسازی کنند.

## ۲۳۸ ماده و انسان

کهنترین تمدنهـا کمتر از ده‌هزار سال می‌گـذرد. کمتر از پنجاه سال پیش بود که سیستمی اجتماعی در روی زمین به‌وجودآمد و برای قدرتهای آفرینندگی انسانی که روزی در قید و بند اجتماعی بود، امکانات بیپایانـی را میسر ساخت. درآیندهٔ نزدیك و دور چه‌شاهکارهـای حیرت‌آوری از انسان ساخته است؟ آیا او میل محور زمین را تغییر می‌دهد و برای جـامعهٔ بشریت بهار جاودان به‌بار خواهدآورد؟ آیا برای تنظیم تابش خورشیدی، بام شفافی را برفرازکرهٔ زمین برپا خواهدکرد؟ وآیا او زمین‌را به‌خورشید نزدیکترخواهد ساخت؟

گرچه رؤیاهای ما به‌ظاهر عجیب وغـریب می‌آیند، می‌توان اطمینان داشت که‌گستاخترین پروازهای‌تخیلی روزی جامهٔ حقیقت برتن خواهندکرد. انسان زندگی را به‌سیاره‌های همسایه خواهد کشاند؛ و در سیاره‌های ستارگان همسایه سکونت خواهدکـرد. روح‌هوشمندانه‌اش او را درگیتی جلوتـر وجلوترخواهد برد. برای رشد و امکاناتش حدی وجود ندارد، همان‌گونه‌کـه گیتی را حدی نیست.

# زندگینامهٔ گیتی

## روز خلقت

نژادی از موجودات هوشمند را مجسم کنید که فاصلهٔ زمانی زندگیشان، از تولد تا مرگ، از زمان درخش آذرخش بیشتر نباشد. برای آنان کلیهٔ رویدادهای مرئی جهانِ ما بسان تصویری زودگذر در نظر ماست. وساکنان دنیای مارا مخلوقاتی باموقعیتهای نامناسب وگوناگون می‌پندارند. مثلا ممکن است انسانی‌را ببینند که با پاهای گشاده، دهان باز وچشمان خیره بیحرکت بر بالای خط‌سیر مسابقه معلق شده‌است: برای ما این انسان دونده‌ای‌است که از خود رکورد جدیدی به‌جای می‌گذارد. انسانهای دیگری که در ورزشگاه نشسته‌اند ازنظر او موجودات ساکت و بیروحی هستند، درحالی که آنها به‌خاطر پیروزی‌قهرمانانشان از اعماق‌حنجره هورا می‌کشند.

بدیهی است که چنین موجودات کوتاه‌عمری می‌توانند از راه گردآوری تجربه، حرکت دونده را تشخیص‌دهند، به‌مسیرش پی‌ببرند و بالاخره جا به جاییهای نسبی قسمتهای مختلف بدنش را دریابند. اما نسلها طول می‌کشد تا آنها با ثبت مشاهدات ومطالعهٔ دستنویسهای کهن بتوانند از واقعهٔ ورزشگاه تصویری بیافرینند. چقدر برای آنان دشوار است که اززندگی اجتماعی بشروخصوصاً

تاریخ گذشته‌اش برداشت صحیحی به‌دست آورند!

و این به‌درستی همان وضعی است که به هنگام مطالعهٔ تکامل گیتی برای انسان پیش می‌آید. سحابیها بر اثر فوق انفجار بسیار نیرومندی به‌سویی پرتاب شده و همچون پیچانهای عظیم چرخ می‌خورند، گردابهای کهکشانه‌ای می‌گریزند، منظومه‌های سیاره‌ای تولد می‌یابند، سحابیهای گازی و منظومه‌های کهکشانه‌ای به‌هم می‌خورند. اما اخترشناسی که یك عمر از درون تلسکوپ آسمان را می‌نگرد و عکسهای گوناگون برمی‌دارد، فقط یك تصویر را می‌بیند: دونده‌ای با پاهای گشاده، بر بالای خط‌سیر مسابقه بیحرکت مانده است. سالهای حیات آدمی در مقایسه با جهشی از گیتی که دهها هزار میلیون سال طول می‌کشد، لحظه‌ای بیش نیست. از وظایف دانشمندان است که برای جزئیات مختلف عکس، توضیحاتی عملی و میسر فراهم آورند.

البته یکی از راههای این کار آن است که حقایق را گردآوری کرد و پس از اندازه‌گیریهای دقیق، منتظر شد، وبازهم منتظرشد تانسلهای آیندهٔ بشربتوانند عکسهای مارا با عکسهای خود مقایسه کنند، و حرکات گردبادهای گازی را درسحابیها و نیز گردبادهای ستاره‌ایرا در کهکشانه‌ها، از روی تغییرات ذره‌بینی اوضاع آنها، تعیین کنند. بدون شك انجام این گونه کارها ضروری است، اما به‌همان درجه هم کافی نیست؛ چرا که برای مطالعهٔ گیتی باید پیوسته از راهها و وسائل نوینی کمك گرفت. موجودات خیالی کم‌عمر، می‌توانند با مطالعهٔ موجهای صوتی، پدیدارشدن آنهارا ناشی ازفریادهای تماشاچیان حاضر در ورزشگاه‌بدانند. همچنین می‌توانند بابررسی مسیردونده، وجود جاذبه‌را به‌ثبوت برسانند.

به‌همین‌ترتیب بود که انسان از روی جابه‌جایی قرمز، در شناخت کهکشانه‌های گریزان توفیق یافت، و بر اساس مقادیر نسبی اورانیوم و سرب سنگهای طبیعی زمین، عمر سیارهٔ کهن خود را معین‌ساخت. والبته دانشمندان دست‌به اکتشافهای تازه‌ای‌خواهند زد و از روی‌آنها به‌شرح جزئیات عکسهای گیتی‌خواهندپرداخت.

امروزه می‌توان قسمتی ازگیتی را که در دسترس ماقرار دارد، نه از راه مشاهده، بلکه از طریق تجزیه و تحلیل ریاضی مورد بررسی دقیق قرار داد. زیرا علم ریاضیات قادر است خیلی بهتر از قویترین تلسکوپها به‌اعماق گیتی نفوذکند. اما نتایج حاصل تاکنون همه جنبهٔ فرضی داشته و نمی‌شودآنها را تئوری نامید. پاره‌ای از این فرضیه‌ها رد شده‌اند. اما برخی ازآنان به‌گنجینهٔ علم‌راه خواهندیافت. آنهادرخط‌جبههٔ علم، که‌مکان ظهورعقایداست پدید می‌آیند، و از برخورد اندیشه‌ها پیوسته دانستنیهای تازه‌ای براندوختهٔ دانش بشری افزوده می‌گردد.

اکنون ماشین زمان خیالی خویش را ازگرد وغبار می‌زداییم وآمادهٔ سفری دیگر به دوردستها می‌شویم ــ سفری به میلیونها و هزاران میلیون سال پیش.

گذشته‌ای قیرگون است. فضای پیرامون ما با فضایی‌که باآن مأنوس هستیم کاملا مغایر است. زیرا فضا صورتی از وجود ماده است وخواص‌آن‌با تغییرخواص ماده عوض می‌شود. مثلاساختمان فضا بسته به‌اینکه دارای توده‌های بزرگ یا کوچکی ازماده‌باشد، تغییر می‌کند، و این تغییر برخمیدگی‌آن اثر می‌گذارد. اما فضا چگونه می‌تواند خم شود؟ و راستی، مقصود از خمیدگی فضا چیست؟ مفهوم این‌مطلب‌پیچیده است وبه‌آسانی تصورآن امکان‌

پذیـر نیست. فقط از راه مقایسه با چیزهای آشناتـر می‌شود تا اندازه‌ای به‌شناخت آن پی برد.

توپ عظیمی مانند کولومیاد[1] ژول ورن[2] گلوله‌ای را به‌طورقائم به‌آسمان پرتاب می‌کند. گلوله پس از خروج از لولهٔ توپ، در میدان گرانشی زمین به‌سوی بالاحرکت‌خواهدکرد. اما تـدریجاً از سرعتش کاسته‌می‌شود وبه زمین سقوط می‌کند. به‌جای باروت، مادهٔ محرکهٔ قویتری به‌کار می‌بریم و وضعیت توپ را تغییر می‌دهیم به‌طوری‌که با افق زاویهٔ کـوچکی بسازد، سپس گلولـه‌ای به‌مدار زمین رها می‌سازیم. میدان گرانشی زمین، مسیر گلـوله را کج می‌کند وآن‌را به‌صورت بیضی بسته‌ای درمی‌آورد. بازهم بر خرج منفجره می‌افزاییم، در این حال سرعت‌گلوله به ۱۱ کیلومتر درثانیه می‌رسد، و برای همیشه زمین را تـرك می‌کند. آیا راهی بینهایت می‌شود؟ اگر فضا تهی باشد بلی. اما فضا مملو از ماده است، و تراکم کافی ازماده ممکن است فضا را به‌نحوی خم کند که نه‌گلولهٔ خیالی ما، نه پرتو نور (یعنی جریان فوتونها)، و نه موج‌گرانشی هرگز نتوانند به‌فراسوی‌مرزهای مشخص بگریزند. زیرا تودهٔ متراکم ماده آنها را باز خواهد گرداند. همین ناحیهٔ به‌فرض مسدود از فضاست که‌آن را گیتی خود می‌نامیم. و بدیهی است که این گیتی دارای جرم مشخصی است. حال همانطورکه کولومیاد ژول ورن‌گلوله به‌هوا پرتاب می‌کند، ببینیم برای پرتو نوری که ازستاره‌ای به‌سوی فضای خارج رانده می‌شود چه‌پیش می‌آید؟ اگر جرم‌آن قسمت ازگیتی به‌قدرکافی زیاد باشد، کشش

1) Columbiad 2) Jules Verne

گرانشی آن پرتو نور را خم می‌کند؛ زیرا خود نور جریانی از ذرات مادی است، وماننند گلولهٔ پرتابی کولومیاد، از قوانین جاذبه پیروی می‌کند. هرچه جرم گیتی زیادتر باشد، خمیدگی تندتر است، و ممکن است که پرتو نور درست مثل مسیر گلوله‌ای که با سرعت ۱۱–۸ کیلومتر درثانیه از زمین پرتاب می‌شود، مدارش را ببندد. باوجود اینکه فضای چنین گیتی مسدودی بیپایان است، می‌توان شعاع آن را محاسبه کرد، یعنی شعاع مسیری که پرتو نور تا بینهایت می‌پیماید.

می‌دانیم که کوتاهترین فاصلهٔ بین دو نقطه خط مستقیم است. در یك فضای خمیده، پرتو نوری که از کهکشانه‌ای‌دیگر به ما می‌رسد مسیری منحنی طی می‌کند، باوجود این کوتاهترین فاصله بین کهکشان و زمین را نشان می‌دهد. دانشمندان برای تشریح خواص فضای خمیده از روابط و فرمولها مدد می‌جویند. آنهایی که‌با پیچیدگیهای ریاضیات عالی آشنایی ندارند، باید از راه روشهای قیاسی با مفاهیم پیچیدهٔ فیزیکی (که معنای فیزیکی مشخصی دارند) روبه‌رو شوند.

جهانی دوبعدی مجسم کنید که در آن طول و عرض دو بعد فضایی هستند. چنین جهانی‌را می‌توان مانند سطح میزی‌پنداشت. ساکنان این‌سرزمین دوبعدی مسطح فقط دارای دوجهت مختصات هستند و کوچکترین تصوری ازمختصهٔ سوم ندارند، بدیهی است که هنگام مطالعهٔ گیتی خود، به زودی پی خواهند برد که گیتی آنها درکلیهٔ جهات به‌شکل بسیار شگفتی از فضا ختم می‌شود، که با سرزمین دوبعدی آنها کاملا مغایر است. اما آنان همچنین می‌توانند درجهان دوبعدی نامحدودی سکونت اختیار کنند: جهانی

کروی، که بیپایان است. ساکنان این دنیای دو بعدی قادرند با استفاده ازاستدلال نظری و رعایت اصول ریاضی، شعاع انحنای گیتی خویش، یعنی شعاع کره، را تعیین کنند، و به‌این نتیجهٔ متناقض برسند که کوتاهترین فاصلهٔ بین دونقطه خط مستقیم نیست. زیرا تا مادامی که این مستوی‌نشینان فقط قسمت کوچکی از سطح کرهٔ خود را می‌شناسند، از انحنای آن آگاهی نخواهند داشت، و هندسه‌دانان آنها به‌این حقیقت بزرگ دست خواهند یافت که کوتاهترین فاصلهٔ بین دو نقطه خط مستقیم است. اما همچنانکه تمدنشان پیشرفت می‌کند، رفته رفته طریقهٔ اندازه‌گیری مسافات طویلتررا یاد می‌گیرند، و درمی‌یابند که کوتاهترین فاصلهٔ بین دو نقطه واقعاً خط مستقیم نیست.

کره را نمی‌توان یگانه شکل ممکن «گیتی» دوبعدی بسته دانست. نواری ازکاغذ به‌عرض دو سانتیمتر ببرید و دوسر آن را به‌هم بچسبانید. به‌این ترتیب دو «گیتی» موازی بسته خواهید داشت. پرتونوری که درهریك ازآنها حرکت کند به‌ناحیهٔفضایی‌اش باز خواهد گشت. نوارکاغذ را قبل از چسباندن سرهایش، یك‌بار پیچ دهید. اکنون «گیتی» دوبعدی بسته و یك جانبه‌ای خواهید داشت. خطی که از هرنقطهٔآن رسم شود مدار خود را می‌بندد.

به‌پرتابهٔ خیالی خویش باز می‌گردیم، گیتی‌ای که به‌وسیلهٔ میدان گرانشیش بسته می‌شود، یکی از چند گیتی ممکن است. می‌توان‌گیتی‌ای را تصور کرد که میدان‌گرانشی‌آن از بس نیرومند است می‌تواند از سرعت پرتو نور بکاهد وآن را متوقف سازد، درست مثل میدان جاذبهٔ زمین که موجب می‌شود گلوله‌ای که با

سرعت کمتر از ۸ کیلومتر درثانیه حرکت می‌کند به‌زمین باز گردد. اما این عمل ممکن نیست. زیرا، چنانکه قبلا گفته شد، سرعت نور ثابت است. لیکن آنچه که می‌توان اندیشید این‌است که فوتونها به‌هنگام غالب‌آمدن بر نیروی جاذبه تدریجاً انرژی خود را از دست می‌دهند ونور «قرمزمی‌شود» سرانجام درمسافت بیکرانی، انرژی فوتونها به‌صفر می‌رسد ونور «می‌میرد». این‌حد اعلای مسافت که پرتو نور به‌آن می‌رسد، مرزهای خارجی گیتی مرئی را ترسیم خواهدکرد؛ گیتی‌ای که بی‌انتها و بیپایان است و هرگز کسی به‌مرزهای آن نخواهد رسید.

و بالاخره می‌توان پرتوی ازنور را مجسم کرد که نه «پیر می‌شود» و نه به‌وسیلهٔ گرانش گیتی خم می‌گردد. این پرتو نور بدون‌هیچ‌گونه تغییری به‌خط‌مستقیم حرکت می‌کند. این ساده‌ترین ــ و نادرستترین ــ مفهوم گیتی بیپایان خواهد بود.

به‌احتمال زیادتر، از معادلات نسبیت عمومی چنین نتیجه می‌شود، قسمت شناخته‌شدهٔ گیتی بزرگ، یعنی گیتی «ما» ناحیه‌ای است که در آن توده‌های ماده سبب بسته‌شدن نور در روی مسیرش می‌گردند. اندازهٔ این قسمت از گیتی به‌واسطهٔ کهکشانه‌های «گریزان» وتقلیلی که درچگالی ماده و درنتیجه نیروی گرانش حاصل می‌شود، پیوسته رو به‌افزایش است. هرچه ماده در گیتی پراکنده‌تر باشد، انحنای فضا کمتر، و ازاین‌رو شعاع انحنا زیادتر است.

باید توجه داشت که در گیتی بزرگ، که بیکران و نامحدود است، امکان دارد تعداد بیشماری از گیتیهای بسته وجود داشته باشند که مانند گیتی ما در حال انبساط یا انقباضند، و احتمالا

به‌شکلهایی هستند که برای ما ناشناخته‌اند و برهم تأثیر متقابل دارند.

اکنون می‌خواهیم بدانیم که فضا و گیتی ما، از دیدگان ماشین زمان که ما را ده‌هزار میلیون سال به‌عقب برده است، چگونه به نظر می‌آیند؟ بر اساس سرعتهای «کهکشانه‌های گریزان»، پاره‌ای از دانشمندان به‌این نتیجه رسیده‌اند که در حدود آن روزگاران تمام مادهٔ گیتی شناخته‌شده، درناحیهٔ نسبتاً کوچکی متراکم بوده است. اینکه آیا ماده به‌صورتی بوده که امروزه می‌شناسیم، خود مسئله‌ای قابل بحث است. چه‌بسا ممکن است که شکل کاملا ناشناخته داشته است. احتمال می‌رود که این ماده به‌شکل «جنین» عظیمی بوده که فشار شگرف مرکز آن موجب پیدایش هسته‌های عناصر و ذرات بنیادی شده است. امکان دارد که مقادیر زیادی فوتون و گراویتون از آن ساطع شده، اما میدانهایی که داخل عمل متقابل شدند و فوتونهایی که منحنیهای مسدود را پیمودند مرزهای گیتی را در آن روزگاران هستی بخشیدند. همهٔ اینها حدس و گمان محض است.

چگونه این «تخم کیهانی» پدید آمد؟ آیا در نتیجهٔ فروریختگی گرانشی ابرهای عظیم غبار و گاز بود؟ یا که مرحله‌ای از تکامل ماده، از شکلهای ناشناخته بود؟ دانش بشری هنوز از پاسخ به‌این پرسشها عاجز است.

برای تعقیب فرضیهٔ مذکور، اضافه می‌کنیم که ظهور انرژی در هستهٔ «تخم کیهانی» موجب انفجار آن گردید. با رسیدن موج ضربه‌ای به‌چینه‌های محیط، انبساطی در آنها حاصل آمد. تراکم ماده کمتر شد، گراویتونها و فوتونها از چنگالهای میدان گرانشی گریختند و جریانهای تابشی شدید به‌درون فضای خالی فوران

کردند تا پیدایش گیتی بیکرانی را که مکان زندگی کنونی ماست، و پیوسته اسرارش را کشف می کنیم، خبر دهند.

توده‌های ماده و تابه‌های نورانی که نخستین موج را دنبال می کردند، از سرعت خود کاستند، زیرا دیگر در فضای خالی حرکتی نداشتند، بلکه در مکانی راه می‌پیمودند که از میدانها و ماده اشغال شده بود (فقط در خلاء است که نور با سرعت حد حرکت می کند). تکه‌های ماده به صورت گردبادها و پیچانها به خارج پرتاب شدند و از آنها کهکشانه‌ها، از جمله راه شیری ما، پا به‌عرصهٔ وجود نهادند.

اما خوانندهٔ کنجکاو به‌سرعت این نکته را یادآور خواهد شد که اگر آنچه گفتیم تصویر واقعی زایش گیتی ما باشد، گیتی نه جاودان است و نه نامحدود؛ و همان‌گونه که آغازی داشته پایانی خواهد داشت. بیگمان چنین است. هرچیزی در این جهان آغاز و انجامی دارد. انسانها، سیاره‌ها، ستاره‌ها، کهکشانه‌ها و گیتیهای دور دست و پهناور همه سرنوشت یکسانی دارند، که همانا تولد و مرگ است. فقط مادهٔ گیتی بی‌انتهاست که پایانی نمی‌شناسد و از میان تغییرات لایتناهی می گذرد، تا ابد تکامل می‌یابد و هرگز از یك راه دوبارنمی گذرد.

## خانوادهٔ سیاره‌ها

بگذارید سوار بر ماشین زمان شویم و تکامل منظومهٔ شمسی را از «روز خلقت» تا عصر کنونی دنبال کنیم. در جستجوی راه شیری، یعنی یکی از دهها هزار کهکشانهٔ گریزان، میلیونها سال را پشت‌سرمی گذاریم. آن‌را می‌یابیم؛ طبق محاسبات ما، خورشید

باید در همین حوالی باشد. اما به‌جای خورشید، ابر سیاهی از غبار و گاز می‌بینیم. از میان غبار، خورشیدی قرمز و کم‌فروغ، بسان قرص بیحرارتی که به‌هنگام غروب در پس افق فرو می‌رود، می‌درخشد. هرچه به‌آن نزدیکترمی‌شویم، بر درخشندگیش افزوده می‌شود تا به‌صورت ستارهٔ سوزان سفیدرنگ مایل به‌آبی در می‌آید. گرمای‌آن ذرات غباری‌راکه مجاورش هستند، تبخیرمی‌سازد وفشار نورش اتمهاومولکولهای بخار رابه‌عقب می‌پراند. فضای پیرامون خورشید از ماده تهی است.

اما سیاره‌ها کجا هستند؟ روزی‌که انسانهای کرهٔ خاکی پا به ستارهٔ بیگانه‌ای بگذارند، فوراً نمی‌توانند سیاره‌هایی‌راکه به‌دور این ستاره می‌گردند تشخیص دهند ــ چراکه چند لکهٔ کوچك با حرکات بغرنج و پیچیده‌ای که دارند چهرهٔ ستارگان را ناآشنا جلوه می‌دهند. درمورد خورشید اولیه، لااقل اطلاعاتی از مدارهای سیاره‌های مختلف در دست داریم. اما زمین را درآنجا نمی‌بینیم، هنوز وقت تولدآن نرسیده است. موتورهای ماشین زمان را روشن می‌کنیم و پا به پای تکامل منظومهٔ شمسی پیش می‌رویم.

آیا تا به‌حال فیلمی را دیده‌اید که درآن گل سرخ زیبایی در برابر دیدگانتان ازغنچه‌ای به‌وجودآید؟ این کار را می‌توان با تکنیك ساده‌ای انجام داد: یك دوربین سینمایی را متوجه غنچهٔ زنده‌ای می‌کنند و هرنیم‌ساعت یك‌بار ازآن فیلمبرداری می‌کنند. وقتی‌که فیلم در پروژکتور با سرعت معمولی به‌حرکت در می‌آید، می‌بینیدکه این گل زیبا با تمام شکوهش از غنچه بیرون می‌آید.

ماشین زمان، هزاران سال را به‌کسوری از ثانیه منقبض می‌کند و به‌این ترتیب وسیله‌ای برای ما فراهم می‌آورد تا بتوانیم تکامل ابر غبار وگاز را ببینیم. ذرات فراوان با مسیرهای مختلف ازمیان ابر می‌گذرند. به‌هم برخورد می‌کنند، به‌هم می‌آمیزند، یا که ممکن است شکافته شده به‌قسمتهایی تبدیل شوند و منفجرگردند و به‌صورت ابرهایی از پلاسمای سرد درآیند. با رسیدگی دقیق به‌این وضع به‌زودی الگوی مشخصی در هرج و مرج بینظمیهای حرکت نمایان می‌گردد. به‌تدریج ابر کروی متراکم شده و در صفحهٔ استوای خورشید به‌صورت قرص عظیم و مسطحی در می‌آید که خورشید در مرکز آن واقع است. قطر آن قرص متجاوز از هزاران میلیون کیلومتر است، و ضخامت آن به‌چند هزار کیلومتر می‌رسد. این قرص همگن نیست: قسمتهای درونی که به‌خورشید نزدیکترند، اساساً از ذرات وموادی تشکیل‌شده‌اند که دمای ذوب وتبخیرفوق‌العاده‌زیادی دارند. گازهای‌فرارمانند هیدروژن، ازت، و متان که روزگاری به‌شکل جامد بوده‌اند، بخار شده و به‌محیط قرص پس‌رانده شده‌اند. ازاین قرار در ایام ما، خورشیدگازهای موجود در سر ستارهٔ دنباله‌دار را ابتدا گرم می‌کند و سپس تبخیر می‌سازد، وباتابه‌های‌گرما بخش و انرژی‌آخرین خودآنها را پس می‌زند و برای دم‌آنها منظره‌ای بس تماشایی و شگفت‌انگیز به وجود می‌آورد. همینکه دنباله‌دار از خورشید دور می‌شود، گازها دوباره منجمد می‌شوند و روی ذرات مادهٔ جامد تجمع می‌کنند.

همین‌طورکه با زمان به‌پیش می‌رویم، می‌بینیم که بیشتر ذرات در اثر برخورد، تمایل به‌هم‌آمیختگیشان به‌مراتب زیادتراز پس‌زنی‌آنهاست. دیری نمی‌پایدکه اجتماعات قابل ملاحظه‌ای از

هسته‌ها با کشش گرانشی چشمگیری ظاهر می‌شوند. هسته‌های کوچکتر به گرد بسیاری از آنها می‌گردند. پاره‌ای به‌هم می‌خورند پاره‌ای پـراکنده می‌شوند و بقیه بـه‌هـم می‌آمیزند. زمیـن آنجـاست فقط چند صد کیلومتری قطر دارد، اما نمی‌تواند جوّی را دربـر بگیرد. سطح آن‌را شهابسنگهای بیشماری بمباران می‌کنند، و رفته‌رفته بسان گلوله‌ای از برف که مورد اصابت گلوله‌های برفی مرطوب قرار گیرد متورم می‌شود. به‌تدریج که بر اندازه‌اش افزوده می‌شود، پدیده‌های جدیدی هویدا می‌گردند. جوّی پیرامون آن پدید می‌آید و در درون آن طبقه‌بندی ماده روی می‌دهـد. ذرات سنگین به سوی مرکـز فـرو می‌روند و ذرات سبك به بالا می‌آیند. فشار افزایش‌یابندهٔ درونی، موجب گـرم شدن هسته می‌شود و دمای آن‌را به‌صدها وحتا کثر به‌هزار درجه‌بالاتر از صفر مطلق می‌رساند.

به‌همین ترتیب سیاره‌های دیگر از حلقهٔ گاز وغبار تشکیل می‌یابند. بنابراین کلیهٔ مادهٔ ابر اولیه عملا صرف تشکیل آنها شده، و خورشید با خانوادهٔ نوزاد سیاره‌هایش در فضای روشن نورافشانی می‌کند.

ابعاد منظومهٔ شمسی و از آن‌جمله سیاره‌ها و مدارهای آنها با دقت زیاد اندازه‌گیری شده‌است، وحتی سیاره‌ها را «وزن کرده‌اند». از ردیف کردن و تنظیم اطلاعات به‌دست‌آمده نتایج کلی زیر فراهم می‌آیند:

ــ منظومهٔ شمسی از نظر مفهوم کلمه یك منظومـه است؛ نمی‌توان آن را اجتماعی تصادفی از سیاره‌ها نامید.

ــ همهٔ سیاره‌ها تقریباً در سطح استوای خورشید واقع هستند؛

ــ سیاره‌ها روی مدارهای خود در جهت یکسانی حـرکت می‌کنند که با جهت حرکت خورشید یکی است؛ به‌علاوه جهت

گردش سیاره‌ها به گرد محورشان یکسان است (به استثنای اورانوس)؛

ـ اندازهٔ سیاره‌ها به‌تدریج از خورشید به‌طرف مشتری زیاد می‌شود، و از آن به‌بعد رو به‌کاهش می‌رود، مریخ از این قانون مستثناست، اما اگرجرم سیارکها به‌آن اضافه شود این مطلب در مورد آن هم صدق می‌کند.

ـ سیاره‌ها به‌فاصلهٔ منظمی ازهم‌قرار دارند و ازیك رابطهٔ سادهٔ ریاضی پیروی می‌کنند (قانون بوده[1]).

بسیاری از کیفیتهای ویژهٔ منظومهٔ شمسی مدلل می‌سازند که تشکیل این منظومه دشوار می‌تواند یك امر تصادفی باشد، و باید بر طبق قوانین فیزیك و تکامل طبیعی ماده، به‌مرحلهٔ ظهور رسیده باشد. اوتو اشمیت[2] ریاضیدان وفیزیکدان نامی شوروی، برای نخستین‌بار فرضیهٔ مبدأ منظومهٔ شمسی را به‌اتکای‌اصول ریاضی پی‌ریزی کرد ـ و این همان فرضیه‌ای است که در سفر گذشته در طول زمان، به‌تعقیب آن پرداختیم. تئوری این دانشمند شرح متقاعدکننده‌ای از ویژگیهای منظومهٔ شمسی به‌دست می‌دهد. با وجود این، پاره‌ای از نکات آن مورد انتقاد شدید قرار گرفته است. از همه مهمتر، حتی نخستین مرحلهٔ تکامل منظومهٔ شمسی ـ «تصرف» ابرگازی به‌وسیلهٔ خورشید ـ بر اساس صحیحی متکی نیست. بدیهی است که خورشید برای تصرف و تسخیر چنین ابر غبار وگاز منجمد، فقط یك راه می‌توانست داشته‌باشد، وآن این بود که ضمن عبور درگیتی از این ابر هم می‌گذشت و قسمتی از

1) Bode 2) Otto Shmidt

آن را دربر می‌گرفت. این نظریهٔ اشمیت است. اما خرده‌گیران تئوری اشمیت، از طریق اثبات ریاضی نشان داده‌اند که چنین واقعه‌ای امکان‌پذیر نیست، و اگر خورشید با این ابر گاز و غبار روبه‌رو می‌شد به‌آسانی از آن می‌گذشت، و بی‌آنکه به «گرد وغبار آلوده شود» مانند پیش سربرون می‌کرد. ازطرف دیگر، اشمیت و پیروانش مدعی‌اند که بر اثر تصادم ذرات در درون ابر، وقوع حادثهٔ مورد بحث میسر است. همچنین اگر خورشید ضمن عبور از ابر، با ستاره‌ای برخورد می‌کرد باز هم ممکن بود این اتفاق روی دهد.

بحث ادامه می‌یابد. همان‌طور که می‌بینیم، جدا کردن مبدأ منظومهٔ شمسی از مبدأ گیتی کار اشتباهی است. محققاً، دلیلی وجود ندارد که بر اساس آن بتوان نتیجه گرفت که ابتدا خورشید پدیدار شد وسپس سیاره‌ها هستی‌یافتند. آنچه بیشترمنطقی به‌نظر می‌آید این است که فرض شود تمامی منظومهٔ شمسی دریك زمان زاده شده است.

انفجاری سهمگین، تکه‌های بزرگ ماده را در جهات مختلف پراکنده ساخت. این خرده‌ها به‌دور پاره‌های انبوهتر ماده جمع آمدند و ستارگان شکل یافتند. طبیعی است که دراین‌فراروندمی‌توان انتظار ابرهای گاز و غبار را داشت که در پیرامون ستاره به‌شکل گردبادهایی می‌چرخیده‌اند. ذرات گوناگون ابر طبعاً دارای مقدار حرکت زاویه‌ای[1] مختلفی بوده‌اند، یا به‌عبارت دیگر سرعتهایی متفاوت داشته‌اند. ذرات تندتر به‌سوی گرانیگاه

1) angular momentum

فرو نریخته‌اند، و همچنانکه به‌حرکت خود ادامه داده‌اند، بر اثر تصادم و به‌هم‌آمیختگی با ذرات دیگر، رفته رفته به‌سیاره‌ها تبدیل شده‌اند، که مقدار حرکت زاویه‌ای قابل ملاحظه‌ای دارند. بنابر- این مقدار حرکت زاویه‌ای سیاره‌ها را می‌شود مرده‌ریگ ذرات گاز وغبارگردباد اولیه دانست.

ذرات کندتر به‌سوی گرانیگاه فرو ریختند، وسبب‌زایش خورشید شدند. چون مقدارحرکت زاویه‌ای کوچکی داشتند، پس‌خورشید ما هم دارای اندازه حرکت زاویه‌ای کوچکی است، و با سرعت نسبتاً کندی حول محورش می‌چرخد.

باید توجه داشت که با این فرضیه، امکان اینکه امروزه نیز ستارگان و سیاره‌ها از پیچانهای غبار وگاز و سحابیها پدیدآیند، بسیاراست. تکامل تدریجی ماده ادامه دارد وآنچه برای خورشید وسیاره‌هادرهزاران‌میلیون سال قبل‌پیش‌آمده، امروزه‌نیزممکن‌است درناحیهٔ دیگری ازراه شیری‌یاکهکشانه‌های دیگر به‌وقوع‌پیوندد.

در تاریخ کیهانی ستارگان و سیاره‌ها، هنوز بسیاری ازمطالب نامفهوم ومبهم به‌چشم می‌خورند. درپیش‌گفتیم که تئوری اشمیت متکی برپایهٔ محکمی از روابط ومحاسبات‌است. اما این فرمولها کاملا روشن و واضح نیستند. مثلا اشمیت و پیروان تئوریش، از اثرات‌میدانهای الکترومانیتیك در «کار خلقت»، چشم پوشیدند، و حال آنکه این میدانها تأثیر قابل ملاحظه و چشمگیری دارند. اگر عامل اخیر درتئوری اشمیت منظورگردد، ممکن‌است آن را از صورت ریاضی به‌صورت یك فرضیهٔ ذهنی درآورد. از طرف‌دیگر، قصور دربه حساب‌آوردن اثرات الکترومانیتیك ممکن است موجب یك چنین نقاط ضعفی در این فرضیه شده باشد وچه

بنا اگر نقش عمدهٔ آنها مورد رسیدگی واقع شود در رفع نواقص و معایب موجود مؤثر افتد. دانشمندان در راه مباحث هیدرودینامیك[1] و مانیتودینامیك[2] فضای خارج و بسیاری‌ازمسائل ناشناخته و نامکشوف گامهایی برداشته‌اند. اما یك‌چیزرا می‌توان با اطمینان بیان‌کرد: گیتی به‌شکل تصویر منجمدی باقی نخواهد ماند. انسان دوباره‌آن را به‌زندگی باز خواهدگرداند. به‌نوشتن زندگینامهٔ ستارگان وکهکشانه‌ها خواهد پرداخت، درست همان طورکه در بارهٔ سرگذشت حیات در روی سیاره‌اش چنین می‌کند.

## یك دور مارپیچ

بسیاری از حوادث سرگذشت زمین، همچون پیدایش‌آن، برای ما ناشناخته‌اند. زخمهای یك انسان، ازشرکت او در جنگها و مبارزاتش حکایت می‌کنند. اما حتی دقیقترین بررسی‌آثار زخمهای‌کهنه نه می‌تواند نشان دهندهٔ شهامت وی باشد، و نه اینکه محل پیکارش را تعیین‌کند. در سیمای سیارهٔ ما نیزآثار زیادی از زخمهای‌کهن به‌چشم می‌خورد که علل آنها هنوز روشن نیست.

دریاچه‌های متعدد فنلاند وکارلیا[3] یادگارکوههای یخی هستند، که در چند میلیون سال پیش، چندین مرتبه از سوی‌کوههای اسکاندیناوی به‌جانب دریای مدیترانه سرازیر شدند، و دوباره رو

1) hydrodynamics 2) mgnetodynamics
3) Karelia

به‌شمال پس رفتند. چه چیزی موجب سرد شدن مناطق وسیع، و احتمالا تمامی سیارهٔ زمین شده است؟ دانشمندان هنوز برای این پرسش پاسخی نیافته‌اند، هرچند دوره‌های یخبندان از حوادث بالنسبه تازهٔ سرگذشت زمین‌اند.

در جنوبگان، ذخایر عظیمی از زغال سنگ کشف شده‌اند. زغال‌سنگ، بقایای سنگواره‌شدهٔ درختان غول‌پیکر سرخس قدیم است. در روزگاران پیشین، جنگلهای دست نخوردهٔ استوایی در قارهٔ جنوبی روییدند، سنجاقکهای عظیم‌الجثه در پرتو خورشید به‌پرواز درآمدند، و زندگی در باطلاقها و مناطق کم‌آب پیشروی کرد. جزیره‌های پوشیده از برف اشپیتزبرگن[1] که در آنجا معادن فراوانی از زغال‌سنگ نهفته است، نیز روزگاری از آب و هوای استوایی کام گرفته است. چه باعث شد که سرما قطب جنوب را با برف، و اقیانوس شمالگان را با یخهای آب نشدنی بپوشاند. این هم یکی دیگر از رازهای تاریخ زمین است.

از عمر کرهٔ زمین چندهزارمیلیون سال می‌گذرد. اما دانشمندان دیرینشناس تاریخ پیدایش حیات در روی کرهٔ زمین را مربوط به هزار میلیون سال پیش می‌دانند. چرا زندگی این همه دیر آغاز شد؟ آیا ممکن است که این هزارمیلیون سال آخرین ظهور حیاتی باشد که پیشتر از آن به‌وجود آمد و سپس بر اثر یك فاجعهٔ کیهانی یا انفجار خورشیدی یا تابش مرگبار ستاره‌ای یا حتی حادثه‌ای که منشاء زمینی داشته‌است، نابود گردیده است؟

برای آینده چه دورنماهایی را می‌توان پیشبینی کرد؟ آیا انسان

1) Spitzbergen

می‌تواند ازامکان وقوع یك حادثهٔ کیهانی بکاهد؟ ظاهراً باید گفت بلی. به‌نظر می‌آید که خورشید ستارهٔ پابرجایی است که شدت تابش آن ثابت بوده و هرتقلیل یا انفجار ناگهانی در آن صراحتاً امری محال است.

ازکهنترین تمدنهای تاریخ بشریت تا زمان حاضر به‌زحمت ده هزار سال می‌گذرد. به‌آسانی می‌توان تصور کرد که در ده‌هزار سال‌آینده، سرنوشت انسانها برخلاف صورت امروزی در قید و بند زمین نخواهد بود. بدون شك انسان به سیاره‌های دیگر منظومهٔ شمسی ونیزستارگان همجوار راه شیری مهاجرت خواهد کرد.

در چند هزار میلیون سال دیگر زمین، منظومهٔ شمسی وگیتی چگونه خواهند بود؟ آیا می‌توانیم با ماشین زمان، همانگونه که به‌گذشته سفر کردیم، به‌آینده هم سفر کنیم؟ باید گفت نه. چنین دورنماهای دوردست بسی تاریك و نامعلومند، چراکه دانش ما دربارهٔ قوانین طبیعت بسیار اندك است، وهنوز از سیرهای تکاملی ماده تصوری مبهم داریم. اما چند بررسی اساسی‌را می‌توان مورد مطالعه قرار داد.

اول از همه اینکه مفهوم تکامل سیکلی ماده به‌کلی نارساست. به‌موجب این تئوری، ستارگان از سحابیهای گاز و غبار به‌وجود می‌آیند، سپس سرد می‌شوند و انرژی پراکنده شده به‌طرز نامعلومی منقبض می‌گردد. پس از آن ستارگان باهم تصادم می‌کنند، منفجر می‌شوند و دوباره به‌صورت گاز وغبار درمی‌آیند و این سیکل ازنو تکرار می‌شود. امروزه می‌توانیم بگوییم که اگر چنین سیکل بازگشتی برای ماده روی دهد ــ در مقیاس معین

احتمال وقوع این‌حادثه زیاد است ــ در تکامل ماده براساس‌مقیاس عمومی مؤثر نیست.

همچنین تئوری دیگری به‌نام تئوری «غیرسیکلی مرگ گرمای گیتی» وجود دارد. دو استوانه از گاز تصور کنید که یکی گرم و دیگری سرد باشد. اگر این دوگاز را باهم مخلوط کنیم، مخلوط حاصل نه‌گرم است و نه سرد. بلکه دمای آن حد متوسط دماهای دوگاز خواهد بود. این یك امر بدیهی است، زیرا به‌همین‌ترتیب نمی‌توان گازها را ازهم جدا کرد و به‌صورت گاز سرد وگاز گرم درآورد. از طرفی محال است که بدون وجود عاملی خارجی، یك طرف اتاق ازطرف دیگرسردتر باشد. در فرایندهای طبیعی، دما سرانجام به‌حالت‌تعادل‌درمی‌آید.فرمول بندی‌این‌اصل، موجب ظهور مسئله‌ای گردید که مورد توجه فیزیکدانان وفلاسفه‌بود.

اگر دماها یکسان می‌شوند، پس چرا ستارگان بسیارگرم در کنار اختران سرد یافت می‌شوند؟ چرا اختلاف دما درگیتی این همه زیاد است؟ آیا این دلیل برضربان اولیه‌ای است که منابع عظیم انرژی متراکم را هستی بخشید و هم‌اکنون تعادل دما در شرف وقوع است؟ نخستین کسی که در صدد پاسخ دادن به‌این پرسش برآمد، فیزیکدان مشهور اتریشی، لودویك بولتسمان[1] بود. بولتسمان به‌مطالعهٔ تئوری سینتیك گازها و ماده پرداخت و اصول‌اساسی‌دینامیك وسینتیك‌گازها را به‌صورت فرمول درآورد. او ثابت کرد که مولکولهای متشکلهٔ گاز دارای سرعتهای مختلفی هستند. بیشتر این مولکولها با سرعت کمابیش یکسانی

1) Ludwig Boltzmann

حرکت می‌کنند که دمای گاز را تعیین می‌کند؛ اما در هر لحظه مولکولهایی وجود دارند که سرعتشان بالنسبه کم یا زیاد است.

گازی را تصور کنید که فقط از ده مولکول تشکیل شده، که پنج مولکول آن سرعتی بیش از حد متوسط دارند وسرعت پنج تای دیگر کندتر ازحد متوسط است. با این چند مولکول، کاملا امکان دارد که درلحظه‌ای تمام مولکولهای تندرو دریك‌سمت اتاق جمع شوند و مولکولهای کندرو به‌سمت دیگر اتاق بروند. هرچند این احتمال چندان زیاد نیست، اما روی هم‌رفته غیرممکن نیست. مقصود این‌است که حرکت‌گاز نه‌تنها درجهت توازن دما، بلکه درجهت‌ایجاد افت‌دما نیزصورت می‌گیرد. فرارونده‌ای‌طبیعی که مخالف با توازن دما هستند ــ پدیده‌هایی که اختلاف دما در آنها به‌چشم می‌خورد ــ براثرپدیده‌های نوسانی حادث می‌شوند. جای هیچ‌گونه تردید نیست که نوسانهای کوچك همواره درگازها روی می‌دهند و همیشه می‌توان نواحی کوچك و گروههایی از مولکولها را یافت که دمای آنها بیش از حد متوسط است.

بولتسمان نظریه‌ای پیش‌آورد که برطبق آن‌گیتی مرئی نمایندهٔ تغییری عظیم در درون‌گیتی بزرگ است که با دورنمای مرگ‌گرما روبه‌روست، مضافاً اینکه گیتی مرئی را «اجتماعی از مولکولها» تشکیل می‌دهند که دمای آنها در یك لحظه «پس از حد متوسط» است. تصور بولتسمان مترقیانه بود؛ اما هواخواهان زیادی به دست‌نیاورد. دربارهٔ آن‌مباحثه‌های داغی درگرفت،اما طرفین‌مباحثه یك‌واقعیت‌مهم‌راازنظردورداشتند: تحقیقات‌متخصصان‌تئوری‌دینامیك گازها، دربارهٔ جهان بسیار کوچك مولکولهای گاز دورمی‌زند. اما همهٔ‌گیتی‌ازمولکولهای‌هیدروژن به‌وجودنیامده، بلکه‌شامل‌مولکولها

و اتمهای مختلف‌است. آیا می‌توان نتیجه‌ای را که از مطالعهٔ گازها فراهم می‌آید، برای تمامی گیتی تعمیم داد؟ البته نه، وبه این دلیل نظریات ونتایج حاصل‌از تئوری بولتسمان‌نارسا هستند.

فقط آنچه اینشتین نوشت درست می‌نمود، و بی‌آنکه ادعا کند پژوهشهایش جامع و وسیع هستند می‌گفت که بسط دادن قوانین مادهٔ محدود به‌گیتی نامحدود کار عاقلانه‌ای‌نیست. از روی پژوهشهای مربوط به‌گیتی محدود، اندیشه‌هایی کلی دربارهٔ ماده وقوانین حرکت‌پدید می‌آیند که می‌توانند درراه‌پیشبرد بسیاری‌از قضایای کلی و تقریبی منتسب به‌پدیده‌های گیتی‌نامحدودبه‌کاررونند.

آیا نتیجهٔ ناشی از بدبینی مربوط به «مرگ گرمای» گیتی می‌تواند به‌قوت خود باقی باشد؟ شاخه‌ای از ریاضیات وجود

---

## به‌زبان ریاضی

«مرگ گرما»

هنگام‌مطالعهٔ‌حالت‌کلی‌ماده درگیتی باید انواع‌نامحدود ذرات را مورد بررسی قرارداد. برای این‌کار دانش‌کافی دربارهٔ برخی از عمومیترین خواص مجموعه‌های نامحدود ضروری است.

ساده‌ترین‌مجموعهٔ نامحدود مجموعه‌ای‌است که ازاعداد مثبت $n$ ،..., ۵, ۴, ۳, ۲, ۱, ۰ تشکیل شده‌که درآن $n$ به‌سمت بینهایت‌میل می‌کند. این‌مجموعه رامجموعهٔ‌شمارش‌پذیر می‌نامند. توجه داشته باشیدکه مجموعهٔ ۱۰۰٬۰۰۰ و۱۰٬۰۰۰ و۱٬۰۰۰ و ۱۰۰ و ۱۰ و ۱، و غیره‌نیز یك مجموعهٔ شمارش پذیر است و اعداد مجموعهٔ اول و دوم را می‌توان یك به‌یك باهم تطبیق‌کرد. زیرا اعداد مجموعهٔ اول‌را می‌توان به‌صورت $10^0, 10^1, 10^2, 10^3, 10^4, 10^5$ و غیره نوشت. این یکی از پارادوکسهای بینهایت است.

←

داردکه به‌تئوری مجموعه معروف است. این تئوری را ریاضیدان آلمانی قرن نوزدهم، گئورگ کانتور[1] عرضه داشت. این علم دربارهٔ مجموعه‌هایی از تعداد نامحدود ذرات، ارقام، حروف، یااجزای دیگر صحبت می‌کند. وچون درقوانین بینهایت رخنه می‌کند، نتایج جالبی ازآن به‌دست می‌آیندکه اگر در مورد قوانین فیزیکی به‌کار برده شوند شاید بتوانند پاسخی برای این سؤال که چرا گیتی باید تا ابد نامتعادل باشد بیابند. این نتایج فوق‌العاده پیچیده هستند و ازاین‌رو فقط می‌توان آنها را به‌ساده‌ترین شکل مورد بررسی قرار داد.

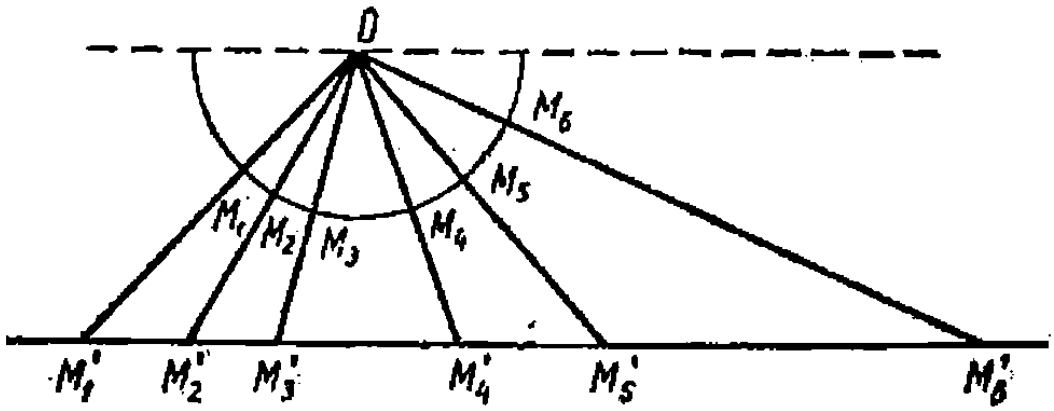
بارها متذکر شده‌ایم که گیتی بزرگ از نظر ترکیب کاملا ناهمگن است، و از بینهایت ذرهٔ گوناگون تشکیل شده است.

1) Georg Cantor

---

→

بینهایت شمارش‌پذیر، نارساترین بینهایتهاست. مثلا برای شمارش کلیهٔ نقاطی که روی قطعه خط مستقیمی قرارگرفته‌اند، نمی‌شود ازمجموعهٔ نامحدود اعداد مثبت استفاده کرد. مجموعهٔ نقاط واقع در روی هرقسمت از قطعه خط مستقیم، یا روی خط مستقیم نامحدود، یا در تمامی فضا غیرقابل شمارش است. زیراتشکیل پیوستاری را می‌دهدکه‌استخراج




←

سازمان این گیتی را گاز بین ستاره‌ای مشتمل بر اتمهای یونیدهٔ هیدروژن با آمیخته‌هایی از اتمها و عناصر دیگر، تکه‌های نسبتاً کوچك مادهٔ جامد، مانند شهابسنگها، و سیارکها، قطعات عظیم سیاره‌ها، کره‌های عظیم‌الجثه‌ای از پلاسما ــ ستارگان، منظومه‌های اختری، کهکشانه‌ها وقلمروها و اقلیمهای وسیعی چون گیتی مرئی که به‌وسیلهٔ روابط اینشتین توضیح داده می‌شوند، به‌وجود آورده‌اند. هریك ازاین تشکیلات شامل مجموعهٔ نامحدودی از عناصر «پستر» می‌باشد: سیارکها از مولکولها، وگیتی ازکهکشانه‌ها، و غیره هستی یافته‌اند. برای اینکه انرژی عناصر نامحدودی که گیتی را تشکیل می‌دهند، به‌حال توازن درآیند باید کلیهٔ آنها از آخرین اتمهای یونیدهٔ گاز بین ستاره‌ای گرفته تا بزرگترین کهکشانه‌ها برهم تأثیر متقابل بگذارند و بین آنها تبادل انرژی

---

آن ازطریق هیچ‌یك از عملیات شمارش امکان‌پذیر نیست، این را «توان پیوستاری» یا cardinality می‌نامند.

بخصوص، به‌آسانی می‌شود نشان‌داد که درواقع برهر نقطه ازقطعه‌خط، یك‌نقطه وفقط یك نقطه ازخط مستقیم‌نامحدود منطبق می‌شود. نیمدایره‌ای‌فرض‌کنیدکه طول‌آن برابر با طول‌قطعهٔ‌معین باشد. ازمرکز نیمدایره، تمام نقاطش‌راروی خط مستقیم نامحدودی که‌ازپایین‌آن می‌گذرد تصویرکنید. به‌این‌ترتیب‌حقیقت‌مطلب‌فوق‌الذکر را به‌آسانی درخواهید یافت.

برای‌بررسی‌عمومیترین‌قوانین مربوط‌به‌رفتار مجموعهٔ نامحدودی‌از ذرات‌ماده‌درگیتی‌نامحدود، می‌توان ازمفاهیم مجموعه‌های شمارش‌پذیر و cardinality استفاده‌کرد.

گیتی نامحدود را به‌مجموعهٔ قابل شمارشی ازحوزه‌های محدود تقسیم‌کنید. بدیهی است‌که هرحوزهٔ محدودی شامل

صورت گیرد.

بر اساس یکی از نتایج تئوری مجموعه‌ها، تمام این اثرات متقابل نامحدود نمی‌توانند حتی درفاصلهٔ نامحدودی از زمان رخ دهند. (نتایج ناشی ازبررسی این مسئله توسط یکی‌ازنویسندگان این کتاب، کیریل استانیوکوویچ، در سال ۱۹۴۹ به‌چاپ رسید.) برای اینکه استدلال مطلب بـه خوبی تفهیم شود می‌توان از یك تعبیر فیزیکی ساده کمك گرفت، به‌این معنی کـه تعادل حرارتـی فقط درگیتی‌ای می‌تواندبرقرارگردد که ازیك پیوستار[1] یکنواخت، مانند گاز یا مادهٔ لزج درست شده باشد. گیتی‌ای کـه از ذرات ریز و توده‌های عظیم ماده به‌وجودآمده است، به‌نحوی که عناصر کوچکتر جذب عناصر بزرگتر می‌شوند، هرگز نمی‌تواند تعادل

1) continuum

---

→

تعداد محدودی از ذرات مادی بنیادی‌است. برای به‌حساب آوردن تأثیرمتقابل‌ماده‌ومیدانهای‌الکترومانیتیك‌وگرانشی از تئوری کوآنتوم ماده کمك بگیرید، وفرض کنید که حوزهٔ محدودی ازگیتی را تعداد محدودی کـوآنتوم تشکیل داده است. ازنظر استدلال، همچنین می‌شود فـرض کرد که بعضی کوآنتومهای بنیادی‌می‌توانند تاآنجاکه می‌خواهیم کوچك باشند ـ نه به‌این‌مفهوم که کوآنتوم، «انرژی‌نقطه‌ای» است، بلکه به‌این معنی که مجموعهٔ قابل شمارش چنین کـوآنتوم‌هایی حجم محدودی را اشغـال می‌کنند و حـامل انـرژی محدودی هستند.

بنابراین‌درحجم‌محدودی‌ازفضا،می‌تواندعلاوه‌برمجموعهٔ محدود، مجموعهٔ‌قابل شمارشی از ذرات بنیادی وجودداشته باشد. ازاین‌رو، درتمام فضا مجموعهٔ قابل‌شمارشی از ذرات بنیادی وجود خواهد داشت.

←

حرارتی به‌دست‌آورد. زیرا ماده شکل تمرکز یافتهٔ انرژی است، و بدون توجه به اینکه چقدر از ماده به‌صورت میدانهای الکترو-مانیتیك یا گرانشی پراکنده می‌شود، تبدیل معکوس گراویتونها وفوتونها به‌الکترونها و سایرذرات بنیادی امکان‌پذیراست، یعنی انرژی دوباره تمرکزمی‌یابد. هنگامی که این فرضیه قدم به‌میدان نهاد، فرضیهٔ «مرگ‌گرما» مفهوم خود را از دست داد.

هنگامی که کشیش کلیسای وست مینستر انگلستان سرگرم تهیهٔ خطابه‌هایی علیه الحاد بود، از نیوتن خواست که برای اثبات وجود خدا دلیل علمی بیاورد. نیوتن که در سالهای آخر عمرش از علم به‌جانب دین گرویده بود، این مثال را زدکه برای قرار گرفتن سیاره‌ها درمدارهای ابدی‌آنها به‌دور خورشید، به«ضربهٔ» اولیه‌ای نیاز بوده است. تئوری «مرگ گرما» برای بیان ضربهٔ

---

بدیهی است در صورتی که ذرات مجموعهٔ قابل شمارش و محدودی را بسازند، یا چنانچه ذرات مجموعهٔ محدودی را بسازند، مجموعهٔ اعمال متقابل بین ذرات موجود در حجم محدودی ازفضا درفاصلهٔ زمانی معین، قابل شمارش خواهد بود. درتمام فضای نامحدود، و به‌فاصلهٔ زمانی معین، (برای هردو فرض) مجموعهٔ قابل شمارشی از اعمال متقابل رخ خواهد داد. (مقصود از عمل متقابل، واکنش بین دو ذره است که تغییر جرم یا انرژی درآنها به‌وجود می‌آورد.)

چون هرفاصلهٔ‌زمانی نامحدوددرا می‌توان به‌مجموعهٔ قابل شمارشی از فواصل زمانی محدود تقسیم کرد، لذا مجموعهٔ قابل شمارش اعمال متقابل، درطی فاصلهٔ زمانی محدودی درتمام گیتی روی خواهد داد.

مجموعه‌ای‌ازتمام‌اعمال متقابل‌ممکن‌برای مجموعهٔ‌قابل شمارش‌ازذرات، نشان‌دهندهٔ مجموعه‌ای ازمجموعه‌های فرعی

اولیه سودمند است. اگر تمام فراروندهای انرژی‌فقط دریك‌جهت توسعه یابند، مانند رودخانه‌ای که در سرازیری جریان می‌یابد، منطقی است که گفته شود روزی فراخواهد رسید کـه کوه انرژی تدریجاً به‌سوی دریا درغلتد. بدیهی‌است که ازآن‌پس باید زمانی دربین باشد که «کسی» دریا را لاروبی کند و کوه انـرژی را دریکجاانبوه سازد. چنین «کسی» بایدگاهگاهی ساعت گیتی را کوك کند تا از تیك‌تیك باز نماند.

یك قرن بعد از نیوتن، لاپلاس دانشمند فرانسوی مطالب‌عمدهٔ فرضیهٔ مادی خود را در بارهٔ مبداء منظومهٔ شمسی، بـرای ناپلئون مطرح ساخت ــ و این همان فرضیه‌ای بودکـه «ضربهٔ اولیه» را توضیح می‌داد، ونیوتن در تفسیر آن عاجز مانده بود.

ناپلئون پرسید: «و خدا درکجا نفوذ دارد؟»

---

→

مربوط به‌مجموعهٔ قابل‌شمارش‌معینی‌است، یعنی‌مجموعه‌ای‌که شامل‌کلیه اعمال‌متقابل‌ممکنه‌است دارای‌cardinality است.

پیوستاراعمال متقابل‌ممکن (حالات) رانمی‌توان با یك مجموعهٔ قابل شمارشی از اعمال متقابل حقیقی، درهرفاصله زمانی نامحدود استخراج‌کرد.

فرض‌کنید (اگرچه‌چنین چیزی‌نیست) که سرتاسرگیتی شمارشی را یك‌هسته ازذرات، مثلامولکولها، پرکرده‌است. بنابراین‌مجموعهٔ‌تمام‌حالات‌ممکن دارای cardinality خواهد بـود. امـا مجموعهٔ حـالات مستقل (غیرقابل تکرار) قابل شمارش خواهد بود، از این‌رو در فاصلهٔ عمر بیپایان‌گیتی، تعادلی برقرار شده است، یا باید فرض‌کنیم که درمنطقهٔ وسیع ونامتعادلی ازگیتی‌زندگی می‌کنیم که‌در نتیجه‌فراروند متغیرو بسیار غیرمحتمل به‌وجود آمد. دراین

←

لاپلاس جواب داد، «اعلیحضرتا، من نیازمند آن فرضیه نبودم».

کمتر از صد سال طول کشید تا فرضیهٔ «مرگ‌گرما» رد شد.

بعد ازاعلام تئوری نسبیت عام، تئوری‌گیتی تپنده[1] به میدان آمد. به موجب این تئوری، گیتی در فواصل زمانی معینی منقبض و منبسط می‌شود. در دورهٔ هر ضربان، کهکشانه‌ها، ستارگان، و سیاره‌ها پدید می‌آیند. انرژی‌آزاد شده درآغاز هر انبساط، به تدریج در راه غلبه برمیدان گرانشی عمومی کلیهٔ اجرامی که‌گیتی را پرمی‌کنند، به‌هدر می‌رود. وقتی‌که این انرژی تماماً به‌مصرف رسید، آن‌گاه انقباض آغاز می‌گردد.

همه‌ساله فصل بهار، آمدن خود را با تابش خورشید وشکفتن

1) pulsating universe

---

→

فرارونده می‌توان انتظار داشت که کلیهٔ مولکولهای‌سریع موجود درناحیه‌ای ازفضا دریك طرف جمع شده‌اند، وکلیه مولکولهای‌کند درسوی دیگر. این امر برای تعدادکمی از مولکولها به‌طور نسبتاً مکرر رخ می‌دهد، اما برای تعداد زیادی از مولکولها، امکان چنین‌فرارونده‌ی بسیار اندك است.

به‌طور قطع می‌شود فرض‌کرد که‌گیتی درگذشته در زمان معینی «زاییده شده»، اما حتی احتمال این حادثه بسیارکم است. البته، گیتی از یك دسته مولکول تشکیل نشده، و بنابراین‌باید نتیجه‌گرفت که‌همیشه مجموعهٔ قابل شمارشی‌از دسته‌های «ذرات» (عناصرمختلف)، درگیتی موجود است، به‌طوری‌که هر «ذره‌ای» از یك دسته ممکن است دارای «ذراتی» ازدسته‌های پایینتر باشد. مقصوداز «ذره»، شکل

←

گلها بشارت می‌دهد و به‌این‌ترتیب جایگزین یخبندانهای زمستانی می‌گردد. سپس تابستان فرا می‌رسد، و درپس آن مه‌های مرطوب پاییزی ظاهر می‌شوند، و ازنو پوشش سفید زمستان زمین را می‌پوشاند. این گردش فصلی است، و همان گونه که زمین پیوسته روی مدارش به‌دور خورشید می‌گردد، دوباره و دوباره تکرار می‌شود. اما هیچ گردشی دقیقاً تکرارگردش قبلی نخواهد بود. هر بهار تازه‌ای با بهارگذشته تفاوت دارد. نهالهای کوچك یك بیشهٔ جوان، رشدکرده‌اند. درخت تنومندکهنسالی پوسیده و سرنگون شده‌است. فرسایش تدریجی باعث تحلیل قسمت زیرین صخره‌ها شده، و درآنها پیش‌آمدگی به‌وجودآورده و ازآن طرف دیوارهای شنی دهانهٔ رودخانه بزرگتر شده‌اند. بدون شك اینها در دورهای عظیم طبیعت رویدادهای ناچیزی هستند، اما از تجمع همین حوادث است که تکامل ناشی می‌گردد. ریزش کوه زمینهٔ آن را زیاد تغییر نمی‌دهد، اما زمین‌شناسان معتقدند که باد و

---

→

مستقلی مانند پروتون، مولکول، اختر، منظومهٔ اختری و غیره باشد. می‌توان فرض‌کرد که علت اختلاف نامحدود دسته‌های «ذرات» مختلف ناشی از اثر متقابل ماده با میدانهای مربوطه است. هر «ذره‌ای» می‌تواند به‌هرمقداری (ظاهراً نامحدود) درگیتی وجود داشته باشد.

مجموعهٔ کلیه اعمال متقابل ممکنه مربوط به‌اختلاف کلی «ذرات»، بدون‌هیچ تکرار حالتی، دارای cardinality است. از این‌رو، مجموعهٔ اعمال متقابل تشکیلات گوناگون گیتی را نمی‌توان با هیچ عمل شمارشی که به‌تکامل غیر سیکلی ماده منتهی می‌شود و تکامل آن‌را امکان‌پذیر می‌سازد، استخراج کرد.

آب موجب سایش تمامی رشته‌کوهها شده‌اند، واثری که به‌جای می‌گذارند به‌حدی نیست که بتوان روز به‌روز آنها را مورد مطالعه قرار داد.

مدار تغییرات فصلی در واقع کامل نیست: بیشتر به‌مارپیچی می‌ماند که‌تکرارها همواره درترازی‌بالاتروبالاتررخ‌می‌دهند.حتی مدار زمین به‌دور خورشید فقط هنگامی بیضی بسته خواهد بود که حرکت خورشید منظور نشود. زیرا خورشید در گردش راه شیری وگریز این کهکشان درگیتی شریك است. به‌راستی که زمین حرکت برآیند پیچیده‌ای دارد. به‌این ترتیب منطقی است که‌گفته شود حتی در یك‌گیتی تپنده محال است که دو ضربان کاملا یکسان وجود داشته باشند. همچنین امکان نداردکه تمام فراوندها و پدیده‌ها بازگشت پذیر[1] باشند. تغییرات طولانی درکمیت، باید به‌تغییراتی در نوع، و تبدیل به‌حالت جدیدی منتهی گردد. آیا می‌توان تصورکردکه این‌گونه تبدیلها سرانجام به‌کجا خواهند انجامید؟

قبل از پاسخ به این پرسش، بهتر است که از پهنهٔ بیکران گیتی روانهٔ جهان بسیارکوچك ذرات بنیادی شویم. روزگاری اتم راکوچکترین ذرهٔ غیرقابل‌تقسیم ماده می‌پنداشتند (واژهٔ«اتم» در زبان یونانی به‌معنای «غیرقابل تقسیم» است). بعدها آشکار شدکه اتم از هسته و الکترونهایی تشکیل شده که به‌دورآن در حرکتند، و اینها باید غیرقابل تقسیم باشند. امروزه، در عصر انرژی هسته‌ای، هر شاگرد دبستانی به‌خوبی‌آگاه است که هستهٔ

1) reversible

اتم ساختمان پیچیده‌ای دارد و می‌تواند شکافته و تبدیل شود: الکترونی که با یك پوزیترون (پاد الکترون) تصادم می‌کند، به صورت تابشی در می‌آید که انرژی وجرم آن طبق اصل برابری اینشتین، باید با انرژی و جرم ذرات تصادم‌کننده برابر باشد. در هرحال، الکترون دیگر آن توپ جامد ریزی که نمی‌تواند تقسیم شود، نیست. همان‌گونه که گفته‌اند، الکترون پایان‌ناپذیراست.

الکترون نیز مانند پروتون، نوترون و سایر ذرات «بنیادی» بدون شك دارای ساختمان پیچیده‌ای است. آنچه که ذرات «بنیادی» می‌نامیم، محتملا مادهٔ فوق‌العاده فشرده‌ای است که هیچ‌گاه آرامش نداشته و دائماً ضربان دارد. دست‌کم، این مفهوم با حقایق شناخته شده متناقض نیست. درچنین‌ضربانهایی ذرهٔ بنیادی یا میدان اطراف وارد عمل متقابل می‌شود. هر انبساط، میدان را «کنارمی‌زند» و این امرموجب مصرف انرژی می‌گرددکه وابسته بمیدان است. آیا این انرژی دوباره به ذره‌ای که متراکم شده باز می‌گردد؟ همیشه این‌طور نیست، چراکه ذرهٔ تپنده متدرجاً انرژی خود را از دست می‌دهد. به‌این معنی که کاهش جرم درآن به‌وجودآمده، و به‌این ترتیب می‌توان گفت که جرم ذرهٔ بنیادی لزوماً ثابت نمی‌ماند.

امروزه، در مرحلهٔ فعلی تکامل ماده، جرم الکترون معادل $۹ \times ۱۰^{-۲۸}$ گرم، وجرم پروتون $۱٫۷ \times ۱۰^{-۲۴}$ گرم است. در ده‌هزار میلیون سال قبل، این ذرات سنگینتر بودند و در ده‌هزار میلیون سال دیگر، ممکن است همهٔ ذرات بنیادی گیتی وزنی کمتر از وزن فعلی داشته باشند. تغییر جرم می تواند برخواص دیگر ذرات بنیادی تأثیربگذارد. این فرارونده جهان‌بسیار کوچك،اشاره

بر تکامل غیر تکراری مادهٔ گیتی خواهد بود.

آیا مفهوم ذرات بنیادی تپنده با تئوری هیدرودینامیکی گرانش که در پیش ذکر شد، مطابقت می کند؟ نیکلای ژوکوفسکی[1]، «پدر هوانوردی شوروی»، با انجام یك آزمایش نظری پاسخی برای این پرسش یافته است. دو کره تصور کنید که در سیال غیر قابل تراکمی غوطه‌ور هستند. اگر کره‌ها طوری ساخته شده‌باشند که به‌طور هم‌زمان بتپند، به‌طوری که حداکثر حجم یکی مطابق با حداکثر حجم دیگری باشد، کره‌ها به‌سوی یکدیگر جذب می‌شوند. به‌علاوه، قانون جاذبه درمورد این دوجسم، برطبق رابطه‌ای خواهد بود که با رابطهٔ گرانش عمومی نیوتن یکسان است: نیروی جاذبه باانرژیهایی که از کره‌ها «می‌تابند» نسبت مستقیم، و با مجذور فاصلهٔ بین آنها نسبت معکوس خواهد داشت. اگرضربان «موزون» نباشد و حداکثر حجم یکی با حداقل حجم دیگری‌مطابقت نماید، کره‌ها با نیرویی که ازهمان فرمول به‌دست می‌آید، همدیگررا دفع خواهند کرد.

بدیهی‌است که مقایسهٔ بین ذرات بنیادی تپنده درمیدان‌گرانشی وکره‌های تپنده در یك سیال، دور از اصل مطلب است. اما این مقایسه اندیشه‌ای ازتئوری هیدرودینامیکی گرانش به‌دست می‌دهد. شاید در دورهٔ این ضربان، ذرات بنیادی، بسته‌های بنیادی انرژی را به‌صورت گراویتون ازخود بیرون دهند.

هرچند جرم ذرات بنیادی به‌ظاهر کاهش می‌یابد، اما آخرین اکتشافهای این تئوری نشان می‌دهند که مجموع جرم و انرژی

1) Nikolai Zhukovsky

درمحدودهٔ گیتی ما ثـابت است. به‌دنبال پیدایش گـراویتونها، پیوسته ذرات بنیادی جدیدی ازگراویتونهای«پیر»هستی می‌یابند، که میزان آنها را می‌توان درهر ثانیه $10^{-45}$ گرم درسانتیمترمکعب تخمین زد. و این با تغییری درثابتهای جهان همراه است:«ثابت» گرانشی زیاد می‌شود، بار بنیادی و «ثابت» پلانك کم می‌شونـد. فقط سرعت نور است که ثابت می‌ماند.

مسلماً، مـاده به‌آرامی از شکلی به‌شکل دیگر تغییر می‌کند. تجمعی پیوسته از تغییرات کمی روی می‌دهند وحتماً باید به‌پرش کیفی درآیند. اما بچه‌ترتیب؟ دانش فعلی مـا قادر به‌پاسخ دادن به‌این پرسش نیست. در هرصورت، مفهوم این بیان این است که گیتی سه‌بعدی بستهٔ ما دارای پایانـی است. ممکن است کـه فقط تکمیل یك‌دور از مارپیچ تکاملی را براساس مقیاسی بزرگتر نشان دهد. هرچه باشد، مرحلهٔ جدیدی را در راه تکامل مادهٔ جاودان وفناناپذیر نمایان خواهد ساخت.

# فرمانروایان گیتی

## به‌جای نتیجه

اینك به‌جایی باز می‌گردیم که کتاب را آغاز کردیم: روزی که انسان، فرمانروای زمین آستانهٔ زادگاه پدری را ترك گوید وقدم در راه فتح گیتی بردارد، دور نیست. او به جستجو و پیگردی ادامه می‌دهد و در سیاره‌های همسایه و سرانجام در کلیهٔ منظومهٔ شمسی سکنی خواهد گزید. سپس با یك جهش عظیم به سوی منظومه‌های سیاره‌ای ستارگان مجاور خواهد شتافت. اما این آخرین گام او نخواهد بود.

اسرار طبیعت پایان‌ناپذیرند و توانایی و استعداد آدمی برای بررسی و کاوش آنها بیکران است؛ و این نه فقط با استدلال نظری پژوهنده‌ای است که مغزش ابعاد نامحدود فضایی و زمانی را محاصره کرده، بلکه همچنین مانند کاشف فعالی است که تغییرشکل به وجود می‌آورد و خلق می‌کند.

هنگامی که انسان در روی زمین پیدا شد، حیات خود را با اوضاع متغیر محیط تطبیق داد. جانوران و نباتاتی که در راه تطابق عاجز ماندند، ازمیان رفتند، و امروزه می‌بینیم که‌دانشمندان دیرینشناس بقایای آنها را در چینه‌های مختلف زمین‌شناسی کشف می‌کنند. ازسوی دیگر، انسان از همان روز نخست برآن شد که

طبیعت را مطابق نیازهای خویش زیر فرمان در آورد. امروزه او در سرتاسر بیابانها به‌حفر آبروها دست می‌زند وسیستمهای وسیع آبیاری می‌سازد، مسیر رودخانه‌ها را تغییر می‌دهد و دریاچه‌های مصنوعی می‌آفریند، و در نظر دارد برای گرم کردن اقیانوس شمالگان، جریانهای آب گرم اقیانوس را روانهٔ آن دیار سازد.

کار شناخت قوانین حاکم برحالتهای ماده ومیدانها، و قوانین مربوط به‌اعمال متقابل آنها، جبراً برکار آفرینش وتطور ودگرگونی برتری دارد. دانشمندی که دریکی از رشته‌های علوم دقیق کار می‌کند، به‌اکتشاف اسرار ماده می‌پردازد. متصدیی که ماشینی را به‌حرکت درمی‌آورد، ماده را جابه‌جا می‌کند.

اسرار حالت جامد ماده فراوانند، و باید پرده از روی آنها برداشت. انسان به‌تازگی نحوهٔ استفاده از خواص اعجاب‌آور نیمرساناها را که چراغ امید نیروگاههای تبدیل مستقیم نور خورشید به‌الکتریسیته، وتلویزیونهای جیبی، یخچالهای فوق‌العاده باصرفه، و دستگاههای تهویه مطبوع هستند، آموخته است. همین چندی پیش بود که دانشمندان رفتار قابل توجه برخی از فلزات را در دماهای نزدیك به صفر مطلق، که به‌ابَر رسانایی موسوم است، کشف کردند. به‌کاربستن این کشف از آن آینده‌است. انسان به‌تازگی راه ساختن الماس و اجسام سختتر از الماس را یاد گرفته و دست به‌تهیه وتولید نخستین بلورهای کوچك فلزاتی زده که هزاربار مقاومتر از سختترین فولادها هستند. اجسام دیگری که بتوانند درمقابل دمای ۵۰۰۰ تا ۷۰۰۰ درجهٔ سانتیگراد ایستادگی کنند، اجسامی سختتر ازفولاد که قابلیت ریخته‌گری و گداخته شدن داشته‌باشند، فلزاتی به‌شفافیت شیشه، وشیشه‌هایی به

استحکام فلز، هنوز در انتظار کاشفان خود به‌سر می‌برند.

حالت مایع ماده نیز مایهٔ امید پیشرفتهای بزرگی است. دانشمندان در اعماق اقیانوس، لایه‌ای از آب را کشف کرده‌اند که دارای قابلیت ابررسانایی صوتی است. اسرار این آب چیست؟ برای فوق سیالیت هلیوم مایع، چه کاربردهایی می‌توان یافت؟ مهندسان رشته‌های مختلف درجستجوی مایعاتی هستند که خواص چشمگیری دارند وطبیعت درفراهم آوردن این خواص عاجزمانده است: مایعاتی که غلظت آنها با تغییرات دما ازصفرمطلق تاهزاران درجه ثابت می‌ماند، مایعات غیرقابل تبخیر و مایعاتی که خاصیت ارتجاعی همچون لاستیك دارند.

گازها چطور؟ آیا همهٔ اسرارحالت گازی ماده شناخته شده‌اند، وکلیهٔ کاربردهای گازها کشف گردیده‌اند؟ آیا گازهای رقیقی که بیصدا وبا سردی درچراغهای نئون تابلوهای تجارتی می‌سوزند، یگانه کاربرد شفق شمالی مهار شده است؟ آیا برای غرش صوتی هواپیمای مافوق صوت، کاربردی متصور می‌باشد؟

پلاسما اقیانوس کشف نشده‌ای است با جزایر و قاره‌های نامکشوف که‌اسرارنیروگاههای گرماهسته‌ای،خورشیدهای‌مصنوعی وپروازهای بین ستاره‌ای درآن پنهانند.

شاید شگفت‌انگیزتر ازهمه مادهٔ لمس‌ناپذیرمیدانهای الکترومانیتیك گرانشی وهسته‌ای باشد. خواص کشف نشده و غیرطبیعی ماده پایان‌ناپذیرند. علاوه براینها، می‌شود شگفتیهای دیگری را که ازاثرمتقابل حالتهای مختلف ماده ومیدانها، به‌راههای جدید، پدید می‌آیند نام برد.

انسان هنوز خیلی جوان است. از تاریخ ثبت شدهٔ او و از

کهنترین تمدنها کمتر از ده‌هزار سال می‌گذرد. کمتر از پنجاه سال پیش بود که سیستمی اجتماعی در روی زمین به‌وجودآمد و برای قدرتهای آفرینندگی انسانی که روزی در قید و بند اجتماعی بود، امکانات بیپایانی را میسر ساخت. درآیندهٔ نزدیك و دور چه‌شاهکارهای حیرت‌آوری از انسان ساخته است؟ آیا او میل محور زمین را تغییر می‌دهد و برای جامعهٔ بشریت بهار جاودان به‌بار خواهدآورد؟ آیا برای تنظیم تابش خورشیدی، بام شفافی را برفراز کرهٔ زمین برپا خواهدکرد؟ وآیا او زمین‌را به‌خورشید نزدیکترخواهد ساخت؟

گرچه رؤیاهای ما به‌ظاهر عجیب وغریب می‌آیند، می‌توان اطمینان داشت که‌گستاخترین پروازهای‌تخیلی روزی جامهٔ حقیقت برتن خواهندکرد. انسان زندگی را به‌سیاره‌های همسایه خواهد کشاند؛ و در سیاره‌های ستارگان همسایه سکونت خواهدکرد. روح هوشمندانه‌اش او را درگیتی جلوتر وجلوترخواهد برد. برای رشد و امکاناتش حدی وجود ندارد، همان‌گونه‌که گیتی را حدی نیست.

# واژه‌نامه

| | |
|---|---|
| accelerator | شتابگر |
| angular momentum | مقدار حرکت زاویه‌ای |
| Antarctica | جنوبگان |
| antimatter | پادماده، ضد ماده |
| antiparticle | پادذره، ضد ذره |
| artificial satellite | ماهواره |
| astronomer | اخترشناس |
| astronomy | اخترشناسی |
| astrophysics | اخترفیزیك |
| astrophysicist | اخترفیزیکدان |
| ballistics | پرتابیك، پرتابشناسی، بالیستیك |
| barograph | فشارنگار |
| beam | تابه |
| binary star | ستارهٔ مزدوج |
| brightness | درخشندگی |
| celestial body | اختر |
| chromosphere | رنگین‌سپهر |
| collapse (to) | فروریختن، رُمبیدن |
| comet | دنباله‌دار |

| | |
|---|---|
| computer | حسابگر |
| conduction | رسانش، هدایت |
| conductor | رسانا، هادی |
| connecting rod | شاتون، دسته‌پیستون |
| conservation of energy | پایندگی انرژی |
| constellation | صورت فلکی |
| continuum | پیوستار |
| convergence | همگرایی |
| convergent | همگرا |
| cosmos | کیهان |
| cosmic rays | پرتوهای کیهانی |
| crankshaft | میل‌لنگ |
| creep | خزش |
| | |
| decay | تباهی |
| deflection | انحراف |
| dense | چگال |
| density | چگالی |
| detonation | تراك |
| diffract (to) | پراشیدن |
| diffraction | پراش |
| | |
| eddy | پیچان |
| electromagnetic | الکترومغناطیسی، الکترومغناطیسی |
| elementary particle | ذرهٔ بنیادی |
| emission | گسیل، گسیلش |
| emit (to) | گسیلیدن، بیرون دادن |

| | |
|---|---|
| experience | تجربه |
| experiment | آزمایش |
| experimenter | آزمایشگر |
| field | میدان |
| fission | شکافت |
| flare | لهیب، آلاو |
| flash | درخش |
| frequency | بسامد |
| fusion | همجوشی، ادغام، ترکیب هسته‌ای |
| Galaxy | کهکشان |
| galaxy | کهکشانه |
| geophysics | ژمینفیزیك |
| gravitate (to) | گرانیدن |
| gravitation | گرانش |
| gravitational | گرانشی |
| gravity | گرانی |
| inertia | لختی |
| infrared | فروسرخ |
| ion | یون |
| ionization | یونش |
| ionize (to) | یونیدن |
| ionized | یونیده |
| ionosphere | یون‌سپهر، |
| interferometer | تداخلسنج |

| | |
|---|---|
| lightning bolt | آذرخش |
| light year | سال نوری |
| luminosity | تابندگی |
| | |
| mechanism | سازوکار، مکانیسم |
| metagalactic | فراکهکشانه‌ای |
| meteorite | شهابسنگ، آسمانسنگ |
| meteoroid | شهابواره |
| Milky Way | راه شیری |
| mining | کان‌کنی |
| momentum | مقدار حرکت |
| | |
| nebula | سحابی |
| nova | نواختر |
| nozzle | شیپوره |
| nuclear fission | شکافت هسته‌ای |
| | |
| perigee | حضیض |
| perihelion | پیراهور |
| photon | فوتون |
| photosphere | رخشان‌سپهر |
| planet | سیاره |
| plasma | پلاسما |
| power | توان |
| projectile | پرتابه |
| process | فرایند |
| product | فراورده |
| pulsate (to) | تپیدن |

| | |
|---|---|
| pulsating | تپنده |
| pulsation | تپش |
| pulse | تپه |
| | |
| quantization | کوآنتومش |
| quantum | کوآنتوم |
| quasisteady | شبه یکنواخت |
| | |
| radiate (to) | تابیدن، تاباندن |
| radiation | تابش |
| ray | پرتو |
| repulse (to) | وازدن |
| repulsion | وازنش |
| resultant | برآیند |
| reversible | بازگشت‌پذیر، واگشت‌پذیر |
| revolution | گردش |
| revolve (to) | گردیدن |
| rocket | موشك |
| rotate (to) | چرخیدن |
| rotation | چرخش |
| | |
| seismology | لرزه‌شناسی |
| shooting star | ستارهٔ ثاقب، تیر شهاب |
| solar prominence | زبانهٔ خورشیدی |
| space | فضا |
| spaceship | ناو فضایی، فضاناو |
| spectrum | طیف |

| | |
|---|---|
| spin | چرخش، اسپین |
| standard | استاندہ |
| star | ستاره |
| starter | راه‌انداز |
| subsonic | زیرصوتی |
| sunspot | کلف خورشیدی، لکهٔ خورشیدی |
| supersonic | اَبَرصوتی |
| supernova | اَبَرنواختر |
| | |
| temperature | دما |
| thermocouple | دماجفت |
| thermonuclear | گرماهسته‌ای |
| thrust | پیشرانه |
| tracer | پیجو |
| | |
| ultrasonic | فراصوتی |
| ultraviolet | فرابنفش |
| universe | گیتی |

## منتشر شده است:

داروینیسم و تکامل
دکتر محمود بهزاد

داروینیسم و تکامل دارای هشت فصل است. فصل اول: پیش از داروین، شامل نظریات گوناگون متفکران مقدم بر داروین است. فصل دوم: داروین، مشتمل بر زندگینامهٔ داروین و چگونگی پیدایش نظریهٔ تکامل است. فصل سوم: چکیدهٔ کتاب اصل انواع، حاوی رئوس مطالب مربوط به خویشاوندی انواع و علل تغییرات جانداران است. در پایان این فصل، ترجمهٔ یک فصل از کتاب اصل انواع داروین زیر عنوان «چکیدهٔ کتاب اصل انواع» و خلاصه و نتیجه‌گیری آمده است.
فصل چهارم: چکیدهٔ کتاب اصل انسان، شامل خلاصه‌ای از پژوهشهای داروین دربارهٔ منشأ انسان است. در پایان این فصل، ترجمهٔ فصل آخر کتاب اصل انسان و خلاصه و نتیجه‌گیری آمده است. فصل پنجم: بعد از داروین، که بررسی پیشرفتهای علمی بعد از داروین تا زمان حال را دربرمی‌گیرد و کشفهای زیست‌شناختی را که بعداً به‌دست آمده است و نیز نقایص نظریهٔ داروین و آنچه را که مورد تأیید قرارگرفته است، مورد تحقیق قرار می‌دهد. فصل ششم: نظریهٔ کنونی، دربارهٔ تکامل، تکامل را از دیدگاه زیست‌شناسی پیشرفتهٔ کنونی و سهم داروین و دیگر دانشمندان را در آن نشان می‌دهد. فصل هفتم: نظریهٔ کنونی دربارهٔ منشأ حیات، از رابطهٔ زمین در پیدایش حیات و تأثیر عوامل موجود در کرهٔ زمین برای این امر سخن رفته است. فصل هشتم: نظر کنونی دربارهٔ

اصل انسان، چگونگی تکامل آدمی را از شکلهای اولیه براساس کشفهایی که تا کنون به‌عمل آمده است، بیان می‌کند و مسألهٔ نژاد و علل گوناگونی جامعه‌های مختلف بشری را روشن می‌کند.
محکومیت تبعیض نژادی که به‌سال ۱۹٦٤ توسط انجمن زیست شناسان و مردم‌شناسان از طریق یونسکو صادر شده است در پایان این فصل آمده است.
هدف داروینیسم و تکامل، بیان نظریه‌های داروین ونظر دانش کنونی دربارهٔ تکامل و تعیین سهم داروین در آن است.

علم در تاریخ
جان برنال
ترجمهٔ حسین اسدپور پیرانفر

علم در تاریخ با بینش ژرف اجتماعی نوشته شده است و در این کتاب، تاریخ علم به‌معنی و مفهوم متداول و مرسوم نیست و به‌بیان رویدادهای علمی و شرح زندگی و پژوهشهای دانشمندان و مخترعان بسنده نشده است. نویسنده می کوشد تا روابط و تأثیرهای متقابل علم و اجتماع را روشن سازد و آنها را درچشم‌اندازگستردهٔ تاریخ باز نمایاند. در واقع عالم و مورخ دوشادوش یکدیگرند و خواننده خود در نهایت به‌نوعی نگرش کلی نسبت به‌علم و سرانجام نسبت به تاریخ اجتماعی دست می‌یابد.
مؤلف می‌نویسد: «این کتاب تلاشی است در جهت ثبت و ضبط درسهایی که از گذشته وگذشتگان آموخته‌ایم. و هدفش —با همهٔ اشارات و ارجاعاتی که به‌تاریخ دارد — آن نیست که تاریخ علم باشد. هدف این کتاب آن است که تأثیر مستقیم یا غیر مستقیم علم را بر سایر جنبه‌های تاریخ، چه از نظر تأثیری که برتحولات اقتصادی نهاده و چه از لحاظ تأثیری که بر افکار و عقاید طبقات حاکمهٔ هر عصر یابطور کلی طالبان قدرت داشته روشن سازد...»
ترجمهٔ فارسی این کتاب در دوجلد است. و پاره‌ای از عنوانهای کتاب چنین است:
علم به‌منزلهٔ یک نهاد اجتماعی، روشهای علم، علوم طبیعی: سرچشمهٔ اندیشه‌ها، کنشهای متقابل علم و جامعه، منشأ جامعه، مبانی مادی زندگی بدوی، خاستگاههای علم تعقلی، سازمانها و اندیشه‌های اجتماعی، دستاوردهای انسان اولیه، به سوی یک اقتصاد بارور، فنون تمدن، منشأ طبقاتی علم، سرچشمهٔ فرهنگهای عصر آهن، رم و انحطاط عالم کلاسیک، عصر ایمان، علوم اسلامی، زوال فرهنگ اسلامی، نظام

فئودالی، دستاوردهای قرون وسطا، نخستین مرحله: رنسانس، دومین مرحله: علم در دورهٔ نخستین انقلابهای بورژوایی، سومین مرحله: بلوغ علم، نگاهی به گذشته: سرمایه داری و پیدایش علم جدید، علم و انقلاب، انقلاب فرانسه و تأثیر آن برعلم، سیر تحولات علوم در قرن هیجدهم و نوزدهم، دانشهای فیزیکی در قرن بیستم، علوم زیست‌شناسی در قرن بیستم، علوم اجتماعی در گذشته و حال، دگرگونیهای اجتماعی قرن بیستم...

عوامل انتخاب تصویرهای کتاب چنین است: ارتباط با متن، کیفیت تصویر، میزان تأثیر بصری و اطلاعاتی آن... کتاب دارای هشت جدول است که ترتیب زمینهٔ تاریخی و اجتماعی و جغرافیایی... رویدادهای تاریخ علم و فن را نشان می‌دهد.

فهرست سالانهٔ انتشارات خود را منتشر کرده‌ایم.
علاقه‌مندان می‌توانند به آدرس «تهران - انقلاب - خیابان خواجه نصیرطوسی شماره ۳۸ - دایرهٔ روابط عمومی مؤسسهٔ انتشارات امیرکبیر» برای ما نامه بنویسند تا فهرست سالانه را برای ایشان ارسال داریم.

ماده و انسان، ماهیت ماده را روشن می‌کند و به این پرسش‌ها پاسخ می‌دهد: گیتی ازچه ساخته شده؟ و پهنهٔ بیحد وانتهای آن‌را چه چیزی پرمی‌کند؟ ماده و انسان پاسخ‌گوی کنجکاوی‌های بشر نسبت به‌سیاره‌های منظومهٔ شمسی، خورشید، ستارگان دوردست و سحابیهای برون‌کهکشانی است.

نویسندگان ماده و انسان نخستین بحث خودرا دربارهٔ یافتن خلأ کامل آغاز می‌کنند و با استفاده ازتئوریها وپیش‌بینی‌های علمی، تحقیقات خودشان‌را براساس پیشرفتهای علم ومهندسی بنا می‌نهند ونخستین پایگاه آنان در ارتفاع ۳۰۰۰ کیلومتری سطح زمین یعنی درست خارج از حاشیهٔ جو است. و اولین هدفشان تشریح عناصری است‌که ساختمان گیتی را تشکیل می‌دهد. وسطالب پیچیدهٔ علمی را به‌زبان ساده بیان می‌کنند.

در جایی از ماده وانسان می‌خوانیم:

«انسان در حقیقت فرمانروای طبیعت است. تسلط او برمادهٔ جامد، اززمانی‌که اهرام بزرگ ساخته شدند تابه‌حال به‌طرز قابل توجهی افزایش یافته است. برای رفع نیازهایش مواد تازه‌ای ازقبیل فولاد ولاستیك مصنوعی، پلاستیك، سیلیسیوم، ومواد دیگر را خلق‌کرده است، او اسرارنهفته‌ای ازماده راکه دانشپژوهان باستان حتی در رؤیا هم نمی‌دیدندکشف‌کرده وبه کار بسته است...»

آیندهٔ انسان را چنین پیش‌بینی می‌کنند: «... می‌توان اطمینان داشت‌که گستاخترین پروازهای تخیلی‌روزی جامهٔ حقیقت برتن خواهند کرد. انسان زندگی را به‌سیاره‌های همسایه خواهد کشاند، و درسیاره‌های ستارگان همسایه سکونت خواهدکرد. روح هوشمندانه‌اش اورا درگیتی جلوتر و جلوتر خواهد برد. برای رشد وامکاناتش حدی وجود ندارد، همان‌گونه‌که گیتی‌را حدی‌نیست.»

بها : ۱۲۵ ریال