

ژرژ گاموف
ترجمه: رضا اقصی
افرازینش
جبهان



گیورگی گیمائو George Gamow که در زبان فارسی به جورج (ژرژ) گاموف شهرت یافته است، در ۴ مارس ۱۹۰۴ در اودسا، واقع در جمهوری اوکراین روسیه شوروی، تولد یافت، و در ۱۹ اوت ۱۹۶۸ در بولدر (ایالت کولورادو، در آمریکا) درگذشت. وی فیزیکدان هسته‌ای و کیهانشناس بود، و در زمینه کیهانشناسی، یکی از برجسته‌ترین حامیان نظریه «بیگ‌بنگ» یا نظریه انبساط جهان بود که طبق آن، جهان بر اثر انفجار عظیمی ساخته شده که میلیاردها سال پیش روی داده است. علاوه بر این، مطالعه او در مورد اسیددزوکسی ریبونوکلیک DNA به نظریه نوین توارث کمکی اساسی کرد. گاموف در ۱۹۲۸ به گوتینگن نقل مکان کرد، و در آنجا نظریه کوانتوم در رادیواکتیو به را تحول بخشید. این نخستین نظریه‌ای بود که با موفقیت وضعیت عناصر رادیواکتیو (که بعضی از آنها در چند ثانیه تباه می‌گردند، در حالی که نباهی بعضی دیگر تازه پس از هزاران سال صورت می‌گیرد) را توجیه می‌کرد. وی، به دعوت نیلس بور، در «مؤسسه فیزیک نظری» دانشگاه کپنهاگ به تحصیل پرداخت (۲۹-۱۹۲۸ و ۳۱-۱۹۳۰) و فاصله میان این سالها را در آزمایشگاه کپنهاگ دانشگاه کیمبرج سپری کرد.

گاموف در ۱۹۳۴ استاد فیزیک نظری دانشگاه جورج واشینگتن شد و با همکاری ادوارد تلر Teller فیزیکدان آمریکایی، نظریه «تباهی بتایی» را به ضابطه درآورد.

گاموف طی تحقیقاتش در مورد فرایندهای هسته‌ای کار بردهایشان در کیهانشناسی، افکار اخترشناس بلژیکی ابه ژرژ لمتر Lemaitre و فیزیکدان اتریشی تبار هانس آلبرشت بته Bethe را به دقت مطالعه و نظریه نوین «بیگ‌بنگ» را تدوین کرد. اندکی پس از آنکه گاموف این اصل مسلم را پذیرفت که انرژی خورشید ناشی از فرایندهای گرما هسته‌ای است، بتنه این فرایندها را محاسبه کرد و به تشریح جزئیات آنها پرداخت. گاموف و تلر در ۱۹۴۲ نظریه خود را در باره ساخت درونی ستارگان سرخ غول آسا اعلام کردند، و این گام مهمی بود که در جهت شناخت تحول همه ستارگان برداشته می‌شد. گاموف در ۱۹۴۸ با همکاری دانشجویی به نام رالف الفر Alpher. کتاب «خاستگاه عناصر شیمیایی» را نوشت، و در آن این فرضیه را مطرح کرد که این عناصر از فرایندهایی پی در پی به نام «جذب نوترونی» ساخته شده‌اند. این نظریه را گاهی نظریه الف-بت-گاموف می‌خوانند. در ۱۹۵۴ علاقه گاموف به علم گسترش یافت، تا حدی که زیست شیمی را نیز دربرگرفت. وی مفهوم قانون وراثت را پیشنهاد کرد و مدعی شد که این قانون از ترتیب تکرار نوکلئوتیدهای سه گانه-که اجزای اصلی DNA هستند-تعیین شده است، و افکار او در تحول سریع نظریه وراثت، که بعدها ارائه شد، نقش عمده داشت.

گاموف از ۱۹۵۶ تا زمان مرگش مقام استادی فیزیک در دانشگاه کولورادو را حفظ کرد. شهرت وی شاید بیشتر به سبب نوشته‌های مردم‌پسندی باشد که به قصد شناساندن موضوعات دشواری چون نسبیت و کیهان شناسی به افراد غیر متخصص انتشار داده است. نخستین اثر او در این زمینه «آقای تامکینز در سرزمین عجایب»، سرآغاز سلسله کتابهای چند جلدی «آقای تامکینز» در سالهای ۱۹۳۹ تا ۱۹۶۷ بود. از دیگر آثار او «یک، دو، سه... بیهایت»، «آفرینش جهان»، «سیاره‌ای به نام زمین»، «ستاره‌ای به نام خورشید»، «ماده، زمین، و آسمان»، «سرگذشت فیزیک»، و «پیدایش و مرگ خورشید» می‌باشد که همگی به فارسی ترجمه شده است.



ژرژ گاموف

آفرینش جهان

ترجمه رضا اقصی

انتشارات جامی

This is an authorized Persian translation of
THE CREATION OF THE UNIVERSE

by George Gamow.

Copyright 1952 by George Gamow.

Published by The Viking Press, New York.

Tehran 1960

Tehran 1984



نشر جامی

نام کتاب : آفرینش جهان

نویسنده : ژرژ گاموف

مترجم : رضا اقصی

چاپ دوم با تجدید نظر کامل : شهریور ماه ۱۳۶۳

تیراژ : ۵۵۰۰ نسخه

چاپ : پُرمان

حق چاپ محفوظ است.

با همکاری سازمان انتشارات و آموزش انقلاب اسلامی



پیشگفتار

این کتاب سومین کتاب از يك مجموعه سه بخشی کیهانشناختی من است که بخشهای اول و دوم آن به ترتیب تولد و مرگ خودشید و سرگذشت زمین بوده است. در حالی که بخش اول اساساً از مکان خورشید ما در میان ستارگان بحث می کند، و بخش دوم جای زمین را در میان سیارات مورد نظر قرار می دهد، این بخش عمدتاً مربوط به جهان به طور کلی است. چندان توجهی به مکان اختصاصی خود ما در پهناوری لایتناهی جهان ندارد؛ بلکه مسائلی اساسی از این قبیل را مورد بحث قرار می دهد: آیا جهان آغازی در زمان داشته است یا نه؟ و آیا پایانی در فضا دارد؟ رویه معرفی همان است که در دو بخش اول به کار رفته، جز اینکه در این بخش چند عبارت ریاضی، بالاخص در ضمیمه آخر کتاب، برای خوانندگانی که می توانند از آن استفاده کنند، آورده شده است.

ژ. ساموف

دانشگاه جورج واشینگتن

نوامبر ۱۹۵۱

یادداشتی برای چاپ دوم

از نظر پاره ای ایرادات که از سوی بعضی خوانندگان در باره استفاده از کلمه «آفرینش» شده است، باید توضیح داد که مؤلف این اصطلاح را نه در مفهوم «ساختن چیزی از هیچ»، بلکه بیشتر «ساختن چیزی شکلدار از بی شکلی» به کار برده است، همچون فی المثل «آخرین مد پاریس».

ژ. ساموف

اوت ۱۹۵۲

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۹	مقدمه
۱۲	فصل اول - تحول در مقابل ثبات
۱۲	سن اتمها
۱۴	سن سنگها
۱۹	سن اقیانوسها
۲۱	سن ماه
۲۴	سن خورشید و دیگر ستارگان
۲۷	سن خوشه‌های کهکشانی
۲۸	سن کهکشان زمین راه شیری
۳۳	فصل دوم - انبساط عظیم
۳۳	افقهای در حال گسترش
۳۹	تئوری جهان در حال انبساط
۴۴	چگونه انبساط آغاز شده؟
۴۵	تاریخ تراکم عظیم
۵۱	آیا انبساط هرگز متوقف خواهد شد؟
۵۲	آیا جهان محدود است یا نامحدود؟
۵۶	شمارشهای سحابی، و اشتباه میان فواصل و سننها
۵۸	نخستین مراحل انبساط

صفحه	عنوان
۶۲	فصل سوم - ساخته شدن اتمها
۶۲	فراوانی طبیعی انواع اتمی
۶۷	فرضیه تعادل منجمد
۷۵	فرضیه اتم اولیه
۷۸	فرضیه «ایلم» ylem
۸۵	منحنی فراوانی نظری
۹۳	مسئله عناصر سبک
۱۰۰	فصل چهارم - سلسله مراتب تراکمها
۱۰۰	نخستین ابرها
۱۰۸	دوران کهنکشانى و آشفته‌گى گردابى
۱۱۵	ستارگان ظاهر مى‌شوند
۱۲۲	ستارگان پیر و جوان
۱۳۰	خوشه‌شدن کهنکشاندها و ستارگان
۱۳۵	منظومه‌های سیاره‌ای
۱۵۱	فصل پنجم - زندگیهای خصوصی ستارگان
۱۵۱	همزیستی اختری
۱۶۰	منابع انرژی هسته‌ای
۱۶۸	ستارگان روبه پیری
۱۸۴	ستارگان مرده
۱۸۶	نتیجه‌گیری
۱۹۰	ضمیمه
۱۹۰	ریاضیات مربوط به روش هومز (ضمیمه فصل اول)
۱۹۱	انرژی پتانسیل و انرژی جنبشی انبساط (ضمیمه فصل دوم)
۱۹۳	دما و تغییرات چگالی در جهان در حال انبساط (ضمیمه فصل دوم)
۱۹۴	فرایند ساختمانی اتم (ضمیمه فصل سوم)

مقدمه

از فجر تاریخ مسئله آفرینش جهان - تئوری مبدأ جهان - فکر بشر را مغشوش و به خود مشغول داشته است. در میان قدمای مبدأ جهان لزوماً با يك عمل آفرینش الهی توأم بوده که روشنی را از تاریکی جدا ساخته، آسمانها را بر فراز زمین ثابت نگاه داشته، و جمیع سیماهای جهان را که وجه تمایز تصویر بی اندازه محدود بشر عصر قدیم می باشد، سرشته است.

هر چه قرنهای گذشت و آدمی اطلاعات و دانسته‌هایی در باب پدیدده‌های گوناگون جهان اطراف خود گرد آورد، تئوریهای کیهان‌زایی صورت علمیت‌تری به خود گرفت. نامهای دانشمندانی همچون بوفون، کانت، و لاپلاس عهدی را مشخص می‌سازند که نخستین مساعی برای ادراك مبدأ جهانی به کار رفته که منحصرأ ناشی از علل طبیعی بوده است. تئوریهای آن زمان که اصولاً محدود و منحصر به منظومه شمسی خودمان بود بعداً دوچار تحولاتی شد و بدین تئوری نسبتاً کامل و استوار تشکیل سیاره‌ای ارتقاء یافت که توسط کارل فون وایتسزکر و جرارد کویپر تکمیل شد.

در خلال این مدت، پیشرفت نجوم رصدی افقهای تازه اطلاعات جهان را کاملاً باز کرد و معمای کهن تولید سیارات را به حادثه کوچکی در تصویر بسیار پهناور تحول جهان تبدیل کرد. مسئله اصلی کیهان‌زایی امروز این است که مبدأ و تحول خانواددهای

غولپیکر اختری به نام کهکشانهایی* را توضیح دهد که در سراسر فضای پهناور جهان، تا آنجا که با نیرومندترین تلسکوپها دیده می‌شوند، پراکنده شده‌اند. عاملی که کلید ادراک این تحول کیهانی دامنه‌دار به شمار می‌رود قریب ربع قرن پیش** توسط منجم آمریکایی، ادوین هبل، فراهم شد. هبل چنین دریافت که کهکشانهایی که فضای جهان را مسکون ساخته‌اند در يك حالت پراکندگی سریع (در جهان در حال انبساط)، به سرمی‌برند. این امر ایجاب می‌کند که پس از زمانی همه ماده جهان باید به طور یکنواخت به صورت جرم گاز گرم و پیوسته فشرده و متراکم شده باشد. چنین ارتباط نزدیک میان پدیده مشهود انبساط و نتایج مسلم تئوری عمومی نسبیت اینشتین را نخستین بار يك دانشمند بلژیکی پرتخیل به نام ژرژ ادوار لومتر شناخت، و برنامه آرزومندانه‌ای برای تعبیر و توضیح ساختمان بی‌اندازه پیچیده جهانی تنظیم کرد که امروز همچون نتیجه مراحل متوالی متمایزی بر ما معلوم است که باید همراه با انبساط ماده متجانس اولیه روی داده باشد. اگر چنین برنامه‌ای با همه جزئیاتش انجام گیرد، آنوقت است که ما منظومه کاملی از کیهانزایی خواهیم داشت که به وسیله تبدیل پیچیدگی پدیده‌ها به کمترین تعداد فرضیات اولیه، نیل به هدف اصلی علم را تحقق می‌دهد. با آنکه چنین برنامه‌ای، با صورت امروزی آن، از مرحله اجرا به دور است، پیشرفتهای قابل توجهی در قسمتهای مختلف آن انجام یافته و به نظر چنین می‌رسد که پایان آن هم اکنون نزدیک باشد.

در اینجا باید توجه داشت که در حال حاضر هنوز اختلافات نسبتاً اساسی میان نظریات دانشمندان مختلفی که در این زمینه کار می‌کنند وجود دارد. بسیاری از آنان (از جمله مؤلف این کتاب) چنین گمان دارند که حالت کنونی جهان ناشی از يك روش تحولی پیوسته‌ای است که چند بیلیون سال پیش در مواد متجانس بی‌اندازه متراکم آغاز شده - «فرضیه تکوین» - ؛ دیگران چنین ترجیح

* - در این کتاب اصطلاح کهکشانه به طور عام برای جمیع کهکشانها اختیار شده و اصطلاح کهکشان بالاخص برای کهکشانه خودمان به کار برده شده است (مترجم).
** اکنون قریب نیم قرن پیش (مترجم).

می دهند که جهان را تقریباً به همین «حالت موجود» در ابدیت در نظر گیرند - فرضیه يك «جهان ایستان». یکی از طراحان نظریه اخیر در باب تحول اختری منجم مشهور روسی وورونتزوف - ولیامینوف^۱ است که، ظاهراً فلسفه ماتریالیسم دیالکتیک، وی را به پذیرفتن این فرضیه وادار کرده است. نظریات مشابهی، به صورت نسبتاً متفاوت و به دلیل کاملاً متفاوت، توسط منجم انگلیسی فرد هویل^۲ مراعات شده و سعی کرده است که حالت آرامش ادعایی جهان را با وارد کردن يك فرضیه خلقت دائمی ماده در فضای بین کهکشان‌ها توضیح دهد.

شاید بسیار زود باشد که بگوییم صحت کدام يك از این دو نظر سرانجام ثابت خواهد شد. موضوع اصلی این کتاب این است که دلایل را به نفع فرضیه تکوین عرضه دارد و با نظر انتقادی ادعای بنیانگذاران طرح «جهان ایستان» را تجزیه و تحلیل کند. امید است که این کتاب يك بررسی کافی از موضوع را برای دانشمندان رشته‌های مختلف تشکیل خواهد داد، و در عین حال برای همه علاقه‌مندان به مسئله کیهان‌زایی نو مفید واقع خواهد شد.

- ۱ - وورونتزوف - ولیامینوف، **سحابی‌گازی و ستارگان نو** (در روسیه)، فرهنگستان علوم اتحاد جماهیر شوروی، ۱۹۴۸، تجدید نظر شده به توسط شترووه در مجله نجومفیزیک سال ۱۹۴۹، صفحات ۱۱۰ و ۳۱۵.
- ۲ - فرد هویل، **طبیعت جهان**، هارپر و برادران، نیویورک.

فصل اول

تحول در مقابل ثبات

پیش از آنکه مسئله مبدأ جهان خود را مورد بحث قرار دهیم باید از خود پرسش کنیم که آیا واقعاً چنین بحثی ضروری است. آیا ممکن نیست صحیح باشد که جهان در حالی که از ازل وجود داشته، و به راههای گوناگون سیمای حقیر خود را تغییر داده، پیوسته این سیمای آن طور که امروز بر ما معلوم است در اساس حفظ کرده است؟ بهترین راه پاسخ دادن به این پرسش گردآوری اطلاعاتی است مربوط به سن احتمالی قسمتهای اصلی جهان و سیماهایی که حالت کنونی آن را مشخص می‌سازند.

سن اتمها

مثلاً ممکن است از شیمیدان یا فیزیکدان پرسید که سن اتمهای سازای موادی که جهان را تشکیل می‌دهند چیست؟ فقط نیم قرن پیش، یعنی قبل از کشف رادیوآکتیویته و تعبیر از آن به تباهی خودبخود اتمهای ناپایدار، چنین پرسشی چندان مفهوم نداشت: اتمها همچون

ذرات نامرئی اصلی به شمار می‌رفتند که در يك دوره نامتناهی زمانی وجود داشته بوده‌اند. با این حال، پس از آنکه عناصر رادیوآکتیو شناخته شد، وضع بکلی تغییر کرد، و آشکار شد که اگر اتمهای عناصر رادیوآکتیو از زمانهای بسیار دور تشکیل یافته‌اند، بدین ترتیب فراوانی نسبی عناصر رادیوآکتیو گوناگونی که اکنون مشاهده می‌شود ممکن است کلیدی برای دسترسی به زمان مبدأ آنها به دست دهد. قبل از هر چیز متوجه می‌شویم که فراوانی توریوم و ایزوتوپ اورانیوم ^{238}U نسبت به سایر عناصر سنگین، مثلاً بیسموت یا جیوه یا طلا، کمتر نیست. چون دوره نصف عمر^۱ توریوم و ایزوتوپ معمولی اورانیوم به ترتیب ۱۴ بیلیون^۲ و ۴۵ بیلیون سال است، باید چنین نتیجه گرفت که چند بیلیون سالی بیش از تشکیل این اتمها نمی‌گذرد. از طرف دیگر، چنانکه امروز بر هر کس معلوم است، ایزوتوپ شکافپذیر اورانیوم ^{238}U بسیار کمیاب است، و تنها ۰۰۷ درصد ایزوتوپ اصلی را تشکیل می‌دهد؛ و اگر جز این می‌بود، « طرح مانهتن » باسانی ماهیگیری در يك چلیك می‌نمود. نصف عمر ^{235}U ، یعنی ۰۰۹ بیلیون سال به نسبت قابل توجهی کوتاهتر از نصف عمر ^{238}U است؛ و چون مقدار کل اورانیوم شکافپذیر در هر ۰۰۹ بیلیون به نصف کاهش می‌یابد، باید هفت بار^۳ چنین دوره زمان، یعنی قریب ۶ بیلیون سال گذشته باشد تا، در صورتی که هر دو ایزوتوپ به مقدار قابل مقایسه‌ای

۱- دوره نصف عمر يك عنصر رادیوآکتیو دوره زمانی است که مقدار اولیه آن را از دو برابر به يك برابر تقلیل دهد. از این رو، پس از ۲ دوره، ۳ دوره، و غیره نصف عمر، تنها يك ربع، يك هشتم، و غیره از مقدار اولیه باقی خواهد ماند.

۲- اصطلاح بیلیون به جای هزار میلیون به کار رفته است.

۳- زیرا $(1/2)^7 = 1/128 = 0.0078$

وجود می داشت، ایزوتوپ اورانیوم به کمیابی کنونی تنزل می یافت. به همین ترتیب در معدودی عنصر رادیو آکتیو دیگر، نظیر پوتاسیوم رادیو آکتیو طبیعی، ایزوتوپهای ناپایدار نیز پیوسته به مقدار نسبی بسیار کم یافت شده اند. این کیفیت چنین به فکر می اندازد که این ایزوتوپها به طرز قابل توجهی به وسیله تباهی بطنی که در طی بیش از چند بیلیون سال انجام گرفته تقلیل یافته اند. بدیهی است دلیل قاطعی برای این فرض وجود ندارد که تمام ایزوتوپهای يك عنصر معین در اصل به مقادیر کاملاً متساوی تولید شده باشند، ولی انطباق نتایج قابل توجه است، چه زمان تقریبی تشکیل هسته آنها را تعیین می کند. با آنکه عناصر رادیو آکتیو قدیمتر از این را که نصف عمر آنها کوچکتر از جزئی از يك بیلیون سال است، با آسانی می توان مصنوعاً در پیلهای اتمی تولید کرد. این مطلب ضمناً نشان می دهد که تشکیل انواع اتمی زودتر از چند بیلیون سال قبل تشکیل نیافته است؛ و از این رو دلیل قاطعی برای این فرض وجود دارد که اتمهای رادیو-آکتیو، و تسوأم با آنها همه اتمهای پایدار دیگر در بعضی اوضاع و احوالهای غیر عادی تشکیل یافته اند که باید چند بیلیون سال قبل در جهان وجود می داشت.

سن سنگها

در مرحله بعدی تحقیقات خود باید از دانشمند زمینشناس چنین سؤال کنیم: سنگهایی که قشر کره زمین را تشکیل می دهند چه سنی دارند؟ سن سنگهای گوناگون - یعنی زمانی که از هنگام انجماد آنها از حالت مذاب گذشته است - را می توان با دقت بسیار زیاد به وسیله روشی که به «روش ساعت رادیو آکتیو» موسوم است تخمین زد. این

روش که در اصل توسط لرد رادرفورد تکمیل شده متکی بر تعیین مقدار سرب است که در انواع سنگهای معدنی رادیو آکتیو، همچون پچبلند و اورانینیت، وجود دارد. نکته قابل توجه و پرمعنی این است که تباهی طبیعی سنگهای معدنی رادیو آکتیو نتیجه تشکیل ایزوتوپهای سربی است که به وسیله مقداری معین از جسم رادیو آکتیو رسوب می کند. ازین رو هر گاه مقادیر نسبی ایزوتوپهای سرب تولید شده و اجسام رادیو آکتیو مولد آنها (یعنی نسبتهای Pb^{206} , Pb^{207} , Pb^{208} / U^{238} , U^{235} , Th^{232}) اندازه گیری شود، و هر گاه نسبتهای تباهی مربوط معلوم شود، می توان سه تخمین مستقل (و معمولاً منطبق) از زمانی به دست آورد که یک جسم رادیو آکتیوی که متعلق به دوره های زمینشناختی مختلف می باشد، نتایجی که در جدول صفحه بعد نشان داده شده به دست می آید. دو سنگ معدنی آخر جدول کهنترین سنگهایی هستند که تا کنون یافت شده، و از سن آنها باید چنین نتیجه گرفت که قشر زمین دست کم ۲ بیلیون سال عمر دارد.

روش بسیار ماهرانه ای بتازگی توسط زمینشناس انگلیسی آرثر هومز^۱ پیشنهاد شده است که از زمان تشکیل رسوبهای گوناگون رادیو-آکتیو فراتر می رود، و مدعی رقم دقیقی برای مواد تشکیل دهنده زمین است. شاید ساده ترین راه برای مجسم ساختن این روش از راه داستانی باشد که در باب گله دار گیج و فراموشکاری نقل می کنیم: گله دار به یاد می آورد که یکی از روزهای بهار همه گله خود را برای چریدن در مرتع رها کرده ولی نمی تواند تاریخ انجام دادن ایسن کار را درست به خاطر آورد. همچنین به یاد دارد که در روزهای مختلف

سن سنگهای معدنی رادیوآکتیو گوناگون

سنگ معدنی	محل	دوره زمینشناختی	سن تخمین شده بر حسب میلیون سال
پچبلند	کولورادو (ایالات متحده امریکا)	دوره سوم	۵۸
«	بوهم (اروپا)	دوره کربونیفر	۲۱۵
«	کنگوی بلژیک (افریقا)	پرکامبرین	۵۸۰
اورانینیت	ویلبرفرس (کانادا)	«	۱۰۳۵
پچبلند	گریت بیرلیک (کانادا)	«	۱۳۳۰
اورانینیت	کارلیا (اتحاد جماهیر شوروی)	«	۱۷۶۵
«	مانیتوبا (کانادا)	«	۱۹۸۵

در طی تابستان گله را از مراتع مختلف جمع آوری کرده و آنها را در پناهگاه نوسازی (یک پناهگاه در هر مرتع) جا داده است، ولی این روزها را نیز فراموش کرده است. آیا راهی برای او هست که ترتیب و ردیف این کارها را باز سازد؟

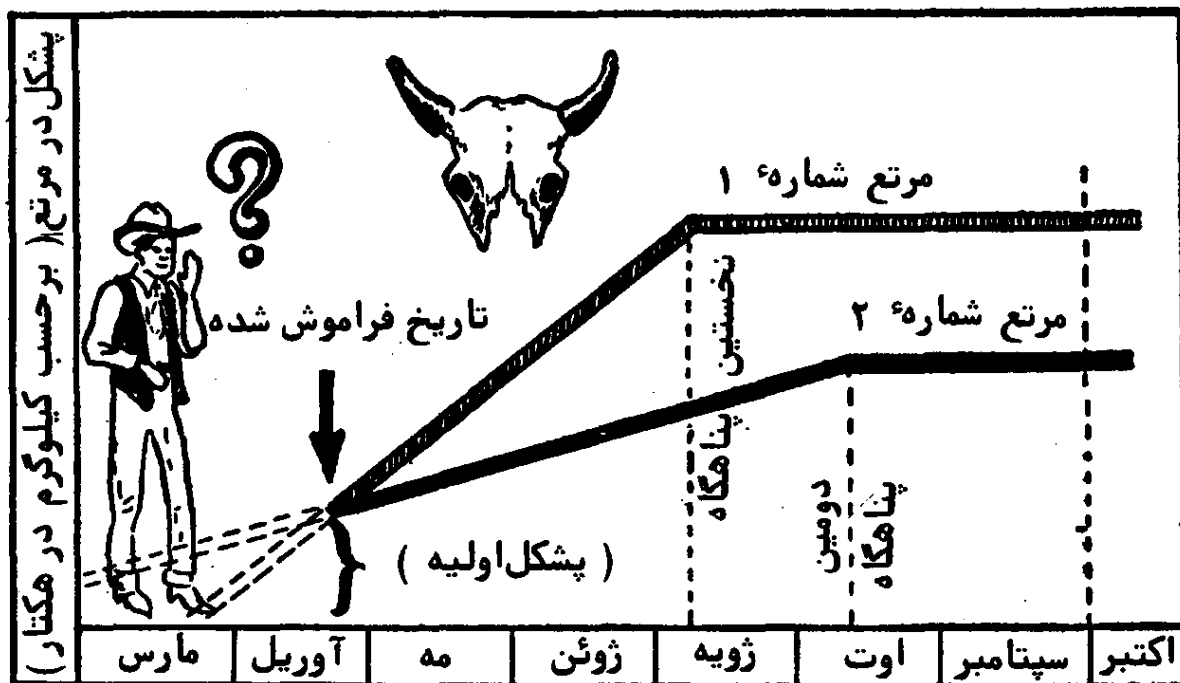
بلی، چنین راهی وجود دارد، مشروط بر آنکه وی متوجه باشد به پشگلی که گله اش در پناهگاهها و مراتع تولید کرده دست نزند. خواننده شاید گمان کند که در اینجا پشگل تولید شده به وسیله گله مانند نشانه ای از سرب تولید شده به وسیله تباهی اورانیوم به کار می رود، و محصور ساختن گله در پناهگاهها تشکیل رسوبهای رادیوآکتیو را در سنگهای در حال انجماد نشان می دهد. بدیهی است با اندازه گیری

مقدار کل پشگل جمع شده در هر پناهگاه و تقسیم آن بر گله‌های مربوط (یعنی درست نظیر روش ساعت رادیو آکتیو برای تعیین سن سنگها) یافتن تاریخ تقریبی اشغال پناهگاهها آسان خواهد بود. ولی در باب زمانی که نخستین بار گله در مراتع رها شده چه باید کرد - تاریخ تشکیل اتمهای رادیو آکتیو؟

در نخستین نظر اجمالی ممکن است چنین به نظر رسد که به کار بردن روش مشابهی در این مورد، به وسیله جمع آوری همه پشگل‌های تولید شده به توسط گله هنگامی که در مراتع مشغول به چریدن بوده، میسر باشد، با این حال چنین روشی نمی‌تواند پاسخ صریحی به ما بدهد، زیرا ممکن است قبل از نخستین رهایی گله در مراتع، پشگل‌های دیگری نیز در مراتع وجود داشته بوده باشد (نظیر سرب‌بی که با اورانیوم همزمان بوده و، بی آنکه تباهی اورانیوم بعداً آن را تولید کرده باشد، در طی دورانی که همه اتمها تشکیل یافته به وجود آمده است). البته همین اشکال در به کار بردن روش پشگل برای تعیین سن پناهگاهها ممکن است پیش آید، اما در این حال به سبب کوچکی عرصه پناهگاهها، از مقدار کل سابق بالنسبه به پشگل تولیدی گله، حتی در مدت چند روز، می‌توان صرف نظر کرد، و حال آنکه در زمین باز و نامحصور وضع بکلی متفاوت است و وجود پشگل‌هایی از پیش ممکن است تأثیر مهمی در نتیجه داشته باشد.

اگر موضوع را مشروحتر مورد نظر قرار دهیم باید درك كنيم كه ، با فرض یکسان بودن پشگل‌های قدیمتر در همه مراتع (فرضیه یکنواختی اتمسازی)، در مراتعی که از آنها گله زودتر به پناهگاه رفته پشگلها کمتر است (البته زمینشناسان در سنگهای دوران زمینشناختی قدیمتر کمتر از این مقدار سرب تولید شده به وسیله رادیو آکتیویته

می‌یابند). برای هر متر مرتع می‌توان مبدأ را مقدار پشگل‌هایی در نظر گرفت که از هنگام قرار گرفتن گله در پناهگاه تغییر نکرده، و با کاستن مقدار تولید روزانه پشگل زمان پیشین تولید پشگلها را به دست آورد. بدین وسیله باید به روزی (در بهار) رسید که مقدار پشگل در مراتع صفر بوده است. اگر پشگل قدیمتری وجود نمی‌داشت، این تاریخ روزی را که گله‌دار فراموش کرده نشان خواهد داد، ولی اگر از سابق نیز پشگلی در کار بوده باشد (که مسلماً مقدار آن معلوم نیست)، به کار بردن این روش در مراتع خاص برای پاسخ دادن به پرسش ما کافی نخواهد بود. با این حال، اگر اطلاعاتی را که از مراتع مختلف به دست آمده مقایسه کنیم وضع بکلی متفاوت است. منحنیهایی که داستان گذشته پشگل‌هایی را نمایش می‌دهد که در مراتع به جا گذاشته شده، به عبارت کلی متفاوتند، زیرا شکل آنها بستگی به وسعت زمین، تعداد گله‌ها، تاریخ ساختمان پناهگاهها، و غیره دارد. ولی اگر کلیه



شکل ۱- چگونه می‌توان گله‌داری را که تاریخ رها کردن گله خود را در مرتع فراموش کرده کمک کرد؟ (طریقه زمین‌شناختی آرثر هوهز)

این منحنیها را بر روی يك نمودار (مانند نمودار شکل ۱) ترسیم کنیم، همه در يك نقطه متقاطع خواهند شد که تاریخ فراموش شده آزاد کردن گله در مرتع و مقدار پشگل قدیمی موجود در آن تاریخ را به دست می دهد. با به کار بردن این روش (که با وارد کردن دسته های گوسفندها و پشگل آنها برای جوابگویی دو ایزوتوپ U^{238} و U^{235} اورانیوم و دو ایزوتوپ Pb^{206} و Pb^{207} سرب تولید شده به وسیله رادیو آکتیویته بسط یافته) در مقادیر ایزوتوپهای سربی که در دوران مختلف زمینشناسی در سنگها یافت شده، هومزچنین در یافت که همه منحنیها در نقطه ای متقاطع اند که مربوط به سن ۳۶۳۵ میلیون سالی است که باید سن صحیح زمین ما را نشان دهد.

سن اقیانوسها

با کمکی که از زمینشناسان در باره رسوبهای جامد به دست آوردیم، بهتر است که يك بار دیگر با این سؤال به آنان رجوع کنیم: اقیانوسهایی که به این اندازه سطح زمین را پوشانیده اند چه سنی دارند؟ پاسخ کاملاً صحیحی در این مورد یافت نمی شود. نخستین روشی که پیشنهاد شد دو قرن پیش توسط آدمندهالی^۱ بود که تناوب ستاره دنباله داری را که به نام خود اوست پیشبینی کرد. این روش مبنی بر این واقعیت است که شورایی آب اقیانوسها اساساً مربوط به نمکهای است که به وسیله رودها وارد آنها می شود. می دانیم که آب رودها مقادیر کم نمک در خود محلول دارد که مزه آن را با آب متفاوت می سازد. جویبارها و جریانهای که بر دامنه کوهها جاری

۱- به ضمیمه آخر کتاب مراجعه شود.

هستند قسمت عمده این نمکها را در سنگهای سطح زمین شست و شو می کنند. آب رودها که در حوضچه های اقیانوسی می ریزد تبخیر می شود؛ بخار آب به صورت ابر در می آید و سپس با دوره منظمی به صورت باران بر روی قاره ها باز می گردد. نمکها تبخیر نمی شوند، و پیوسته در اقیانوسها جمع شده تدریجاً بر شورایی آب می افزایند. با تقسیم کردن مقدار کل نمکی که اکنون در اقیانوسها محلول است بر مقدار معلوم نمک سالیانه ای که به وسیله رودها در آنها وارد می شود، می توان دریافت که شورایی اقیانوسها در هر قرن يك میلیونم درصد افزایش می یابد. هرگاه شرایط موجود در آینده تغییر نکند، چنین نتیجه می شود که همه اقیانوسها تقریباً پس از ۳۶۵ میلیون سال دیگر از نمک اشباع (۳۶٪) شده و آن وقت شبیه بحرالمیت و گریت سالت ليك خواهند شد. و نیز چنین نتیجه می شود که رودها باید ۳۰۰ میلیون سال پیش به جریان افتاده باشند تا مقدار نمک اقیانوسی کنونی (۳٪) جمع شده باشد.

ولی چون معلوم شده است که نرخ رسوب کنونی نمک به طور استثنایی زیاد می باشد؛ رقم فوق رقمی نقصانی است. دلیل این امر آن است که در طی قسمت اعظم تاریخ زمین، سطح قاره ها کاملاً صاف و هموار بوده. کوههای کهن کاملاً شسته و به داخل اقیانوسها برده شده، و کوههای تازه هنوز به وسیله انقباض تدریجی قشر زمین تشکیل نشده بوده اند (زمینشناسان دست کم ده چنین دوره های پیدایش کوه متوالی را حساب کرده اند). به طور بسیار تقریبی تخمین شده که در طی این دوره های صاف شدن زمین، تأثیر فرسایش رودها باید بیش از ۱/۳۰ آنچه امروز هست نبوده، و در نتیجه چنین به دست می آید که سن تخمین شده اقیانوسهای زمین چند بیلیون سال است،

و این رقمی است که با سن تخمین شده قدیمترین سنگها سازگار است.

سن ماه

پس از سپاسگزاری از علم زمینشناخت برای اطلاعات مفیدی که در اختیار ما گذاشته، بهتر است به علم نجوم روی آوریم و در باره سن اجسام آسمانی گوناگون پرسش و نخستین پرسش خود را چنین آغاز کنیم: سن ماه چقدر است؟ نخستین چیزی که آموخته ایم این است که ملکه آسمان شب همیشه آن چنان که هست نبوده و در زمان گذشته و بسیار قدیم چندان به زمین نزدیک بوده که تقریباً با دراز کردن دست بالای سر لمس کردن آن ممکن می شد (به فرض وجود حیواناتی در آن عهد که سرودستی می داشتند). به طوری که کارهای منجم انگلیسی جورج داروین (فرزند چارلز داروین زیستشناس) نشان داده، ماه پیوسته در حال دور شدن از زمین است، و فاصله آن تا زمین به نرخ تقریبی ۱۲۷ میلیمتر در سال افزایش می یابد. تذکر این نکته لازم نیست که حتی اسبابهای بسیار دقیق قادر به اندازه گیری چنین افزایش خفیفی در مسافت ماه نیستند، ولی از راه غیر مستقیم، و در عین حال مناسب و کامل، همین نتیجه را می توان به دست آورد.

برای آگاه شدن بر طرز استدلال باید به یاد آورد که تأثیر متقابل ماه و زمین به حداکثر پدیده امواج کشندیی آشکار می شود که به وسیله جاذبه ماه بر اقیانوسهای زمین روی می دهد. امواج کشندیی که پیرامون زمین جاری می شوند در مسیر خود به مقاومتی برمی خورند که به صورت قاردهایی است که سر راه آنها قرار گرفته اند. هرگاه از نقطه ثابتی در فضا بتوان به منظومه زمین - ماه نگاه کرد، مشاهده

می‌شود که کمره زمین میان دو سرآمدگی کشندی، همان طور که محور يك چرخ میان دو سر ترمزی دوران می‌کند، می‌چرخد، و بدین سبب باید انتظار داشت که دوران زمین بتدریج کند شود، و در نتیجه این امر به نوبه خود سبب يك افزایش تدریجی در طول مدت شبانه‌روز ما گردد. بنابر یکی از قوانین اساسی مکانیک - قانون بقاء مقدار حرکت -، این دراز شدن مدت شبانه‌روز باید ناشی از دراز شدن دوره تناوب قمر (ماه قمری) و از افزایش تدریجی فاصله آن تا زمین باشد.

چنین تخمین شده است که اصطکاک کشندی ماه، علاوه بر افزایشی که در فاصله ماه تا زمین می‌شود و قبلاً بدان اشاره شد، طول مدت شبانه‌روز را در حدود $1/1000$ ثانیه در هر قرن و طول ماه را $1/8$ ثانیه در هر قرن افزایش خواهد داد. هر اندازه که این تغییرات که در طول مدت شبانه‌روز و مدت ماه تخمین شده خفیف به نظر رسد، با این حال می‌توان با رصدهای مستقیم نجومی آنها را مورد رسیدگی قرار داد. این تغییرات فعلاً موضع خورشید را در میان ستارگان ثابت (کواکب) 575° ثانیة قوسی، و موضع ماه را $5^\circ 8'$ ثانیة قوسی در هر قرن پیش می‌برد. رصدهای کنونی مقادیر 105 ± 0.3 و 43 ± 0.7 را به دست می‌دهند که با تأثیرات تخمین شده تا اندازدای که معقول است سازگاری دارد. نتیجتاً در صحت و دقت افزایش تخمین شده فاصله میان زمین و ماه ممکن است اندکی تردید یافت شود.^۱

۱- توجه به این نکته جالب است که افزایش مدت شبانه‌روز و طول مدت ماه نقش عمده‌ای در ارتباط میان خسوف‌هایی ایفا می‌کند که از نوشته‌های قدیمی نقل شده و از محاسباتی که به وسیله روشهای مکانیک سماوی به ←

با تقسیم کردن فاصله کنونی ماه - ۳۸۴,۵۵۰ کیلومتر - بر میزان
پسروی آن در سال، چنین خواهیم یافت که عملاً ماه باید چهار بیلیون
سال* قبل در مجاورت زمین بوده باشد. یکی از نتایج شگفت‌انگیز
این محاسبات آن است که در آن زمان طول مدت شبانه‌روز (دوره
تناوب روزانه زمین) متساوی و هر دو برابر با هفت ساعت کنونی
بوده‌اند!

در آن زمان می‌بایستی ماه بیحرکت بالای نقطه‌ای از سطح
زمین آویزان باشد که در آنجا، بر اثر جدا شدن از مادر خود به توسط

→ دست می‌آید انجام یافته است. نوشته‌های مردم بابل و مصر که تاریخ آنها تا
قرن هشتم قبل از میلاد می‌رسد تاریخ خسوفهای رصد شده را به دست می‌دهد.
این آثار ثبت شده تاریخی را نشان می‌دهد که با محاسبه کاملاً سازگار است،
ولی با محاسباتی که نسبت به تاریخ روز مشاهده خسوف به دست می‌آید
منطبق نیست. عملاً در پاره‌ای موارد گرفته‌های خورشیدی که در نوشته‌ها ثبت
است، بنا بر محاسبه، چند ساعت قبل از طلوع خورشید یا پس از غروب آن
در شرق مدیترانه وقوع می‌یابند، به طوری که ارساد آنها در بابل یا مصر
میسر نخواهد بود؛ توضیح این اختلاف در این واقعیت است که محاسبات
نظری بنا فرض ثابت ماندن طول مدت شبانه‌روز انجام یافته، و حال آنکه
اگر شبانه‌روز به نسبت ۵۵۵۱ ثانیه در هر قرن دراز شود، لازم می‌آید
که چهل قرن پیش ۵۵۴ ثانیه کوتاه‌تر بوده باشد. مقدار متوسط طول مدت
شبانه‌روز برای این چهل قرن فاصله باید ۵۵۲ ثانیه کوتاه‌تر از مقدار
کنونی آن در نظر گرفته شود. ولی چهل قرن شامل ۱,۳۵۵,۰۰۰ روز است،
و از این رو اختلاف کل

$$\text{ساعت } ۸ = \text{ثانیه } ۲۸۰۰۰ = \text{ثانیه } ۵۵۵۲ \times ۱,۴۰۵,۰۰۰$$

است. همین امر برای توضیح اینکه مردم بابل و مصر گرفته‌های خورشیدی را،
هنگامی که خورشید بالای افق است، مشاهده می‌کردند کافی می‌باشد.

* خارج قسمت ۲ عدد ۳۸۴,۵۵۰ و $۱۲۷/۱۰^۵$ برابر با $۱۰^۹ \times ۳$ است.
بنا بر این به جای ۴ بیلیون باید ۳ بیلیون سال به حساب آید (مترجم).

نیروهای کشندی خورشید، به دنیا آمده است. این قدیمترین حالت قمر خودمان را بالاخص ممکن است «ماه-ساوایی» نامید، زیرا به احتمال بسیار قوی زادگاه آن میان اقیانوس کبیر بوده است. عملاً دلایلی در دست است که به وسیله آن این فرضیه را می توان پذیرفت که حوضچه اقیانوس کبیر چیزی جز يك اثر غولپیکر در پوسته خارایی «مادر-زمین» نبوده، که یادگار جاودان تولد نخستین و تنها دختر آن است.

سن خورشید و دیگر ستارگان

اما در باره خورشید و ستارگان، یعنی سن آنها، چه می دانیم؟ سن کنونی کهکشان را، که خانواده عظیمی است که خورشید ما عضو کوچکی از آن است، می توان به وسیله تحقیق در منابع انرژی که ستارگان گرم و درخشان نگاه می دارد، تخمین کرد. این امر مسلم شده است که انرژی تولیدشده در ستارگان از تبدیل تیدروژن اولیه آنها به هلیوم بوده (این موضوع در فصل پنجم مشروحاً مورد بحث قرار گرفته)، و معلوم شده است که در تبدیل هسته ای تیدروژن به هلیوم، برای هر اتم تیدروژن مصرف شده، $10^{12} - 10^{13}$ کالری حرارت آزاد می شود. چون، فی المثل، خورشید ما در هر ثانیه 10^{26} کالری حرارت آزاد می کند، لازم می آید که در هر ثانیه $10^{28} \times 5$ اتم، یا در حدود ۸۰۰ میلیون تن تیدروژن مصرف کند. از طرف دیگر نیز می دانیم که تیدروژن قریب ۵۰۵۰ جرم همه خورشید را، که $10^{27} \times 2$ تن است، تشکیل می دهد؛ بنا براین لازم می آید که

$$\frac{1 \times 10^{27}}{8 \times 10^8} = 1.4 \times 10^{18} \text{ ثانیه} = 5 \times 10^9 \text{ سال} *$$

* عدد صحیح در این معادله 10×1.25 یا 10×4 است (مترجم).

بگذرد تا کلیهٔ ئیدروژن خود را مصرف کند. بنابراین اگر فرض کنیم که خورشید ما سه میلیون سال است که می‌سوزد، تنها ۷۵٪ سوخت خود را توانسته است مصرف کند، و از این لحاظ باید همچون ستاره‌ای به شمار رود که در مراحل اولیهٔ خود به سر می‌برد. ولی باید به خاطر آورد که ستارگانی که ابعادشان مختلف است سنهای متفاوت دارند. به طوری که ستارگانی که طول عمر آنها یکسان است ممکن است در مراحل کاملاً متفاوتی از دوران تحول خود باشند. عملاً يك ستارهٔ كوچك، متوسط، و بزرگ، که در گذشته همزمان به وجود آمده‌اند، ممکن است اکنون به مراحل مختلفی از تحول خود رسیده باشند، همان طور که يك موش و يك سگ و يك موجود بشری در يك سال مراحل مختلفی از تحول را به دست می‌آورند.

دلیل این اختلاف طول عمر ستارگان را می‌توان در این حقیقت یافت که درخشندگی اختری به نسبت توان سوم جرم ستاره افزایش می‌یابد. بدین سبب، ستاره‌ای که جرمش دو برابر جرم خورشید است سوخت خود را هشت بار تندتر مصرف می‌کند، و چون مقدار کل سوخت آن تنها دو برابر سوخت خورشید است (به تناسب جرم آنها)، طول عمر چنین ستاره‌ای فقط $1/4$ طول عمر خورشید خواهد بود. این اختلاف طول عمر ستارگان راه مناسبی برای تخمین سکنهٔ اختری کهکشان ما فراهم می‌سازد. دلایل رصدی نشان می‌دهد که اختلاف عمیقی میان ستارگانی که چهار برابر سبکتر از جرم خورشید و آنها بی‌که سنگینتر از آن هستند وجود دارد. ستارگان گروه اول قسمت عمدهٔ سکنهٔ اختری را تشکیل می‌دهند و افراد بسیار آرام این جامعه هستند. به محض آنکه به حد ستارگان چهار بار سنگینتر از خورشید برمی‌خوریم، چنین در می‌یابیم که تعداد ستارگان بشدت تقلیل می‌-

یابد ، و آن چند ستاره‌ای هم که در این گروه قرار می‌گیرند به طرز نسبتاً غیر عادی رفتار می‌کنند؛ چند تا از آنها به طرز عجیبی حول محور خود می‌چرخند و جریانهای مواد بسیار گرم از برآمدگیهای استوایی خود خارج می‌سازند.^۱ در خط مرزی میان این دو گروه اصلی ستارگانی قرار می‌گیرند که ظاهراً در حالت بسیار نا پایداری هستند و رفتارشان خارج از هر گونه عادات و رفتار سماوی است. پاره‌ای از آنها به نسبت‌های عظیم متورم شده و متناوباً با تغییر درخشندگی به تبیدن آغاز می‌کنند: اینها قیفاووسیان یا ستارگان متغیر قیفاوسی هستند. برخی دیگر از طرق انفجار کامل می‌گذرند و از برقهای آنی کوچک (انفجارهای متناوب ستارگان U جوزا) با انفجارهای تماشایی و جالبی (فوق نواختر) ردیف بندی می‌شوند که تولید ستاره مجزایی می‌کنند که موقتاً به درخشندگی کهکشانه‌ای است که به آن تعلق دارد.

در فصل پنجم بحث مشروحتری درباره این تپشها و انفجارهای ستارگان خواهید یافت که به نظر می‌رسد نشانه‌هایی از سن زیاد آنها و تشنجات گذشته ستارگانی باشد که تقریباً ذخیره سوخت خود را مصرف کرده‌اند. با به کار بردن ارتباط میان جرمهای اختری و طول عمر آنها که قبلاً ذکر شد، چنین خواهیم یافت که سن متوسط ستارگانی که اکنون نزدیک به مرگ حرارتی خود هستند قریب سه بیلیون سال است.^۲ از

۱- ستارگان گروه اول اغلب دوران هم می‌کنند، ولی حرکت دورانی آنها، مانند دوران خورشید، بسیار کند است.

۲- ستارگانی که چند بار سنگینتر از خورشیداند باید فقط ۱/۱۶ عمر خورشید عمر داشته باشند. چون طول عمر خورشید ما ۵۰ بیلیون سال تخمین

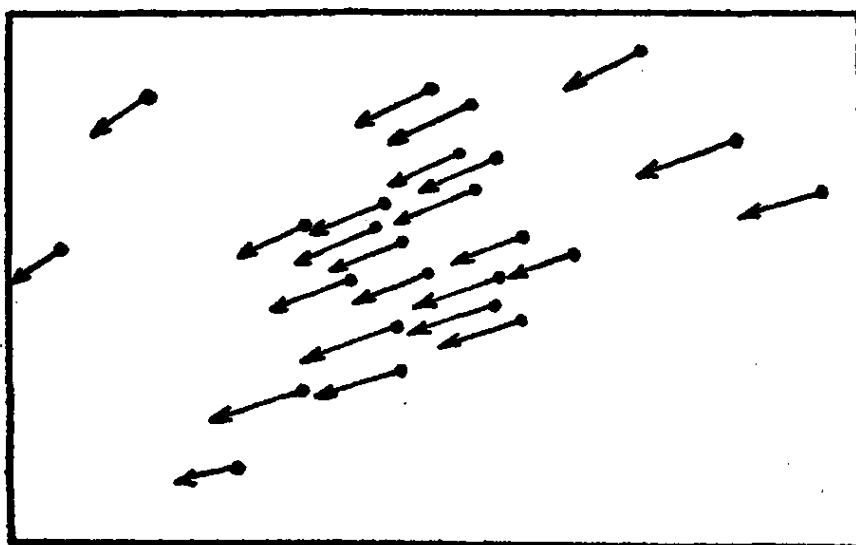
شده ، این ستارگان باید طول عمری برابر $\frac{50}{16} = 3.125$ بیلیون سال داشته باشند .

این روبه این نتیجه می‌رسیم که اغلب ستارگان تشکیل دهنده منظومه کهکشان‌ی سه بیلیون سال پیش به وجود آمده‌اند و چندستاره بزرگتری که در آسمان دیده می‌شوند مبدأ تازه‌تری دارند. به طوری که در فصل پنجم کاملاً توضیح داده خواهد شد، دوران سریع مشهود این ستارگان بسیار سنگین باید تا حدی مربوط به جوانی نسبی آنها باشد. هرچه زمان می‌گذرد و جهان اختری ما پیرتر و پیرتر می‌شود، ستارگان کم جرم و کم جرم‌تر بتدریج به پایان عمر خود نزدیکتر خواهند شد و در سال ۴۷,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰ خورشید ما جواز مرگ خود را به دست خواهد آورد.

سن خوشه‌های کهکشان‌ی

روش دیگر برای تخمین سن سکنه اختری کهکشان ما متکی بر رویه مکانیکی محض ستارگانی است که خوشه‌های معروف کهکشان‌ی را تشکیل می‌دهند؛ بدین معنی که گروه‌های ستارگانی که از نزدیک به هم پیوسته‌اند دسته جمعی در سراسر دسته‌های دیگر ستارگان در کهکشان حرکت می‌کنند. یکی از این گروه‌ها که در صورت فلکی ثور یافت می‌شود در شکل ۲ نمایش داده شده است. سهمها جابه‌جا شدن اعضای گروه را در دوره پانصد قرن نشان می‌دهند. در اینجا متوجه می‌شویم که حرکت همان تأثیر يك «مسیر راه آهن» را نشان می‌دهد که مشخص دور شدن این گروه خاص اختری از موضع کنونی خورشید است.

واضح است که چنین گروه‌های اختری، که ظاهراً دارای يك مبدأ معمولی از ابر ساده‌ای از غبار هستند، نمی‌توانند برای مدت نامشخصی با هم باشند. اینها باید بتدریج، در اثر عکس-



شکل ۲ - حرکت ستارگان خوشهٔ ثور

العمل گرانشی ، با دیگر ستارگانی که در مسیر خود تلاقی می کنند منحل و پراکنده شوند. ب . ژ . بوك B. J. Bok با محاسبات خود نشان داده است که عمر متوسط چنین خوشه های اختری باید میان يك و ده بیلیون سال باشد ؛ و چون چندین صد چنین خوشهٔ اختری در منظومهٔ ما ، یعنی در کهکشان یافت می شود ، سن آنها نمی تواند از چند بیلون سال تجاوز کند .

سن کهکشان زمین (راه شیری)

يك روش تعیین سن ستارگان که تا حدی کلی است ، شامل همهٔ ستارگان کهکشان زمین و متکی بر مطالعهٔ طرز توزیع انرژی در میان ستارگان است . چنین معلوم است که ستارگان ، علاوه بر حرکت منظم گردابی در حول مرکز کهکشان ما ، يك حرکت نامنظم اتفاقی نیز انجام می دهند که شبیه جنبش حرارتی مولکولها در گازهاست . ستارگان ، به سبب عمل گرانشی مشترك میان افسراد این گروه عظیم ، حرکتی دیگر به خود می گیرند و پس از زمان

معینی انتظار این می‌رود که سرعت کاملاً مشخصی به دست آورند . بنا بر قوانین مکانیک ستاتیک ، این طرز توزیع سرعت باید مربوط به توزیع یکنواخت انرژی جنبشی باشد ، و در این حال سرعت هر ستاره معکوساً متناسب با ریشه دوم جرم آن است .

طرز توزیع سرعت در مخلوطی از گازها به‌خصوص تابع این قوانین است . بدین ترتیب ، در مخلوطی از ئیدروژن و اکسیژن ، سرعت متوسط مولکولهای اکسیژن $1/4$ سرعت مولکولهای ئیدروژن است ، زیرا جرم آن ۱۶ برابر بیشتر می‌باشد . ولی در حالی که چنین توزیع یکنواخت انرژی در جزء بسیار کوچکی از ثانیه در يك گاز متعارفی برقرار می‌شود ، همین روش در يك « گاز ستارگان » زمان بسیار درازتری به طول می‌انجامد . منجم آلمانی ف . گوندولاچ^۱ بتازگی نشان داده است که در حال حاضر توزیع یکنواخت انرژی جنبشی در میان ستارگان مجاور خورشید هنوز کاملاً برقرار نشده ، ولی قریب دو درصد از مرحله‌نهایی دور است . مفهوم این است که ، بنا بر این نظریه ، وجود منظومه اختری بین دو بیلیون سال است . بنا بر این مشاهده می‌شود که هر وقت درباب قسمتهای خاصی از جهان یسا خواص آن تحقیق می‌کنیم ، پیوسته پاسخ تقریبی چند بیلیون سال عمر به دست می‌آید .

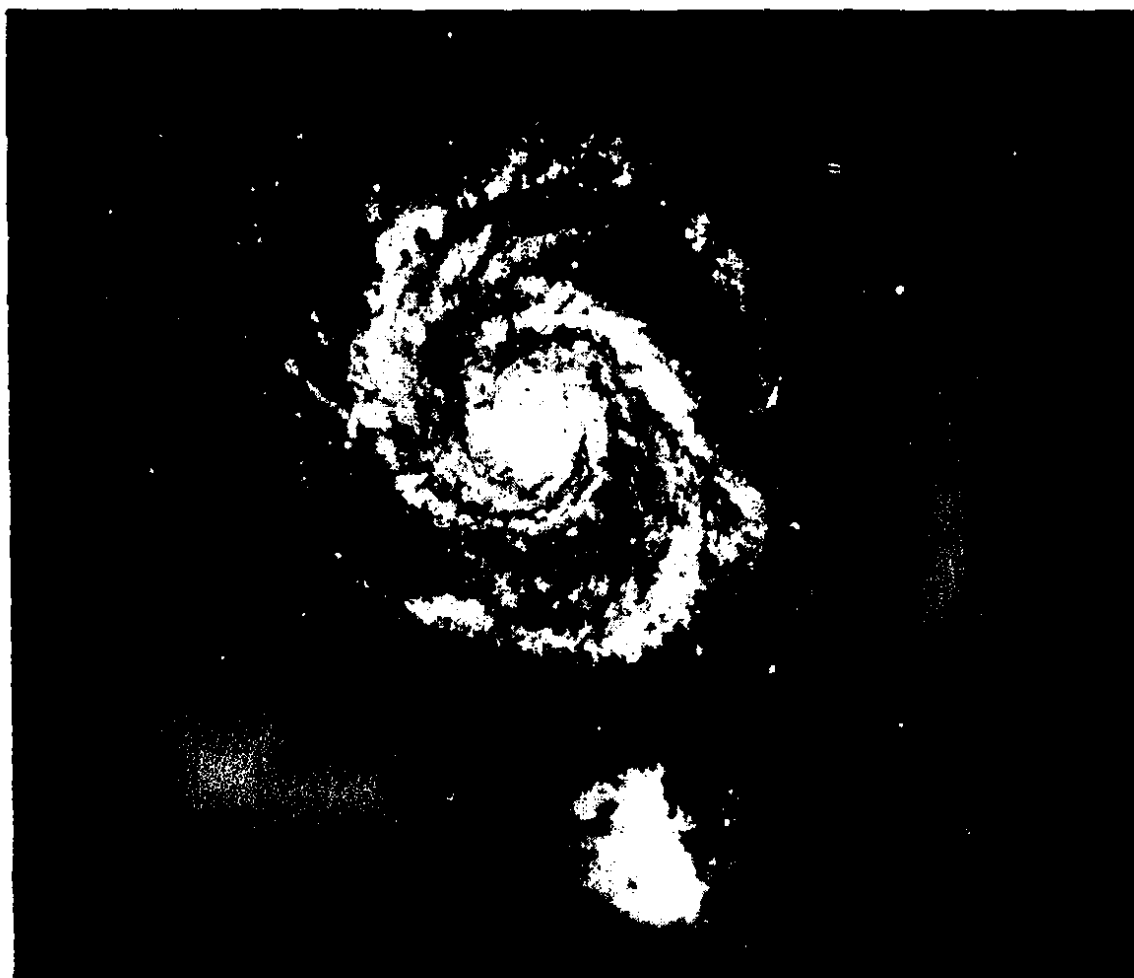
راست است که پاسخها از لحاظ رقم دقیق بیلیون متفاوت است ، ولی میزان عظمت آنها با یکدیگر سازگار است . بنا بر این به نظر چنین می‌رسد که باید فکر يك جهان پیوسته تغییرناپذیر را به دور افکند و چنین پذیرفت که سیماهای اصلی که جهان را ، چنان که امروز می‌شناسیم ، مشخص می‌سازند نتیجه مستقیم پاره‌ای پیشرفتهای تکاملی

است که باید چند سال پیش آغاز شده باشد. نیز باید بپذیریم که در این گذشته دور جهان ما کمتر از امروز تنوع و پیچیدگی داشته، و حالت ماده در آن زمان می توانسته است دقیقاً از راه مفهوم «آشفته‌گی اولیه» توصیف شود.

واقعاً هم، چنانکه در فصلهای بعد خواهیم دید، دلایل تجربی فراوانی که بدین سو متوجه است وجود دارد. با چنین فرضی مسئله علمی آفرینش جهان می تواند همچون کوشش و تلاشی برای دوباره سازی روش تحولی بیان شود که از سادگی نخستین روزهای اولیه پیدایش تا پیچیدگی جهان کنونی اطراف ما ادامه دارد. در این تحقیقات، نظریه‌ی جهان در حال انبساط که در فصل دوم مورد بحث قرار گرفته، کمک فراوانی به ما خواهد کرد.



صفحه تصویر I — سحابی مارپیچی در «ذوآب برنسی» که جزیره جهانی بسیار دوری است که از پهلو دیده شده. به حلقه تاریکتری که این سحابی را احاطه کرده توجه کنید.



صفحه تصویر II — سحابی مارپیچی در «تازیها». از بالا عکسبرداری شده. به قمری که در انتهای بازوی پایینتر است توجه کنید.

فصل دوم

انبساط عظیم

افتحای در حال گسترش

از مدت‌ها پیش منجمان با بعضی اجسام آسمانی آشنا بوده‌اند که سیمای خاصی داشته و به سحابیهای مارپیچی معروف شده‌اند. بر خلاف دیگر سحابیهای نسبتاً معلوم که معمولاً اشکال نامنظم داشته و کمابیش شبیه ابرهایی در آسمان دیده می‌شوند، سحابیهای مارپیچی همیشه ساختمانهای کاملی دارند که يك جسم عدسی مانند مرکزی با يك جفت بازوی مارپیچی، می‌باشند (صفحه تصویر I و II) تا بیش از يك ربع قرن قبل، کمابیش گمان می‌رفت که سحابیهای مارپیچی به طور کلی میان ستارگان منظومه کپکشان زمین قرار گرفته‌اند و چنین تصور می‌شد که ممکن است نمونه‌های ممکن از ستارگانی باشند که در منظومه سیاره‌ای زمین، بنا بر تصویر رسمی کانت و لاپلاس به دنیا آمده‌اند.

مع ذلك، در سال ۱۹۲۵ همه این نظریات، با کشف عظیم ادوین پ. هبل^۱ (یکی از منجمان رصدخانه ماونت ویلس)

1- Edwin P. Hubble

واژگون شد. با مطالعهٔ سحابی مارپیچی بزرگٔ امرأة المسلسله، که در نظر بزرگتر از همه و در نتیجه سهل الرصدتر است، وی متوجه شد که بازوهای مارپیچی آن مشتمل بر تعدادی ستارگان بی‌اندازه کم‌نور است که درخشندگی آنها به تناوب، برحسب يك قانون سادهٔ جیبی، تغییر می‌کند. این ستارگان که قیفاووسیان متغیر نامیده شده‌اند (به نام قیفاووس دل‌تا که نخستین ستاره‌ای است که در آن چنین تغییر پذیری مشاهده شده)، در منظومهٔ کهکشان زمین بخوبی شناخته شده و تغییرات تابندگی آنها از راه تپشهای تنه‌های عظیمشان توضیح می‌شود. میان دورهٔ تناوب این تپشها و تابندگی مطلق ستارهٔ مورد بحث ارتباط ساده‌ای برقرار است، یعنی دورهٔ تناوب تپش ستارهٔ درخشنده‌تر طولانیتر است. این ارتباط «دورهٔ تناوب - تابناکی»، که به وسیلهٔ هارلو شپلی^۱ (منجم دانشگاه هاروارد) برقرار شد، ابزار نیرومندی است برای اندازه‌گیری فواصل ستارگان تپنده‌ای که دورتر از آن هستند که بتوانند جا به جا شدن اختلاف منظری را نشان دهند. از راه اندازه‌گیری مستقیم دورهٔ تناوب تپش يك ستارهٔ معین می‌توان به نتیجه‌ای قطعی در بارهٔ درخشندگی مطلق آن رسید. این نتیجه، توأم با درخشندگی نظری، فاصلهٔ حقیقی ستاره را به دست می‌دهد.

دوره‌های تناوب رصدشدهٔ قیفاووسیان، که به وسیلهٔ هبل در بازوهای مارپیچی سحابی امرأة المسلسله به دست آمد، نشان می‌دهند که قیفاووسیان باید تابندگیهای مطلق بسیار زیاد داشته باشند. از طرف دیگر، این ستارگان به اندازه‌ای به چشم ضعیف و کم‌نورند که در حد رؤیت قرار گرفته‌اند. نتیجهٔ مسلم این است که این

ستارگان - همچنین خود سحابیها - باید بی اندازه از ما دور باشند. مسافتی که از این راه برای سحابی امرأة المسلسله تخمین شده به مقداری در حدود يك میلیون سال نور می رسد که تقریباً صد برابر قطر کامل کهکشان است! سحابیهای مارپیچی دیگر، که به چشم کوچکتر و کم نورتر از یکی از آنها در سحابی امرأة المسلسله اند، باید از آنچه هم که در اصل گمان می رفت بزرگتر و در حقیقت تقریباً به بزرگی خود منظومه کهکشان ما باشند.

کشف هبل موجب شد که سحابیهای مارپیچی از وضع محقر قدیمی که داشتند و در ردیف افراد معمولی کهکشان ما (راه شیری) قرار می گرفتند جا به جا شده و بر مسندی که در خور آنها بود، یعنی مسند کهکشانهای که در سراسر فضای پهناور جهان پراکنده اند، جلوس کنند. بنابراین، چنین آشکار می شود که این اجسام هیچ رابطه ای با سحابیهای معمولی ندارند (مانند سحابی مارپیچی صورت فلکی جبار) که در واقع ابرهای غباری عظیمی هستند که در فضای میان ستارگان شناورند. سحابیهای مارپیچی از بلیونها ستاره مستقل تشکیل یافته اند که به سبب فاصله بسیار زیادشان از راصد به صورت جرم کم نور و درهمی دیده می شوند. در همین تازگی این نتیجه مستقیماً توسط منجم دیگری از رصدخانه ماونت ویلسن، به نام والتر پاده^۱، اثبات شد، بدین طریق که وی توانسته بود از راه عکسبرداری تنه مرکزی سحابی امرأة المسلسله و تنه های دو رفیق آن، آنها را به میلیاردها ذرات کم نوری تجزیه کند که هر يك نشانه ستارگان مستقل بوده و از آنها این منظومه های دور دست ساخته شده است. به نظر چنین مناسب می رسد که اصطلاحگذاری قدیم را تغییر داده و به جای

1- Walter Baade

آنکه در بارهٔ سحابیهای مارپیچی سخن گوئیم از کهکشانهای مارپیچی^۱ بحث کنیم.

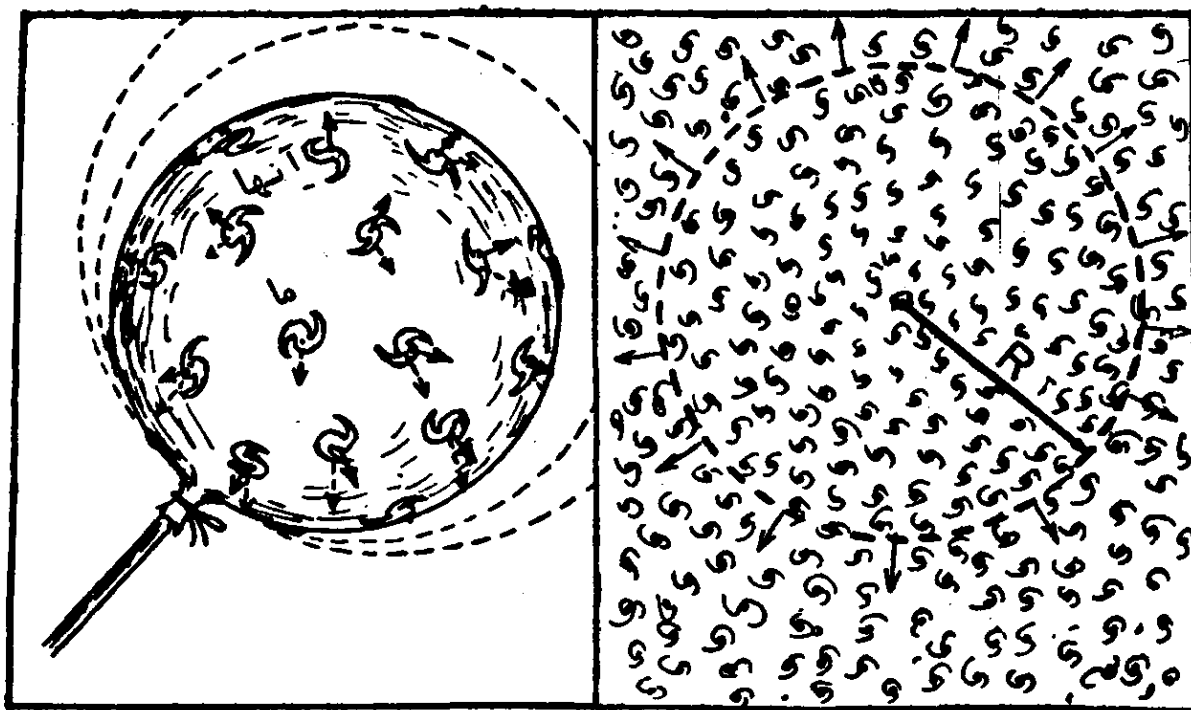
چنین ثابت شده که کشف هبل منشأ پیشرفت قابل توجهی در اطلاعات ما در بارهٔ کیفیت جهان می باشد؛ زیرا معلوم شده است که گاهی خطوط طیفی نور صادر از سحابیهای مارپیچی حرکتی به سوی انتهای قرمز طیف نشان می دهد. اگر این کیفیت را بیان معمولی «اثر دوپلر»^۲ تفسیر کنیم مفهوم چنین است که این اجسام از راصد دور شده اند. تا زمانی که گمان می رفت که این اجسام جزو منظومهٔ اختری ما بوده اند، گمان می کردند که اینها حرکت خاصی در میان ستارگان دارند و از مناطق مرکزی کهکشان راه شیری به سوی محیط آن کشیده می شوند. با گسترش افقهای جدید، تصویر کاملاً نوظهوری آشکار می شود: فضای کامل جهان که به وسیلهٔ بیلیونها کهکشان مسکون است، با همهٔ افرادی که دور از یکدیگر با سرعت بسیار زیاد در آن پرواز می کنند، در یک حالت انبساط سریع است.

اگر انبساط فضای جهان در همهٔ جهات یکنواخت باشد، ناظری که در یکی از کهکشانها قرار گرفته مشاهده خواهد کرد که کهکشانهای دیگر همگی با سرعتهایی متناسب با فاصلهٔ آنها از ناظر، از او دور می شوند. این کیفیت را می توان با سانی بدین طریق اثبات کرد که قطعاتی از کاغذ را (که اگر بخواهند می توان آنها را به شکل

۱- بعضی کهکشانها بازوان مارپیچی حرکتی ندارند؛ و در موارد لازم اینها کهکشانهای بیضوی یا کروی نامیده شده اند.

۲- وقتی منبع نور به راصد نزدیک شود، امواج نورانی، به سبب حرکت منبع، کوتاه می شوند، و همهٔ رنگها به سوی انتهای آبی طیف جا به جا می شوند. وقتی منبع نور دور شود، امواج نورانی بلندتر و همهٔ رنگها به سوی انتهای قرمز جا به جا می شوند.

کهکشانه‌ها بر روی بالونی لاستیکی بچسبانند و سپس بالون را باد کنند تا حجم آن زیاد و زیادتر شود (شکل ۳). ناظری که بر هر يك از این نمونه کهکشانه‌ها قرار گرفته مشاهده خواهد کرد که سایر کهکشانه از او دور می‌شوند ، و شاید گمان کند (به غلط) که خود او مرکز این انبساط است . يك نمونه سه بعدی از فضایی در حال انبساط به وسیله «جنگل ورزشی» به دست می‌آید که اغلب در زمین بازی کودکان یافت می‌شود . تنها احتیاج به این تصور است که «جنگل ورزشی» در همه جهات بی حد و حصر گسترش یابد ، و از لوله‌های تلسکوپی ساخته شده باشد ، به طوری که فواصل میان کودکانی که در مقاطع مختلف قرار گرفته‌اند رو به افزایش می‌رود. علاوه بر سرعت‌های پسروی منظم ، که ناشی از انبساط یکنواخت منظومه کامل است، کهکشانه‌ها دارای حرکت اتفاقی فردی نیز می‌باشند که بسان جنبش حرارتی مولکولهای گازهاست. چون سرعت‌های این



شکل ۳ - تصویر و طرح انبساط یکنواخت

حرکت اتفاقی ، از لحاظ مقدار ، قابل قیاس با سرعتهای پسر وی کهکشانهای مجاور است ، این دو نوع حرکت ممکن است گاهی یکدیگر را خنثی و از این رو نتایج اشتباه آمیزی تولید کنند. ممکن است چنین پیش آید که سرعت حرکت اتفاقی يك کهکشان مجاور که به سوی ما متوجه است بزرگتر از سرعت پسر وی مربوط به این کهکشان باشد. در این حالت کهکشان به سوی ما در حرکت است ، و در خطوط طیفی خود جا به جا شدنی در ناحیه بنفش نشان خواهد داد . در مورد سحابی مارپیچی بزرگ امراة المسلسله چنین چیزی واقعاً مشاهده شده است . با وجود این ، در مسافتهای دور ، سرعتهای پسر وی دائم التزاید بزودی به اندازه‌ای بزرگ می‌شوند که به وسیله حرکت «حرارتی» اتفاقی کهکشانهای فردی مشاهده می‌شوند ، و انبساط همه منظومه کاملاً واضح می‌گردد .

علاوه بر پسر وی مشترك و حرکت انفرادی اتفاقی ، کهکشانها حرکاتی دورانی نیز حول محورهای خود با سرعتهای متفاوت نشان می‌دهند . تعداد کمی از کهکشانها هیچ حرکت دورانی ندارند و دارای شکل منظم کروی هستند . دیگر کهکشانها با سرعتهای متغیری دوران می‌کنند که به وسیله مقادیر کشیدگی تنه بیضوی شکل آنها نشان داده شده است .

با این حال ، دوران بیشتر کهکشانها به اندازه‌ای کند است که بعضی مواد از برآمدگیهای استوایی آنها جاری شده و نمونه متمایز بازوان مارپیچی را تشکیل می‌دهد . توجه به این نکته جالب است که انرژی جنبشی متوسط دوران کهکشانی برابر با انرژی حرکت انتقالی اتفاقی آنهاست . این کیفیت با قانون کلی مکانیک ستاتیک ، که در باره حرکات انتقالی و دورانی مولکولها در يك گاز

متعارفی نیز مسلم است ، سازگار می باشد .

تئوری جهان در حال انبساط

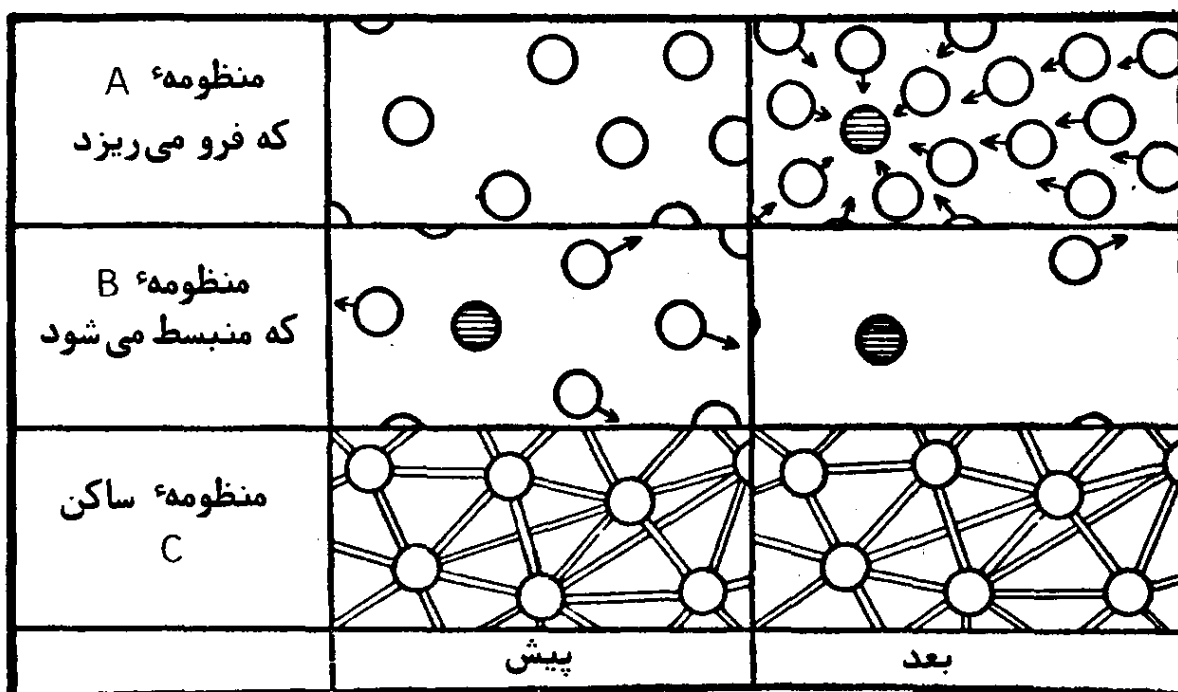
نخستین بار دانشمند بلژیکی ژرژ لومتر متوجه شد که منظومه کیهانشانه‌ها با نتایج کیهانشناخت نظریه نسبیت عمومی سازگار است. درست است که نمونه (مدل) «جهان کروی» معروف اینشتین از لحاظ مکانیک ستاتیک است و آماده برای انبساط یا انقباض نیست. با این حال ، ریاضیدان روس ، ا. فریدمان^۱ خاطر نشان ساخت که طبیعت ستاتیک جهان اینشتین نتیجه اشتباه جبری بوده (اساساً تقسیمی بر صفر) که در فرایند مشتقگیری آن به عمل آمده . آنوقت فریدمان به دنبال این رفت که نشان دهد که با به کار بردن صحیح معادلات اصلی اینشتین به نوعی انبساط و انقباض جهانها منجر می شود . «جهان کروی» که بالاخص در اصل توسط اینشتین تصور شد نشان می داد که از لحاظ دینامیک نا پایدار و مستعد به این است که با کوچکترین انگیزدای انبساط یا انقباض یابد. ما نمی توانیم در حدود مطالب این کتاب در طرز به کار بردن ریاضی مشروح معادلات اساسی نظریه اینشتین و نیز در مورد استعمال آن بر مسائل کیهان - شناخت تفحص کنیم . ولی خوشبختانه بعضی خواص نمونه های کیهانشناختی طبق نظریه اینشتین را می توان توصیف کرد و آنها را بر مبنای نظریه رسمی نیوتن ، بابه کاربردن اندکی ریاضیات ، درك کرد .

فضای بی پایان جهان را با کیهانشانه های فراوانی تصور کنید

1— George Lemaitre

2— A. Friedmann

که به طور کمابیش یکنواخت در آن پراکنده‌اند. آیا این کهکشان‌ها نسبت به یکدیگر آرام و بی‌حرکت قرار می‌گیرند؟ ظاهراً نه، زیرا نیروهای گرانشی نیوتنی که میان کهکشان‌های انفرادی تأثیر می‌کنند آنها را چنان به سوی یکدیگر خواهند کشید که همه منظومه فرو ریزد (شکل ۴ A). اگر فرض کنیم که کهکشان‌ها ابتدا در یک حالت آرامش نبوده بلکه با سرعت‌های اولیه زیاد از یکدیگر دور می‌شوند، آنوقت فواصل میان کهکشان‌های مجاور پیوسته در حال افزایش خواهد بود و همه منظومه انبساط خواهد یافت (شکل ۴ B).



شکل ۴ - سه حالت از یک منظومه اجسامی که تحت تأثیر گرانشی‌اند.

در اینجا وضعیتی نخواهیم داشت که قابل قیاس با وضع یک خبرگزار ورزشی است که عکس توپ فوتبال را که بالای سر بازیکنان در حرکت است بررسی می‌کند. با آنکه تصویر حرکتی را نشان نمی‌دهد، او مطمئن است که توپ یا آرامی در حال صعود است یا بزودی پایین می‌آید. در هر حال، توپ نمی‌تواند بی‌حرکت بر فراز میدان آویزان بماند - مگر آنکه بر نوک دکل قرار گیرد یا

به ریسمانی آویزان باشد. به همین طریق فرض يك منظومه کیهکشانه های در حال سکون که تحت تأثیر نیروی کشش گرانشی مشترك هستند دخالت نیروهای اضافی را ایجاب می کند که کیهکشانه ها را از کشیده شدن به سوی یکدیگر باز دارد. در اینجا ما باید منظومه ای چفت و بست دار فرض کنیم (شکل ۴ C) که نیروهای جاذبه را خنثی کرده و کیهکشانه ها را از یکدیگر جدا نگاه دارد. دستگاه ریاضی نظریه نسبیت عمومی (که چیزی جز نظریه گرانشی قدیمی نیوتن نیست) نیز درست به همین نتیجه می رسد. برای به دست آوردن نمونه (مدل) جهانی در حال سکون (این کار پیش از کشف هبل انجام شده بود) . اینشتین ناگزیر بود در معادلات کلی خود يك جمله اضافی وارد کند که شامل عددی معروف به «مقدار ثابت کیهان- نشناختی» بود و از لحاظ فیزیکی معادل با فرض يك «نیروی دافعه عمومی» میان اجسام مادی است. فرض چنین است که ، برخلاف دیگر نیروهای فیزیکی که پیوسته با افزایش فاصله کاهش می یابند، «نیروی دافعه کیهانشناختی در فواصل کم بسیار ضعیف ولی در فواصل میان کیهکشانی بسیار مهم است.^۱ وارد کردن این نیرو به توسط اینشتین کاملاً من عندی نبود ، چون به طوری که قبلاً نشان داده شد ، این جمله تعمیم منطقی ریاضی معادلات اولیه نسبیت عمومی را نمایش می دهد . وقتی حقیقت این است که جهان ما در

۱- بیان ریاضی این نیروی دافعه را که بر ذره ای به جرم m وارد می شود می توان چنین نوشت

$$F = -1/3 c^2 \Lambda m r$$

که در آن c سرعت نور ، Λ مقدار ثابت تازة کیهانشناختی ، و r فاصله تا ذره است .

حال سکون نیست بلکه انبساط سریع آن شناخته شده است ، «مقدار ثابت کیهانشناختی» بیمورد است . با این حال ، چنانکه قبلاً دیدیم ، این مقدار ثابت را هنوز می‌توان در کیهانشناخت نگاه داشت ، ولو آنکه دلیل وارد کردن آن در معادلات از میان رفته باشد .

پی بردن به اینکه جهان ما در حال انبساط است يك كلید و مفتاح اصلی برای گنجینه معماهای کیهانشناختی فراهم می‌سازد . اگر اکنون جهان در حال انبساط باشد ، لازم می‌آمده که زمانی در حال انقباض بسیار شدید بوده باشد ؛ و ماده‌ای که اکنون در فضای خالی جهان به صورت قسمتهای کوچکی که ستارگان مجزا به شمار می‌روند ، پراکنده است ، باید در آن زمان به صورت جرمی با چگالی بسیار زیاد می‌بود . این ماده باید در معرض دماهای بسیار زیاد قرار گرفته باشد ، چون همه اجسام مادی وقتی متراکم می‌شوند گرم و هنگامی که انبساط می‌یابند سرد می‌شوند . در حال حاضر بزرگترین چگالی ممکن برای این حالت فشرده و متراکم اولیه ماده دقیقاً معلوم نیست ، و نزدیکترین احتمال این است که بالاترین چگالی جهان در آن زمان قابل قیاس با چگالی سیال هسته‌ای ، یعنی قطرات رقیقی که از آنها هسته اتمهای گوناگون تشکیل شده ، می‌باشد . این احتمال چگالی جهان پیش از انبساط اولیه را در آن زمان صد هزار بیلیون برابر چگالی آب خواهد ساخت ؛ یعنی هر سانتیمتر مکعب از فضا در آن زمان محتوی صد میلیون تن ماده بوده است ! در يك چنین حالت تراکم بسیار زیاد، هر ماده که اکنون در دیدرس تلسکوپ ۵ متری (۲۰۰ اینچ) قرار گیرد باید فضایی را که فقط سی برابر بزرگتر از خورشید است اشغال کند . اما چون جهان همیشه لایتناهی بوده و هست ، فضای خارج از این کره پیوسته به وسیله ماده‌ای که

اکنون از دیدرس تلسکوپ پنج متری خارج است اشغال می‌شده .
یکی از « تناقضهای لایتناهی » (پارادوکس لایتناهی) معروف
این حقیقت است که به موجب آن مواد اشغال کننده يك فضای
لایتناهی می‌تواند منقبض یا منبسط شود ، این تناقض به وسیله مثالی
که ریاضیدان معروف آلمانی دواید هیلبرت در یکی از سخنرانیهای
خود ذکر کرده بهتر مجسم و مصور می‌شود .

هیلبرت چنین گفت : « مهمانخانه‌ای با اتاقهای فراوان فرض
کنید که همه اتاقهای آن اشغال شده باشد . وقتی مهمان تازه‌ای
برسد متصدی مهمانخانه باید با تأسف وی را جواب گوید . اما اگر
مهمانخانه‌ای با تعداد بینهایت اتاق در نظر گیریم ، در این حال
حتی اگر همه این اتاقها نیز اشغال شده باشد ، متصدی مهمانخانه
خوشوقت خواهد شد که برای يك مهمان تازه وارد اتاق آماده
کند . تنها کاری که باید بکند این است که کسی را که در نخستین اتاق
است به اتاق دوم ، دومی را به اتاق سوم ، سومی را به اتاق چهارم ،
و قس علیهذا جا به جا کند . . . به این ترتیب مشتری می‌تواند اتاق
شماره يك را به دست آورد . » هیلبرت به سخنان خود چنین ادامه
داد : « اکنون مهمانخانه‌ای با تعدادی بینهایت اتاق فرض کنید که
همه اتاقهای آن پر باشد ، و تعداد بینهایتی مسافر سر برسد . متصدی
مهمانخانه خوشوقت خواهد شد که رضایت همه را جلب کند : او
مسافر اتاق ۱ را به اتاق شماره ۲ و از آن شماره ۲ را به شماره ۴
و از آن شماره ۴ را به شماره ۸ و قس علیهذا . . . انتقال می‌دهد و
بدین ترتیب همه اتاقهای شماره فرد برای مشتریانی که تعداد آنها
بینهایت است آزاد خواهد شد . »

درست به همان طریق که يك مهمانخانه بی‌پایان تعداد بیشمار

مشتري را می تواند جا دهد بی آنکه پر شود ، يك فضای بی پایان نیز می تواند مقداری ماده در خود نگاه دارد و همیشه ، چه این ماده فشرده تر از ساردین در يك قوطی و چه گسترده تر از کره بر روی ساندویچ زمان جنگ باشد ، در هر حال جای کافی برای آن وجود خواهد داشت .

چگونه انبساط آغاز شده ؟

اکنون این دو پرسش ممکن است پیش آید : چرا جهان ما در يك چنین حالت انقباض بسیار زیاد بوده ، و چرا شروع به انبساط کرده است ؟ ساده ترین راه برای پاسخ دادن به این سئوالات ، که از لحاظ ریاضی استوارتر است ، این است که بگوییم انقباض عظیمی که در تاریخ گذشته جهان ما روی داده نتیجه يك فرو ریختگی بوده که در دوره باز هم قدیمتری رخ داده است ، و اینکه انبساط کنونی فقط يك بازگشت « کشسانی » (اتجاعی) است که به محض حاصل شدن بزرگترین چگالی مجاز برای انقباض آغاز شده است . همان طور که در قسمت پیش نشان دادیم ، درست معلوم نیست که چگالی حاصل در حداکثر انقباض چه مقدار بوده ، ولسی بنا بر جمیع قرائن ، این چگالی مسلماً می تواند بسیار زیاد بوده باشد . بسیار احتمال دارد که جرمهای جهان به اندازه ای فشرده شده بوده اند که صورتهای ساختمانی که ممکن است در طی « دوران نزدیک فرو ریختگی » وجود می داشت کاملاً از میان رفته ، و حتی اتمها و هسته های آنها شکسته شده و به صورت ذرات اولیه ای (پروتون و نوترون و الکترون) که از آنها ساخته شده در آمده باشند . بنا بر این هیچ چیز درباره « دوره نزدیک تراکم » نمی توان گفت ، یعنی دوره ای

که ممکن است بدرستی « دوره سنت آوگوستین » نامیده شود ، چه نخستین بار سنت آوگوستین آوهپو بود که مسئله را به این صورت مطرح ساخت: «خدا پیش از آنکه آسمان و زمین را بسازد چه می کرده ؟» به محض آنکه چگالی اجرام جهان بزرگترین مقدار خود را به دست آورد ، امتداد حرکت معکوس و انقباض آغاز شده ، به طوری که چگالیهای بسیار زیاد تنها مدت کوتاهی توانسته اند وجود داشته بوده باشند . در طی مراحل قبل و بعد از این انبساط ، کیفیات گوناگون متمایزی باید در جرمهای کیهانی روی داده باشد که منجر به ساختمان بی اندازه پیچیده و در هم جهان کنونی ما شده است .

تاریخ تراکم عظیم

دیدیم که مشاهدات هبل تعیین می کرد که کهکشانهای پراکنده در سراسر فضای جهان به نظر می رسد که از ما دور می شوند ، و هر اندازه دورتر باشند سریعتر حرکت می کنند . ارتباط میان سرعت پسروی و فاصله به وسیله قانون هبل (به ضمیمه آخر کتاب مراجعه شود) به دست می آید :

$$[\text{سرعت پسروی}] = \text{مقدار ثابت} \times [\text{فاصله}]$$

اگر فاصله بر حسب « سال نور » و سرعتها بر حسب کیلومتر در ثانیه بیان شده باشند ، مقدار عددی « ثابت معادله هبل » $10^{-4} \times 10^8$ است . بدین ترتیب ، مثلاً کهکشانهای که در فاصله يك ميليون سال نور قرار گرفته با سرعت ۱۸۵ کیلومتر در ثانیه پسروی می کند . اگر ، چنانکه در فیزیک متداول است ، فواصل را بر حسب سانتیمتر و سرعتها را بر حسب سانتیمتر در ثانیه اندازه بگیریم ،

مقدار عددی ثابت «معادله هبل» برابر با $10^{-17} \times 10^9$ می شود .
 برای به دست آوردن اینکه همه کهکشانها در گذشته چه زمانی با
 هم فشرده شده اند ، فقط احتیاج به این است که فواصل مشترك آنها
 را بر سرعتهای پسروی هر يك تقسیم کنیم . ولی چون سرعتهای
 پسروی مستقیماً متناسب با فاصله اند ، به هر طریق که دو کهکشان را ،
 چه نزدیک به هم و چه دور از هم انتخاب کنیم ، نتیجه این تقسیم
 همیشه یکسان ، و برابر است با عکس مقدار ثابت قانون هبل . بنا بر
 این ، برای تاریخ تراکم مقدار

$$\frac{1}{10^9 \times 10^{-17}} = 5.3 \times 10^{16} \text{ ثانیه} = 1.7 \times 10^9 \text{ سال}$$

به دست می آید .

اگر فرایند انبساط را در جهت معکوس تصور کنیم ، بدان
 سان که کهکشانها احتمالاً درهم فرو روند ، اختلاف میان لحظه ای
 که کهکشانها به یکدیگر پیوسته و لحظه ای که ستارگان و اتمهایی
 که آنها را تشکیل می دادند متلاشی شده اند ، از يك درصد مقداری
 که به دست آمده تجاوز نخواهد کرد . چنین کیفیتی از این حقیقت
 نتیجه می شود که فواصل میان کهکشانها هم اکنون بدرستی صدها
 برابر بزرگتر از قطرهای آنهاست . مقدار 1.7×10^9 را ممکن
 است همچون بهترین تخمین نجومی برای زمان تراکم عظیم بپذیریم .
 با مقایسه این رقم با دیگر تخمینهای گوناگون مربوط به سن
 جهان (به فصل اول مراجعه شود) ، چنین به دست می آید که این رقم
 از مقدار متوسط کوچکتر است ؛ و بخصوص مشاهده می شود که
 فقط در حدود نصف رقمی است که توسط هومز از مطالعه فراوانی
 نسبی ایزوتوپهای سرب تولید در اثر رادیو اکتیویته به دست آمد .

این اختلاف را که میان تخمینهای نجومی و زمینشناختی موجود است می‌توان به وسیله تعبیری در فرایند انبساط ترمیم کرد. همان طور که نخستین بار لومتر پیشنهاد کرد، ممکن است همان «مقدار ثابت کیهانشناختی را در محاسبه وارد کرد که توسط اینشتین برای نمونه‌ای (مدلی) از جهان در حال سکون به کار گرفت. این مقدار ثابت از لحاظ فیزیکی مربوط به وارد کردن نیروهای دافعه‌ای است که میان کهکشانهای واقع در فواصل دور برقرار است. چنین نیروهایی برای جهان ما انبساطی فراهم خواهند ساخت که سرعت آن پیوسته در افزایش است و موضع نقطه صفر را نسبت به زمان تغییر می‌دهد. اگر فرایند انبساط تند شده باشد، سرعتهای پسروی کهکشانهای مجاور در زمان گذشته کوچکتر از امروز خواهند بود، به طوری که تاریخ پیدایش جهان به عقب جابه‌جا خواهد شد. با فرض مقدار عددی کوچکی معادل 10^{-22} بر ثانیه برای مقدار ثابت کیهانشناختی Λ ، می‌توان مقدار اصلی هبل را به صورتی در آورد که با مقدار تخمین شده زمینشناختی^۱ سازگار باشد.

دو ریاضیدان انگلیسی، بوندی^۲ و گولد^۳، بتازگی تغییر قطعیت دیگری در نظریه انبساط پیشنهاد کرده‌اند. این تغییر (که به نام خوشوقتی مورد تأیید منجم انگلیسی فرد هویل^۴ قرار گرفته و آن را همچون اساس «کیهانزایی جدید» خود به کار برده) متکی بر این فرض است که رقت ماده در جهان، که ناشی از انبساط دائمی آن

۱ - این موضوع به وسیله محاسبات انتشار نیافته رالف آلقر و ر. هرمن نشان داده شده بود.

2 - H. Bondi

3 - T. Gold

4 - Fred Hoyle

است ، به واسطهٔ پیدایش مادهٔ تازه‌ای که در فضای بین کهکشانی رخ می‌دهد جبران شده است . جبران کامل انبساط مستلزم تولید بیش از يك اتم نئیدروژن تازه در هر گالن (حدود ۳۸ لیتر) فضای در حال انبساط نیست ، آن هم فقط يك بار در هر ۲۵۰ میلیون سال ، به طوری که فشار زیادی بر کار قدرت خلاقه وارد نخواهد آمد . بنا بر این نظریات، کهکشان‌های سالخورده‌تر تدریجاً دورتر و دورتر عقب می‌روند، ولی پیوسته کهکشان‌های تازه ، در اثر انقباض مادهٔ نوپدید در فضاها در حال انبساط میان آنها ، تشکیل می‌شوند. پس این نمایش، بی‌آنکه آغاز و پایانی داشته باشد ، ادامه می‌یابد. هر گاه در صدد تهیهٔ تصویر متحرکی (فیلمی) بر آییم که نظریات بوندی و گولد و هبل را نشان دهد ، و آن را به گذشته بکشانیم ، نخست چنین به نظر خواهد رسید که به محض رسیدن به ۱۰۷ بلیون سال ، همهٔ کهکشان‌ها رو به انقباض می‌روند ، ولی بتدریج که فیلم به پسروی خود در زمان ادامه می‌دهد متوجه خواهیم شد که کهکشان‌های مجاور ، که از هر سو در حال نزدیک شدن به منظومهٔ کهکشانی ما (راه شیری) هستند و چنان رفتار می‌کنند که آن را به صورت خمیری در آورند ، مدتها پیش از آنکه به صورت خطری واقعی در آیند ، همچون فضای رقیقی نابود می‌شوند ، و پیش از آنکه نزدیکترین کهکشان مجاور بعدی بتواند به سوی ما تمرکز یابد (۳۰۴ بلیون سال پیش) ، کهکشان اختصاصی خودمان نیز ناپدید خواهد شد . مادام که این نظر مبدأ و تحول کهکشان‌های انفرادی را پیشبینی می‌کند ، خود جهان را جاودان در نظر می‌گیرد ، با آنکه سکنهٔ کهکشانی آن پیوسته در تغییر است . با آنکه این فرضیه ممکن است برای کسانی که آن را، برای تصور آغاز و مبدأ زمان، از لحاظ فلسفی دشوار می‌یابند بسیار جالب

باشد ، در زمینه‌های نظری و رصدی با مشکلاتی واقعی برخورد می‌کند . چون این نظریه برای پیشبینی آغاز تراکم عظیم کافی نیست ، عاجز از جوابگویی مبدأ اتمی است (به فصل سوم مراجعه شود) ، مگر آنکه چنین فرض شود (و چرا چنین فرض نشود !) که اتمهای عناصر متنوع شیمیایی و همجاهها (ایزوتوپها)ی آنها به نسبتهای صحیح به وسیله فرایند مسلم خلقت دائمی ماده تشکیل شده باشند . هبل خود متمایل بر قبول این فرض است که تا وقتی اتم ئیدروژن پیوسته از عدم به وجود می‌آید ، اتمهای عناصر سنگینتر بعداً در درون داغ ستارگان پخته شده و به وسیله انفجارات اختری (سوپرنووا یا فوق نواختران) در سراسر فضا پراکنده شده‌اند . این نظر تا کنون نتوانسته است ما را با توضیح رضایتبخشی از کمیت فراوانی عناصر شیمیایی مجهز سازد ، و به عقیده مؤلف نظری مصنوعی و غیر واقعی است .

با آنکه ایرادات نظری بر حالت آرامش جهان تا حد قابل توجهی مربوط به عقاید است . دلایل رصدی که ظاهراً با این نظریات متناقض است داستان دیگری دارد . چند سال قبل دو منجم امریکایی، استبینز^۱ و ویتفرد^۲، تصمیم بر مطالعه طرز توزیع کهکشانها - های دور گرفتند . آنان چهار گروه ، یا خوشه ، انتخاب کردند که در صورت فلکی سنبله ، ذوائب برنيس ، و اکلیل شمالی و حواء قرار داشتند (فواصل تخمین شده این کهکشانها به ترتیب ۶ ، ۴۰ ، ۱۴۰ ، و ۲۴۰ میلیون سال نور است) . چیزی که موجب شگفتی ایشان و دیگران شد پی بردن به این نکته بود که رنگ کهکشانها بر حسب

1 - J . Stebbins

2 - A. E. Whitford

فاصله آنها تا زمین متفاوت است و هر چه دورتر باشند قرمزتر به نظر می‌رسند. این تغییر کلی رنگ، که غیر از حرکت دوپلری ناحیه قرمز خطوط طیفی است، مسلماً می‌تواند با فرض وجود غبار در فضای بین کهکشان‌ها توضیح داده شود؛ در این صورت پدیده‌های همچون سرخی خورشید در مجاورت افق خواهد بود. ولی برای توضیح قرمزی مشهود از راه وجود غبار، مقدار غباری که باید دخالت داد به اندازه‌ای است که مشکلاتی برای دیگر واقعیات نجومی پیش می‌آورد. گذشته از این، اغلب رصدهای جدید ظاهراً چنین نشان می‌دهند که قرمزی تنها منحصر به کهکشان‌های بیضوی (بی بازو) است و چنین تأثیری در کهکشان‌های مارپیچی یافت نمی‌شود، و حال آنکه اگر قرمزی مربوط به غبار میان کهکشان‌ها می‌بود تأثیر آن بستگی به نوع کهکشان‌ها نداشت. اکنون تقریباً همه منجمان پذیرفته‌اند که قرمزی کهکشان‌های دور باید نتیجه تعداد نسبی ستارگان آبی و قرمزی باشد که آنها را تشکیل داده‌اند. ولی وقتی کهکشان‌های را نگاه می‌کنیم که، مثلاً، ۳۰۰ میلیون سال نور از ما دورتر است آن را چنان می‌بینیم که ۳۰۰ میلیون سال پیش بوده است؛ چون ممکن است چنین انتظار داشت که سکنه اختری کهکشان‌ها در طی زمان انبساط یافته باشند (به فصل پنجم مراجعه شود)، این استنتاج منطقی است که کهکشان‌ها می‌توانند ستارگان غولپیکر جوان را بیش از سال‌خوردگان آنها شامل باشند. اگر چنین تفسیری از قرمزی مشهود پذیرفته شود (و ظاهراً راه دیگری جز قبول کردن این تفسیر یافت نمی‌شود)، راهی جز پذیرفتن این مطلب نداریم که خواص عمومی کهکشان‌ها در گذشته با خواص کنونی آنها متفاوت بوده است، و این امر بشدت با فرضیه حالت

آرامش جهان ، آن طور که بوندی و گولد و هبل پیشنهاد کرده‌اند ، متناقض است. خوشبختانه چنین به نظر می‌رسد که دخالت دادن «مقدار ثابت کیهانشناختی» (دافعهٔ عمومی) و فرضیهٔ حالت آرامش جهان (خلقت دائمی ماده) هیچ يك واقعاً برای از میان برداشتن تناقض میان ارقام هومز و هبل برای سن جهان مورد نیاز نیست . در حقیقت مطالعات تازهٔ منجم آلمانی بر نشان می‌دهد که مقادیر معمولی مورد قبول برای فواصل میان کهکشان‌های صحیح نیست و باید به وسیلهٔ مدارك و دلایل رصدی مورد تجدید نظر قرار گیرند . با در نظر گرفتن نکاتی فنی ، از قبیل «تفرق تابناکی کهکشان‌ها» ، «انحراف از توزیع انرژی تشعشعی سیه جسم» ، و «فضای قرمزی» ، بر به این نتیجه رسید که فاصلهٔ واقعی میان کهکشان‌ها باید تقریباً دو برابر بزرگتر از آنچه تاکنون فرض شده است باشد . این موضوع سبب خواهد شد که ضرایب عددی فرمول هبل به نصف تقلیل یابد و، در نتیجه، تخمین زمان تراکم عظیم از مقدار ۱۰۷ بیلیون به قریب ۳۰۴ بیلیون سال ترقی کند.

آیا انبساط هرگز متوقف خواهد شد ؟

این موضوع که آیا انبساط کنونی جهان ما پیوسته ادامه خواهد داشت یا آنکه زمانی متوقف شده و در آن حال به صورت فروریختگی در خواهد آمد ، نظیر این است که آیا موشکی که از سطح زمین آتش می‌گیرد پیوسته به حرکت خود در فضا ادامه خواهد داد یا متوقف شده بر سر ما فرود می‌آید . در مورد موشك همه چیز بستگی به سرعتی دارد که موشك به دست می‌آورد . اگر سرعت آن بیش از ۱۱۰۲ کیلومتر در ثانیه باشد (سرعتی که «سرعت

گریز» نامیده شده و در حال حاضر به دست نیامدنی است) ،
موشك با نیروی جاذبه مقاومت کرده هرگز باز نمی‌گردد، و به ازای
هر سرعت کمتر از این مقدار ، موشك ناگزیر در ارتفاع معینی
متوقف می‌شود و آن وقت سقوط خواهد کرد. در حالت اول می -
گوییم که انرژی جنبشی موشك بیش از پتانسیل میدان گرانشی
زمین ، و در حالت دوم عکس آن است .

مورد کهکشانه هایی که در مقابل جاذبه مشترکی که سعی
می‌کند آنها را به یکدیگر نزدیک کند ، با سرعتهای معینی از هم
دور می‌شوند ، شبیه مثال موشك پرتاب شده از زمین است . صورت
ساده مسئله این است که آیا نیروی جبری پسروری کهکشانی نیرو -
مندتر است یا نقش میدانهای گرانشی آنها . محاسبات ساده‌ای که
در قسمت ضمیمه کتاب ذکر شده نشان می‌دهد که در زمان حاضر
کشش گرانشی میان کهکشانه‌ها به سرعتهای جبری پسروری آنها
بسیار ناچیز و صرفنظر کردنی است ؛ و این مورد نظیر وضع
موشکی است که با سرعتی بسیار بزرگتر از «سرعت گریز» از زمین
دور می‌شود . فواصل میان کهکشانه‌های مجاور از هر حد تجاوز
می‌کند ، و احتمال این نمی‌رود که انبساط کنونی هرگز متوقف شود یا به
صوت فرو ریختگی درآید .

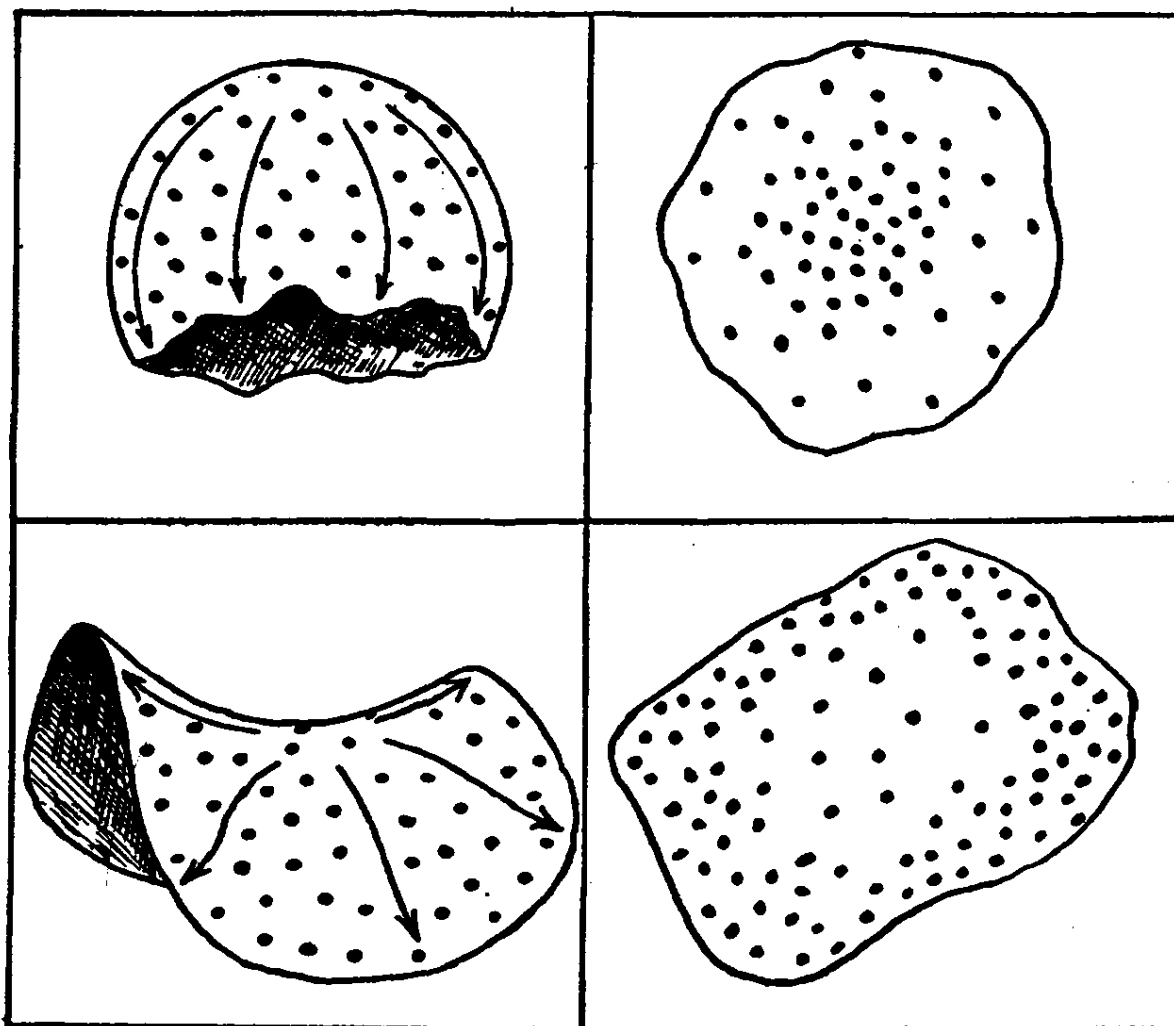
آیا جهان محدود است یا نامحدود ؟

به نظر نمی‌رسد که موقع مناسب باشد که مسئله حجم و ابعاد
کل جهان مطرح شود . آیا جهان ، همان طور که سابقاً اینشتین
پیشنهاد کرده بود ، محدود و حجم آن چندین متر مکعب یا چندین
سال نور مکعب است ، یا همان هندسه اقلیدسی بسیار قدیمی آن را

مجسم می سازد که بی حد و حصر در هر سمت گسترش می یابد؟ در درون فاصله يك بلیون سال نوری که تلسکوپ پنج متری رصدخانه پالومار می تواند زیر نظر گیرد، به نظر می رسد که کهکشانها (قریب يك بلیون از آنها) به سبك کمابیش یکنواختی در سراسر فضا پراکنده شده اند. ولی فرض کنید که منجمان موفق به ساختن تلسکوپهای ۱۰ متری، ۲۰ متری، ۴۰ متری، و . . . شوند. آن وقت چه خواهند یافت؟ فرضیه نسبت اینشتین و فرضیه گرانشی به دو راه حل ریاضی ممکن منجر می شود.

نخست آن است که فضای جهان ممکن است، همان طور که سطح زمین است (انحنای مثبت)، « انحنای به سوی داخل » داشته و سرانجام در يك « نقطه متقاطع » بسته شود (سمت چپ و بالای شکل ۵)؛ این همان جهان محدود اینشتین است (که ممکن است در حال سکون یا در حال انبساط باشد)، که در آن، صرف نظر از فضای تاریك، هر کس می تواند اگر چند بلیون سال انتظار بکشد تا نور پیرامون جهان را سیر کند، اصلاح موی پشت سر خود را واریسی کند، و گرنه فضای جهان، مانند سطح يك زین اسب، « به خارج انحنای دارد » (قسمت پایین و سمت چپ شکل ۵).

اینکه کدام يك از این دو امکان باید به جهان ما تعلق گیرد تنها به وسیله مدارك رصدی محقق می شود، و چنین به نظر می رسد که مدارك موجود شدیداً به نفع امکان دوم، یعنی بی پایانی جهان باشد. از لحاظ ریاضی محض، اینکه هندسه جهان « باز » یا « بسته » است سیر زمان رفتار آن را مستقیماً معین خواهد کرد. ممکن است نشان داده شود که يك جهان محدود اینشتین فقط تا حدی انبساط یافته و فراتر از آن حد انبساط تبدیل به انقباض شود. اما جهانی باز و بی-



شکل هـ - سطوح انحنای مثبت و منفی (سطوح کروی و زیننی شکل) ،
و آنچه وقتی سعی در گسترده کردن آن بر روی میزی می کنیم اتفاق می افتد .

پایان محکوم به انبساط بی پایان است . می توان گفت که اگر جهان محدود و متناوب در فضا باشد (همچون سطح يك کره) ، نسبت به زمان نیز متناوب و تابع انبساط و انقباض متناوبی است (جهان تپنده) . از طرف دیگر ، اگر جهان باز و نامتناوب در فضا باشد (هم چون سطح يك حجم سهمی) ، شکل آن در طی زمان نیز تجدید نخواهد شد . بنابراین ، همین استدلال که در قسمت پیش ذکر شد ما را به پذیرفتن جهان بی پایان در فضا و نیز جهان بی پایان در زمان می کشاند .

بدیهی است این نتایج ، که کاملاً متکی بر مدارك رصدی در
 داخل کره‌ای به شعاع يك بیلیون سال نور است ، لزوماً بر جهانی
 «ماوراء نفوذ تلسکوپ پالومار» که خارج اطلاعات اختیاری ما می‌باشد
 تعلق نمی‌گیرد ؛ و نمی‌توان این امکان را از نظر دور ساخت که در
 بعضی فواصل دورتر خارج از این کره ، خواص فضا ممکن است
 اساساً چنان تغییر کند که اطلاعات کنونی ما در آنجا دیگر به کار
 نخورد. مثلاً می‌توان فرض کرد که ، با آنکه در داخل مسافتهای رصد
 گیری شده فضا کوچکترین تمایلی به محدود شدن نشان نمی‌دهد ،
 در فضاهای دورتر ممکن است ناگهان «تغییر تمایل» داده و محدود
 شدن را آغاز کند . بحث در چنین امکانی مسلماً خارج از دامنه علم
 اختیاری است . علاوه بر این ، نظر جالبی را که چند سال پیش منجم
 شارلیه بیان کرد می‌توان ذکر نمود ، و آن را ممکن است فرضیه
 «درهمی بی پایان» نامید . شارلیه چنین پیشنهاد می‌کند که درست
 همان طور که ستارگان فراوان اطراف خورشید ما متعلق به ابر
 مجزایی ، که همان کهکشان اختصاصی خودمان است ، می‌باشند ،
 کهکشانها نیز ابر بسیار بزرگی تشکیل می‌دهند که فقط جزء
 کوچکی از آن در منطقه دید تلسکوپها قرار می‌گیرد . این امر
 می‌رساند که اگر ما بتوانیم دورتر و بازهم دورتر در فضا نفوذ کنیم ،
 سرانجام به فضایی سرخورد خواهیم کرد که ماوراء کهکشانهاست .
 با این حال ، این کهکشان غولپیکر از مجموعه کهکشانها تنها
 کهکشان جهان نیست ، و بسیار دور و دورتر در فضا منظومه‌های
 مشابه دیگری می‌تواند یافت شود . این کهکشانهای خوشه کهکشانها
 ها نیز به نوبه خود به واحدهای بزرگتری مجتمع می‌شوند ، و این عمل

C.V.L. Charlier

بی‌حد و حصر ادامه دارد. چنین تصویری از طرز تشکیل دائماً صعودی ماده، هر اندازه هم مهیج باشد، متأسفانه خارج از حدود امکان مطالعات رصدی است.

شمارشهای سجایی، و اشتباه میان فواصل و سنّها
روش دیگری برای پی‌بردن به اینکه آیا فضای جهان «برآمده»
یا «فرو رفته» است موجود می‌باشد که متکی بر هندسه محض و کاملاً
مستقل از انبساط نسبت به زمان است. این روش بستگی به این
موضوع دارد که چه مقدار از فضا در مسافت معینی در دسترس
می‌باشد و می‌تواند با مراجعه به يك نمونه دو بعدی بهتر درك شود.
فرض کنید که يك قطعه چرم مدور از يك توپ معمولی فوتبال جدا
و سعی کنیم آن را بر روی سطح يك ميز بگسترانیم (قسمت راست
و بالای شکل ۵). واضح است که این کار بدون کشیدن لبه‌های
چرم امکانپذیر نیست، زیرا چون سطح اصلی به سوی داخل انحنا
دارد (برآمده است)، در قسمتهای محیطی آن مواد به اندازه کافی
یافت نمی‌شود. حال اگر همین آزمایش را با قطعه چرمی که از يك
زین جدا شده است انجام دهیم (قسمت راست و پایین شکل ۵)
وضع بکلی متفاوت است. چون در کناره چرم مواد زیادتر وجود
دارد، برای گسترش آن احتیاج به جمع کردن آن داریم. اگر این
دو سطح با نمونه یکنواختی از نقاط اصلی پوشیده شده باشند، چنین
خواهیم یافت که پس از گسترش، در کناره سطح کرویی به کمبود
نقاط برمی‌خوریم و در نزدیکی کناره سطح زین نقاط زیاد می‌آید.
بیان ریاضی این کیفیت چنین است: سطح دایره مرسوم بر يك
سطح کرویی کندتر از مجذور شعاع، و بر سطح زین تندتر از آن

افزایش می یابد .

در مورد فضای منحنی سه بعدی همین وضع پیش می آید ، که گرچه در درون چنین فضایی هستیم ، نمی توانیم آن را به همان سهولتی مجسم سازیم که سطوح دو بعدی را که در خارج آنها قرار گرفته ایم ، می بینیم . در اینجا به جای نقاط واقع بر روی چرم ، کهکشانهایی در فضا داریم که شاید توزیع آنها یکنواخت است . اگر فضا محدود و انحنای آن به سوی داخل بود ، لازم می آمد که تعداد کهکشانها کندتر از توان سوم مسافت افزایش یابد ، و اگر فضا بی پایان و انحنای آن به سوی خارج بود ، لازم می آمد که تعداد کهکشانها تندتر از توان سوم مسافت افزایش پیدا کند .

با چنین شمارشهای کهکشانی ، که هبل انجام داد ، برخلاف نتایجی که در قسمت گذشته به دست آوردیم ، چنین یافت که فضای جهان به سوی داخل انحنای دارد (برآمده است) و البته انحنای آن بسیار سریع است . با این حال ، نتیجه ای که هبل به دست آورد بستگی کامل به درستی تخمینهای مسافات کهکشانی دارد . اگر همان طور که بر پیشنهاد کرده بود ، این مسافات واقعاً دو برابر بزرگتر از آن بود که قبلاً تصور می کردند ، شمارشهای کهکشانی به نتیجه مخالف منجر می شد ، و چنین به دست می آمد که جهان باز و بی پایان است . ضمناً باید به خاطر داشت که همه تخمینهای مسافات کهکشانی متکی بر این فرض است که کهکشانها دارای تابناکی ثابتی هستند ؛ در حقیقت مسافات فقط به وسیله قانون عکس مجذور برای تابناکی ظاهری يك منبع دور اندازه گیری شده است . چون همه کهکشانهای دور را ما بدان سان می بینیم که صدها میلیون سال قبل بوده اند ، اگر کهکشانها تابناکی خود را نسبت به زمان تغییر

دهند ، نتایج سرشماری کهکشان‌های اصولاً اختلاف خواهد داشت. به طوری که دیدیم، چنین تغییراتی را باید هم‌انتظار داشت ، چه ، بنا بر رصدها و مشاهدات ستبیز و ویتفرد ، محتویات اختری کهکشان‌های فردی ظاهراً تغییرات تحولی مشخصی را نشان می‌دهند.

تلاش در تلفیق روش هبل سرشماری کهکشان‌ها با مطالعات ستبیز و ویتفرد در بسارۀ تغییرات تحولی تابناکی کهکشان‌ها را بر سر دو راهی تأسف آوری قرار می‌دهد. روش سرشماری کهکشان‌ها را برای مطالعه انحناى فضا در صورتی می‌توان به کار برد که نخست بر سرعت و مقدار تغییر تابناکی کهکشان‌ها در طی زمان آگاه شویم. از طرف دیگر ، يك مطالعه سودمند در بارۀ تغییرات تحولی تابناکی کهکشان‌ها تنها وقتی ممکن است که بتوان روش قابل اطمینانی برای تخمین مسافتهای آنها به دست آورد ، که آن نیز به نوبۀ خود داشتن اطلاعاتی از هندسۀ جهان را ایجاب می‌کند. به نظر چنین می‌رسد که تنها راه رسیدن به منظور تئوری انبساط (به طوری که در قسمت قبل بیان شد) و به کار بردن نتایج آن برای کشف مشاهدات مربوط به تغییرات تحولی تابناکی کهکشان‌ها باشد.

نخستین مراحل انبساط

مطالعات ریاضی در باب کیفیت انبساط (به قسمت ضمیمۀ آخر کتاب مراجعه شود) نشان می‌دهد که مقدار ثابت قانون هبل بنائى با تحول تدریجی جهان تغییر می‌کند. برای -مراحل نسبتاً قدیمی انبساط ، مقدار ثابت هبل به وسیلۀ رابطۀ زیر با چگالی متوسط جهان بستگی دارد :

$$[چگالی متوسط]^{-1} = 5.8 \times 10^{-6} [\text{مقدار ثابت هبل}]$$

باید توجه داشت که چگالی متوسط جهان نه تنها شامل چگالی ماده متعارفی است، بلکه شامل چگالی - جرم تشعشعی (نور مرئی و نامرئی) نیز می باشد که فضا را اشغال کرده است. می دانیم که بنابر اصل معروف (برای جرم و انرژی) اینشتین، تشعشع دارای وزن مشخصی است که مقدار عددی آن را می توان با حاصل تقسیم انرژی آن بر مجذور سرعت نور بیان کرد. در زندگی روزانه، وزن تشعشع نورانی به اندازه ای ناچیز است که به آسانی می توان از آن چشم پوشید؛ و بالاخص وزن نور مرئی در اطاقهای بسیار روشن، بالنسبه به وزن هوای داخل اطاق، ناچیز و صرف نظر کردنی است. با این حال، در مورد جهان وضع متفاوت است، و این اختلاف چندان به نسبت زیادی وزن تشعشع نیست، بلکه از این لحاظ است که چگالی متوسط ماده بسیار اندک است. بنا بر فرمول معروفی از فیزیک رسمی، موسوم به فرمول شتفان - بولتسمان، مقدار کل انرژی تشعشعی در واحد حجم فضا و در دمای T (دمای مطلق که صفر آن 273 - درجه صد بخشی است) مساوی است با $10^{-15} T^4 \times 7.6 \times 10^{-10}$ از تقسیم این رقم بر مجذور سرعت نور ($c^2 = 9 \times 10^{20}$) مقدار $10^{-26} T^4 \times 8.5$ گرم در سانتیمتر مکعب برای وزن انرژی تشعشعی به دست می آید. در دمای معمولی اطاق (در حدود 300 درجه مطلق)، وزن تشعشع (در این مورد اشعه گرم) تنها 10^{-25} گرم در سانتیمتر مکعب است. در فضای میان ستارگان، که به وسیله ستارگان گرم می شود و دمای ثابتی در حدود 100 درجه مطلق (نزدیک دمای هوای مایع) دارد، چگالی تشعشع (اشعه حرارتی بسیار سرد!) 10^{-27} گرم در سانتیمتر مکعب است. این مقدار، با تمام کوچکی آن، تقریباً یک درصد چگالی گاز میان ستارگان را، که 10^{-24} گرم در سانتیمتر مکعب است، تشکیل

می دهد .

از قوانین فیزیک رسمی این حقیقت نتیجه می شود که چگالی تشعشع در حجمی که در حال انبساط است سریعتر از چگالی ماده در همین حجم پایین خواهد آمد^۱ . آن وقت این فرض پیش می آید که در طی قدیمترین مراحل انبساط ، وزن تشعشع نود در هر حجم از فضا بر وزن ماده در همان حجم برتری داشته است . در طی این ادوار ، ماده معمولی به حساب نمی آمده و نقش اصلی را تشعشع بسیار گرم انجام می داده است .

ممکن است تقریباً گفته انجیل را در اینجا بیان کرد : « در آغاز آفرینش نور بوده » ، و بسیار هم بوده است ! ولی البته این «نور» بیشتر از اشعه ایکس و اشعه گامای پر انرژی تشکیل می یافت . اتمهای ماده متعارفی به طور قطع در اقلیت قرار گرفته بودند و به میل و اراده جریانهای نیرومند کوانتومهای نوری به پیش و پس پرتاب می شدند .

رابطه ای که میان مقدار ثابت هبل و چگالی متوسط جهان قبلاً برقرار شد به ما اجازه می دهد که بیان ساده ای استخراج کنیم که دما را ، در طی مراحل قدیمی انبساط ، همچون تابعی از زمان از هنگام حداکثر تراکم به دست دهد . با بیان این زمان بر حسب ثانیه و دما بر حسب درجه (به ضمیمه آخر کتاب مراجعه شود) چنین

۱ - اگر لبه يك ظرف مكعب شكل به وسیله يك عامل a افزایش یابد ، حجم ظرف به نسبت عامل a^3 اضافه خواهد شد ، و چگالی ماده محتوی در آن به نسبت a^3 کاهش می یابد . ولی دمای انرژی تشعشعی در این حجم به نسبت a کاسته می شود (قانون وین) به طوری که چگالی به نسبت a^4 پایین می آید (بنابر قانون شتفان - بولتسمان).

به دست می آید :

$$\text{دما} = \frac{10^1 \times 10^5}{[زمان]^{1/2}}$$

بنابراین وقتی يك ثانیه ، يك سال ، يك میلیون سال از سن جهان می گذشته، دما به ترتیب ۱۵ بیلیون، سه میلیون ، و ۳۰۰۰ درجه مطلق بوده است . با در نظر گرفتن سن کنونی جهان (ثانیه $10^{17} \times 3$) در این فرمول چنین خواهیم داشت :

$$T = 50 \text{ مطلق} = (\text{دمای کنونی})$$

و این مقداری است که با دمای واقعی فضای میان ستارگان وفق می دهد. آری ، برای آنکه جهان ما از حرارت سوزان روزهای نخستین خود سرد شده و به سرمای امروزی ! برسد ، مدت ها وقت لازم داشته است. در حالی که تئوری بیان صحیحی برای دمای جهان در حال انبساط فراهم می کند ، برای چگالی ماده تنها به عبارتی با يك عامل نامعلوم می رسد . در حقیقت می توان ثابت کرد (به ضمیمه آخر کتاب مراجعه شود) که

$$[\text{چگالی ماده}] = \frac{\text{مقدار ثابت}}{[زمان]^{3/2}}$$

در فصل سوم مشاهده خواهیم کرد که این مقدار ثابت ممکن است از تئوری مبدأ انواع اتمی به دست آید..

فصل سوم

ساخته شدن اتمها

فراوانی طبیعی انواع اتمی

به طوری که چندین بار نشان دادیم ، این فرض معقول به نظر می‌رسد که انواع گوناگون اتمی در طی دوره بسیار قدیم انبساط تشکیل شده باشد ، یعنی زمانی که همه ماده موجود در جهان هنوز به طور یکنواخت ، با چگالی بسیار زیاد متراکم و تحت تأثیر دمای بی‌اندازه بالا قرار گرفته بود که شرایط مناسبی برای تبدیلات انواع هسته اتمی فراهم می‌ساخت . چون وجه تمایز مقادیر نسبی انواع مختلف اتمی که در طی این « دوره پخت و پز جهانی » تولید شد ، باید شرایط فیزیکی حکمفرما در آن زمان باشد ، اطلاعات ما در باب فراوانی نسبی عناصر شیمیایی و ایزوتوپهای آنها در طبیعت ما را مجهز می‌سازد که تصویری از نخستین مراحل انبساط باز سازیم . بر این ممکن است چنین انسیدشید که جدول فراوانی نسبی انواع اتمی از قدیمترین اسنادی به شمار می‌رود که وابسته به تاریخ جهان ما می‌باشد .

چندین دانشمند بزرگ زمینفیزیک و نجومفیزیک فراوانی
نسبی عناصر را عمیقاً مطالعه کرده‌اند ، و امروز مقدار فراوانی مواد
در این باره در اختیار ما گذاشته‌اند ؛ قسمت اعظم مدارك و اطلاعات
از تجزیه شیمیایی قشر زمین و احجار سماوی به دست می‌آید که
احتمالاً قطعات سیاره پیشینی را که قبلاً میان مدارهای مریخ و مشتری
در حرکت بوده ، نشان می‌دهد. این اطلاعات به وسیله تجزیه طیفی
خورشید و ستارگان و مواد رقیقی که در سراسر فضای بین اختری
پراکنده است ، تکمیل شده . مهمترین نتیجه‌ای که از این مطالعات
به دست آمده این حقیقت است که سازمان شیمیایی جهان به طرز شگفت-
انگیزی یکنواخت است . چنین معلوم شده که قریب ۵۵٪ مواد جهانی
تیدروژن و در حدود ۴۴٪ آن هلیوم است ؛ يك درصد بساقیمانده
جوابگوی همه عناصر سنگینتر ، به همان میزان که آنها را در زمین
می‌یابیم ، می‌باشد . بسا در نظر گرفتن ارقام کلی برای فراوانی
کیهانی ، زمین ما استثنای جالب توجهی از لحاظ فقدان تقریبی
تیدروژن و هلیوم ، که سازندگان اصلی ماده در جهان هستند ، نشان
می‌دهد.^۱

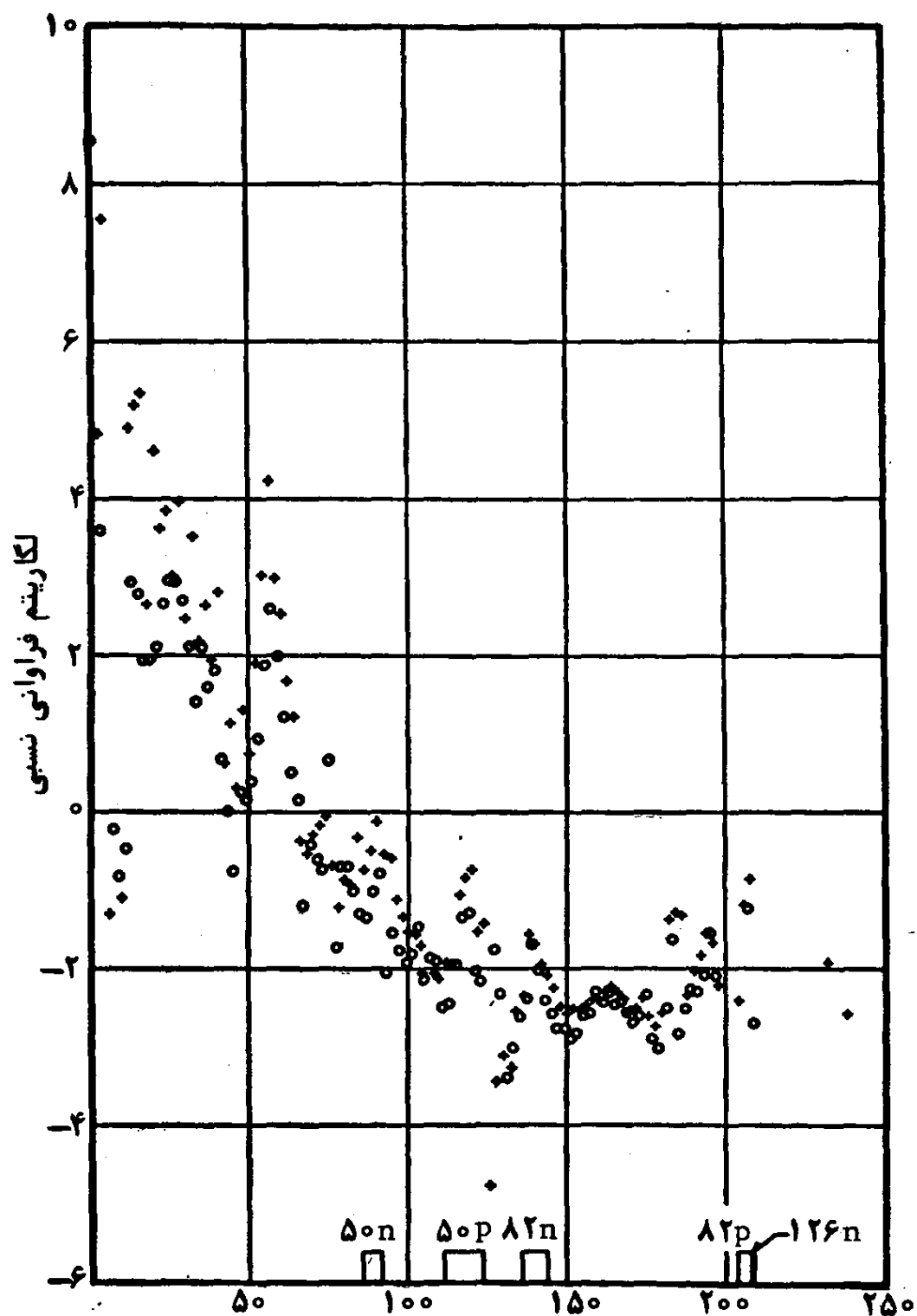
۱- هر کس می‌داند که هلیوم عنصر کمیابی در زمین است، ولی در
نخستین نظر اجمالی چنین به نظر می‌رسد که تیدروژن عنصری کاملاً فراوان
است . اما چنین احساسی مربوط به این واقعیت است که اتفاقاً ما در میان
رسوب اصلی تیدروژن ، یعنی رطوبت جو، و در نزدیکی اقیانوسهایی که
۲/۳ سطح زمین را پوشانیده‌اند به سر می‌بریم . اگر به یاد بیاوریم که
عمق اقیانوسها نسبت به قطر کره زمین كوچك است و سنگهای خاراایی
و بازالتی که جسم اصلی زمین را تشکیل می‌دهند محتوی تیدروژن نیستند،
آن وقت به کمیابی تیدروژن در زمین پی می‌بریم.

کمیابی ئیدروژن و هلیوم و دیگر گازهای کمیاب در سیاره خودمان صرفاً تأثیری موضعی است که ناشی از اوضاع و احوال موجود هنگام تولد زمین است. به طوری که فصل چهارم نشان می‌دهد، تشکیل منظومه سیاره‌ای ما به وسیله یک فرایند تجمع غبار میان سیاره‌ای آغاز شده و، به همین سبب، ممکن است « هسته سیاره‌ای اولیه » نامیده شود. این غبار، که در گاز مختلط ئیدروژن و هلیوم بین ستارگان شناور بوده، تقریباً همان سازمان ابرهای گرد و غبار تولید شده از تراکتوری دارد که در یک جاده کوهستانی کار می‌کند، و تجمع آن اجسام سنگی زمین خودمان و مریخ و زهره و دیگر سیارات کوچک را به وجود آورده است. مواد گازی شکلی که فضای بین ستارگان را پر می‌کرد در این کیفیت سهیم نبود تا زمانی که اجسام سنگی اصلی از لحاظ حجمی و وزنی به اندازه‌ای رشد کردند که توانستند این گازها را با نیروی گرانشی خود تسخیر کنند. برای آنکه یک هسته سیاره‌ای توانسته باشد این گونه گازها را تسخیر کند لازم بوده است که سنگینی آن به چندین برابر سنگینی زمین برسد. هیچ یک از سیارات زمین و مریخ و زهره به آن اندازه بزرگ نشدند که بتوانند چنین کاری را انجام دهند (شاید بدین سبب که ذخیره غبار از نزدیکی آنها گریخته بود)، و به این جهت سیاراتی محجر به صورت کنونی باقی مانده‌اند. ولی هسته اولیه مشتری و دیگر سیارات بزرگ از این جرم حد تجاوز کردند و به وسیله جو-های سنگین ئیدروژن و هلیوم محاصره شدند. بنا بر این، به موجب مطالعات هریسن براون^۱، هسته سنگی مشتری، چون مشابه زمین ولی شش برابر سنگینتر است، تنها بالغ بر ۲٪ جرم کل (۳۰۰ برابر

جرم زمین) آن می شود. این هسته مرکزی با طبقات آب منجمد، امونیاک و متان، که مجموعاً ۸٪ را تشکیل می دهند، پوشیده شده است؛ ۹۰٪ که از جسم عظیم غولپیکر مشتری باقی می ماند مخلوط بی اندازه متراکم ئیدروژن و هلیوم است که تقریباً در نزدیکی سطح نهانی هسته مرکزی به چگالی آب می رسد. این ساختمان درونی مشتری که در عکس آن بر روی هم منطبق است در صفحه تصویر III نشان داده شده است. تنها سیارات کوچک و اقمار از این قاعده، که جهان از ۵۵٪ ئیدرون و ۴۴٪ هلیوم و ۱٪ دیگر اتمها تشکیل یافته، مستثنا هستند.

شکل ۶ فراوانی کیهانی انواع اتمی را به وسیله نموداری نشان می دهد که متکی بر کار رسمی دانشمند نروژی زمینشیمی، گولدشمیت^۱ می باشد، و با معلومات تازدتری که توسط هریسن براون از تجزیه احجار سماوی به دست آمده تکمیل شده است. به طور وضوح مشاهده می کنیم که فراوانی کیهانی با افزایش وزن اتمی بسرعت تنزل می کند. عناصری همچون نقره یا مولیبدن، که در نیمه بالای جدول متناوب عناصر قرار گرفته اند، تنها به مقدار قریب یک قسمت در چند صدبیلیون یافت می شود. ظاهر جالب منحنی فراوانی طبیعی این است که پس از آنکه وزن اتمی عناصر به حدود ۱۰۰ رسید، منحنی تراز شده و فراوانیهای متساوی برای همه عناصر نیمه فوقانی جدول متناوب عناصر نشان می دهد. این شکل شگفت آور منحنی اختباری، و سقوط سریع آن (بر حسب تابع مجهول القوا) که به دنبال قسمت افقی منحنی پیش می آید، آشکارا متضمن اشاره مهمی درباره شرایطی است که در آن شرایط اتمها به وجود آمده اند. هر

1— V. M. Goldschmidt



وزن اتمی

شکل ۶ - قدیمترین مدرک باستانشناختی متعلق به تاریخ جهان . فراوانیهای مشهود انواع گوناگون اتمی در جهان که (به مقیاس لگاریتمی) نسبت به وزنهای اتمی آنها ترسیم شده . قوطیها «اعداد سحری» را تعیین می کنند.

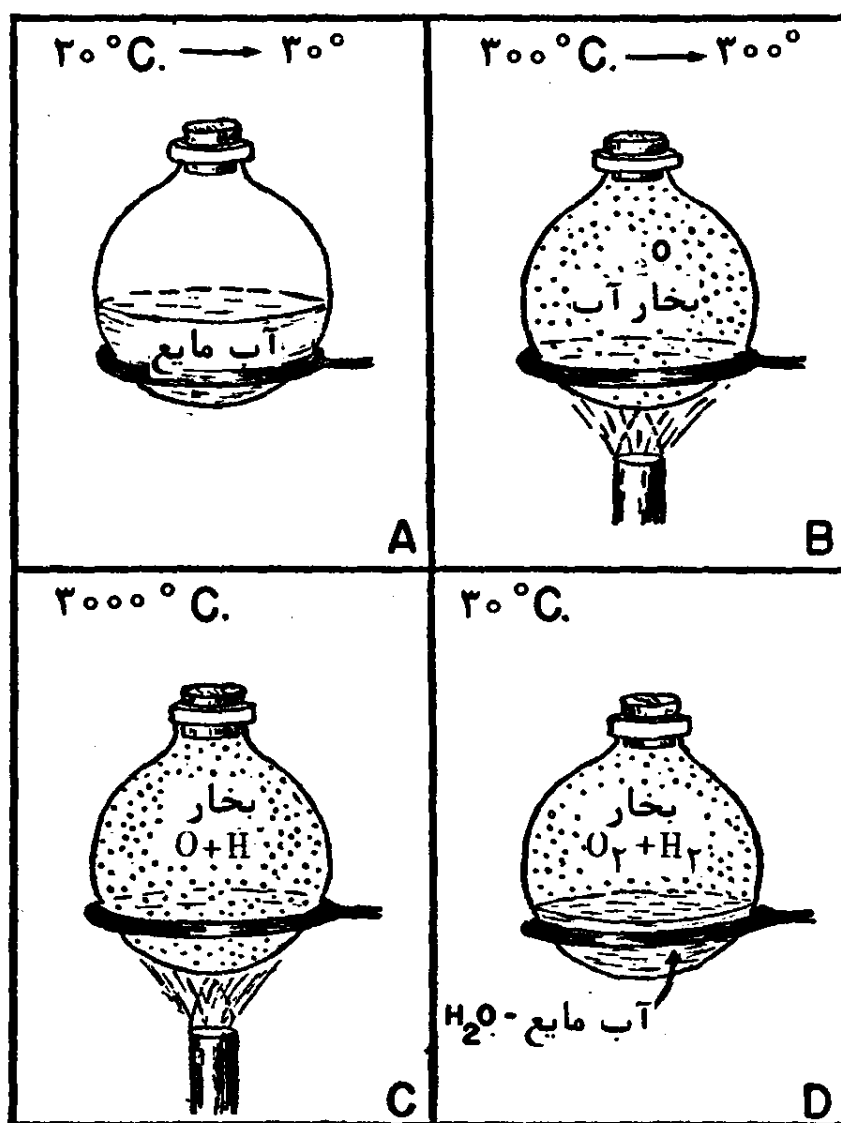
تئوری که مستلزم به دست آوردن تصویر ثابتی از فرایند پخته شدن هسته‌ای باشد باید ضمناً بتواند این منحنی فراوانی انواع اتمی را نیز جواب گوید.

فرضیه تعادل منجمد

قدیمترین تفسیرهای مربوط به منحنی اختباری فراوانی طبیعی بر این فرض ساده - و از جهتی معقولترین آن - مبتکی است که توزیع مشهود نوعی تعادل شیمیایی (یا تا حدی کیمیایی) را میان انواع گوناگون اتمی نشان دهد. این تعادل باید هنگامی وجود داشته باشد که دمای ماده آن اندازه بالا بوده که هر گونه فعل و انفعال هسته‌ای حرارتی را امکانپذیر ساخته باشد و هنگامی که دما، در نتیجه انبساط سریع، پایین آمده «منجمد» کرده باشد.

مفهوم «تعادل منجمد» را می‌توان با مثال ساده‌ای از مبحث شیمی فیزیک توضیح داد. فرض کنید مقدار معینی آب در ظرف سر- بسته‌ای داشته باشیم (شکل A ۷). اگر آن را گرم کنیم تا دمایش به اندازه کافی بالا رود (بالای دمای بحرانی، که برای آب ۳۷۴ درجه صدم بخشی است)، تمام آب محتوی در ظرف به حالت بخار در خواهد آمد. در این دما، جنبش حرارتی مولکولهای آب به اندازه- ای سریع است که نیروهای دگرچسبی میان آنها دیگر نمی‌توانند مولکولها را نزدیک به یکدیگر نگاه دارند (شکل B ۷). چون دما بیش از این افزایش یابد، جنبش حرارتی به اندازه‌ای تشدید می‌شود که تصادم میان مولکولهای مهاجم شروع به شکستن آنها به اتمهای مجزای تیدروژن و اکسیژن می‌کند (شکل C ۷). وقتی دما به حدود ۱۰۰ درجه رسید، ظرف محتوی مخلوطی اتمهای آزاد تیدروژن و

اکسیژن و باقیماندهٔ مولکولهای آب خواهد بود. برای هر دمای معین و فشار (یا چگالی) معین نسبت خاصی از این اجزاء تشکیل دهنده وجود خواهد یافت که می‌تواند به وسیلهٔ فرمولهای کلاسیک تعادل به دست آید. اکنون اگر ظرف را بتانی سرد کنیم، فرایند خود به خود در جهت عکس انجام می‌گیرد، و سرانجام به همان آبی که در آغاز کار داشتیم باز می‌گردیم. ولی اگر ظرف را سریعاً سرد کنیم (با ریختن هوای مایع بر روی آن یا به وسیلهٔ انبساط گاز در حجمی



شکل ۷ - چگونگی به دست آوردن مخلوط منفجره‌ای از نیدروژن - اکسیژن
به وسیلهٔ تعادل منجمد

بزرگتر)، فرایند ترکیب مجدد باید با شتاب انجام گیرد. بعضی اتمها هنوز فرصت خواهند داشت که زوج خاص و مناسبی پیدا کنند. مقداری مولکولهای آب (H_2O) و H_2 و O_2 تشکیل خواهد شد (شکل D ۷). اما در دماهای معمولی باید فقط آب موجود باشد. بنا براین، مخلوط آب به اضافه اکسیژن و هیدروژن آزاد نشانه تعادلی است که در دماهای زیاد ایجاد می شود. چنین مخلوطی را در حال «تعادل پایدار نما»* گویند، یعنی اگر کبریتی به آن بزنی انفجاری صورت گرفته سپس گاز تبدیل به بخار آب خواهد شد، که آن هم بعداً تبدیل به آب می شود.

این مثال تشابه خوبی است بر آنچه توانسته است در طی انبساط سریع ماده اولیه بسیار گرم شده در جهان اتفاق افتاده باشد. همین ممکن است توضیح این واقعیت باشد که انواع اتمهای کنونی شامل هسته های بسیاری هستند که می توانند بر یکدیگر فعل و انفعال کرده، و در نتیجه مقادیر عظیمی انرژی هسته ای نهانی آزاد سازند. در واقع اگر مجمع انواع اتمی موجود اکنون در حال تعادل بودند هر گونه «طرح انرژی اتمی» همان اندازه غیر ممکن است که بتوان از يك طرح تهیه انرژی از فعل و انفعالهای میان کانیهای گوناگون (البته زغال سنگ و نفت مستثنا هستند) که قشر زمین را تشکیل می دهند استفاده کرد.

نسبتهای تعادل انواع گوناگون اتمی را، در شرایط معینی از دما و چگالی، می توان به وسیله فرمولی محاسبه کرد که شبیه همان فرمول است که شیمی فیزیکدانان در محاسبه حالات تعادل میان

* — metastable؛ تعادلی که به ظاهر پایدار است ولی بر اثر عواملی خارجی یا درونی در منظومه پایداری خود را از دست می دهد. (مترجم)

مولکولها به کار می‌برند. تنها کاری که باید کرد این است که به جای انرژی پیوند هسته‌ای (که بالغ بر چند میلیون الکترون ولت است) انرژیهای پیوند مولکولی را (بالغ بر چند الکترون ولت) قرار دهیم، و البته با به کار بردن دماها و فشارهای بسیار زیادتر. این گونه محاسبات سابقاً توسط چندین دانشمند، خاصه چاندراشکهر^۱ و هنریش^۲ و به همین تازگی توسط کلاین^۳ و بشکوف^۴ و ترفنبرگ^۵ انجام یافته است. از این محاسبات چنین به دست آمده که قسمت نزولی منحنی (صرف نظر از تمام بینظمیهای خفیف منحنی) می‌تواند همچون تعبیری از حالت تعادل منجمدی باشد که مربوط به يك دمای ۸ بیلیون درجه و چگالی ده میلیون برابر چگالی آب است. مع ذلك، این محاسبات در ناحیه عناصر سنگین قرین با موفقیت اولیه خود نیست، و منحنی نظری به جای آنکه مانند منحنی اختباری فراوانی اتمی باشد، به حرکت نزولی خود ادامه می‌دهد (شکل ۸). فراوانیهای اختباری عناصر سنگین بیلیونها بیلیون بار بزرگتر از مقادیر پیشبینی شده به وسیله منحنی نظری می‌باشند. این نتیجه منفی مربوط به فرض خاصی در محاسبات نیست، بلکه مستقیماً ناشی از ماهیت تعادل منجمد^۶ است.

1— S. Chandrasekhar

2— V. L. R. Henrich

3— O. Klein

4— G. Beskow

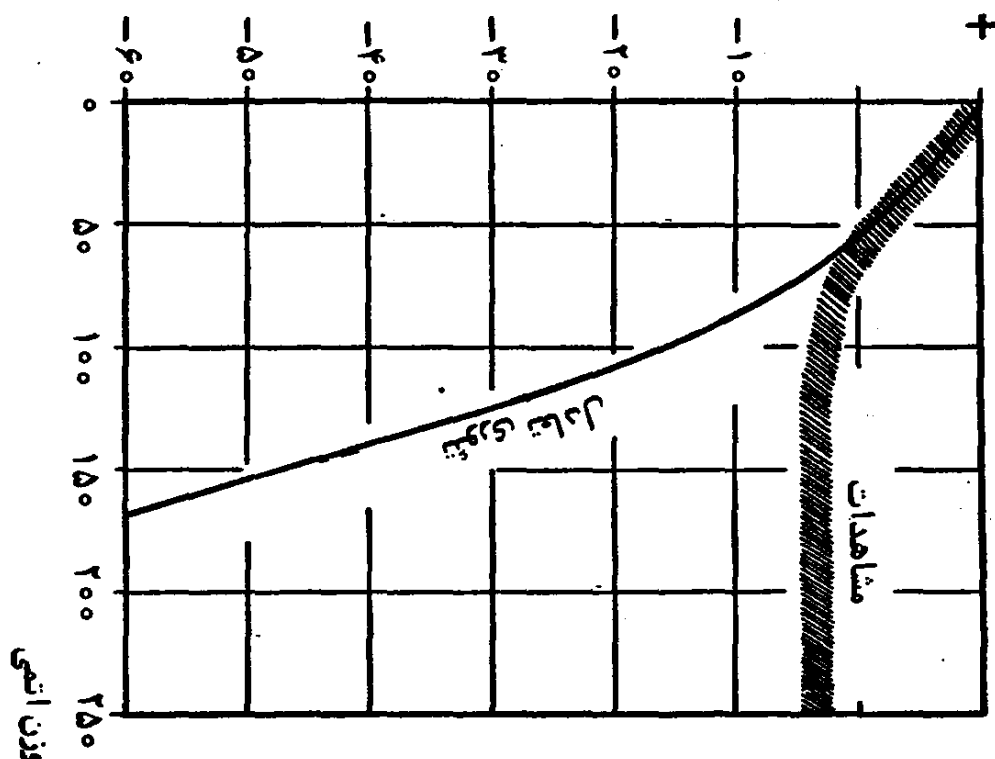
5— L. Treffenberg

۶ — در این نظریه، فراوانیهای نسبی به‌طور تخمین از عبارت زیر به دست

$$\log (\text{فراوانی}) = E_A / kT$$

می‌آید: که در آن E_A مقدار کل انرژی پیوند هسته‌ای وزن اتمی A ، k مقدار ثابت بولتسمان، و T دمای مطلق است. چون در تمام منظومه متناوب انرژیهای پیوند هسته‌ای تقریباً متناسب با اوزان اتمی است، منحنی (فراوانی) $\log$ نسبت به وزن اتمی باید به نحوی از تیدروژن به سرب مستقیماً نزول کند.

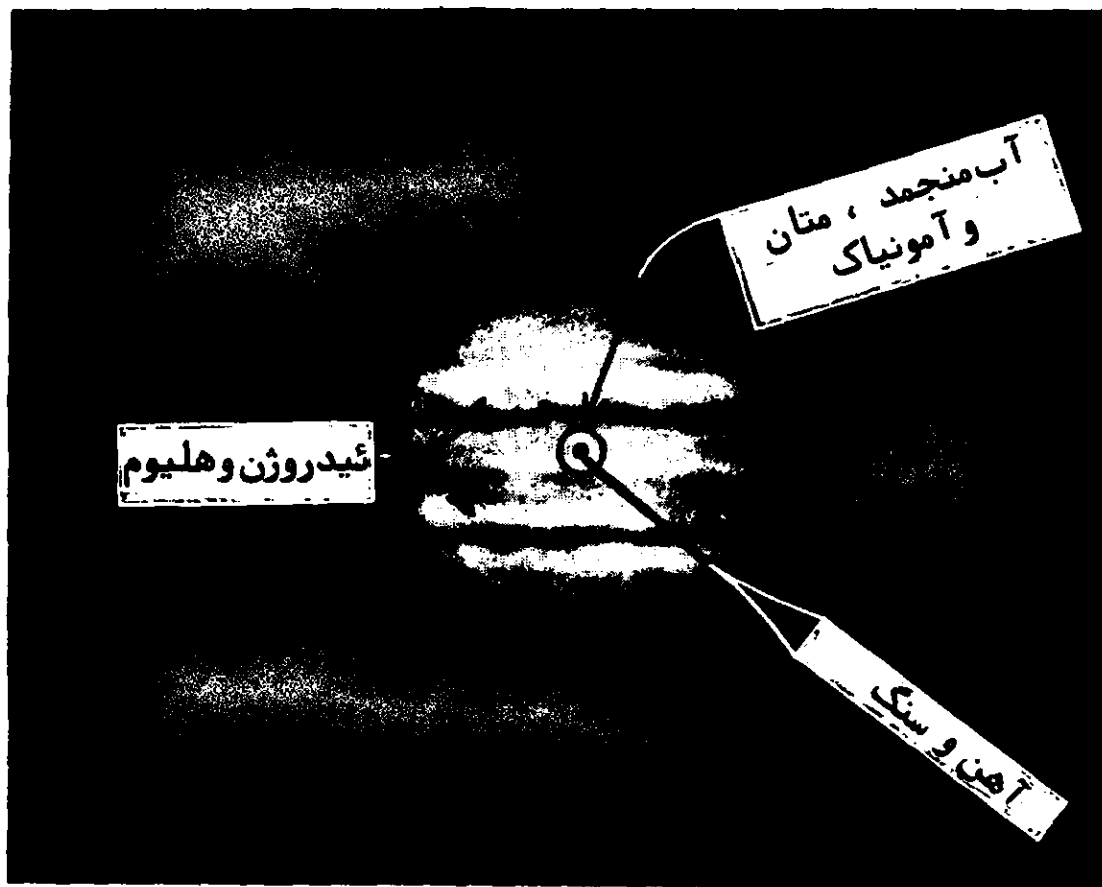
لگاریتم فراوانی نسبی



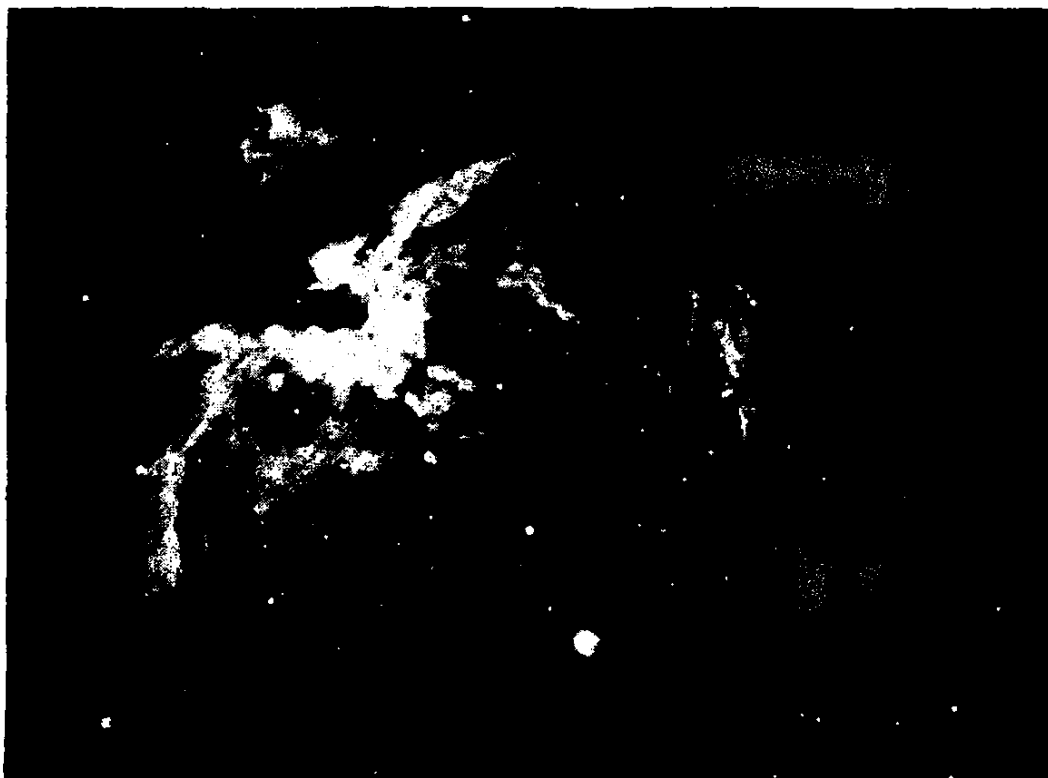
شکل ۸- نارسائی تئوری تعادل منجمد

این پیشامد نامناسب که در نظریه تعادل روی می‌دهد، ما را وادار به این می‌کند که در ترمیم آن تلاش کنیم. بدین سبب، مثلاً، چاندراشکهر و هنریش خودشان پیشنهاد کردند که نور و عناصر سنگین، در طی دوران انبساط، پخته شده‌اند. بنا بر این فرضیه، عناصر سنگین در زمان قدیم که دما بسیار زیاد بود پخته و «منجمد» شده‌اند، و پخته شدن عناصر سبکتر در مدت مدیدتری در دمای پایتر ادامه داشته است. با این حال، چنین فرضی با آنچه فیزیک هسته‌ای در باب نسبت‌های فعل و انفعال هسته‌ای در شرایط مورد بحث به ما می‌آموزد ناسازگار است.

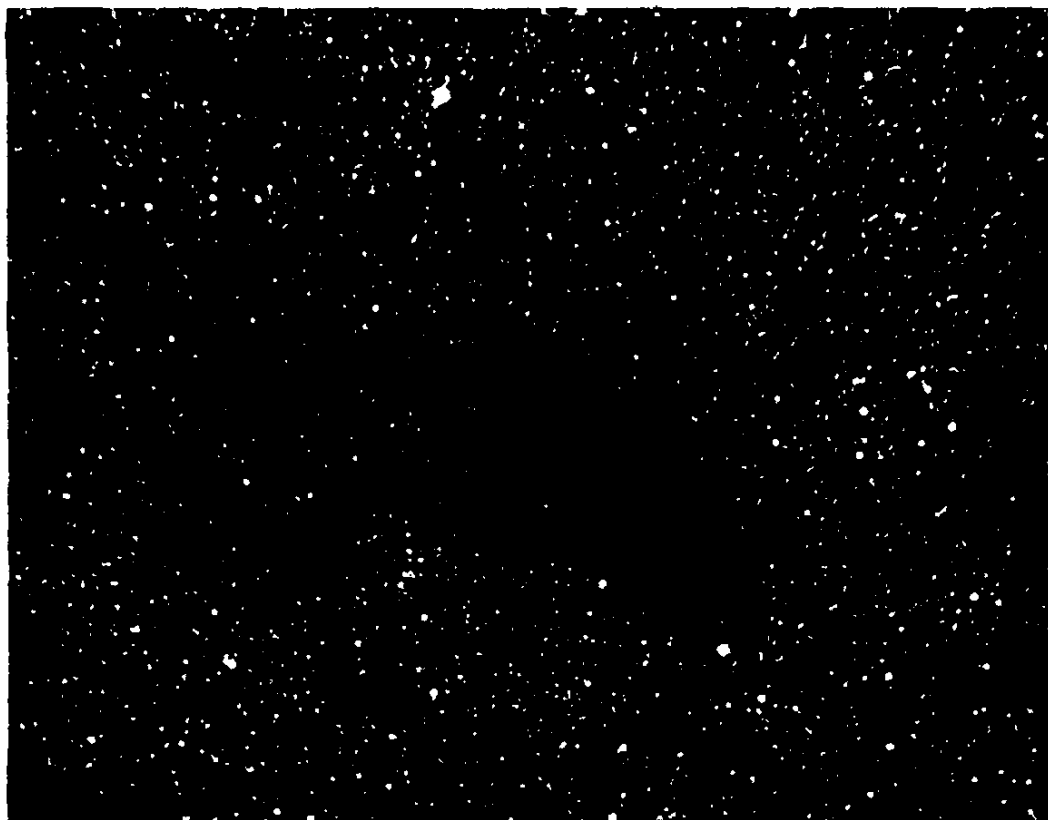
تنها راه چاره این فرض خواهد بود که اتم‌های گوناگون در



صفحه تصویر III - مشتری . سهمها ساختمان درونی سیاره را تعیین می کنند.



صفحه تصویر IV - سحابی بزرگ در «جبار» که ستارگان مجاور آن را روشن ساخته‌اند.



صفحه تصویر V - سحابی تاریک در «عقاب» که متن ستارگان را تاریک می‌کند.

جاهای مختلف و در شرایط حرارتی و فشار متفاوت پخته شده‌اند. از این رو کلاین، بشکوف، و ترفنبرگ^۱ در سوئد چنین فرض کردند که عناصر مختلف شیمیایی در اعماق متفاوت در بعضی ستارگان اولیه (که دیگر وجود ندارند) تشکیل یافته‌اند، که بعداً منفجر شده و مواد را در همه فضا پراکنده کرده‌اند. منجم هلندی وان آلبادا^۱ و منجم انگلیسی فرد هویل^۲ نیز همین عقیده را بیان کردند و ترجیح دادند که کار را در ستارگان کنونی انجام دهند: آلبادا در غول سرخ و هویل در فوق نواختران (سوپرنووا) منفجر شونده. با این حال، نویسندگان بعدی آنچنانکه انتظار می‌رفت قادر به محاسبه فراوانیهای نسبی بر اساس تئوری آنان نبودند، و این امر بیشتر به سبب وسعت پیچیدگی تصویری بود که این تئوری دربرداشت. در شرایط مناسبی که انتخاب می‌شود پیوسته باید بتوان هر منحنی فراوانی معین عناصر را برای توضیح قسمت‌های مختلف آن دوباره به کار برد. آنچه وان آلبادا و هویل جستجو می‌کردند نظیر تقاضای بانوی خانه‌دار بی تجربه‌ای است که برای پختن غذا سه اجاق برقی لازم دارد: یکی برای بوقلمون و یکی برای سیب زمینی و دیگری برای نان کیک. چنین فرضی برای شرایط نسامتجانس پخته شدن که برای به دست آوردن مقادیر صحیح عناصر سبک و متوسط سنگین تطبیق شده باشد، چون ترتیب پیچیده و در هم خاصی را به نام «تسهیلات پخته شدن» دخالت می‌دهد، تصویر و نمایش ساده ساختن اتم را ویران می‌کند.

1- G. B. Van Albada

2- Fred Hoyle

فرضیه اتم اولیه

شصت سال* پیش دانشمند بلژیکی ژرژ لومتر توصیه ممکن دیگری برای مبدأ انواع اتمی پیشنهاد کرد که عبارت است از بیان «فرضیه اتم اولیه». نام صحیحتری که می توان به کار برد «هسته های اولیه» است، زیرا لومتر چنین نظر داد که قبل از آغاز انبساط همه مواد جهان به حالت سیال سنگین هسته ای بوده اند که هسته عظیمی شبیه هسته اتم، ولی البته بسیار بزرگتر، تشکیل می دادند. این فرض چنین ایجاب می کند که در آغاز انبساط دمای ماده نسبتاً پست بوده باشد (زیر دمای بحرانی سیال هسته ای)، به طوری که جنبش حرارتی نوکلئون (یکی از اجزاء تشکیل دهنده هسته) آن اندازه قوی نبوده که زنجیر پیوندی را که آنها را به یکدیگر متصل می ساخت در هم شکند و آن را به صورت جسم سیال پیوسته ای در آورد. وقتی که انبساط آغاز شد، سیال اولیه خود بخود ناپایدار شد و شروع به تجزیه شدن به قطعاتی کرد که همه ابعاد را داشتند. توصیف این کیفیت با بیان خود لومتر چنین است: «جهان اتم پاره پاره شده و هر پاره به پاره هایی بازهم کوچکتر در آمده است. برای سهولت نوشتن فرض می کنیم که این پاره پاره شدن به صورت پاره های متساوی روی داده است. در این صورت چنین می یابیم که برای به دست آمدن اتمهای حقیری به صورت کنونی که تقریباً به اندازه ای کوچک باشند که دیگر شکسته نشوند، ماده احتیاج به ۲۶۰ بار پاره پاره شدن داشته است. تحول جهان را می توان با منظره يك آتشبازی،

* در نسخه اصلی مؤلف که حدود ۳۰ سال پیش نوشته شده سی سال آمده که اکنون پس از گذشت حدود ۳۰ سال شصت سال می شود. (مترجم)

که تازه پایان یافته ، مقایسه کرد ، یعنی تعداد کمی مشعلهای سرخ و اندکی خاکستر و دوده . با قرار گرفتن بر روی خاکستر سرد شده ، ما ناظر از میان رفتن خورشیدها هستیم و کوشش می کنیم که درخشندگی ناپدید شده مبدأ جهان را به یاد بیاوریم .^۱

مؤلف این نظریات جالب نخواست جزئیات فرایند پاره پاره شدن را به وسیله تجزیه و تحلیل ریاضی دنبال کند ؛ و انجام دادن این وظیفه دشوار بر ماریا مایر^۲ و ادوارد تلر^۳ تحمیل شد ، که هر یک ، مستقل از یکدیگر ، به نظریات مشابهی مربوط به مبدأ انواع اتمی رسیدند . این نویسندگان در باره اصل آغاز فرایند پاره پاره شدن در رابطه با تئوری جهان در حال انبساط بحثی نمی کنند ، و آغاز کار را از مرحله ای در نظر گرفتند که پاره های مجزا به حجمی به قطر چندین کیلومتر و به جرمی در حدود جرم یک ستاره متوسط^۴ (اتم ستارگان لومتر) در آمده بودند . در لحظه ای که چنین پاره هایی ، به وسیله فرایند مکانیکی پاره پاره شدن سیال هسته ای خنثای اولیه تشکیل یافتند ، باید منحصراً شامل نوترونها بوده باشند ، ولی در نتیجه تبدیلات مکانیکی خود بخود [الکترون + پروتون → نوترون] ، این «پولینوترونها»ی اولیه بزودی بار الکتریکی مثبت به دست آورده و جوهای الکترونی آنها را محاصره کرده اند . این اتمهای اولیه تا حدی شبیه اتمهای معمولی کنونی هستند ، جز اینکه حجم آنها

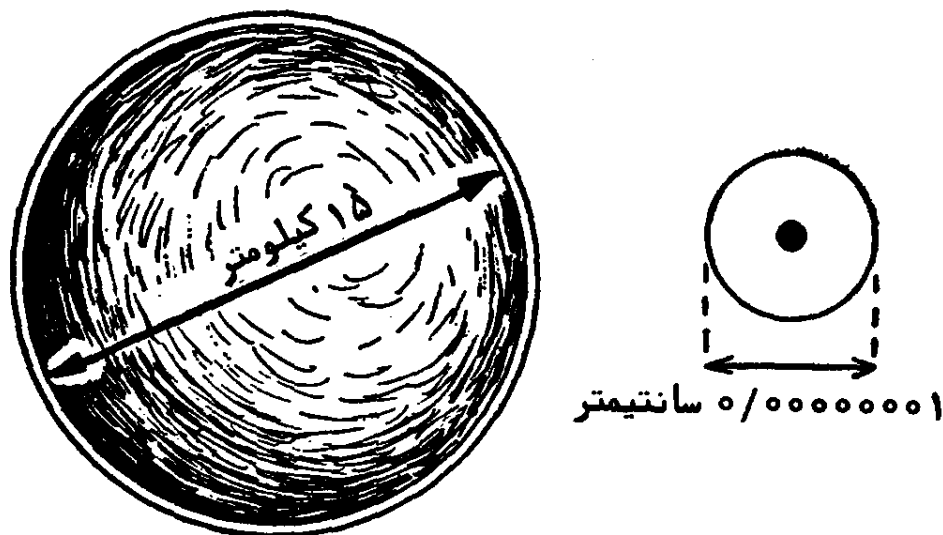
۱ - نقل از «مجله مسائل علمی» نوامبر ۱۹۳۱

2 - Maria Meyer

3 - Edward Teller

۴ - چون سیال هسته ای به چگالی 10^{14} برابر چگالی آب است ، شعاع قطره هسته ای همجرم با خورشید 1405 کیلومتر خواهد بود .

عظیم و ضخامت جوه‌های الکترونی آنها (فقط 10^{-1} سانتیمتر) در مقایسه با قطر هسته‌های آنها، بسیار کوچک بوده است (شکل ۹). با مطالعه تعادل مکانیکی، چنین «ابر اتمها» مایر و تلر توانستند نشان دهند که سطح هسته غولپیکر سرعت از جوانه‌ها و غنچه‌های



شکل ۹- یک «ابر اتم» فرضی، و یک اتم معمولی. ضخامت جو در اولی و حجم هسته در دومی به نسبت اغراق آمیز ترسیم شده است.

بیشمار کوچکی به قطر 10^{-12} پوشیده شده است. این غنچه‌ها از تنه مادر جدا شده و به صورت شاخه‌هایی که هسته عناصر سنگین مختلف را همراه دارند به پرواز در می‌آیند؛ و از راه محاسبات معلوم می‌شود که از همه این غنچه‌ها ممکن است انتظار داشت که تقریباً دارای حجمهایی متساوی باشند که مربوط به حجم وزن اتمی برابر با چند صد واحد است. این تئوری در ضمن اجازه می‌دهد که مقادیر نسبی مورد انتظار را برای ایزوتوپهای مختلف عناصر سنگین

که بدین ترتیب تشکیل می شود محاسبه کرد ، و نتایج به دست آمده با فراوانیهای ایزوتوپی عناصر سنگین سازگار است . اما چنین تصویری از بیان مبدأ عناصر سبك ، كه ۹۹,۹۹۹۹۹۹ درصد همه ماده جهان را تشكيل می دهد ، كاملا عاجز است . ماير و تلر چنین نظر دادند كه حال كه عناصر سنگین باید با فرایند غنچه زایی به وجود آمده باشند ، عناصر سبكتر باید از تعادل منجمدی نظیر آنچه قبلا شرح دادیم نتیجه شده باشند . با این حال ، اینکه چگونه این دو تئوری می توانند با هم تلفیق شوند دشوار است . البته این دو تئوری شرایط فیزیکی كاملا مختلفی را برای پخته شدن رضایتبخش اتمی ایجاب می کنند .

فرضیه ایلیم (Ylem)

سومین راهی كه ممكن است به وسیله آن انواع اتمی تشكيل شده باشند چندین سال پیش توسط مؤلف پیشنهاد شد ، و جزئیات آن را با كمك همكاران خود رالف آلفر^۱، هرمن^۲، سمارت^۳ ، ارنیکو فرمی^۴ ، و آنتونی تورکوویچ^۵ تکمیل کرد . این تئوری ، نسبت به فرضیه های تعادل منجمد و پاره پاره شدن مکانیکی سیال هسته ای اولیه در وضع میانه ای قرار دارد . فرض چنین است كه حالت اولیه ماده گاز هسته ای داغی (نه يك سیال) بوده ، و نیز فرض بر این است كه

1 – Ralf Alpher

2 – R.C. Herman

3 – j.S. Smart

4 – Ernico Fermi

5 – Anthony Turkevich

در آن زمان شرایط فیزیکی به اندازه‌ای سرعت تغییر می‌کرده که هرگز يك تعادل واقعی برقرار نشده است ، و در عوض باید وضعیت از طریق يك فرایند دینامیک سریع مورد بحث قرار گیرد . این دو فرض ، هر دو ، دور از آن هستند که من‌عنندی باشند ، بلکه در واقع از همان تئوری عمومی انبساطی نتیجه می‌شوند که در فصل دوم^۱ توصیف شد ، و نشان داد که در طی مراحل اولیه انبساط جهان دما باید بی اندازه بالا و تغییرات فوق العاده سریع باشد.

اختلاف میان «تعادل منجمد» و «دینامیک سریع» را می‌توان از راه مقایسه با يك آموزشگاه نمایش داد که تغییرات معینی در برنامه آموزشی آن انجام می‌گیرد . اگر برنامه برای چند سال ثابت نگاه داشته شود (طولانیتر از مدتی که هر دانش آموز در این آموزشگاه تحصیل می‌کند) و سپس به طور ناگهانی تغییر یابد ، دانش آموزی که پیش از تغییر برنامه فارغ التحصیل می‌شود با نخستین برنامه در حال تعادل است . مثلاً ، اگر تغییر برنامه مشتمل بر حذف آموزش زبانهای رسمی سابق باشد ، قدیمترین فارغ التحصیلان ، زبان لاتینی و یونانی را خواهند دانست ؛ ولی اگر تغییرات برنامه همه ساله ادامه یابد ، معلومات فارغ التحصیلان برای هر کلاس نهایی مختلف خواهد بود و ، در این صورت ، با هیچ يك از برنامه‌های مختلفی که در زمانهای متفاوت اجرا شده منطبق نخواهد بود . بدون شك چنین وضعی که در يك برنامه آموزشی زیان آور است برای کمک به ادراك مبدأ انواع اتمی کاملاً سودمند می‌باشد .

اکنون حالت ماده را طی نخستین دقایق فرایند انبساط در نظر

۱ - هیچ مؤلفی، قبل از این ، فرض خود را بر کیهانزایی نسبی مبتنی نساخته است.

بگیریم ، یعنی هنگامی که دمای جهان چند بیلیون درجه بوده.^۱ در چنین دماهایی انرژی جنبشی حرکت حرارتی بر حسب میلیونها الکترون ولت اندازه گیری شده ، و ذرات با سرعتهایی در حدود سرعتهایی که در اتمشکنهای جدید به دست می آید ، به اطراف پراکنده می شدند . هیچ ترکیب هسته ای نمی تواند در چنین شرایطی وجود داشته باشد ، و حالت ماده باید همچون گاز داغی مجسم شود که کاملاً به وسیله ذرات هسته ای ، یعنی پروتون و نوترون و الکترون ، تشکیل شده است . البته معلوم است که نوترونهای آزاد با لظره ناپایدارند و خود بخود در مدت ۱۳ دقیقه پس از طرد شدن از هسته پاره پاره می شوند و به صورت پروتون و الکترون در می آیند ، ولی در دماها و فشارهای بسیار زیاد نوترونهای آزاد می توانند به تعداد قابل توجه همراه با پروتون و الکترون وجود داشته باشند ، حقیقت امر این است که در چنین شرایط حدی يك نوع توازن دینامیک برقرار خواهد شد . تباهی تدریجی نوترون $(n \rightarrow p + e)$ ، با ساخته شدن نوترونهای تازه به طریقه معکوس ، یعنی برخورد پروتونها و الکترونها $(p + e \rightarrow n)$ جبران خواهد شد. این اختلاط ذرات هسته ای را ایلیم می نامیم که نام غیر متداولی است که بنابر تعریف لغتنامه و بستر مفهوم آن «نخستین جسمی که فرض می شود عناصر از آن تشکیل یافته اند» می باشد.

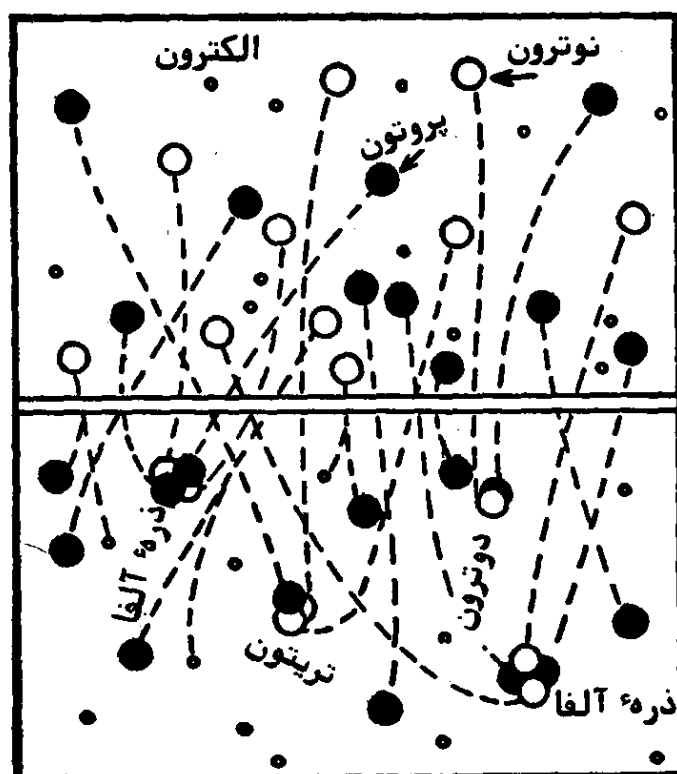
پس از این فرض ، این سؤال پیش می آید که وقتی چگالی و دمای ایلیم در نتیجه انبساط سریع جهان نوپدید رو به نقصان گذاشته ، چه بر سر ایلیم آمده است. به محض آنکه ایلیم شروع به سرد شدن

کرده است ، فعل و انفعال نوترونزایی ($p+e \rightarrow n$) ، که نوترونهای تازه فراهم می ساخته است ، باید نخست بطئی و سپس ، به سبب فقدان الکترونهای حرارتی سریع ، کاملاً متوقف شده باشد . آنوقت تباهی خود بخود نوترونها باید بدون هیچ جبرانی انجام گرفته باشد ، به طوری که در پایان نخستین ساعات پس از آغاز انبساط هیچ نوترون آزاد در مخلوط به جا نماند . از طرف دیگر ، پایین آمدن دما به نفع «فرایند تجمع» بوده که در آن نوترونهای باقیمانده خود به پروتونها پیوسته و بدین ترتیب اجتماعی از ذرات با پیچیدگی مختلف تشکیل داده اند .

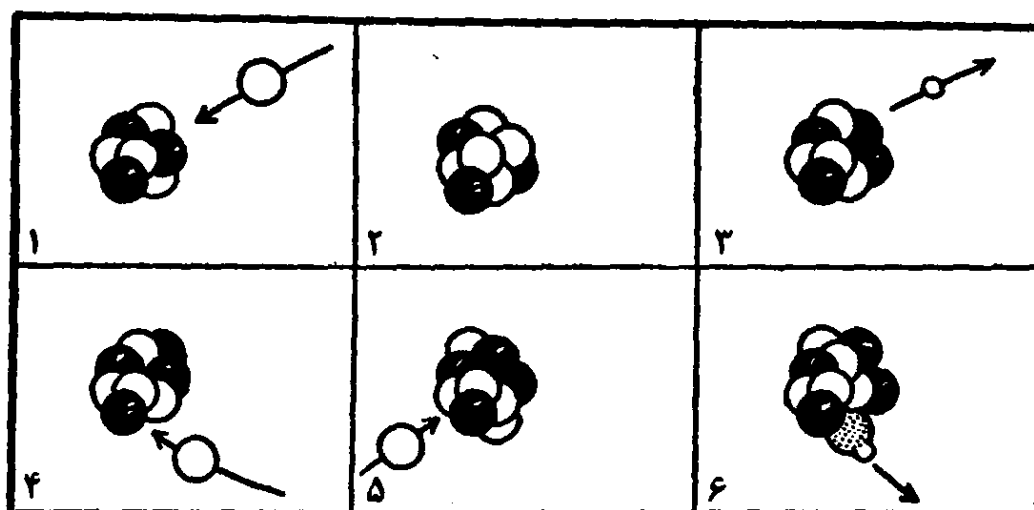
این تجمعات نمونه اصلی هسته اتمی موجود امروزی است . رقابت و مسابقه میان فرایند تباهی و تجمع در شکل ۱۰ نمایش داده شده است .

اجتماع هسته ایی که از این طریق به وجود آمده شامل پروتونهایی بیش از پروتونهای اولیه است ، زیرا نیروی دافعه میان بارهای الکتریکی مشابه شدیداً از تجمع پروتونها جلوگیری می کرده است . چون ثبات هسته اتمی نیازمند به تعداد تقریباً متساوی از هر دو نوع ذره است (مثلاً هسته پایدار اتم اکسیژن شامل ۸ پروتون و ۸ نوترون است) ، رشد اجتماعات ذره ای باید گاهگاهی به وسیله تبدیلات بتا ، که در آن نوترونهای اضافی با خارج ساختن الکترون منفی به صورت پروتون در می آیند ، متوقف شده باشد . رشد يك هسته مختلط به وسیله جذب نوترون و تبدیلات بتا به طور متناوب ، اجمالاً در شکل ۱۱ نشان داده شده است .

چون طول مدتی که تجمع ذرات در آن مدت می توانسته است انجام گیرد محدود به حدود يك ساعت بوده (پس از زمانی که دیگر



شکل ۱۰ - تصویری اجمالی از فرایندی که در «ایلم» در حال سرد شدن روی داده است. از هر ده نوترون که در اصل وجود داشته (بالای شکل) سه تا باهی یافته، چهار تا در ساختمان ذره آلفا وارد شده، دو تا برای ساختن یک تریتون به کار رفته، و یکی برای ساختن یک دوترون مصرف شده است.



شکل ۱۱ - تصویری اجمالی از فرایندهای متناوب جذب نوترون و تباهی بتا (گامادهای سیاه نشانه پروتونیا، گلوله‌های سفید از آن نوترونیا، و گلوله‌های کوچکتر الکترونهای منفی هستند).

نوترونهايي به جا نمانده و دماي «ايلم» پايينتر از حد لازم براي فعل و انفعالات پروتون مي شود ، نتايج اين تحول بايد بستگي به نسبتی داشته باشد که در آن تجمع واقع شده است . اين نسبت به وسيله چگالي «ايلم» تعيين شده ، چه هر قدر چگالي بزرگتر باشد برخورد هاي ميان ذرات واقع در واحد حجم در واحد زمان فراوانتر است . اگر در لحظه اي که دماي «ايلم» به نقطه اي - پايينتر از 10^9 درجه صد بخشي - تنزل مي يابد که در آنجا تجمع ذرات ممکن است ، چگالي «ايلم» قبلا بسيار کم بوده و بيشتر نوترونهايي که در اصل وجود داشته پاره پاره شده يا پيش از آنکه احتمال برخورد با يك هسته در حال توليد را به دست آورند و به آن بپيوندند ، به صورت پروتون و الکترون در آمده اند . از طرف ديگر ، اگر در آن لحظه چگالي «ايلم» بسيار زياده بوده ، بيشتر نوترونهاي موجود در اصل براي ساختن هسته سنگين مصرف شده ، و تنها مقدار اندکي از آنها به صورت پروتون و الکترون تباهي يافته اند . در حالت اول اين فرايند قسمتهاي بزرگي از اتمهاي ثيدروژن به وجود مي آورد و عملا عناصر سنگين در کار نيست . در حالت دوم ثيدروژن بسيار کم و هسته سنگين زياد است . مشاهده مي کنيم که براي پخته شدن کامل انواع اتمي ، با نسبتهاي مربوط به آنچه واقعاً در طبيعت يافت مي شود ، بايد تعديل نسبتاً دقيقی در چگالي (يا فشار) «ايلم» در طی دوران پخته شدن صورت گيرد . اگر فشاری که به کار رفته خارج از اندازه باشد ، ثيدروژن را در اين «ديگ بخار اوليه» خواهد سوزانسد و اورانيوم را نمي پزد ، در صورتی که فشار کمتر از اين باشد اندازه نتيجه معکوس به بار خواهد آورد . اين گونه تعديل بايد مقدار ثابتی را به دست دهد که در بيان چگالي ، که در فصل دوم بحث شد ، به کار

رفته و تنها ارتباط ناپیدا در زنجیره شریایی است که خواص فیزیکی اولیه انبساط جهان را مشخص می‌سازد.

نخستین نتیجه تئوری «ایلم»، یعنی آنچه سرانجام از فرایند کامل اتمسازی در کمتر از يك ساعت حاصل می‌شود، ممکن است با شگفتی و بی اعتقادی تلقی گردد. آیا این کودکان نیست که در باره چیزی گفتگو کنیم که بیلیونها سال قبل، و آن هم تنها در مدت يك ساعت، روی داده است! ولی باید به یاد آورد که در پدیده‌های هسته‌ای مقیاس نسبی زمان تا حدی کشدار است. مثلاً، زنجیره فعل و انفعال هسته‌ایی که در يك بمب اتمی منفجر شونده روی می‌دهد درست چند میکروثانیه بیشتر طول نمی‌کشد، ولی بعضی محصولات شکافت رادیو آکتیو ناشی از انفجار بمب ممکن است سالها بعد در محل انفجار بمب کشف شود. نسبت چندین سال به چند میکروثانیه چنین است:

$$\frac{3 \times 10^7}{10^{-6}} = 3 \times 10^{13}$$

و نسبت ۳ بیلیون سال به يك ساعت نیز همین مقدار است:

$$\frac{10^{12}}{3600} = 3 \times 10^{13}$$

اگر حادثه کم دوامی همچون انفجار بمب A، که سالها بعد مواد رادیو آکتیو تولید می‌کند، مایه شگفتی ما نمی‌شود، چرا حوادث هسته‌ای اولیه که اتمهای اورانیوم، توریوم، و غیره را که هنوز هم وجود دارند تولید کرده‌اند ما را متعجب سازد؟

ممکن است از ما بپرسند که چرا اطلاعات اختباری فیزیک هسته‌ای امروزی را در حوادث و اتفاقاتی به کار برده‌ایم که در اوضاع و احوالی روی داده است که در مراحل اولیه بی اندازه متراکم جهان

در حال انبساط ، با مواد داغ شده چند بیلیون درجه آن ، وجود داشته است . ولی در مقابل ، این نکته نیز پیش می آید که چنین وضعی بیسابقه نیست ؛ و در حقیقت ، به طوری که قبلاً ذکر شد ، در چنین دماهایی انرژیهای حرارتی ذرات هسته‌ای در حدود یک میلیون الکترون ولت بوده ، یعنی مقداری که نظایر آن همه روزه در آزمایشگاههای اتمی برای مطالعه فعل و انفعالات هسته‌ای به کار می رود . برای ما مهم نیست که ذرات هسته‌ای متصادم چنین انرژیهای بسیار زیاد را ، در نتیجه جنبش حرارتی یا به سبب سریع شدن حرکاتشان ، در ماشینهای با فشار الکتریکی فوق العاده به دست آورده باشند . ضمناً درك خواهیم کرد که چگالی ماده در طی دوران پخته شدن اتم قابل مقایسه با چگالی هوای جو است ، به طوری که دلیلی نیست که در به کار بردن قوانین فیزیکی مربوط به گازها یا قوانین جاذبه‌ای که فرایند انبساط تابع آن بوده تردیدی به خود راه بدهیم . حقیقت این است که راهی جز قبول فرضیهایی که محاسبات متکی بدانهاست نداریم ، و تنها کاری که باید بکنیم این است که فرمول نسبیت برای انبساط عمومی ، و اطلاعات اختباری مربوط به فعل و انفعالات هسته‌ای گوناگون را بپذیریم ، و ببینیم آیا نتیجه محاسبات با فراوانیهای انواع اتمی معلومی که مشاهده شده سازگار است یا نه .

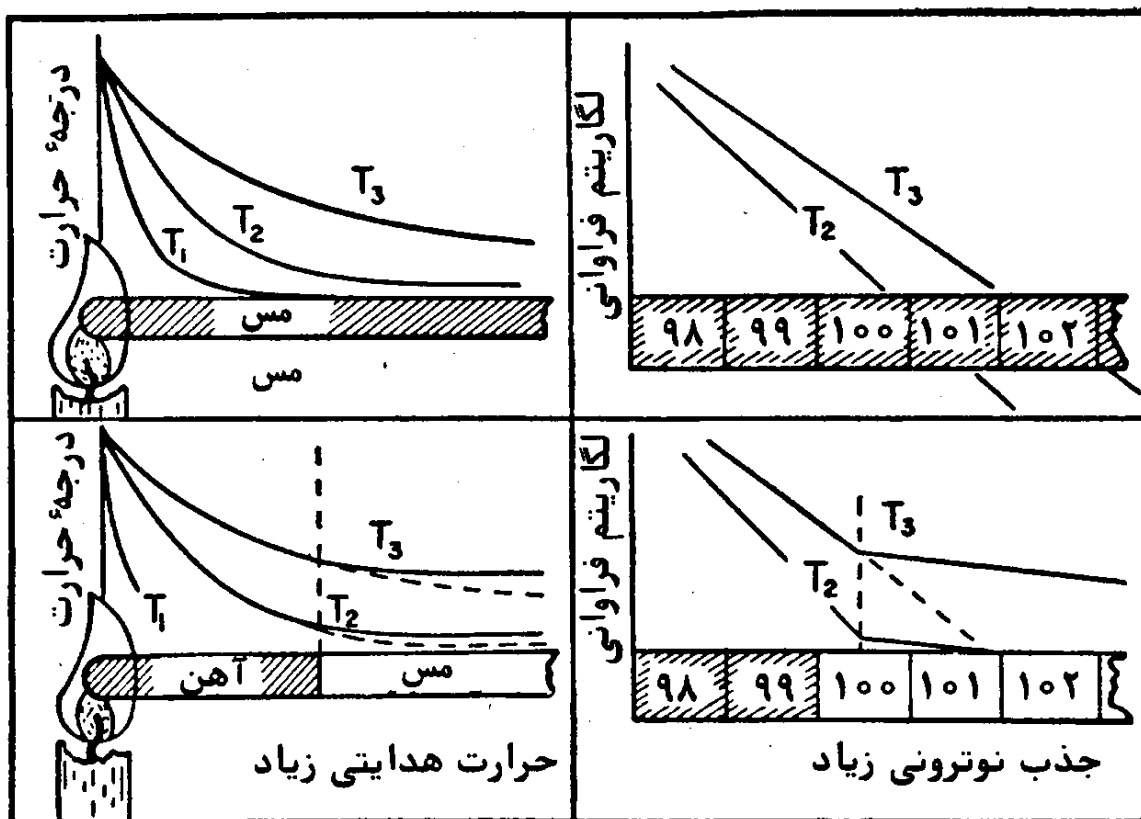
منحنی فرایانی نظری

معادلات ریاضیی که فرایند ساختمان را که هم اکنون بحث شد توصیف می کند مسلماً بسیار ساده است . این معادلات چنین بیان می کند که میزان تغییر تعداد هسته‌ها با يك اتم به وزن اتمی مشخص

برابر است با اختلاف میان میزان تولید آنها به وسیله جذب نوترون از گروه وزن اتمی پست‌تر مجاور ، و میزان از دست رفتن هسته‌ها در طی جذب نوترونی به وسیله گروه یا وزن اتمی بالاتر^۱ مجاور.

مسئله‌ای که در اینجا با آن مواجه هستیم ، گرچه بسیار دشوار است ، کاملاً شبیه به مسئله هدایت حرارتی در طول میله عایق-پوشی است که يك سر آن گرم شود . در این مورد نیز افزایش دما در هر مقطع میله اختلاف میان حرارتی است که از سمت چپ در آن می‌ریزد و حرارتی که از سمت راست از آن خارج می‌شود . و تصادف جالب توجه این است که ضریب هدایت حرارتی در مسئله میله معمولاً با همان حرف یونانی σ نمایش داده می‌شود که مقطع عرضی جذب نوترون را در مسئله هسته‌ای ما مشخص می‌سازد . تشابه میان این دو مورد در شکل ۱۲ نمایش داده شده . اگر میله شامل مواد متجانسی باشد (مثلاً آهن) ، به طوری که ضریب هدایتی در سراسر طول آن یکسان بماند ، توزیع دما در امتداد میله در زمانهای مختلف پس از آغاز گرم شدن ، به وسیله منحنیهای مجهول القوایی نمایش داده می‌شود که در شکل نشان داده شده . اگر احتمالات جذب نوترون (مقطع عرضی جذب σ) برای هسته‌های کلیه اوزان اتمی یکسان باشد ، فرایند ساخته شدن هسته نیز سبب فراوانیهای است که به‌طور تابع مجهول القوا با وزن اتمی کاهش می‌یابد . این امر قسمت نزولی منحنی اختباری فراوانی شکل ۶ را توضیح می‌دهد، ولی نمی‌تواند برای قسمت تقریباً افقی در ناحیه عناصر سبکتر به کار رود . اما ادراك این مطب آسان است که قسمت افقی منحنی ممکن است

۱ - به ضمیمه آخر کتاب مراجعه شود.

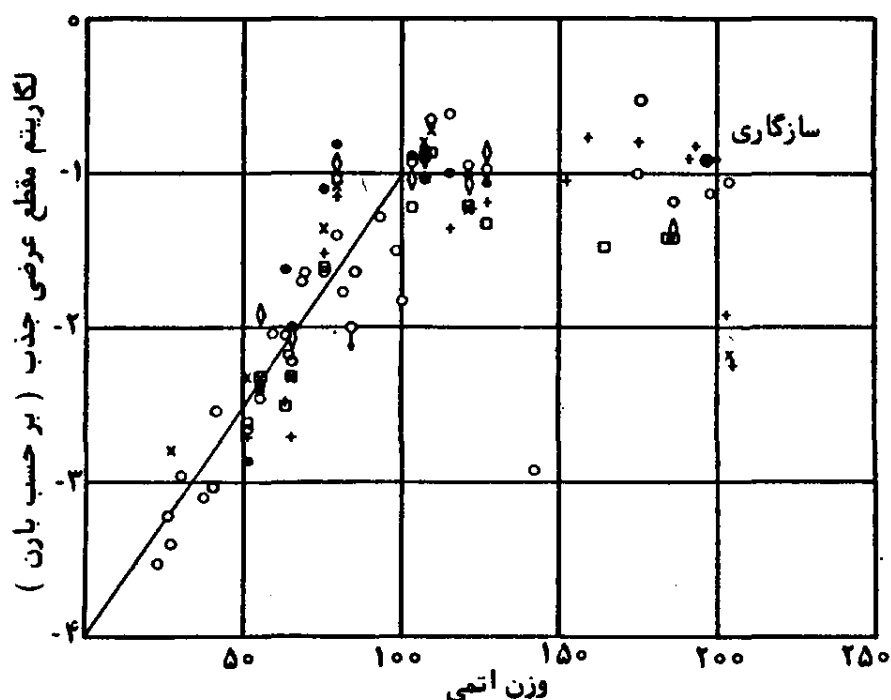


شکل ۱۲ - تنا به میان هدایت حرارتی و فرایند ساخته شدن هسته.

وقتی به دست آید که فرض کنیم σ از چپ به راست افزایش می یابد. البته اگر میله ای را که نیمی از آن آهن و نیم دیگرش از مس (که حرارت را بهتر از آهن هدایت می کند) باشد در نظر گیریم که انتهای آهنی آن در شعله فرو رفته باشد، چنین انتظار می رود که شیب حرارتی تندی در قسمت آهنی داشته، و توزیع دما در قسمت مسی، که در آن حرارت آسانتر جریان دارد، ملایمتر صورت گیرد. همین طور می توان انتظار داشت که اگر احتمال جذب هسته ای σ برای هسته های سنگینتر بیش از هسته های سبکتر باشد، منحنی فراوانی افقی در ناحیه عناصر سنگین به دست آید. در واقع این همان حالتی است که در شکل ۱۳ نمایش داده شد و مقاطع

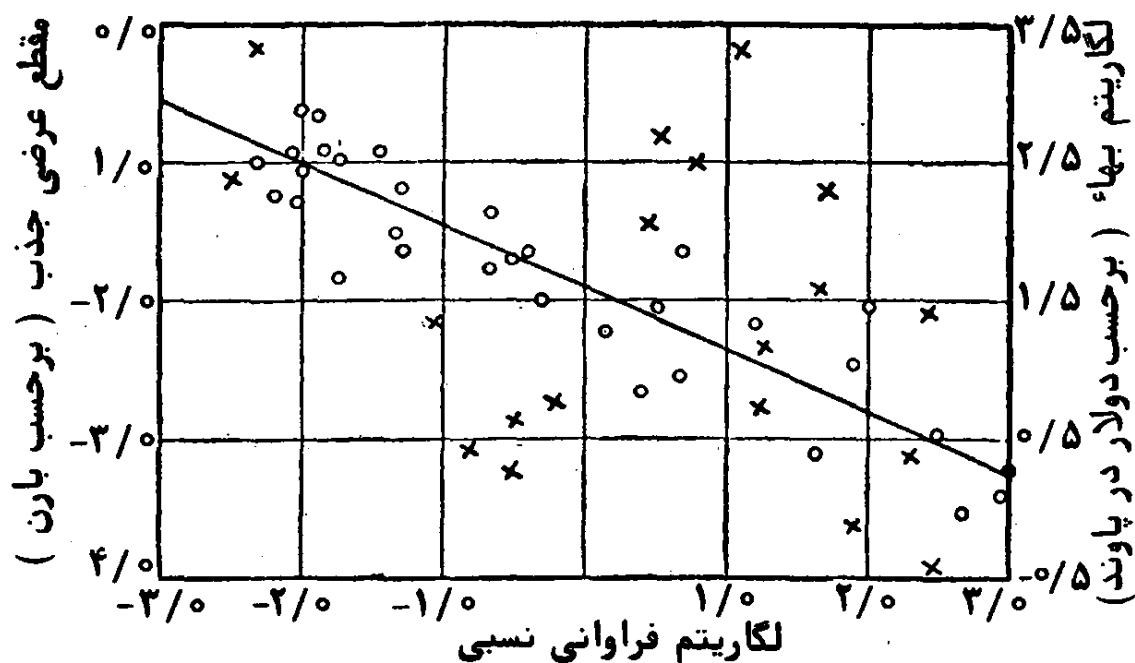
عرضی جذب هسته‌ای واقعاً اندازه‌گیری شده در عناصر گوناگون را به ازای انرژی‌های نوترونی در حدود يك ميليون الكترون ولت (معادل با ۱۰۶ بیلیون دما) نشان می‌دهد. بدین ترتیب، با تئوری فرایند اتمسازی که متکی بر جذب هسته‌ای پی در پی است، می‌توان توضیح صحیحی برای منحنی اختباری فراوانی به دست آورد.

پیش از آنکه نتایج انتگرال‌گیری معادلات را برای چنین فرایند اتمسازی مورد نظر قرار دهیم رابطه‌ای کاملاً اختباری تعیین کنیم که میان مقاطع عرضی جذبی (که در شکل ۱۳ نشان داده شده) و فراوانی انواع اتمی (که در شکل ۶ نشان داده شده) وجود دارد. اگر، با ترکیب این دو منحنی، لگاریتمهای فراوانیهای را که مستقیماً مشاهده شده در مقابل مقاطع عرضی اندازه‌گیری شده رسم کنیم، نتیجه‌ای که با دواير كوچك شكل ۱۴ تعیین شده به دست می‌آید. در این شکل می‌توان



شكل ۱۳- مقاطع عرضی جذب هسته‌ای، یا احتمالاً آنچه قبلاً جذب شده، برای نوترونهای با قریب يك ميليون الكترون - ولت انرژی، در مقابل اوزان اتمی عناصر جذب‌کننده رسم شده است. خط متصل يك مقدار متوسط مورد قبول به عنوان مبدأ محاسبات بعدی می‌باشد.

مشاهده کرد که دواير بر روى خط مستقيمى قرار مى گيرند كه نشانه رابطه ساده‌اى ميان دو مقدار است. مقاطع شكل ۱۴ مقايسه فراوانىهاى نسبى معلوم عناصر شيميايى گوناگون را با قيمتهاى تجارى.



شكل ۱۴- ارتباط ميان فراوانى نسبى عناصر شيميايى از يك طرف، و مقاطع عرضى (دواير) و قسماى تجارى هر پائوند (مقاطع) از طرف ديگر. اين ارتباط بسيار مناسبى ميان فراوانى و مقاطع عرضى جذبى، و ارتباط بسيار ضعيفى ميان فراوانى و قيمت است.

آنها، آن طور كه فهرست بازرگانى يك شركت شيميايى نشان مى دهد، تعيين مى كند. در اين حالت، نقاط به طرز بسيار نامنظمى در سراسر ميدان پراكنده شده و نشان مى دهند كه قيمتهاى تجارى عناصر خالص آن اندازه كه به وسيله استفاده صنعتى و تسهيلات موجود براى استخراج و تصفيه آنها مشخص مى شود، به وسيله فراوانى يا تنوع آنها به دست نمى آيد.

انتگرالگيرى واقعى معادلات براى اتمسازى نخستين بار توسط

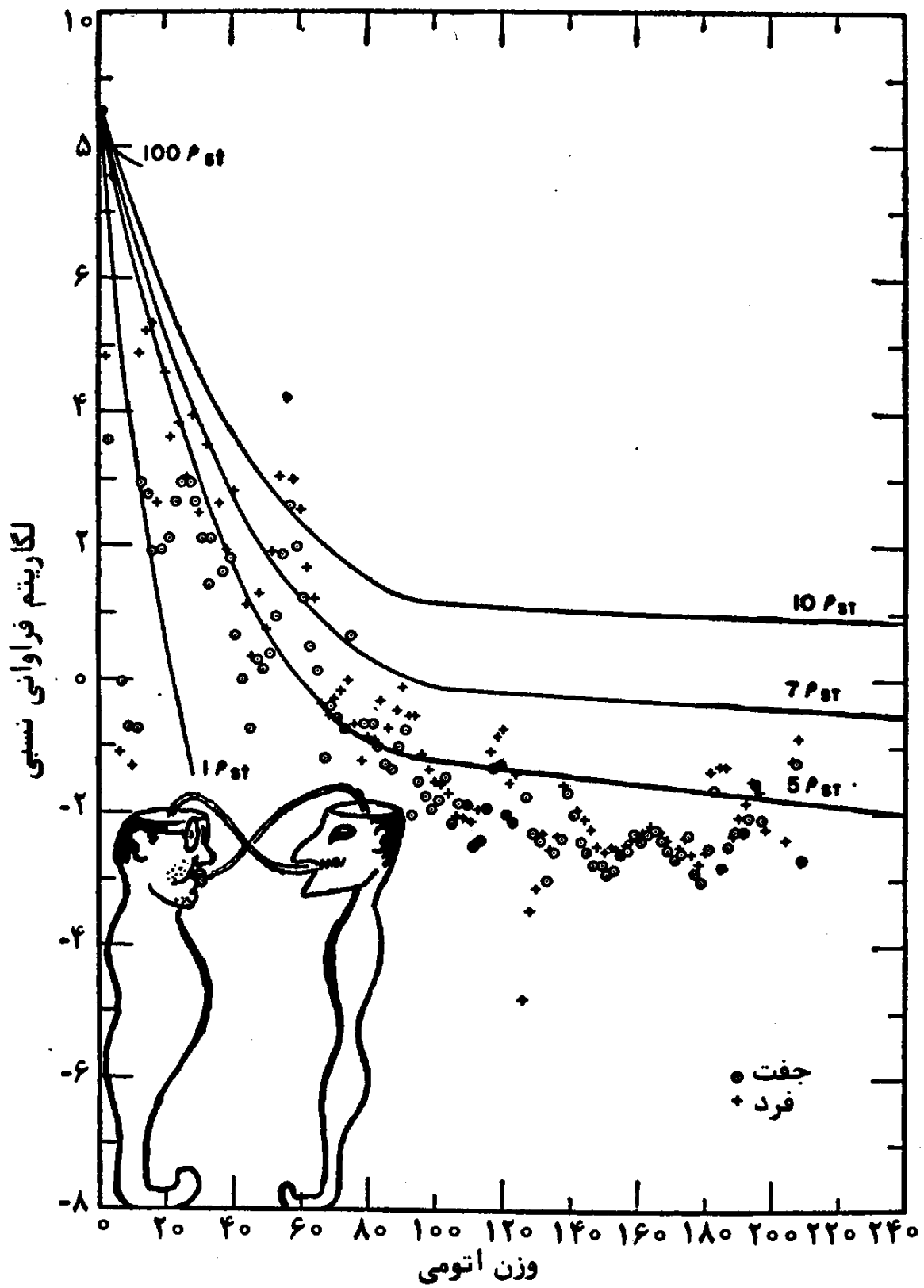
رالف آلفر^۱ انجام شد.

شکل ۱۵ که نمودار نتایجی است که بعداً توسط رالف آلفر و هرمن (که مصراً از تغییر نام خود به دکتر خودداری کرد) به وسیلهٔ حسابگر الکترونی «دفتر ملی استانداردها» انجام گرفت، سازگاری نزدیک منحنی محاسبه شده را با فراوانیهای مشهود نشان می دهد. بر روی شکل آشکار است که دو منحنی بالا، یعنی منحنی $10p_{ST}$ و $7p_{ST}$ ، عناصر سنگین را از مرحلهٔ پختن گذرانده و آنها را می سوزانند، در صورتی که منحنی $1p_{ST}$ به صورت ناقصی آنها را نیمه می کند. یک سازگاری معقول به وسیلهٔ منحنی $5p_{ST}$ انجام می گیرد و شاید اگر منحنی $4p_{ST}$ محاسبه می شد نتایج بهتری نیز به دست می آمد. برای آنکه چنین منحنی رضایتبخشی را به دست آوریم لازم است که مقدار ثابت عددی را در فرمول چگالی فصل

۱- نتایج این محاسبات در ابتدا ضمن نامه ای در مجلهٔ فیزیک، اول آوریل ۱۹۴۸، به اطلاع عموم رسید. آن نامه امضای آلفر، بث، و گاموف را داشت که چون حروف اول این سه نام به ترتیب حروف ابجد به دنبال یکدیگر بود، غالباً به نام «مقالهٔ الفبایی» اشاره می کردند. چنان به نظر می رسید که اگر این مقاله فقط به امضای آلفر و گاموف رسیده باشد حق الفبای یونانی ادا نشده است، و به همین جهت نام دکتر هانس ا. بث را که غایب بود، هنگام تهیهٔ نسخهٔ ماشینی مقاله برای چاپ بر آن الحاق کردند. دکتر هانس که نسخه ای از آن مقالهٔ ماشینی را دریافت کرد، اعتراضی نکرد، و این کار او در بحثهای بعدی بسیار مفید فایده بود. با وجود این، جسته گریخته شنیده می شد که بعدها هنگامی که نظریهٔ آلفا، بتا، گاما، موقفاً استحکامی یافت، دکتر بث جداً در فکر آن بود که نام خود را به زاکاریس تغییر دهد.

دوم برابر $10^{-2} \times 10^2$ در سانتیمتر مکعب اختیار کنیم.

در اینجا می توان متوجه شد که این تئوری، علاوه بر آنکه روش عمومی منحنی فراوانی اختباری را به طرز نسبتاً مناسبی نمایش می دهد، بعضی مشخصات مربوط به پاره ای عناصر را نیز توضیح می کند. گروه های معدودی از عناصر به طرز غیر عادی فراوان می باشند، و از این رو سبب می شوند که قله تیزی بالای منحنی شکل ϵ ، که معمولاً یکنواخت است، ظاهر می شود. اگر با دقت بیشتری به این وضع توجه کنیم در خواهیم یافت که فراوانی های غیر عادی (با يك قله تند و تیز استثنایی در نزدیکی آهن) مربوط به انواع هسته ای هستند که دارای يك « عدد سحری » نوترونی یا پروتونی می باشند. در فیزيك هسته ای، اعداد سحری که ۲، ۸، ۲۰، ۵۰، ۸۲، و ۱۲۶ است همان نقش را ایفا می کند که اعداد ۲، ۸، ۱۸ و غیره در شیمی معمولی انجام می دهند. این اعداد نماینده تعداد ذراتی در هسته اند که در ساختمان درونی آن قشر کاملی تشکیل می دهند. درست همان طور که از لحاظ شیمیایی اتم هایی که دارای طبقات الکترونی کامل هستند (هلیوم، آرگون، نئون، و غیره) خود قوام و از لحاظ شیمیایی بی اثر می باشند، هسته هایی هم که دارای تعدادی پروتون یا نوترون برابر با « اعداد سحری » اند، در جذب ذرات جدید تأثیر کمتری دارند. یعنی می گوییم مقاطع عرضی جذبی آنها به طرز غیر عادی كوچك است. مسلماً هسته هایی با چنین مقاطع عرضی جذب نوترون باید در فرایند اتم سازی پیوسته « دهانه تنگی » نشان دهند به طوری که در نزدیکی این « تنگه » مواد باید به نسبت غیر عادی متراکم شوند. به نظر چنین می رسد که با این استدلال تعبیر رضایت بخشی برای فراوانی های غیر عادی در مجاورت « عدد سحری » هسته ها



شکل ۱۵- منحنیهای فراوانی محاسبه شده، بنا بر محاسبه رالف آلفر (سمت چپ) و بنا بر محاسبات هرمن (سمت راست). نقاط اختباری همان نقاط شکل ۶ است.

به دست آید، ولی فقط برای نشان دادن این نکته واضح است که هسته‌هایی با ساختمان قشری کامل نیز انتظار می‌رود دارای انرژیهای پیوند غیر عادی زیاد باشند، و بنا بر این، فراوانیهای غیر عادی را نیز می‌توان با طرح تئوری تعادل توضیح داد، به شرط آنکه بتواند شکل منحنی اختباری فراوانی را نمایش دهد.

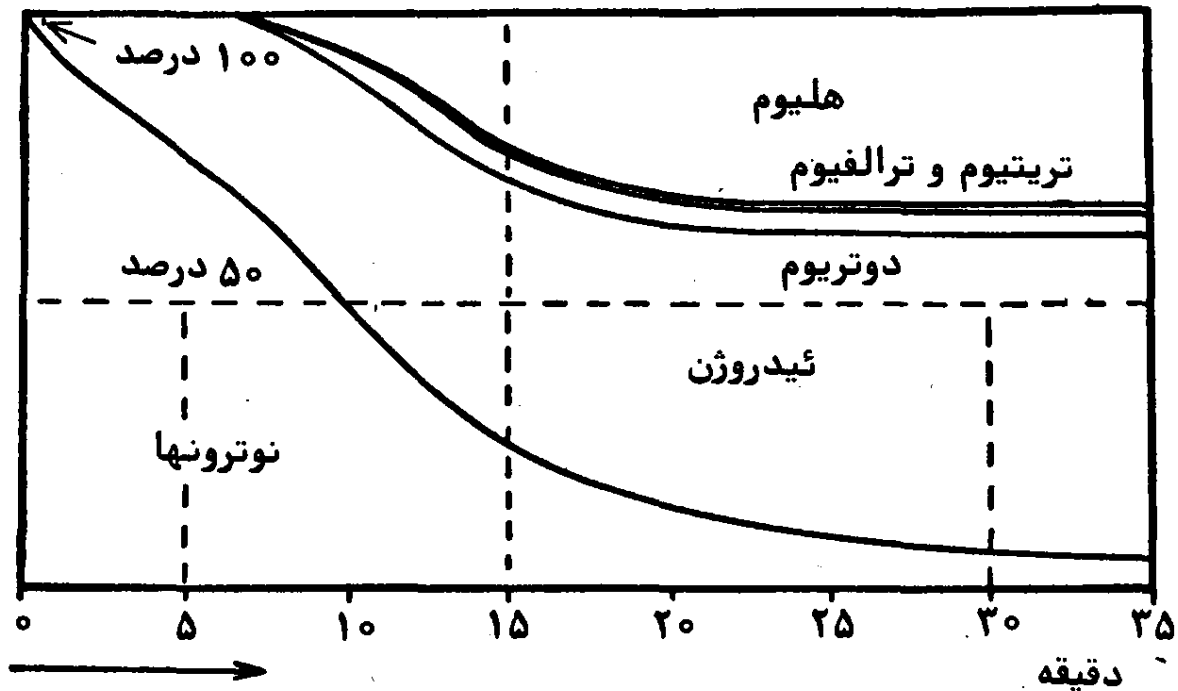
یکی از جزئیات مربوط به داده‌های اختباری دربارهٔ فراوانی که هنوز نمی‌تواند به طرز رضایتبخشی فرایند اتمسازی را توضیح کند وجود ایزوتوپهای معروف «ایزوتوپهای سپرپوش» است. اینها انواع هسته‌ای پایداری هستند که نتوانسته‌اند به وسیلهٔ نوعی «تبدیلات بتا»ی متوالی از هسته‌های رادیوآکتیو اصلی تشکیل شوند، چه بعضی از این تبدیلات مستلزم مقدار فراوانی انرژی بیش از انرژی موجود در هسته می‌باشند. چون، بنا بر تئوری رسمی «ایلم» همهٔ هسته‌ها نخست با نوترونهای اضافی ساخته شده و سپس به وسیلهٔ مجموعه‌ای از «تبدیلات بتا»ی متوالی به حالت پایداری عادی درآمده‌اند، چنین ایزوتوپهایی به هیچ وجه نباید تولید شده باشند. ممکن به نظر می‌رسد که این ایزوتوپها از فرایندی معروف به «فرایند $2n, n$ » تولید شده باشند که در آن یک دخول سریع نوترونی، که در بعضی فعل و انفعالات قبلی تولید شده، دو نوترون هسته را که خود به آنها می‌چسبد با یکدیگر متصادم کرده باشد. ولی با این ترتیب، مسئله نیازمند به اطلاعات بیشتری است.

مسئلهٔ عناصر سبک

محاسباتی که هم اکنون شرح دادیم یک تصویر کلی از اتم سازی از طریق فرایند جذب نوترون به دست می‌دهد. برای آنکه

مسئله را به طریقی بیان کنیم که در میدان تجزیه ریاضی قرار گیرد،
 منحنی اختباری مقطع عرضی جذب نوترونی را یکنواخت ساخته،
 و فرایندی جز فرایند جذب مستقیم نوترون را در نظر نگرفتیم. روش
 دیگری برای طرح مسئله این خواهد بود که تنها سنگینترین هسته‌ها
 را در نظر بگیریم، ولی محاسبات را تا آنجا که ممکن است مشروحتر
 انجام دهیم. نخستین کسی که این روش را به کار برد مؤلف و،
 پس از وی به شیوه‌ای بسیار مشروحتر، انریکو فرمی و انتونی
 تور کوپچ بودند. این مؤلفان آنچه را که باید بر سر شش تا از
 ساده‌ترین هسته‌ها (نوترون‌ها، پروتون‌ها، دوترون‌ها، ترپتون‌ها، ذرات
 ترالفا، و ذرات آلفا)، در طی نخستین ۳۵ دقیقه انبساط «ایلم»،
 اتفاق افتاده باشد، با یک توصیف تدریجی بیان کردند. چون اعداد
 اتمی این هسته‌ها پست است، ذرات بارداری که در میان آنها ست
 فعل و انفعالاتی احتمالی در بر دارند، به طوری که بر روی هم ۲۸
 نوع مختلف فرایند هسته‌ای باید در نظر گرفته شود. نتایج این
 محاسبات، که برای چگالی ثابت اولیه 10^{-3} گرم در سانتیمتر مکعب
 و فرض وجود صد درصد نوترون در آغاز کار، انجام یافت، در شکل
 ۱۶ نمایش داده شده است. در این شکل می‌بینیم که در طی ۵ دقیقه
 اول، دما هنوز به اندازه‌ای زیاد بوده که تشکیل هسته‌های مختلط را
 میسر نمی‌ساخته، به طوری که تنها عمل هسته‌ای در این دوره تباهی
 خود به خود نوترون‌ها به صورت نوترون‌ها و الکترون‌ها بوده است. با
 پایین آمدن دما، نوترون‌ها و پروتون‌ها به چسبیدن به یکدیگر آغاز
 کرده و هسته دوتریوم را تشکیل دادند که، با این حال، چون سرعت
 تبدیل به هلیوم معمولی شده‌اند، هرگز نتوانسته‌اند به مقادیر زیاد جمع
 شوند. تریتیوم (H^3) و ترالفیوم (He^3)، که همچون مراحل انتقال از جرم

۲ به جرم ۳ به کار رفته‌اند، پیوسته به مقادیر بی‌اندازه کوچک وجود



شکل ۱۶- تغییرات شیمیایی در جهان در طی نخستین نیم‌ساعت آن
(بنابر نظر انریکو فرمی و انتونی تورکویچ)

داشته‌اند. می‌بینیم که در اواخر ۳۰ دقیقه اول اندکی بیش از نیمی از کلیه «ایلم» اصلی تبدیل به نیدروژن و اندکی کمتر از نیم دیگر آن تبدیل به هلیوم شده است، و این درست همان ارتباطی است که امروز در جهان میان این دو عنصر یافت می‌شود. همچنین می‌بینیم که در طی این مدت نوترونهای اصلی تقریباً به طور کامل تباهی یافته و دوتریوم قریب یک درصد جرم کل را تشکیل داده است. البته این نتیجه اخیر ارتباطی با واقعیت فیزیکی ندارد (در واقع دوتریوم در طبیعت بسیار کمیاب است)، و ناشی از این واقعیت است که محاسبات ما فرایند ساختمانی را فراتر از هلیوم دنبال نمی‌کند. در واقع، بیشتر دوتریومی که بدین طریق تشکیل یافته باید در فرایند ساختمانی عناصر سنگین به مصرف رسیده باشد.

فرمی و تور کویچ ، در برابر موفقیت اولیه خود ، وقتی سعی کردند که محاسبات خویش در فرایند ساختمانی عناصر فراتر از هلیوم را به کار برند به مشکل جدی برخوردند . گرفتاری در این واقعیت قرار دارد که هسته با جرم ۵ ، که مرحله بلافاصله پس از جرم ۴ است ، در دسترس نیست . به سبب پاره‌ای اعمال دوجانبه خاص نیروهای هسته‌ای، یک پروتون و یک نوترون مجزا هیچ یک نمی‌تواند به طرز استواری به هسته هلیوم متصل شود ، به طوری که هسته پایدار مجاور هسته‌ای است که جرمش ۶ (ایزوتوپ سبکتر لیتیوم) و محتوی دو ذره خارجی است. از طرف دیگر، در شرایط فیزیکی مفروض، احتمال اینکه یک هسته هلیوم دو ذره را با هم جذب کند ناچیز و صرف نظر کردنی است، و چنین به نظر می‌رسید که فرایند اتمسازی در این محل متوقف شده باشد. عقاید چندی بیان شده که چگونه ممکن است از این شکاف جست تا صعود مادر منظومه متناوب عناصر بتواند ادامه یابد. فرمی و تور کویچ، در مطالعات اصلی خود، فعل و انفعال



را در نظر گرفتند که متضمن هسته واسطه با جرم ۵ نیست . ولی اینان چنین دریافتند که در شرایط چگالی و دمای موجود، این فعل و انفعال کندتر از آن است که مقدار کافی هسته‌های سنگین فراهم کند. ممکن است به سبب وجود یک هم‌نوایی قوی (در مجاورت ۴۰۰ کیلو الکترون - ولت) فعل و انفعال به مقدار قابل ملاحظه‌ای تسریع شده باشد ، ولی تاکنون هیچ نشانه‌ای از چنین هم‌نوایی در مطالعات اختباری هسته Li^7 یافت نشده است.

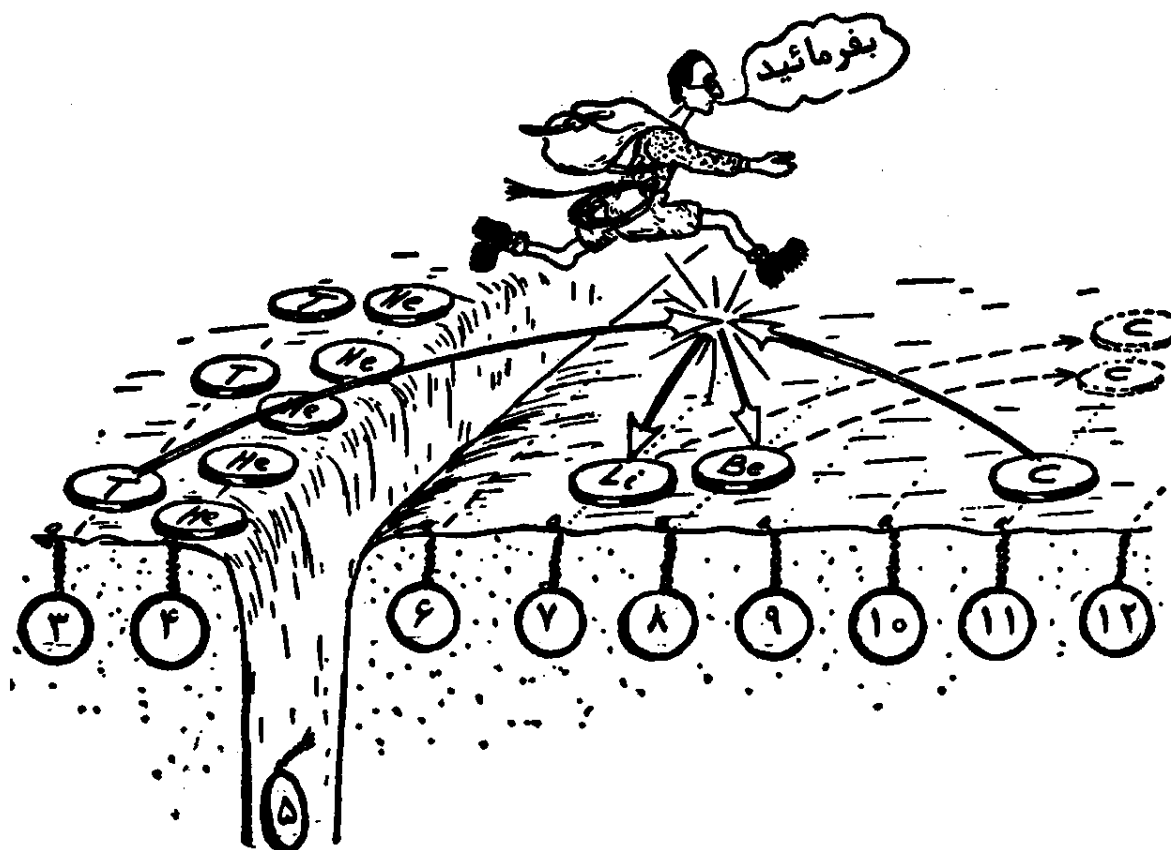
روش ماهرانه دیگری برای گذشتن از شکاف جرم ۵ به وسیله

ویگنر^۱ پیشنهاد شده بود که به نام « پل زنجیری هسته‌ای » معروف است. طرح ویگنر در شکل ۱۷ نمایش داده شده ، و نشان می‌دهد که آنچه برای ساختمان يك پل زنجیری لازم است فرضی است که به موجب آن در اصل تنها يك هسته در طرف راست شکاف وجود داشته است. چنین فرضی بآسانی می‌تواند پذیرفته شود، زیرا پاره‌ای از روشهای ساختمانی هنوز هم در سراسر پل با فعل و انفعال



با وجود کمی احتمال وقوع آن ، بر قرار می‌باشد. این هسته منفرد طرف راست شکاف (C^{11} در شکل) ممکن است با هسته دیگری که در سمت چپ شکاف قرار گرفته (T^3 در شکل) توأم شود و دو هسته سبتکر (Li^7 و Be^7) به وجود آورد که هر دو در سمت راست شکاف قرار دارند. از طریق فرایند جذب نوترونی منظم ، این دو هسته ممکن است يك جفت هسته مشابه بسا هسته مفروض اصلی (C^{11}) به وجود آورده باشند، و فرایند باز هم بسا حجم مضاعف آغاز شود. پس از تعدادی از چنین انشعابات ، هسته‌هایی تدریجاً ساخته شده‌اند تا در این فرایند شرکت کنند و جرم انتقال داده شده در سراسر شکاف به سوی سرعت متعارفی زیاد کشیده می‌شود. متأسفانه فعل و انفعال خاصی که در شکل ۱۷ ، برای مصور ساختن نظر ویگنر به کار رفته، در خور موضوع نیست، به طوری که فعل و انفعالات مشابه دیگری، برای آنکه جای خود را به دست آورند، باید یافت شود. تاکنون چنین فعل و انفعالی یافت نشده و علت آن ممکن است تنها مربوط به کمبود اطلاعات ما درباره ایزوتوپهای گوناگونی باشد که شاید در کار باشند.

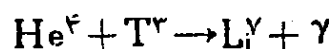
1— E. Wigner



شکل ۱۷ - طرح ویگنر مبنی بر چگونگی عبور از سراسر شکاف جرم ۵

ضمناً احتمال کلی در پیش است که بدون وسایل خاصی بتوان مشکلات جرم ۵ شکاف را برطرف ساخت، یعنی تنها با در نظر گرفتن فعل و انفعالات ترکیب حرارتی هسته‌ای با جزئیاتی نسبتاً بیش از آنچه تا کنون شرح داده شده است. در همه محاسبات قبلی فرض ضمنی شده بود که دمای گاز هسته‌ای همیشه معادل دمای تشعشعی برقرار می‌ماند که در فرمول آخر فصل دوم به دست آمد. ولی همه فعل و انفعالات هسته‌ای در گیر در فرایند ساختمانی تدریجی همراه با آزاد شدن مقادیر هنگفتی انرژی هسته‌ای است. چنین کیفیتی این امکان را پیش می‌آورد که گاز هسته‌ای فعل و انفعال کننده ممکن است گرمتر از تشعشعی که در آن فرو رفته است بشود. در واقع، با آنکه دمای تشعشع در حال نقصان است، دمای گاز هسته‌ای

ممکن است رو به افزایش باشد و قبل از آنکه بالاخره آن هم شروع به پایین آمدن کند، به مقادیر نسبتاً زیادی برسد. این افزایش موقتی دمای گاز تأثیری در نتایج محاسبات آلفر و هرمن، که در شکل ۱۵ نشان داده شده، نخواهد داشت، زیرا احتمال جذب نوترون به وسیله هسته‌های سنگین در دما چندان حساس نیست. ولی افزایش دمای گاز همه فعل و انفعالات هسته‌ای میان عناصر سبک را کاملاً تسریع خواهد کرد و ممکن است نتایج محاسبات فرمی و تور کویچ را تغییر دهد. این دمای فوق‌العاده گاز بخصوص فعل و انفعال



را بشدت آسان می‌سازد، و نتیجه آن ممکن است تولید مقادیر کافی لیتیوم و دیگر عناصر سنگین باشد.

متأسفانه محاسباتی که متضمن گرم شدن خودبه‌خود گاز هسته‌ای فعل و انفعال کننده است بی‌اندازه پیچیده و در هم است و می‌تواند تنها به وسیله حسابگرهای الکترونی جدید انجام گیرد. تهیه مقدمات چنین محاسباتی به وسیله یکی از دانشجویان مؤلف این کتاب، آرثر گرسن^۱ آغاز شده، ولی قبل از آنکه محاسبات به نتیجه قطعی برسد ممکن است مدت نسبتاً طولانی بگذرد.

برای خلاصه کردن این محاسبات نسبتاً دراز، ممکن است بگوییم که حتی تئوری «ایلم» دربارهٔ مبدأ انواع اتمی وسیله کاملی نیست، و تنها تصویر رضایتبخشی مناسب از آنچه ممکن است در طی نخستین مراحل داستان جهان ما اتفاق افتاده باشد، فراهم می‌سازد.

1- Arthur Carson

فصل چهارم

سلسله مراتب تراکمها

نخستین ابرها

پس از تشکیل همه انواع اتمی در همان يك ساعت اول انبساط، هیچ اتفاق جالبی در طی ۳۰ میلیون سال بعد روی نداده است. گاز داغ مشتمل بر اتمهای نوزاد به انبساط خود ادامه داد، و بتدریج دمای آن پایینتر و پایینتر آمد. وقتی دما از بیلیونها درجه اولیه به چند صد درجه رسید، آن قسمت از گاز که از بخارهای دیرگداز تشکیل یافته بود به صورت غبار رقیقی متراکم شد که در مخلوط ئیدروژن و هلیومی که برتری داشت به شناوری خود ادامه داد. این مخلوط گاز غبار آلود (يك میلیگرم گاز و چند میلیگرم غبار در يك میلیون کیلومتر مکعب از فضا) هنوز هم در فضای بین کواکب وجود دارد، و خطوط جذبی معروف بین کواکب و سرخ نمودن ستارگان دور- دست را موجب می شود. چنین مواد بین ستارگان گاهی به صورت ابرهای غولپیکری به اشکال نامنظم مجتمع می شوند. چنین ابرهایی به نام سحابیهای نورانی یا سحابیهای تاریکی شناخته شده اند که

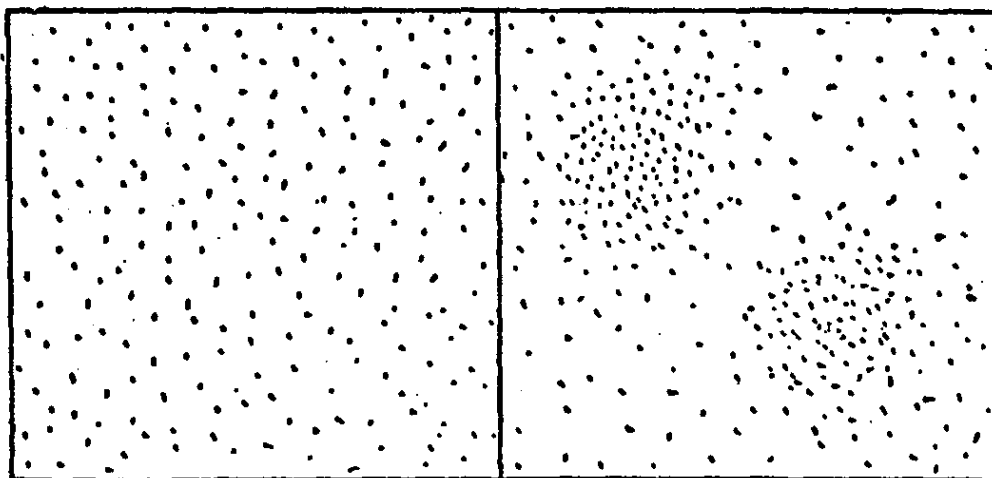
روشنی و تاریکی آنها بستگی به نور ستارگان مجاور دارد (صفحه تصویر IV و V). اگر چنین وضعی به طور دائم ادامه می‌یافت، جهان امروز چیزی جز این مخلوط گازگرد آلود بی اندازه رقیق، با دمای بسیار نزدیک به صفر مطلق، را محتوی نبود. ولی می‌دانیم که در حال حاضر، ماده جهان بی اندازه متمایز بوده و کهنکشانها و ستارگان و سیارات را تشکیل می‌دهد. چه وقت و چرا این تمایز وقوع یافته؟ پاسخ این پرسش در رابطه میان چگالیهای تشعشع و چگالیهای گازی قرار دارد که در همین دو فصلی که گذشت مورد بحث قرار گرفت. در آنجا دیدیم که در طی نخستین مراحل انبساط، چگالی - جرم تشعشع محتوی در هر حجمی از فضا به نسبت فاحشی بر چگالی ماده معمولی فزونی دارد. در آن دوره انرژی متشعشع عامل عمده سیر تحولی جهان به شمار می‌رفت؛ آنها به واسطه تضادم با کوانتومهای نیرومند نور باسانی به هر سو پرتاب می‌شدند؛ و چون جنس و طبیعت تشعشع چنان است که باید فضا را به طور یکنواخت پر کند، طرز توزیع معمولی نیز باید کاملاً یکنواخت بوده باشد. ولی، چنانکه قبلاً نیز دیدیم، انبساط جهان ورق را به نفع ماده برگرداند، و زمانی رسید که چگالی جرم متشعشع به مقداری کمتر از چگالی ماده معمولی پایین آمد. از آن زمان، نقش رهبری در فرایند تحول به دست ماده افتاد، و این فرض معقول است که حالت بی اندازه متنوع کنونی ماده جهانی نتیجه همین تغییر رهبری باشد. در این حوادث که پس از آنکه ماده دنباله کار را در دست گرفت، رخ داد، نیروی جاذبه نیوتنی که میان ذرات مادی مجاور یکدیگر و پراکنده در سراسر فضا به طور یکنواخت اعمال می‌شد، بدون تردید نقش اصلی را ایفا کرده است. همان

طور که منجم معروف انگلیسی سر جیمز جینز^۱ قریب نیم قرن * پیش نشان داده بود ، گازی که تحت تأثیر نیروهای گرانشی قرار گرفته و فضای بی پایانی را پر می کند ذاتاً ناپایدار و آماده است که به صورت ابرهای گازی غولپیکری منقسم شود (شکل ۱۸). این ناپایداری ناشی از واقعیتی است که به موجب آن تراکمهای موضعی رویانی که به علل کاملاً تصادفی در آن گاز رخ داده ، بر اثر نیروهای گرانشی ، دیگر از انحلال مصون خواهند بود . چنین تراکمهای تصادفی به مقیاس کوچکی در هوای جوی متعارفی نیز روی می دهد ، ولی نیروهای گرانشی خفیفتر از آن است که آنها را با هم نگاه دارد . لیکن برای جرمهای زیادتر گاز ، نیروهای گرانشی به طور صعودی عمده می شوند و تراکمهای با مقیاس بزرگی که ممکن است در فضای بی پایانی تشکیل شود دیگر قادر به انحلال خود آنها نخواهد بود . نتیجه این است که به صورت ابرهای مجزای بزرگی منقسم می شوند که خلأ تقریباً کامل آنها وجود دارند .

عظمت این تراکما با این شرط مشخص می شود که پتانسیل گرانشی در سطح آنها باید بزرگتر از انرژی جنبشی حرارتی ذرات گاز باشد ، به طوری که به محض آنکه تراکم تشکیل شد ، ذراتی که جزو آن هستند نمی توانند از میدان گرانش آن بگریزند . این همان مفهوم «سرعت گریز» است که قبلاً در مورد مسئله انبساط بی پایان منظومه کهکشانه ها به کار بستیم . اشعه و جرمهای چنین ابرهایی در يك گاز متجانس باچگالی و دمای معین به وسیله فرمولهای

1 - Sir James Jeans

* اکنون سه ربع قرن پیش . (مترجم)



شکل ۱۸ - تراکم نقاط در یک توزیع یکنواخت اولیه

زیر ' باسانی محاسبه می شود .

$$\begin{aligned} & \text{سانتیمتر} \begin{matrix} \text{[دما]} \\ \text{[چگالی]} \end{matrix} \sqrt{10^7 \times 4,4} \geq [\text{شعاع}] \\ & \text{گرم} \begin{matrix} \text{[دما]}^3 \\ \text{[چگالی]} \end{matrix} \sqrt{10^{22} \times 3,9} \geq [\text{جرم}] \end{aligned}$$

اگر به عنوان مثال، این فرمولها را در دمای ۳۰۰ درجه مطلق و چگالی 10^{-2} گرم در سانتیمتر مکعب در بساط هوا به کار بندیم ، شعاع چگالشها برابر با

$$\text{کیلومتر } 2 \times 10^5 = \text{سانتیمتر } 2 \times 10^{10}$$

به دست خواهد آمد که از قطر کره زمین بزرگتر است ! از این رو، هوای جو ما به طور ساده ، چون ضخامت طبقه جو چندان زیاد نیست ، به گلوله های مجزای هوا منقسم نشده است.

برای گاز اولیه ای که فضای لایتناهی جهان در حال انبساط را

۱ - به ضمیمه آخر کتاب مراجعه شود.

پرمی کرد، چنین محدودیتهایی در میان نبوده، و می توان اندازه و جرمهای چگالشهایی را که در طی مراحل گوناگون تحول آن روی داده محاسبه کرد. با به کار بستن فرمولها برای تغییرات زمانی دما و چگالی در جهان در حال انبساط^۱، و قرار دادن این مقادیر در عبارت جرم، چنین به دست می آید که عامل زمان از میان رفته است. بنابراین جرم ابرهای گاز اصلی که در يك فرایند شکستگی گرانشی از مواد متجانس اولیه تشکیل یافته، صرف نظر از اینکه در چه مرحله از انبساط عمل چگالش و قسوع یافته، پیوسته یکسان خواهد بود. با قرار دادن مقادیر عددی در فرمول، چنین به دست می آید که کوچکترین جرم برای این چگالشیها^{۱۰۴} گرم است، که چندین میلیون برابر جرم خورشید خودمان می باشد. با آنکه کوچکترین جرمهایی که برای ابرهای گازی تخمین شده به مقادیری که معمولا برای جرمهای کهکشانهای فردی پذیرفته شده نمی رسد، هنوز هم نتیجه کاملا رضایتبخش است. البته چون مقادیری که در محاسبات ما برای چگالی و دما به کار رفته مبتنی بر دادههای هسته ای صرف بوده، در اینجا ممکن است پلای (یا به عبارت دیگر راهبری*) داشته باشیم که جهان صغیر ذرات هسته ای را با جهان کبیر منظومه اختری متصل سازد.

دلایلی می توان بیان کرد که چرا مقدار محاسبه شده جرم چگالشیها به مقدار جرمهای مشهود کهکشانهها نمی رسد. فرمول ما، قبل از هر چیز، فقط حداقل جرم را به دست می دهد، و چگالشهای

۱ - به فرمول (۵) و (۶) ضمیمه مراجعه شود.

* viaduct؛ پلی که برای عبور راه آهن یا جاده در دره یا زمین پست یا برفراز جاده ای ساخته می شود (از دایرة المعارف فارسی).

واقعی ممکن است بآسانی بزرگتر از آن باشد . دلیل دوم و مهمتر در این واقعیت است که فرمول اصلی جینز که در تخمین مسا به کار رفته منحصرأ برای گازی که در حال انبساط نیست قابل انطباق است . ولی اگر ، همان طور که واقعاً چنین است ، انبساط در کار باشد ، باید کمبودی برای انرژی جنبشی جرمهای گاز در حال انبساط منظور شود ، و کمترین جرمی که می تواند به وسیله گرانش به هم نگاه داشته شود باید آشکارا به نسبت قابل توجهی بزرگتر باشد . حل این مسائل ، و مسائل دیگر ، در انتظار مطالعات ثانوی و مشروحتر است .

تا وقتی که چنین ثابت شده است که جرمهای گاز اصلی ناشی از پاره پاره شدن ماده ای که به طور یکنواخت توزیع شده به زمان تشکیل آنها بستگی ندارد ، محققاً ابعاد هندسی آنها بستگی به زمان دارد . واقع امر این است که ابرهای تشکیل شده در طی نخستین مراحل انبساط از لحاظ اندازه نسبتاً کوچک و کاملاً سنگین خواهند بود ، و حال آنکه ابرهایی که بعداً تشکیل یافته اند بزرگتر و نسبتاً رقیقتر می باشند . واقعیت مشهودی که به موجب آن کهکشانه های گوناگون ، و در عین حال ناجور ، اختلافات محسوسی در قطرهای خود نشان نمی دهند مبین این است که همه آنها باید تقریباً همزمان تشکیل یافته باشند . و تنها فرض معقول این است که زمان تشکیل آنها منطبق با زمانی باشد که ماده همچون عامل قطعی جانشین انرژی متشعشع ، و نیروی گرانش نیوتنی حائز اهمیت اصلی شده است . زمان وقوع این حادثه را می توان با این فرض به دست آورد که به محض تشکیل یافتن ابرها ، چگالی آنها تغییر ناپذیر مانده و تنها فواصلشان از یکدیگر نسبت به زمان به افزایش ادامه داده است . چون اطلاعات رصدی بر ما معلوم داشته است که فواصل متوسط

میان کهکشان‌های مجاور قریب یکصد برابر بزرگتر از قطرهای متوسط آنهاست ، لازم می‌آید که دوره جدایی را در تقریباً ۱/۱۰۰ سن کنونی جهان ، یعنی در تاریخی که سن جهان در حدود سی میلیون سال بوده ، قرار دهیم. در همین زمان باید چگالی متوسط ماده در جهان برابر چگالی متوسط کنونی درون کهکشان فردی ، که در حدود 10^{-24} گرم در سانتیمتر مکعب است ، بوده باشد. از طرف دیگر، با به کار بردن فرمول تغییرات دما، که در فصل پیش ذکر شد، چنین به دست می‌آید که وقتی سن جهان سی میلیون سال بوده، دمایی در حدود ۳۰۰ درجه مطلق داشته، به طوری که چگالی جرم تشعشع نیز قریب 10^{-24} گرم در سانتیمتر مکعب بوده است.^۱ این موضوع گمان ما را تأیید می‌کند که تشکیل ابرهای اولیه زمانی روی داده است که چگالی - جرم انرژی تشعشعی به مقداری پایینتر از چگالی ماده معمولی نزول کرده است.

اگر بتوانیم «ماشین زمانی» و نیز^۲ را به دست آوریم و به سال ۳۰۰۰۰۰۰۰۰۰ پس از خلقت بازگردیم، خود را در خلأ تقریباً کاملی خواهیم یافت که قابل مقایسه با خلئی است که امروز در فضای میان ستارگان خودمان وجود دارد. تاریکی مطلق اطراف ما حکمفرما خواهد بود، زیرا نورانیت نخستین روزهای آفرینش (قابل قیاس با نورانیت مرکز يك بمب اتمی در حال انفجار) در آن زمان بدواسطه عمل انبساط تیره و تار شده، و ستارگانی که امروز جهان را نورانی می‌سازند هنوز تشکیل نشده بوده‌اند. ولی چون دمای متوسطی که

۱ - در واقع :

$$\frac{aT^4}{c^2} = \frac{10^{-14} \times (300)^4}{10^{21}} \cong 10^{-24} \text{ گرم بر سانتیمتر مکعب}$$

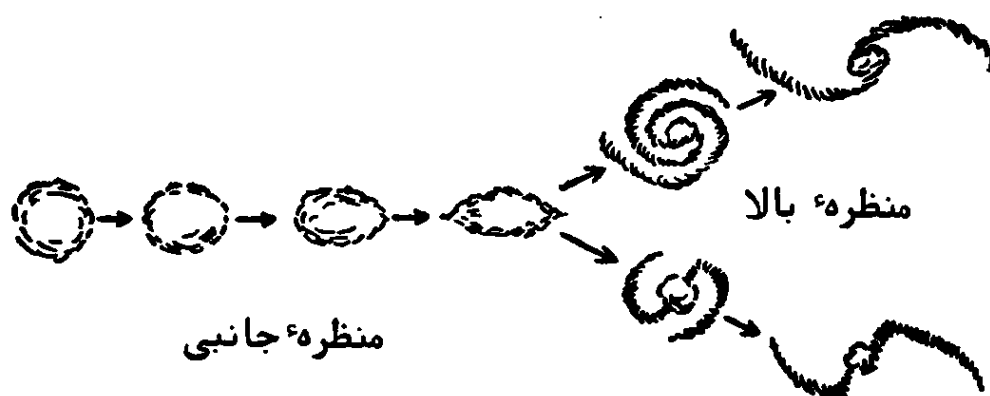
در آن زمان حکمفرما بود (۳۰۰ درجه مطلق) بسیار نزدیک به دمای مورد نیاز اطاق سکونت ما می باشد! براحتی و آسایش گرم می شدیم. پیش از آنکه موضوع تشکیل «کهکشانهای ابتدایی» گازی شکل را کنار بگذاریم، از عامل دیگری باید سخن گوئیم که بدون شك نقش عمده ای در تشکیل آنها ایفا کرده است. به طوری که در فصل دوم دیدیم، انرژی پتانسیل گرانش نیوتنی میان کهکشانهای کنونی تنها بالغ بر قریب يك درصد انرژی جنبشی حرکت آنها می شود؛ به عبارت دیگر، امروز کهکشانها از گرانش عمومی مشترك خود بکلی رهایی یافته اند. ولی اگر زمان را به عقب باز گردانیم چنین خواهیم یافت که هنگام جدایی کهکشانی، فواصل میان آنها يك درصد فواصلی که اکنون دارند بوده و در نتیجه انرژی گرانشی مشترك آنها باید صد برابر بزرگتر بوده باشد. پس در آن زمان گرانش عمومی میان کهکشانها هنوز بشدت مانع پسروی متقابل آنها می شده است. این وضع شبیه است به وضع راکتی که سرعتش بیش از سرعت گریز است ولی در لحظه مورد نظر هنوز در میدان گرانش زمین «در حال صعود» بوده و از این راه سرعت خود را از دست می دهد.

بنابراین، پاده پاده شدن اصلی مواد در حال انبساط یکنواخت جهان زمانی روی داده که این مواد «از لحاظ گرانشی همجوری و ارتباط» خود را از دست داده بودند. تئوری صحیح جدایی کهکشانی هر چه باشد بسختی جای تردید است که این پدیده باید ارتباط نزدیک با عدم «همجوری و ارتباط گرانشی» میان جرمهای در حال انبساط داشته باشد، و همانطور با اتلاف انرژی تشعشعی، که نقش اساسی را دارا بوده است.

دوران کهکشانی و آشفستگی گردابی

وقتی قسمت عمده‌ای از مواد پیوسته به صورت قطعات فراوان بشدت پاره پاره می‌شود، پاره‌ها جدا از یکدیگر به پرواز درمی‌آیند و سریعاً می‌چرخند. همان‌طور که پاره‌های غلاف يك گلولهٔ توپ منفجر شده در هوا عمل می‌کنند. بنا بر ملاحظات مکانیک، هر کس انتظار دارد که انرژی قابل استفاده به‌طور کمابیش یکسان میان حرکت وضعی و انتقالی پاره‌ها توزیع شده باشد؛ و البته به طوری که در آغاز فصل دوم گفتیم، مقدار انرژی‌های وضعی و انتقالی کهکشانه‌ها در يك حدود است.

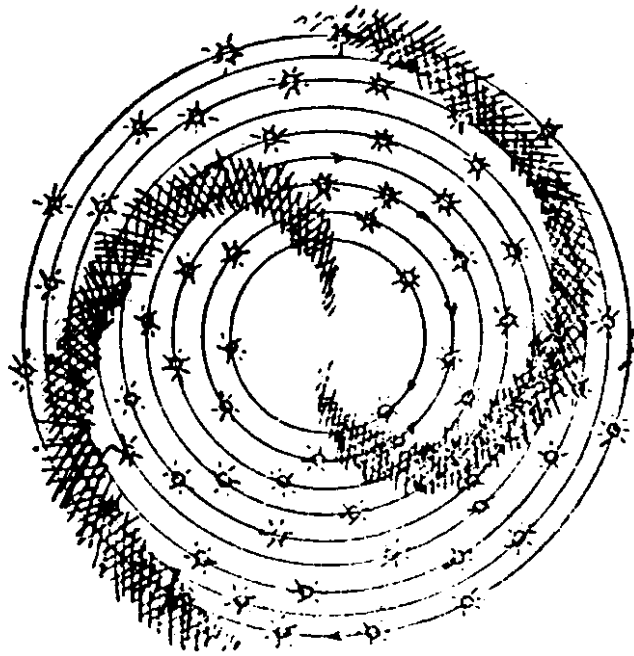
بر حسب میزان دورانی که به وسیلهٔ « کهکشانهٔ ابتدایی » در عمل جدایی به دست می‌آید، تنهٔ گازی آنها باید اشکال مختلف به خود بگیرد. معدودی از آنها که به احتمال قطعی منحصراً تنها دوران نامحسوسی به دست می‌آورند، شکلهای نزدیک به کروی به خود می‌گیرند. برخی دیگر شکلهای بیضوی اختیار می‌کنند که دامنهٔ آنها بستگی به سرعت دورانی دارد (شکل ۱۹). ولی سرعت دورانی اغلب این پاره‌های گازی به اندازه‌ای زیاد بوده که تنهٔ آنها به صورت عدسی شکلی پهن شده و مواد از لبهٔ تیز آنها شروع به خارج شدن کرده است تا شکل بازوهای مارپیچی را تشکیل دهد. با همهٔ کارهای فراوانی که در این مسئله انجام یافته، اطلاعات ما در بارهٔ شکلهای بازوهای مارپیچی و جزئیات مبدأ آنها هنوز دور از حد کمال است. ولی مطالعات تازه نشان می‌دهد که نقش بازوهای مارپیچی در ساختمان کلی کهکشانه‌ها بسیار کم اهمیتتر از آن است که در نظر اول آشکار می‌شود. قسمت اصلی قرص کهکشانی به نظر می‌رسد که



شکل ۱۹ - طبقه‌بندی صورتیکشانی : کروی، بیضوی، مارپیچ معمولی، مارپیچ مسدود .

از ستارگان بیشماری تشکیل یافته باشد که بر روی مدارهای دایره‌-
شکل منظمی حول مرکز کهکشان در دوران می‌کنند، و حال آنکه
بازوها از جریانهای گاز غبار آلود فوق‌العاده رقیقی تشکیل یافته که
به چنگ دوران منظومه افتاده و به شکل مارپیچ در آمده‌اند (شکل
۲۰).

«کهکشانهای ابتدایی» اصلی به طور کامل، هنگامی که هنوز
ستاره‌ای وجود نداشته، تشکیل یافته‌اند. ستارگان چگونه به وجود
آمده‌اند؟ پاسخ به این سؤال ممکن است با توجه به این نکته شروع
شود که دوران جرمهای گازی که کهکشانهای اصلی را تشکیل
می‌دادند نمی‌توانستند احتمالاً به شیوهٔ یکنواخت و متجانسی عمل
کنند. جرمهای گاز کنار باید تمایل به این می‌داشتند که با سرعت
زاویه‌ای کمتر و دورهٔ تناوبی بیشتر از جرمهای درونی دوران کنند.
در منظومهٔ سیاره‌ای ما دوره‌های تناوب دوران از خورشید تا مرکز
افزایش می‌یابد، و از قریب ۳ ماه برای عطارد تا ۱۶۵ سال برای
نپتون می‌باشد. ولی، از آنجا که قسمتی از فضای خالی سیارات را



شکل ۲۵ - تشکیل مارپیچها در يك كینكشاند. دواير نشانۀ حرکت ستارگان است؛
قسمتیای سایه‌دار نماز و غبار را نشان می‌دهد.

از هم جدا ساخته و مانع حرکت یکدیگر نمی‌شوند، در يك قرص گازی در حال دوران وضع بیشتر شبیه به وضع رودخانه بسیار سریعی است که حول مسیر پیچ در پیچی روان باشد. ریزش و جریان آب ناگزیر است که به صورت حرکات نامنظم کوچک بیشماري پاره پاره شود که جریان اصلی آنها را به همراه خود می‌برد. این نامنظمی حرکت، یا گرداب، عامل بسیار عمده‌ای در جمیع مباحث «دینامیک سیالها»، از طرح بال يك هواپیما گرفته تا توضیح مبدأ ستارگان می‌باشد. وقتی که از روی يك پل به پایین نگاه کنیم، می‌توانیم حرکت گردابی را بر سطح يك رودخانه تند حرکت مشاهده کنیم، همان طور که می‌توان این گرداب را به صورت تند بادهای ناپیوسته‌ای که به صورت ما می‌وزد احساس کرد. در يك سیال واسطه آشفته‌گی

حرکت بسیار درهم و کاملاً نامنظمی است که نمایش دادن آن به وسیلهٔ يك تصوير یا نمودار آسان نیست . شاید نزدیکترین تصویر از يك آشفته‌گی واقعی تصویری باشد که در شکل ۲۱ نمایش داده شده ، که در آن جریانهای آشفته و گردابی مجزا اجمالاً با سهمهایی به اندازه‌های مختلف نشان داده شده‌اند . اگر از مسافت دوری به این نمودار نگاه کنیم ، نخست متوجه می‌شویم که سهمهای بزرگ دور یکدیگر پیچیده‌اند . ولی بررسی دقیقتر نشان خواهد داد که چگونه سهمهای بزرگ شامل تعداد فراوانی سهمهای کوچک می‌باشند که آنها نیز به نوبهٔ خود سهمهای کوچکتری را در بر دارند . بسط این تصویر در دو امتداد مخالف ، به طوری که بزرگترین سهمها تقریباً به بزرگی حجم سیال شوند و کوچکترین آنها به کوچکی مولکولهای فردی در آیند ، تصویر نسبتاً واضحی از يك حرکت گردابی واقعی



شکل ۲۱ - سلسله مراتب گردابها

به ما خواهد داد . شعری که توسط ریچاردسن^۱ تنظیم شده چنین

1-L.F. Richardson

توصیف می کنند :

گردابه‌های بزرگ گردابه‌های کوچکتری دارند ،
که از سرعت آنها تغذیه می شوند ،
و گردابه‌های كوچك گردابه‌های كوچكتر دارند ،
و قس علی هذا تا لزوجت ^۱

برای آنکه این بیان را ترسیم کنیم ، سهمها در هر طبقه تقریباً به يك اندازه در شكل ۲۱ نشان داده شده است . در واقع سلسله مراتب جرمهای گردابی چنان است که همه اندازه‌ها را برای سهمها و همچنین حرکت در جمیع جهات را شامل می باشد . حرکت گردابی در درون يك سیال به همان اندازه شامل حرکات دورانی عناصر گوناگون است که حرکات انتقالی دارد ، و به سبب نوع حرکت دورانی است که جریانهای آشفته را معمولاً «گرداب» می نامند . این فکر نادرست خواهد بود که گردابه‌های آشفته موجودیت خود را مدت مدیدی نگاه داشته و به ما اجازه دهند که حرکت گردابی را ، با به دست آوردن موضع گردابه‌های مختلف در فواصل زمان معین ، نمایش دهیم . واقع امر این است که عمر گردابه‌های فردی بسیار کوتاه است ، و معمولاً پس از پیمودن فاصله‌ای در حدود قطر خود از میان می روند و گردابه‌های تازه‌ای به وجود می آورند که ممکن است درست در جهت کاملاً مخالفی حرکت کنند . وجود گرداب در يك سیال متحرك به افزایشی در اصطكاك درونی آن منجر می شود که موسوم به لزوجت گردابی است . اگر ، مثلاً ، پروانه يك قایق موتوری طوری باشد که چیزی جز يك جریان منقطع در عقب قایق تولید نکند ، قایق بسختی پیش رانده می شود و با قدم

حلزون حرکت خواهد کرد. همین مطلب در باره يك هواپیما صدق می کند؛ بالها از طرف دیگر باید چنان طرحریزی شده باشند که از حرکت گردابی بر سطح خود اجتناب ورزند تا بتوانند با حداقل مقاومت ممکن در هوا بلغزند.

در نخستین نظر اجمالی، نا ممکن می نماید که بتوان تئوری قوامداری برای حرکت مختلط و نا منظمی، همچون حرکتی که به وسیله يك جریان گردابی عرضه می شود، بیان کرد، و همین اواخر مطالعه گرداب (بیشتر در موارد مربوط به مهندسی) بر يك اساس صرفاً اختباری انجام گرفته بوده است؛ و در این کار بیشتر تیلر^۱ (در انگلستان)، تئودور فون کارمان^۲ (در ایالات متحده)، کولموگوروف^۳ (در روسیه)، و ورنر هایزنبرگ^۴ (در آلمان) پیشقدم بوده اند. یکی از نتایج اصلی این تحقیقات استنتاج انرژی معروف به «انرژی طیفی» حرکت گردابی است. حرکت گردابها شامل مقدار فراوانی انرژی جنبشی است که چون پیوسته از گردابهای بزرگتر به گردابهای کوچکتر منتقل می شود، در هر حال از حرکت به میزان بزرگ سیال به حرکت مولکولی ذرات تشکیل دهنده آن پایین می آید. می دانیم که در هر گونه اصطکاک، انرژی جنبشی حرکت به حرارت تبدیل می شود؛ و در مورد خاص اصطکاک گردابی، این انتقال انرژی، در طی سلسله مراتب گردابهایی که اندازه آنها دائماً کاهش می یابد، پایین می افتد. پرسشی که در اینجا پیش می آید این است که چه مقدار انرژی در گردابهایی که اندازه آنها متفاوت است

1 — G. I. Taylor

2 — Theodore Von Kârmân

3 — A. N. Kolmogoroff

4 — Verner Heisenberg

ذخیره شده («انرژی طیفی» آنها چه مقدار است ؟) ، یا به عبارت دیگر سرعت‌های جریانهای نامنظم مختلفی که حرکت گردابی را تشکیل می‌دهند چیست ؟ ملاحظات نظری که پیچیده‌تر از آن است که در اینجا حتی بتوان به آنها اشاره کرد ، به این نتیجه منجر می‌شود که سرعت توزیع میان گردابهای متفاوت از قانونی به نام قانون کولموگوروف پیروی می‌کند ، که چنین نوشته می‌شود :

$$[اندازه] \sim \sqrt{[سرعت]}$$

یعنی سرعت کمتر مربوط است به گردابهای کوچکتر . به عنوان مثال ، جریان آشفته‌سریعی از آب را که در مجرای به وسعت ده متر جاری است تصور می‌کنیم . گردابهایی که اندازه آنها قابل مقایسه با پهنای مجرا باشد سرعت‌هایی خواهند داشت که قابل مقایسه با سرعت جریان است . گردابهایی به قطر يك سانتیمتر ۱/۱۰ (یعنی $\sqrt{1000}$) سرعت اصلی ، و گردابهایی که پهنای آنها ۱۰ میکرون است ۱/۱۰۰ سرعت جریان اصلی را دارا خواهند بود .

اکنون به مسئله تازه‌ای می‌رسیم که مسئله شرایطی است که در آن شرایط جریان ناپیوسته سیال به گردابهای آشفته پاره پاره می‌شود . این شرایط را فیزیکدان انگلیسی آیزن رنلدز ^۱ ، صرفاً از راه تجربه ، برقرار ساخت . وی بسدین منظور جریان مایعات مختلف را در سرعت‌های متفاوت در امتداد لوله‌هایی با قطرهای گوناگون مطالعه کرده ، و چنین به دست آورد که جریان آرام ناپیوسته يك مایع ، وقتی سرعت جریان از حد معینی تجاوز کند ، همیشه به صورت گردابهای آشفته‌ای پاره پاره می‌شود ؛ این حد ، برای لوله‌های فراختر و مایعاتی با لزوجت کمتر ، پایینتر می‌باشد . این کشفیات ، که در

شکل ۲۲ تصویر شده ، با فرمول اختباری ساده‌ای خلاصه می‌شود :

$$R = \frac{[\text{پهنای جریان}] \times [\text{چگالی جریان}] \times [\text{چگالی سیال}]}{\text{لزوجت سیال}}$$

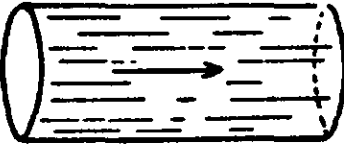
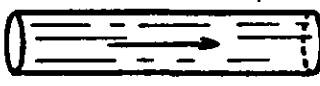
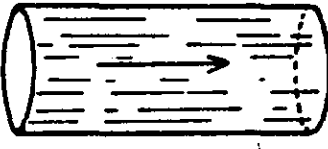
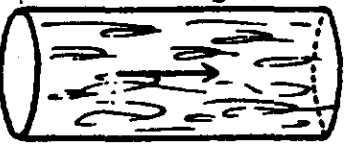
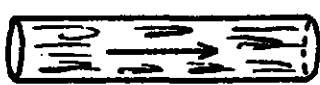
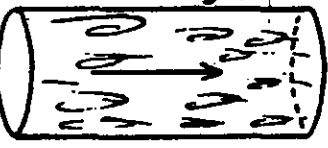
R عدد بی‌بعدی است که به «عدد رنلدز» موسوم می‌باشد . اگر چگالی و لزوجت سیال ، و پهنای و سرعت جریان طوری باشند که عدد R معادله فوق کمتر از ۱,۰۰۰ به دست آید ، جریان ناپیوسته باقی می‌ماند . اگر عدد بزرگتر از ۱,۰۰۰ باشد ، حرکت گردابی پدید خواهد آمد . شرط اختباری که از معادله رنلدز برای پدید آمدن حرکت گردابی به دست می‌آید يك مبنای نظری برای کارهای تازه ورنر هایزنبرگ به دست داده ، ولی هنوز هم تئوری پیچیده‌تر از آن است که در اینجا توصیف شود .

ستارگان ظاهر می‌شوند

با پذیرفتن روش نظریات انجام شده توسط فیزیکدان و کیهانشناس آلمانی ، کارل فون وایتسزکر ، اکنون می‌توان مفهوم حرکت گردابی را در این بحث به کار بست که در نتیجه دوران کهکشانه ابتدایی چه حادثه‌ای باید در آن روی داده باشد . انرژی جنبشی گازها به ما چنین می‌آموزد که لزوجت گازی (یا اصطکاک درونی) از حاصلضرب چگالی گاز در سرعت مولکولهای گاز و در مسیر آزاد آنها میان تصادمات متوالی به دست می‌آید . بنابراین فرمول رنلدز به صورت زیر در می‌آید :

$$R = \frac{[\text{پهنای جریان}]}{[\text{مسیر آزاد مولکولها}]} \times \frac{[\text{سرعت جریان}]}{[\text{سرعت مولکولها}]}$$

اختلافات سرعت میان قسمتهای مختلف کهکشانهای گازی در حال دوران باید دست کم به بزرگی ۱۰ کیلومتر در ثانیه باشد ، و در

تاء شیر سرعت	قطر	لزوجت
 $V = 2 \text{ واحد}$	 $V = 4 \text{ واحد}$	 $V = 4 \text{ واحد}$
 $V = 3 \text{ واحد}$	 $V = 5 \text{ واحد}$	 $V = 5 \text{ واحد}$

شکل ۲۲ - پاره پاره شدن يك جریان ناپيوسته به گردابیهای آشفته در سراسر يك لوله . برای يك قطر و لزوجت معين ، حرکت گردابی وقتی ظاهر می شود که سرعت از حد معينی تجاوز کند (سمت چپ شکل) . اگر قطر کوچکتر (مرکز شکل) یا لزوجت زيادتر (سمت راست شکل) باشد ، ظهور آشفتهگی ، تا وقتی که سرعتیهای زيادتر به دست آید ، به تأخير خواهد افتاد .

نتیجه سرعت حرارتی مولکولهای گاز در دماهای پستی که در آن زمان حکمفرما بوده محققاً کمتر از يك کیلومتر در ثانيه بوده است . مسیر آزاد مولکولها در گاز بی اندازه رقیقی که کهکشانهای اولیه را تشکیل می داد به طور متوسط باید به بزرگی 10^{16} سانتیمتر بوده باشد . ولی 10^{16} سانتیمتر تنها در حدود $1/1000$ يك سال نور و ، از این رو ، کوچکی آن با مقایسه با ابعاد هندسی کهکشانها صرف نظر کردنی است . پس مشاهده می شود که عدد رنلدز مقدار بی اندازه بزرگی به خود می گیرد که بسیار بزرگتر از مقدار بحرانی ۱۰۰۰ است ، به طوری که حرکت گاز در کهکشانهای ابتدایی باید لزوماً آشفته و باعث يك خردشدگی به صوت گردابیهای با هر اندازه باشد . اختلاف

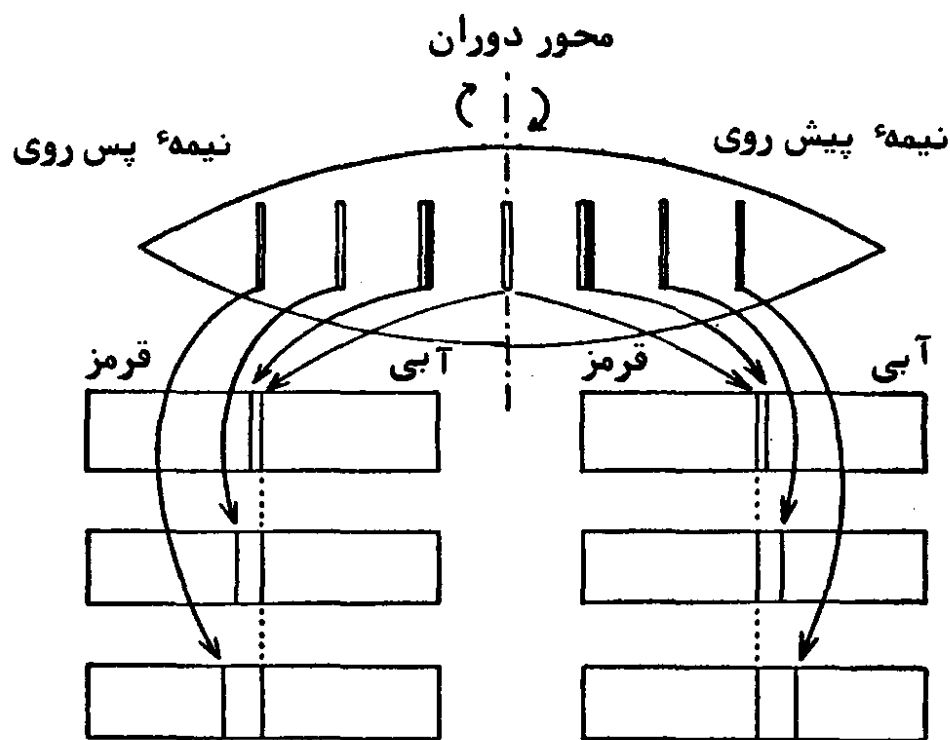
حرکت گردابی در گازها با حرکت در مایعات ناشی از این واقعیت است که میزان تراکمپذیری مواد گازی بسیار زیاد است . بنابراین، سلسله مراتب گردابهایی که بر ضد هم پیش می‌روند و در یکدیگر روان می‌شوند از سلسله مراتب مربوط به تراکمهای موضعی موقتی ماده گازی نتیجه خواهد شد . این تراکمهای موضعی بالاخص هنگامی شدت می‌یابد که سرعتهای جریان در ماده مورد نظر از سرعت صوت بزرگتر باشد (جریان ماوراء صوتی) ، که درست همان است که در این مورد انتظار می‌رود ، زیرا سرعت صوت در هر گاز برابر است با سرعت حرارتی مولکولهای آن ، و قبلاً بیان شد که سرعتهای جریان در کهکشانهای ابتدایی (مانند سرعتها در گازهای بین اختری امروزی) به مقدار قابل توجهی بزرگتر از سرعت حرارتی حرکت مولکولی بوده است.

اگر هیچ نیروی گرانشی وجود نمی‌داشت ، چگالشهای موضعی ناشی از حرکت گردابی ، بدون هیچ نتیجه دائمی تشکیل می‌شدند و تحلیل می‌رفتند ؛ ولی وجود گرانش نیوتنی مانع انحلال این گونه چگالشهایی خواهد بود که اتفاقاً ممکن است به اندازه‌ای بزرگ باشند که معیار ناپایداری گرانشی جینز را تأمین کنند . يك چنین چگالشهای موضعی ، به جای انبساط مجدد و اختلاط با دیگر جرمهای گازی ، باید در اثر وزن اختصاصی خود به صورت کرات گازی سنگین مجزا شوند و به تراکم ادامه دهند. نتیجه تراکم این است که دمای این کرات گازی باآرامی و به‌طور یکنواخت بالا می‌رود و سطوح گرم شده آنها شروع به خارج ساختن نخستین شعاع حرارتی و سپس بزودی طول موجهای کوتاه نور مرئی می‌کند . در مرحله‌ای از تراکم ، دمای مرکزی این ستارگان ابتدایی به «نقطه

اشتعال» فعل و انفعال هسته‌ای حرارتی رسیده ، منبع نیرومند انرژی هسته به جریان افتاده ، و ستارگان به حالتی که امروز آنها را می‌شناسیم سرو سامان گرفتند . وقوع عمل کامل ستاره سازی نمی‌تواند بیش از چند صد میلیون سال ، یعنی جزء کوچکی از سن جهان ، به طول انجامیده باشد . آنوقت جرمهای گاز سرد و ابری کهکشانه‌های ابتدایی به صورت توده‌های ستارگان آشنا درآمدند .

ولی با آنکه این تبدیل کهکشانه‌های ابتدایی گازی اولیه به کهکشانه‌های اختری امروزی بیلیونها سال پیش اتفاق افتاده ، کهکشانه‌ها هنوز نشانه‌هایی از عهد جوانی خود نگاه داشته‌اند . در حقیقت ، بدون این فرض که زمانی کهکشانه‌ها کاملاً از گاز ساخته شده بوده‌اند ، تفسیری برای اشکال منظم تنه سیال دورانی کنونی آنها وجود نخواهد داشت . ستارگانی که کهکشانه‌های امروزی را تشکیل می‌دهند به صورتی آن اندازه رقیق در فضا پراکنده شده‌اند که بسختی احتمال می‌رود که تأثیری بر حرکت یکدیگر داشته باشند . محاسبه چنین نشان می‌دهد که در طی نصف عمر کامل کهکشانه ، تنها موارد بسیار کم می‌توانسته است وجود داشته باشد که دو ستاره به اندازه‌ای به یکدیگر نزدیک شوند که به وسیله نیروهای گرانش عمومی مشترک بین خود ، محسوساً از مسیرهای اصلی منحرف شوند ، و شاید یک مورد هم برای آنکه واقعاً دو ستاره باهم تصادم کنند پیش نیامده باشد . در چنین اوضاع و احوالی ، توده ستارگان تشکیل دهنده کهکشانه‌ها هرگز نمی‌توانسته‌اند اشکال بیضوی منظم به خود بگیرند و ابرهای ستاره‌ای برای همیشه بی شکل باقی مانده‌اند . این حقیقت که کهکشانه‌ها ، با موارد استثنایی بسیار معدودی نظیر دو ابر ماژلان ، دارای اشکال منظمی از تنه‌های دورانی هستند ، تنها با

این فرض می‌تواند درك شود که این اشکال کهکشان‌ی وقتی به وجود آمده باشند که کهکشان‌ها هنوز به حالت گازی بوده و هیئت عمومی آنها در اثر چگالش جرم‌های گاز به صورت ستارگان در نیامده بوده است . ممکن است از راه تشابه با سنگواره‌های زمینشناختی نظیر چوب محجر ، آنها را همچون اشکال کهکشان‌ی سنگواره شده‌ای بدانیم که ، با آنکه ترکیبات غیر آلی مدت‌ها پیش جانشین مواد آلی آنها شده ، درست شکل و ساختمان يك تر کيب زنده را نگاه داشته‌اند .



شکل ۲۳ - راد اثبات طیفی کیکشان‌های بیضوی که همچون اجسام سخت‌پا دوران می‌کنند . انتقال دوپلری در ناحیه قرمز سمت چپ ، و در ناحیه آبی سمت راست قرار گرفته .

از نظر داستان تحول کهکشان‌ی ، نظریه «اشکال سنگواره شده» دارای اهمیت قابل توجهی است . با به کار بستن این نظریه ،

مؤلف با همکاری کِلر^۱ و بِلتسر^۲ توانسته است انواع دیگری از حقایق معما آمیز را توضیح دهد. این نظریه، مثلاً، توضیح می‌دهد که چرا تنه مرکزی کهکشان‌های مارپیچی و همچنین کهکشان‌های بیضوی ظاهراً مانند اجسام سخت‌پا دوران می‌کنند، یعنی سرعت‌های خطی آنها متناسب با فواصلشان از محور دوران است. این واقعیت نخست از راه رصد به وسیله اندازه‌گیری «انتقال دوپلری» در نور صادر از قسمت‌های مختلف کهکشان‌های دوار برقرار شد، و به طوری که در شکل ۲۳ نشان داده شده، در این رصد شکاف طیف‌نگار در مواضع مختلف سراسر یک کهکشان که از پهلو رؤیت می‌شد قرار داده شده بود، و جا به جا شدن دوپلری نسبت به یک خط طیفی اندازه‌گیری شد. در جمیع حالات، این انتقال که سرعت خطی جرم‌های کهکشانی را در امتداد خط نور به دست می‌دهد، مستقیماً متناسب با فاصله از محور به دست می‌آید. چگونه کهکشان‌هایی که از ستارگان بی اثر بر روی یکدیگر تشکیل یافته‌اند می‌توانند دورانی نظیر دوران یک جسم سخت‌پا* داشته باشند؟ توضیح این تناقض بر مبنای نظریه «اشکال سنگواره شده» در شکل ۲۴ مصور شده است. تصویر سمت چپ کهکشان گازی ابتدایی را تشکیل می‌دهد که حجمی از گاز، با بقیه تنه گازی آن بر مداری دایره شکل در سراسر کهکشان و حول مرکز آن در حرکت است، وقتی چنین حجم گازی که در اصل فضایی برابر چندین سال نور مکعب را اشغال می‌کرده، به صورت ستاره‌ای چگالش یافت، فشار گاز

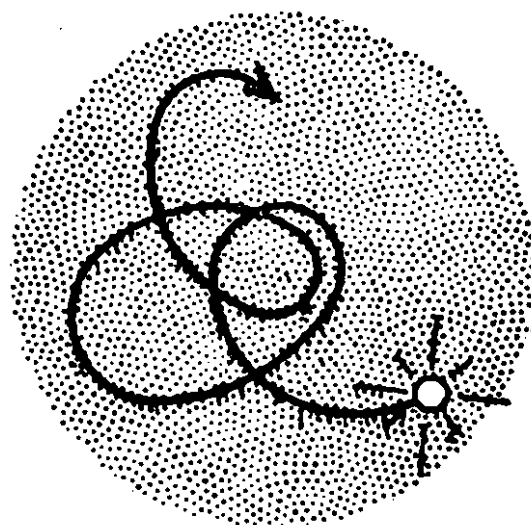
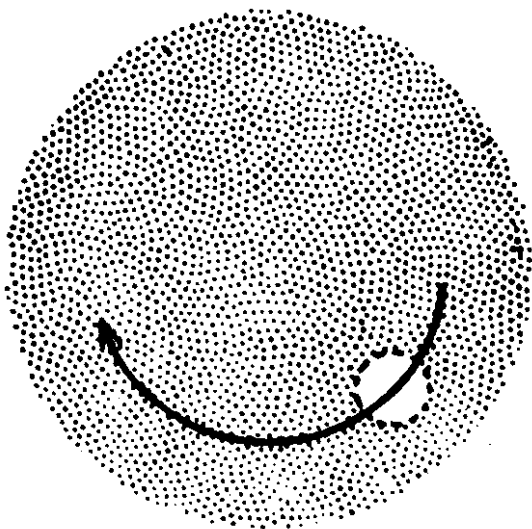
1 — G. Keller

2 — J. Beltzer

* اصطلاحی که به جای اصطلاح صلب (rigid) به کار برده شده. (مترجم)

باقیمانده دیگر توانایی تحمل جرم آن را نداشته و ستاره جدید با سرعت دائم التزایدی شروع به سقوط به سوی مرکز کرده است ، و در حالی که با بزرگترین سرعت از نزدیکی مرکز می گذرد ، قبل از آنکه بیشتر فرو رود ، به فاصله اولیه خود پرتاب خواهد شد . بنا بر این ، حرکت دورانی اولیه حجم گازی رقیق تبدیل به حرکت بیضوی ستاره نوزاد^۱ می شود . وقتی که جرمهای گازی کهکشانه ابتدایی اصلی سرعت چگالش یافتند ، ستارگان بارنده باید همچون زبانیهایی در سراسر کهکشانه بوده باشند . این فرایند در واقع قابل مقایسه با باران معمولی است که بر اثر چگالش بخار آب جو تولید می شود ، جز اینکه قطره های باران را زمین متوقف می کند ، و حال آنکه قطرات باران اختری به این سرنوشت دچار هستند که بدون برخورد با زمین سختیابی باید پیوسته به سیر خود ادامه دهند . هر زمان که این ستارگان غوطه ور بزرگترین بعد خود را به دست می آورند ، انتظار می رود که همان سرعت مماسی را دارا باشند که حجمهای گاز تشکیل دهنده آنها دارا بوده است . بنابراین ، با رصد کردن نور ستارگانی که به زادگاه اصلی خود در کهکشانه باز می گردند ، در واقع يك «سرعت سنگواره شدن» را اندازه گیری می کنیم که با آن سرعت کهکشانه ابتدایی گازی اصلی حرکت دورانی به دست آورده است ، و این انتظار معقول است که کهکشانه های ابتدایی در واقع کما بیش همچون اجسام سختپا دوران

۱ - به طوری که در شکل نشان داده شده ، مدار بیضوی ستاره حول مرکز نیز حرکت خواهد کرد (تقدیم اعتدالین). این حرکت به واقعیتی مربوط است که بر خلاف منظومه شمسی خودمان ، میدان گرانش در درون کهکشانه ها تابع قانون عکس مجذور نیست.



شکل ۲۴ - حوادثی که هنگام چگالش مقدار زیادی گاز اتفاق افتاده که متعلق به جرم گاز دوار بوده است. چون ستاره بسیار سنگینتر از گاز اطراف خود می‌شود، مسیر بیضوی غوطه‌وری را می‌پیماید که در سمت راست شکل نشان داده شده است.

کرده باشند.

ستارگان پیر و جوان

به طوری که قبلاً دیدیم، با آنکه محتمل است که هنوز هم ستاره‌سازیهایی به مقیاس کوچک در فضای بین‌اختری وقوع یابد، ظاهراً اغلب ستارگان تقریباً با هم در یک دوره قدیمی از تحول کهکشانی تشکیل یافته‌اند. ولی اگر تشکیل ستارگان به همین آسانی باشد که توصیف شد، چرا همه گاز کهکشانه ابتدایی اصلی به صورت ستارگان چگالش نیافته و فضای میان ستارگان را خالی و تهی گذاشته است؟ چرا هنوز هم قسمتی از گاز و غبار در فضای بین‌اختری، چه در کهکشان خودمان و چه در کهکشانها، وجود دارد؟

نخست چند واقعیت مربوط به طرز توزیع مواد میان ستارگان

را از نظر بگذارنیم . درست است که در مجاورت خورشید خودمان ، و البته در همه حجم بازوان مارپیچی ، مقدار فراوانی گاز و غبار وجود دارد که به جهاتی به صورت ستارگان در نیامده است ، ولی آنچه در باب بازوان مارپیچی صدق می کند در مورد اجسام مرکزی اصلی کهکشانهای مارپیچی ، و همچنین کهکشانهای بیضوی و کروی که بازوانی ندارند ، درست نیست . مطالعات تازه ای که والتر باده^۱ (از رصدخانه ماونت ویلسن و پالومار) انجام داده ، به شناسایی این واقعیت منجر می شود که دو نوع مختلف از سکته اختری وجود دارد که مربوط به دو قسمت متفاوت از ساختمان کهکشانی است :

۱ - بازوان مارپیچی (مشمول بر قسمتهای مجاور خورشید ما) محتوی ستارگان و مواد بین اختری به مقادیر تقریباً متساوی هستند . مقادیر عظیم و کلان ابرهای گاز و غبار در آنجا وجود دارد ، مانند سحابی بزرگ جبار ، و فضا عموماً به اندازه ای غبار آلود است که از یک سر تا سر دیگر قرص کهکشانی را نمی توان دید . سکته اختری این مناطق به واسطه وجود ستارگان غولپیکر آبی (ولو به تعداد کم) متمایز است که طول عمر آنها به اندازه ای کوتاه می باشد که باید نسبتاً بتازگی ، مدتها پس از تشکیل جثه اصلی ستارگان ، تشکیل شده باشند . اینها را «سکته اختری نوع I» نامیده اند . ۲ - تنه مرکزی کهکشانهای مارپیچی ، و همه کهکشانهای بی بازو کاملاً از ستارگان تشکیل یافته اند ، و گاز و غباری در آنها وجود ندارد . در این مناطق فضای میان ستارگان به اندازه ای روشن است که سراسر آن را می توان بدون جزئیترین تیرگی مشاهده کرد . ستارگانی که این مناطق بی غبار را مسکون ساخته اند متعلق به «سکته اختری نوع II»

هستند ، و ظاهرأ صد در صد ذخیره اصلی - بدون ستارگان نوپدید
نظیر ستارگان غولپیکر آبی - می باشند .

با در دست داشتن این اطلاعات می توان به یکی از سئوالات
قبلی خودمان چنین پاسخ داد که وقتی يك سکنه اختری از نوع II
می یابیم فرایند تشکیل اختری ظاهرأ تا وقتی که همه مواد بین اختری
مصرف شود ، ادامه می یابد ، ولی در باره گاز و غباری که هنوز در
بازوان مارپیچی وجود دارد چه می توان گفت ؟ پاسخ دادن به این
پرسش در حال حاضر دشوار است ، چون حتی معلوم نیست که
چگونه این مواد به وجود آمد ، و چند مدت است که آنجا مانده
بوده اند .

عقیده جالبی که توسط فون وایتسزکر ابراز شده در اینجا
ذکر می شود ، چون این عقیده لاقول پاسخی به یکی از پرسشهای
مذکور می دهد : چرا موادی بین اختری که هنوز در بازوان مارپیچی
وجود دارند ، به همان میزان که ستاره سازی اولیه در طی بیلیونها
سال پیش انجام گرفته ، به صورت ستاره چگالش نیافته اند ؟ به نظر
چنین می رسد که پاسخ این باشد که ستارگانی که قبلاً در آنجا وجود
داشته مانع تشکیل ستارگان تازه شده اند . برای اثبات این موضوع
بار دیگر فرمول جینز در مورد ناپایداری گرانشی را به کار می بریم ،
و به جای چگالی متوسطه مواد بین اختری مقدار 10^{-24} گرم در
سانتیمتر مکعب ، و به جای جرم يك ستاره بزرگ مقدار 10^{34} یا
 10^{25} گرم را که مربوط به جرم ۵ تا ۵۰ جرم خورشید است ، قرار
می دهیم . از این راه چنین به دست می آید که دمای گازی که در
آن دما چنین چگالشهایی می توانست وقوع یابد باید بین ۱ و ۵ درجه
مطلق باشد . ولی می دانیم که دمایی که واقعاً در فضای بین اختری بر

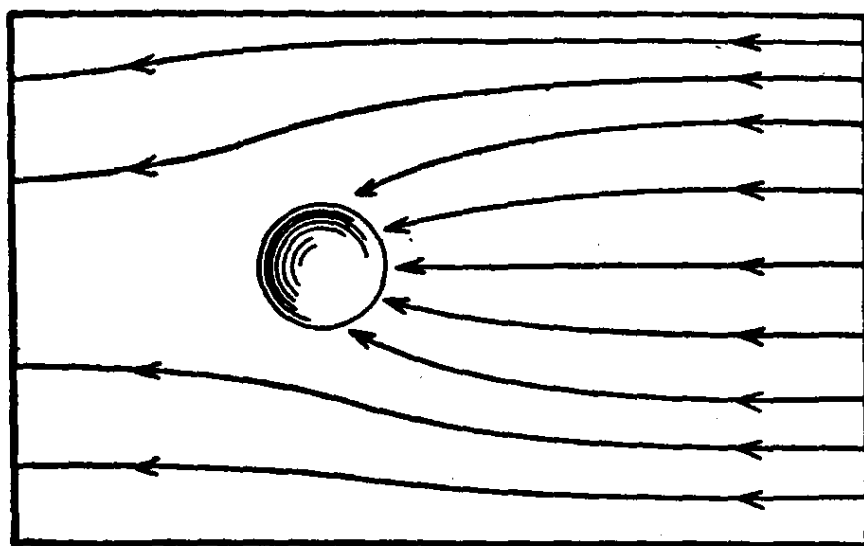
اثر تشعشع ستارگان موجود برقرار می‌شود در حدود ۱۰۰ درجه مطلق است . ستارگان موجود ، چون مواد بین اختری را زاید بر اندازه گرم می‌کنند ، مانع چگالش آن به صورت ستارگان تازه می‌شوند !

پرسش دیگر این است : فرایند دیگری که جوابگوی تنه اصلی ستارگان است در حال حاضر در بازوان مار پیچی به کار نمی‌رود ، پس مبدأ چند ستاره غولپیکر آبی رنگ در این مناطق چیست ؟ دو نظریه وجود دارد که سعی می‌کند جوابگوی تشکیل تعداد معدودی ستارگان غولپیکر در مناطق غبار آلود بازوان مارپیچی باشد . یکی از این دو نظریه ، که توسط فرد هویل^۱ و لیتلتن^۲ پیشنهاد شده ، مبتنی بر به هم پیوستن ماده بین اختری به وسیله ستارگان متحرک در آن می‌باشد . برای ادراک این فرایند بهتر آن است که ستاره را بیحرکت در نظر گرفته و مواد بین اختری را خارج از آن روان تصور کنیم (شکل ۲۵) . تحت تأثیر نیروهای گرانش ، جریانهای از این مواد از مسیر اولیه خود منحرف و داخل جو ستاره می‌شوند و پیوسته جرم آن را افزایش می‌دهند . باآسانی مشاهده می‌شود که هرچه سرعت جریان گاز بزرگتر باشد (در حقیقت هرچه سرعت حرکت اختری در گاز بزرگتر باشد) مقدار کمتری از ماده می‌تواند منحرف و بالاخره توسط ستاره تسخیر شود . محاسبه دقیق نشان می‌دهد که يك ستاره متوسط (نظیر خورشید خودمان) که با سرعت اختری عادی ۱۰ کیلومتر در ثانیه در حرکت است ، تنها مقدار بسیار کمی از مواد بین اختری را به وسیله فرایند به هم-

1 — Fred Hoyle

2 — R. A. Lyttleton

پیوستگی جمع خواهد کرد . این مقدار به اندازه‌ای کوچک خواهد بود که جرم ستاره را ، حتی در طی بیلیونها سال ، به طور فاحشی تغییر نخواهد داد . ولی با آنکه فرایند به هم پیوستگی هویل و لیتلن به نظر نمی‌رسد که در طرح عمومی تحول اختری اهمیت فراوان داشته باشد ، ممکن است جوابگوی تحولاتی در شرایط خاص قرار گیرد . اگر ستاره‌ای از ابر گاز و غبار نسبتاً غلیظی بگذرد ، یا بر حسب تصادف در منطقه‌ای داخل شود که در آنجا سرعتش تقریباً برابر



شکل ۲۵ - به هم پیوستگی ماده بین اختری (بنا بر نظریه هویل و لیتلن)

سرعت جریان گاز باشد (سرعتی که بالنسبه به سرعت‌های ستاره و گاز کوچک است) ، ممکن است بسرعت ، چند برابر بزرگتر از اندازه اولیه خود گردد. بنابراین ، ناممکن نیست که غولپیکرهای آبی کوتاه‌عمری که در بازوان مارپیچی یافت می‌شوند واقعاً ستارگان پیری باشند تشکیل یافته در فرایند بدیعی که در طی آن ، در اثر به هم پیوستگی مقادیر زیادی از مواد اضافی بعضی سحابیهای «فربه» که از میان آنها گذشته‌اند ، جوانی خود را بازیافته‌اند .

فرایند دیگری که به وسیله آن تازه - واقعاً تازه - می‌توانند در اوضاع و احوال موجود در زمان حاضر در فضای بین اختری تشکیل یافته باشند فرایندی است که به وسیله لیمان سپیتسر^۱ و فرد ل. ویپل^۲ پیشنهاد شده بود. با آنکه، به طوری که دیدیم، چنین به نظر می‌رسد که ستارگان خود مانع تشکیل ستارگان بیشتری در طی فرایند های معمولی چگالش باشند، مکانیسم پیشنهادی سپیتسر و ویپل تشعشع ستارگان موجود را به کار می‌برد. ذره غباری را در نظر بگیرید که آزادانه در فضای بین اختری شناور باشد. این ذره از هر سو به وسیله ستارگانی که کهکشانه را تشکیل می‌دهند روشن شده است. هنگامی که نور بر سطح يك جسم ماده افکنده می‌شود (ممکن است جذب یا منعکس شود) نیرویی به وجود می‌آورد موسوم به «فشار نوری». این نیرو را می‌توان ناشی از بمباران تعداد فراوانی کوانتومهای نور تصور کرد که یا به عقب می‌جهند یا در درون سطحی که با آن برخورد می‌کنند فرو می‌روند. این فشار نوری، تا آنجا که مربوط به اجسام با اندازه‌های متعارف است، بسیار خفیف می‌باشد. حتی در يك زمین تنیس بسیار روشن «فشار نوری» وارد بر گلوله‌های در حال پرواز که مورد آزمایش قرار گرفته کمترین تأثیری در حرکتشان ندارد، و نشان دادن وجود این نیرو نیاز به دستگاههای بی اندازه حساس دارد. ولی هر چه جسم کوچکتر باشد تأثیر فشار نوری عمده‌تر است، و در مورد ذرات غبار بین اختری - به قطر فقط چند میکرون - از این تأثیر نمی‌توان چشم پوشید. چون ذرات غبار در فضای بین اختری از هر سو تقریباً به يك اندازه روشن می‌شوند،

1 - Lyman Spitzer

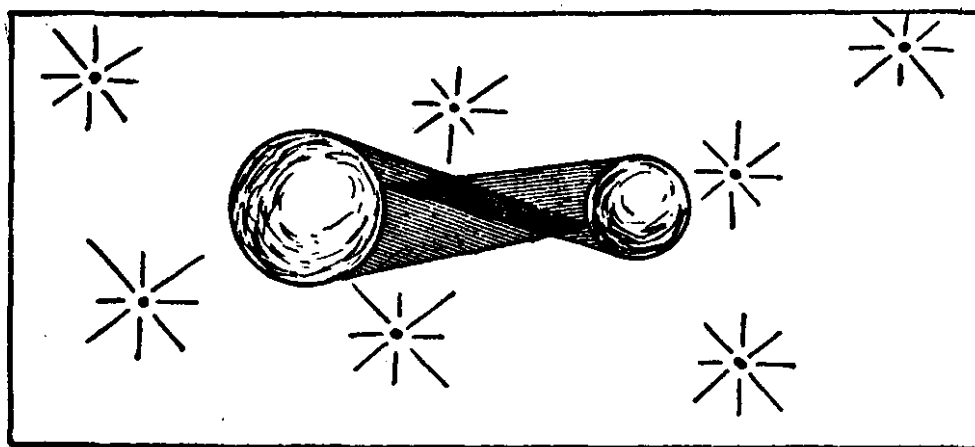
2 - Fred L. Whipple

تأثیرات نورانی یکدیگر را خنثی می کنند . ولی تأثیری باقی می ماند که ناشی از «تصویر سایه مشترك» است و باید در نظر گرفته شود . اگر دو چنین ذره ای (شکل ۲۶) را در میدان تشعشع ایزوتروپی [= تکروند] * که از ستارگان اطراف می آید در نظر بگیریم ، چنین می یابیم که هر ذره کوانتومهای نوری از ذره دیگر در یافت خواهد کرد که کمتر از کوانتومهای نوری است که از همه امتدادهای دیگر به آن می رسند . در نتیجه این تصویر سایه مشترك ، دو ذره به سوی یکدیگر رانده می شوند به طوری که گویی نیروی گرانشی میان آنها برقرار است . باسانی دیده می شود که این نیروی «گرانش-نما» به نسبت عکس مجذور فاصله دو ذره تغییر خواهد کرد ، و از این لحاظ شبیه به نیروی گرانشی نیوتنی^۱ است . در مورد ذرات نسبتاً بزرگ ، مثلاً به قطر چند میلیمتر ، این وضع «کاذب» بالنسبه به نیروهای گرانش واقعی بسیار کوچک است . ولی برای ذرات بسیار کوچک وضع معکوس است ، و نیروی «کاذب» بسیار قویتر از نیروی

* وصف ساده ای که خواص فیزیکی آن در همه امتدادها یکسان است (مترجم) .

۱ - اگر σ (سیگما) مقطع عرضی هندسی ذرات و R فاصله میان آنها باشد ، مخروط سایه مربوط به زاویه صلب $\frac{\sigma}{R^2}$ خواهد بود . اگر I چگالی تشعشع کل در فضا باشد ، نیرویی که بر هر ذره وارد می شود ، با مقایسه با نیروی نیوتنی $G \times \frac{m^2}{R^2}$ چنین خواهد بود :

$$\frac{1}{3} I \times \frac{\sigma}{\pi R^2} \times \sigma = \frac{1}{12} \pi I \times \frac{\sigma^2}{R^2}$$



شکل ۲۶ - تصویر سایه ، بنا بر نظریه سپیتر و وپیل

گرانش معمولی می شوند. این در واقع همان وضعی است که برای ذرات غبار بین اختری پیش آمده است. نتیجتاً در فضای بین اختری، این نیروهای تشعشعی «غبار را به سوی غبار» خواهند راند و سبب چگالش آنها به صورت ابرها خواهند شد. به محض آنکه چنین ابر رویان و نارس تشکیل شد، غبار بیشتر وارد خواهد شد، چه همه ذرات مجاور از لحاظ نور ستارگانی که در سوی دیگر می درخشند، در سایه آن قرار خواهند گرفت. وقتی که ابر غبار به اندازه کافی بزرگ و سنگین شد شروع به این خواهد کرد که جاذبه گرانشی واقعی را نشان دهد و گاز بین اختری و غبار بیشتر در خود جذب کند تا سرانجام به صورت هسته يك ستاره نوزاد تکامل یابد. مطالعات مشروح در باره چنین سازوکار تشکیل ستاره به این نتیجه منجر می شود که تنها در مجموعه شرایط خاصی متوالیاً انجام خواهد گرفت که بیشتر شبیه است به آنچه در سحابیهای غولپیکر بین کهکشانی یافت می شود. بنابراین، در عین آنکه ستارگان تازه ممکن است بدین طریق تشکیل یافته باشند، این فرایند بیشتر جنبه استثنایی نسبت

به فرایند عمومی دارد .

چنین انتظار خواهد رفت که تشکیل ستارگان تازه به سه طریق پیشنهادی سپیتسر و ویپل و به سه طریق جوان شدن ستارگان پیر بنا بر نظر بل و لیتلتن پدیده‌ای نامتعارفی در اوضاع و احوال کنونی باشد ؛ در واقع مشاهدات و ارساد نشان می‌دهد که چنین « ستاره - زایی » در کهکشان ما به طرز استثنایی کمیاب باشد.

خوشه شدن کهکشانها و ستارگان

چنانکه در آغاز همین فصل دیدیم، دو فرایند اصلی تدریجی در داستان جهان ما وجود دارد: پاره پاره شدن اولیه گاز ابتدایی، که به طور یکنواخت در حال انبساط است، به بلیونها کهکشانهای فردی، و چگالش مواد در هر کهکشان به سه صورت بلیونها ستاره مجزا. ولی ارساد نشان می‌دهد که علاوه بر این حادثه اصلی، مراحل کوتاhter و میانه‌ای نیز وجود داشته است.

اغلب کهکشانهای رصدپذیر به نظر می‌رسد که کمابیش به طور تصادفی در فضا پراکنده شده باشند، ولی موارد متعددی از کهکشانها وجود دارد که به صورت گروههایی خوشه‌ور شده‌اند که ممکن است هر يك محتوی چند صد عضو کهکشانی فردی باشد. یکی از نزدیکترین خوشه‌های کهکشانی که دقیقاً مورد مطالعه قرار گرفته خوشه کهکشانی صورت فلکی سنبله است. این خوشه کهکشانی تنها در فاصله ۸ میلیون سال نور از منظومه شمسی ما واقع شده و قسمت اعظم سطح آسمان متعلق به صورت فلکی سنبله، ذناب برنيس، و اسد را می‌پوشاند. در این فاصله، سرعت پسروی مربوط به انبساط جهان تنها بالغ بر ۱۰۱۲۰ کیلومتر در ثانیه است، و چون سرعتهای

تصادفی کهکشان‌های مجزایی که آن خوشه کهکشان را تشکیل می‌دهند گاهی به بزرگی ۲,۴۰۰ کیلومتر در ثانیه می‌رسند، بسیاری از افراد خوشه کهکشانی به سوی ما حرکت کرده و در خطوط طیفی خود انتقالی در ناحیه آبی طیف نشان می‌دهند. این یکی از مواردی است که در پیش ذکر شد و در آن سرعت‌های تصادفی افراد مجزای کهکشانی از سرعت منظم مربوط به انبساط جهان تجاوز می‌کرد. در واقع خوشه کهکشانی سنبله به اندازه‌ای به ما نزدیک است که این بحث پیش آمده بود که آیا منظومه اختصاصی کهکشان خود ما نباید از اعضای آن به شمار رود؟ چه ما به این خانواده غولپیکر کهکشان‌ها تعلق داشته و چه از آن مجزا باشیم، شکی نیست که منظومه کهکشان ما (راه شیری) گرگ تنهایی در فضا نیست. واقع امر این است که کهکشان ما عضوی از گروه معروف به «گروه محلی» است که مشتمل بر سه مارپیچ - سحابی امراة المسلسله یکی از آنهاست - ، شش کهکشان بیضوی ، و چهار کهکشان نامنظم یا بیشکل (شامل ابرهای ماژلان بزرگ و کوچک) می‌باشد.

تنها يك دوجین از دیگر خوشه‌های کهکشانی می‌شناسیم که مشتمل بر همان تعداد افراد خوشه سنبله می‌باشند (یکی از آنها که در صورت فلکی اکلیل شمالی است در صفحه تصویر VI نشان داده شده)، ولی بیش از صد گروه کوچکتر شبیه «گروه محلی» خودمان، و در حقیقت هزاران مجموعه باز هم کوچکتر، وجود دارند که گاهی منحصر به سه یا دو کهکشان می‌باشند. دلیل واقعی چنین گروه‌بندی چیست؟

خوشه شدن کهکشانی از دو راه ممکن است به وجود آمده باشد. همان طور که فون وایتسزکر فرض کرده، ممکن است چنین

فرض کنیم که گاز اولیه در جهان در حال انبساط ابتدایی آن اندازه متجانس نبوده که در مباحثات اولیه خود تصور کردیم. البته هر کس می تواند تصور کند که بعضی از انواع آشفته گیها در فرایند منظم انبساط پیچیدگی فراهم ساخته و حرکت منظم جرمهای گاز به تعداد فراوانی گردابه های متفاوت پاره پاره شده است، که بنا بر این فرض اندازه استاندارد يك کهکشانه مربوط به کوچکترین اندازه گردابی خواهد بود که بتواند به وسیله گرانش اختصاصی خود به هم نگاه داشته شود، و فرایند تشکیل کهکشانی شبیه فرایندی خواهد بود که منجر به تشکیل ستارگان در کهکشانه های فردی می شود. آنوقت خوشه های کهکشانی باید همچون نتیجه گردابه های عظیمی در نظر گرفته شوند که در مواد گازی اولیه وجود داشته اند. تنها قسمتی که در چنین توضیحی رضایتبخش نیست این است که ما به جای آنکه حرکت گردابی را نتیجه طبیعی فرایند انبساط بدانیم، وجود آن را در موارد اولیه مسلم فرض کرده ایم. چنین فرض مسلمی ممکن است بخوبی ثابت کند که تنها راه جوابگویی برای وجود حرکت گردابی در مراحل بعدی انبساط^۱ است؛ آیا این همان موردی نیست که احتیاجات ما را درباره سادگی فرضهای اولیه سست می کند.

توضیح دیگری که ممکن است برای خوشه شدن کهکشانه های مشهود به دست آورد این فرض است که در لحظه مبدأ آنها به طرز تصادفی در سراسر فضا پراکنده شده و اجتماع خود را به صورت

۱- در بحث پیش سعی کردیم که آشفته گی درون کهکشانه های ابتدایی را به دورانی منسوب سازیم که ناشی از بینظمیهای فرایند پاره پاره شدن در مواردی کاملاً متجانس در حال انبساط بوده. ولی کاملاً محقق نیست که این فرض بتواند از لحاظ ریاضی مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد.

خوشه کهکشانی بعداً در اثر گرانش مشترك آغاز کرده‌اند. مسئله ریاضی مربوط به رفتار زمانی تعداد بیشماری نقاط گراننده که در اصل به طور تصادفی در فضای لایتناهی پراکنده شده‌اند بی اندازه پیچیده و بغرنج است. اخیراً س. اولم^۱ این مسئله پیچیده را مورد بررسی و توجه قرار داده و توانسته است نشان دهد که، در مورد مدل يك بعدی ساده شده (با نقاط گراننده‌ای که در امتداد يك خط مستقیم توزیع شده)، باید این انتظار را داشت که نقاط به گروه‌هایی با اندازه‌های متنوع مجتمع شوند. ولی بسط نتیجه اولم به فضای دو یا سه بعدی به نظر می‌رسد مشکلاتی حل نشدنی از لحاظ ریاضی داشته باشد.

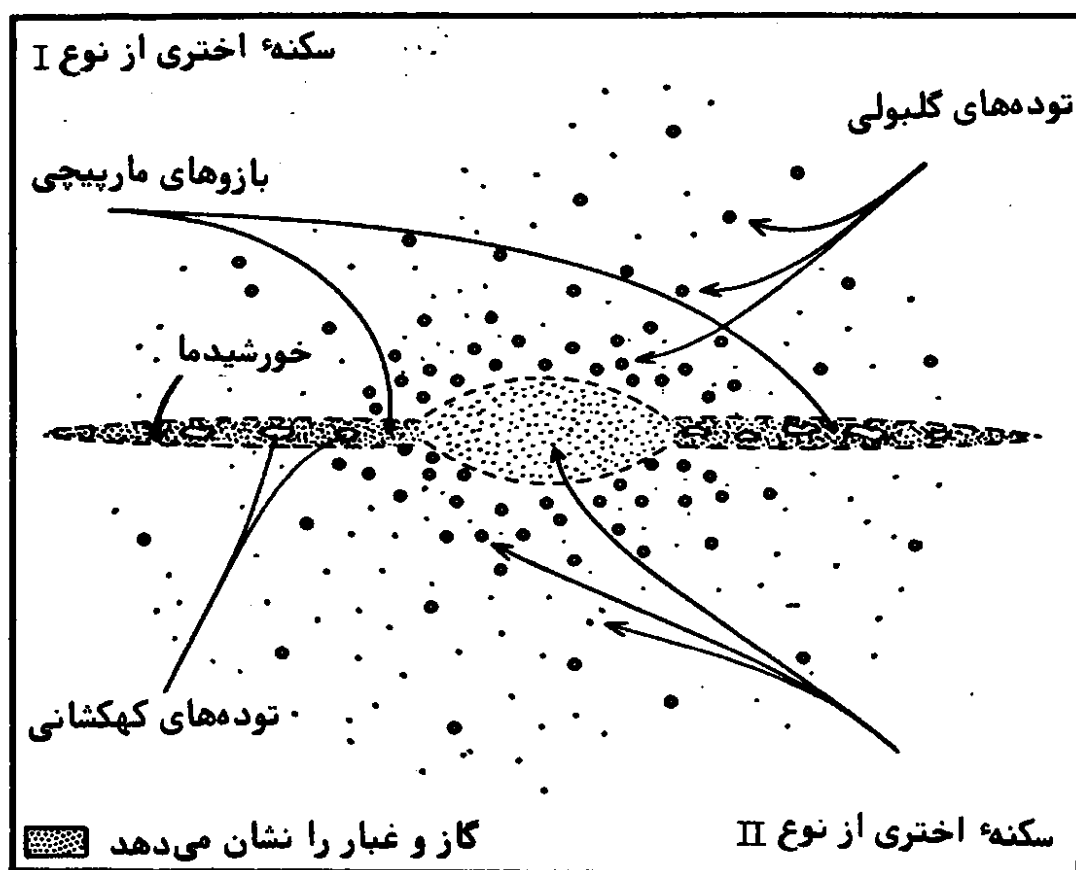
طرز خوشه شدن واسطه دیگری نیز به وسیله ستارگان درون يك کهکشانه نشان داده شده است. «خوشه‌های کهکشانی»^۲ ستارگانی را (نظیر خوشه ثور که در شکل ۲ نشان داده شد) سابقاً ذکر کردیم که شامل بسیاری ستاره با يك حرکت اختصاصی در فضا هستند. به نظر بسیار محتمل می‌رسد که همه افراد این گروه از يك ابر «گاز و غبار» غولپیکر چگالش یافته باشند (یکی از گردابهای به مقیاس بزرگ آشفته‌ای که در کهکشان خودمان وجود دارد) و همه آنها با همان سرعت ابر اصلی در حرکت می‌باشند. چنین ابرها و خوشه‌های اختری نتیجه شده از آنها، به سبب اختلالات ناشی از دیگرستارگان و همچنین تأثیر دوران متفاوت در ناحیه بازوان مارپیچی، هرگز قادر

1- S. Ulm

۲- در اینجا يك اشتباه قابل تأسف از لحاظ لفظی میان خوشه‌های کهکشانه‌ها و خوشه‌های کهکشانی وجود دارد. در صورتی که این دومی خوشه‌هایی از ستارگان را در بازوان مارپیچی نشان می‌دهد.

به این نبوده‌اند که شکل منظمی به خود بگیرند، و هر چه کهکشانها پیرتر شده آنها تدریجاً منحل شده‌اند.

ولی خوشه‌های اختری دیگری وجود دارند که در نواحی آرام فضا، دور از تردد اختری سطح کهکشانی واقع شده‌اند؛ و چون دیگر ستارگان مزاحمتی برای آنها فراهم نمی‌ساختند، این خوشه‌ها اشکال منظم کروی به خود گرفته و به نام «خوشه‌های گلبولی» معروف شده‌اند. یکی از این خوشه‌ها، که در صورت فلکی الجاثی یافت می‌شود در صفحه تصویر VII نشان داده شده. در چنین خوشه‌هایی فاصله میان ستارگان منفرد نسبتاً کوچک است، به طوری که چنین احتمالی بجا خواهد بود که نیروهای گرانشی مشترك حرکت آنها را تغییر دهند، و همه منظومه را به صورت مدل کروی کاملی در



شکل ۲۷ - مقطع عرضی يك کهکشان عمود بر سطح بازوان مارپیچی

آورند که همشکل با جرم عظیم گازی است که آزادانه در فضای تهی شناور است.

شکل ۲۷ يك طرح کلی از کهکشان ما را نشان می‌دهد که موضع خوشه‌های کهکشان‌ی و گلبولی را نسبت به نواحی مشخص شده به وسیله دو نوع سکنه اختری که قبلاً شرح داده شد، معین می‌کند.

منظومه‌های سیاره‌ای

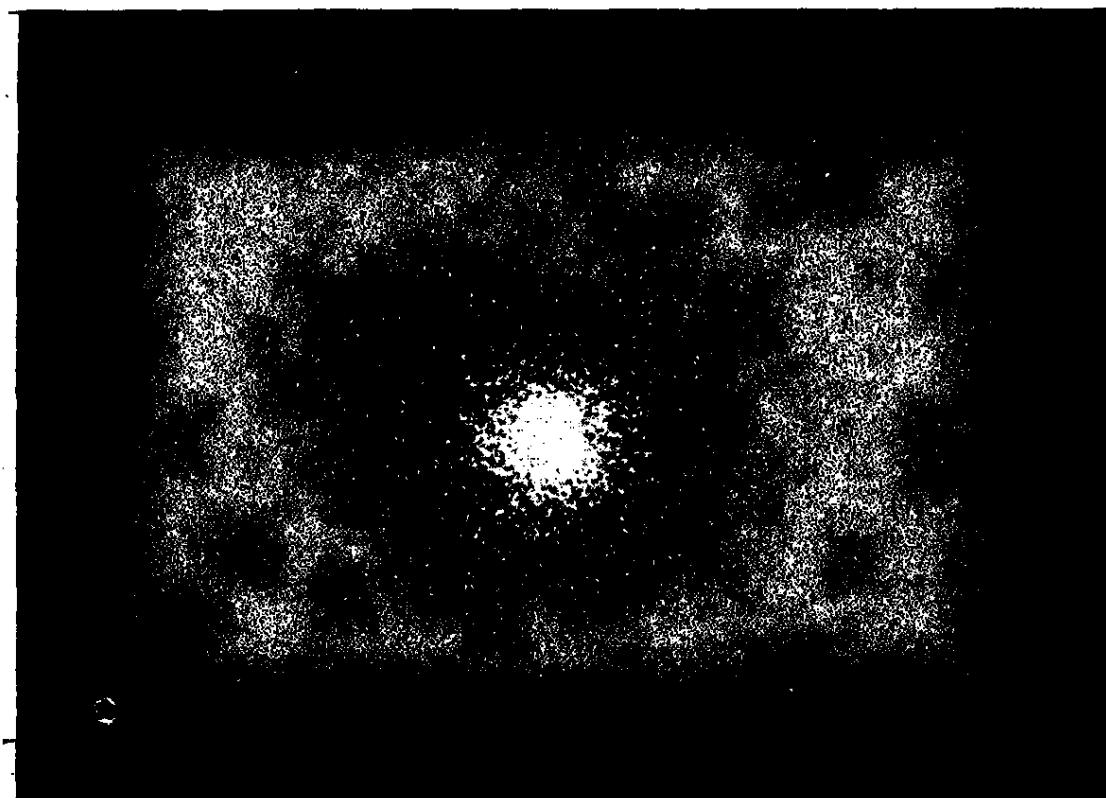
اکنون به تحول و خواص ستارگان منفرد توجه می‌کنیم که، پس از تمام آنچه ذکر شد، مهمترین واحدهای فردی جهان ما هستند. میان همه ستارگان جهان، خورشید که از همه به ما نزدیکتر است برای ما مهمترین آنها به شمار می‌رود. واقعیت دیگری که به همین اندازه درباره این ستاره حائز اهمیت است وجود منظومه سیاره‌ای آن می‌باشد. در حقیقت، تنها تا چند قرن پیش، خورشید با منظومه سیاراتش تنها چیزهایی بودند که علم نجوم می‌توانست مشروحاً مطالعه و بررسی کند؛ در نتیجه تئوریهای اولیه کیهانزایی محدود بود به مسئله مبدأ خانواده خورشید. کیهانزایی علمی، از لحاظ تاریخی، با نظریاتی شروع می‌شود که نخستین بار طبیعی‌دان فرانسوی، ژرژ دوبوفون^۱، بیان و تولد سیارات را نتیجه تصادم ناگهانی خورشید با يك ستاره دنباله دار رهگذر تصور کرد. اندکی بعد فرضیه‌ای نسبتاً متفاوت و بدیعت‌ر توسط فیلسوف آلمانی، ایمانوئل کانت^۲، و ریاضیدان فرانسوی،

1- Georges de Buffon

2- Immanuel Kant

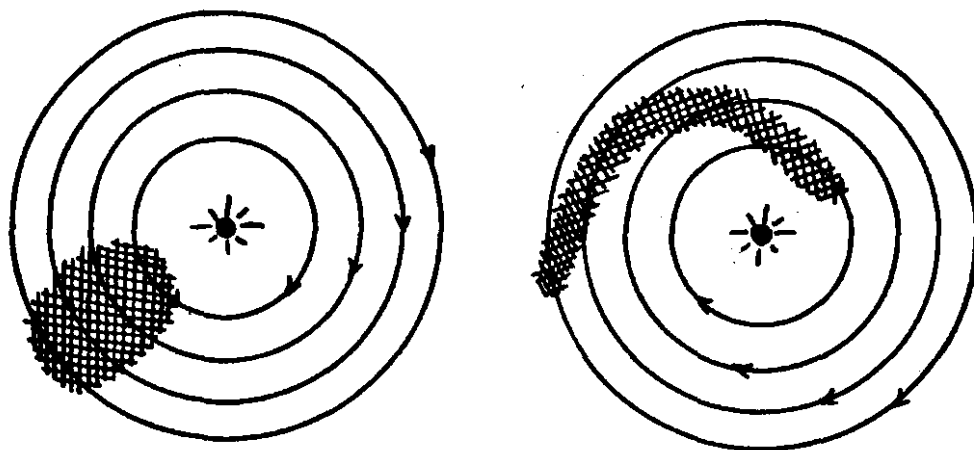


تصویر VI. خوشه کپکشانهای کمنور در «اکلیل شمالی». شکل دوکوار
کپکشانها آنها را مشخص می‌سازد.



تصویر VII. خوشه گلبولی در «الجائی»

پیر لاپلاس^۱، ابراز شد. بنا بر فرضیه آنان، تولد سیارات نتیجهٔ يك برخورد «بزن و بگریز» نبوده بلکه تا اندازه‌ای قسمتی از فرایندی معمولی است که در زندگی تقریباً هر ستاره انتظار می‌رود. کانت و لاپلاس، هر دو، چنین فرض کردند که خورشید جوان را غلافی گازی و رقیق به شکل عدسی (سحابی شمسی) احاطه کرده بوده که بعداً به صورت سیارات مجزایی که امروز آنها را می‌شناسیم چگالش یافته‌اند. چنین فرضی با نظریات جدید مربوط به تشکیل ستارگان از مواد پراکنده شدهٔ میان اخترى کاملاً سازگار است. البته این انتظار معقول است که قسمتی از مواد تشکیل دهندهٔ گرداب آشفته‌ای که بعداً خورشید ما شده، به واسطهٔ سرعت‌های زاویه‌ای زیادشان، از سقوط به مرکز جلوگیری شده‌اند. يك غلاف کروی دوار، از نوعی که باید نخست محیط بر خورشید نوزاد باشد، به علت تصادمات میان



شکل ۲۸ — چگونه موادی که در اصل در سطوح مختلف حرکت می‌کرده‌اند، به سبب تصادمات مشترک میان ذرات، به صورت قرصی گسترده شده‌اند.

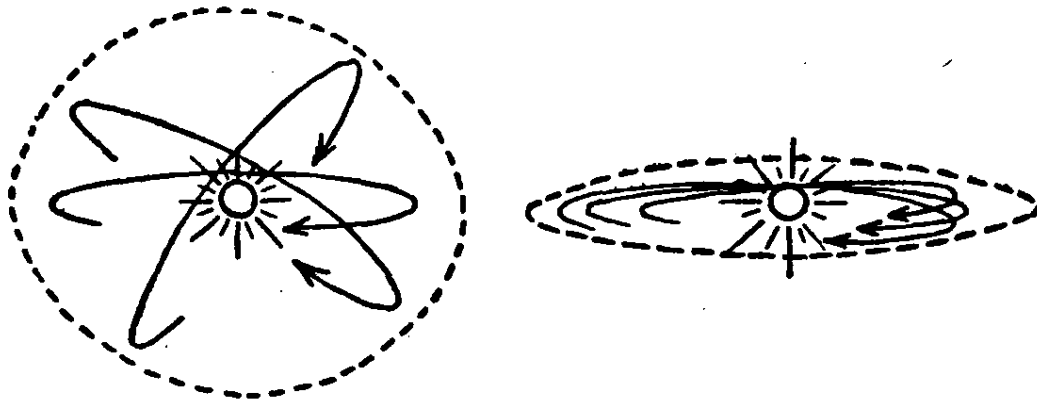
1— Pierre Laplace

قسمتهای آن که در سطوح مختلف حرکت می کردند ، پهن خواهد شد (شکل ۲۸). سپس مواد این قرص پراکنده ممکن است به سبب جاذبه گرانشی. موجود میان قرصهای مختلف به صورت سیارات جداگانه چگالش یابند.

ولی فرضیه کانت-لاپلاس، که مدت بیش از يك قرن نظریات علمی را تحت نفوذ قرار داده بود، توسط يك فیزیکدان انگلیسی، جیمز. ك. مكسول^۱، سخت مورد انتقاد قرار گرفت. نظر وی این بود که اثبات کرده است که چنین چگالشی نمی تواند هرگز روی داده باشد. چگالش گرانشی، بدان سان که کانت و لاپلاس تصور کرده بودند، مورد خاصی از مفهوم تازه تر، یعنی «ناپایداری گرانشی» جینز بوده که قبلاً چندین بار از آن بحث کردیم. به طوری که دیدیم، به ازای هر درجه دما و چگالی معین گاز، همیشه يك حداقل اندازه برای چگالشها وجود دارد که می تواند قسمتهای گاز را به وسیله جاذبه گرانش مشترك با هم نگاه دارد. ولی واقعیتی که به موجب قوانین کپلر قسمتهای مختلف قرص دوار گاز با سرعتهای زاویه ای متفاوت دوران می کنند، وضع را در قرص گازی پیچیده و در هم می سازد. بنابراین، اگر چگالش بسیار عظیم بوده باشد، قسمتهای مختلف آن ممکن است در اثر نیروهای برنده دوران متفاوت از یکدیگر دور و دوباره متلاشی شده باشند. چنین فرایند بریدگی در شکل ۲۹ نشان داده شد، سرعتهای نسبی دوران متفاوت بستگی به چگالی قرص دوار ندارد، ولی نیروهای گرانشی که سعی می کنند آن را به هم پیوسته نگاه دارند متناسب با این چگالی می باشند. در

1- James C. Maxwell

نتیجه يك مقدار بحرانی معین باید^۱ برای چگالی وجود داشته باشد که به ازای مقادیر زیادتر چگالشهای اولیه، با وجود نیروهای متلاشی کننده دوران، می‌توانند قسمتهای قرص گاز را به هم پیوسته نگاه



شکل ۲۹- چگونه يك چگالش در حال تکوین ممکن است به سبب اختلاف سرعتهای زاویه‌ای قسمتهای مختلف خود پاره پاره شود.

دارند. با این فرض که چگالی متوسط قرص اولیه برابر چگسالیی است که به وسیله گسترش مجموعه جرمهای همه سیارات (در حدود ۵۵۵۱ جرم خورشید) به طور یکنواخت بر روی سطح دایرة البروج به دست می‌آید (10^{-11} گرم در سانتیمتر مکعب)، مکسول چنین یافت که نیروی دوران متفاوت هر چگالشی را، به محض آغاز تشکیل آن، در هم خواهد شکست. ضمناً وی توانست نشان دهد که چگالشهای گرانشی هرگز نتوانسته‌اند ظاهر شده باشند مگر آنکه مقدار مواد موجود در قرص دست کم صد برابر جرم همه سیارات بوده باشد.

این تناقض ظاهری دانشمندان کیهان‌زایی را وادار به ترك

۱- از لحاظ ریاضی، این چگالش بحرانی به وسیله فرمول $\rho = w^2/G$ به دست می‌آید که در آن w سرعت زاویه‌ای دوران و G مقدار ثابت گرانش نیوتنی است.

نظریات کانت و لاپلاس کرد، و آنان را به فرضیه تصادم اولیه بوفون بازگرداند که در آن ستاره دنباله دار جای خود را به يك ستاره رهگذر داده بود. ولی این فرضیه تصادم دوباره جوان شده، که هم زمان به وسیله سر جیمز جینز در انگلستان و فارست ری مولتن^۱ و تامس ث. چمبرلین^۲ در ایالات متحده بسط یافت، هنوز هم گرفتار مشکلات عمده ای است، و هرگز نتوانسته است پیشرفت بیشتری به دست آورد. بالاخره در اواخر جنگ جهانی دوم این تناقض را فون وایتسزکر حل کرد، بدین ترتیب که نشان داد که ایراد قدیمی مکسول دیگر از لحاظ اطلاعات پیشرفته ما در باره ساخت شیمیایی ماده کیهانی معتبر نیست. چون مدارك و اطلاعاتی که بتواند این فرض را رد کند در دست نیست، بنا بر عادت چنین فرض می شود که خورشید، دیگر ستارگان، و مواد بین اختری اکثراً شامل آهن، سیلیسیوم، و دیگر «عناصر زمینی» عیناً مانند زمین می باشند. این نظریات اکنون کاملاً تغییر یافته (به فصل سوم مراجعه شود) و می دانیم که «عناصر زمینی» تنها قریب يك در صد کلیه ماده را تشکیل می دهد، در حالی که بقیه ماده اصولاً مخلوطی از تیدروژن و هلیوم است. موادی که سیارات از آن ساخته شده اند تنها در حدود ۱/۱۰۰ کل مواد اولیه قرص را نشان می دهد، و بدین ترتیب جرم پیشین قرص ۱/۱۰۰ جرم خورشید به ۱/۱۰ بالا می رود. این امر موجب رسانیدن چگالی قرص اولیه درست به مقداری است که بنا بر فرضیه مکسول چگالش گرانشی را، با وجود نیروهای متفاوت، امکانپذیر خواهد ساخت.

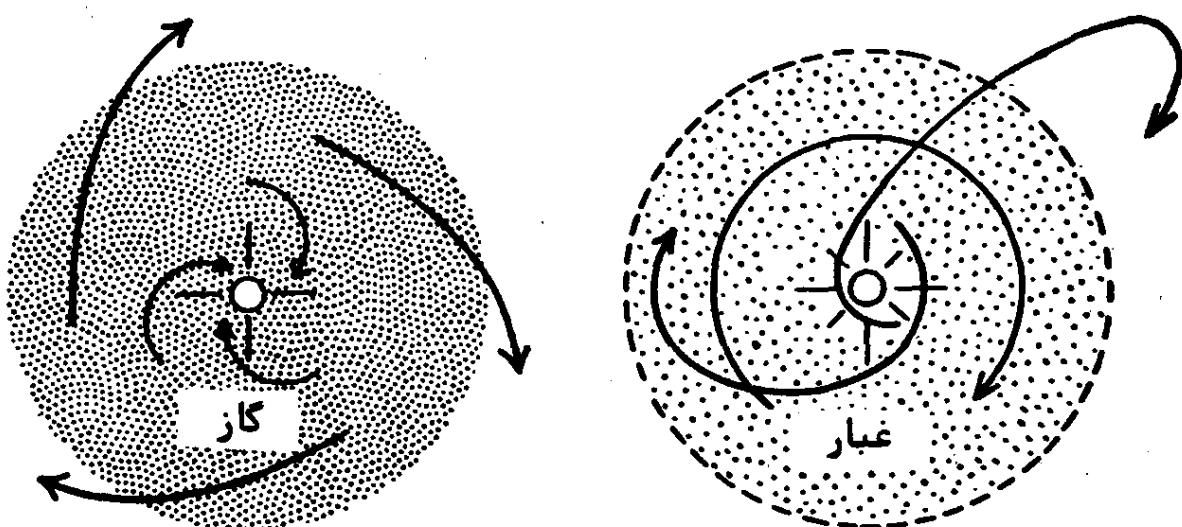
اختلاف میان فرضیه قدیمی کانت - لاپلاس و نظریه پیشنهادی

1- Forest Ray Moulton

2- Thomas C. Chamberlin

فون وایتسز کسر در شناسایی رفتار اصولاً متفاوت قسمتهای گازی -
 تیدروژن - هلیوم - قرص و قسمت غباری ذرات جامد «مواد زمینی»
 می باشد که با موادی که اکنون در ابرهای غباری بین اختری می-
 یابیم یکی هستند (شکل ۳۰). غلاف گاز اصلی، به سبب لزوجت گاز،
 تمایل بر این داشتند که همچون جسم سختیابی دوران کنند، یعنی با
 سرعتهای خطی متناسب با فاصله آن تا خورشید. این حرکت چنان
 سرعتهای عظیمی به قسمتهای خارجی آن خواهد داد که نیروهای
 گرانشی خورشیدی دیگر قادر به نگاه داشتن آنها نباشند، و در نتیجه
 در فضا پراکنده شوند. از طرف دیگر، حرکت قسمت داخلی قرص
 کند شده و مواد آن با پیمودن مسیرهای مارپیچی به درون خورشید
 خواهند افتاد. در نتیجه غلاف گازی اصلی باید بتدریج پراکنده و
 نابود شده باشد. با محاسبه می توان به دست آورد که جرم غلاف در
 هر پنج میلیون سال نصف شده، و از این رو پس از قریب 2×10^8
 سال چگالی آن از مقدار اصلی 10^{-9} گرم در سانتیمتر مکعب به
 مقدار بسیار کوچکتر 10^{-22} گرم در سانتیمتر مکعب تقلیل یافته
 است. می توانیم مشاهده کنیم که غلاف گازی خورشید، با آنکه
 نقش عمده ای در سیاره سازی ایفا کرده، باید مدتها پیش از زمان
 ما کاملاً از میان رفته باشد.

ولی سرنوشت ذرات غبار در قرص اولیه با سرنوشت
 مولکولهای گاز کاملاً متفاوت بوده است. این ذرات چون کوچک
 و سنگین بوده اند باید بیشتر مانند سیارات امروزی حرکت کرده و
 مدارهای بیضی شکل گوناگونی حول مرکز خورشید رسم کرده
 باشند. اما چون تعداد چنین ذراتی باید فوق العاده فراوان بوده باشد
 (10^{20} ذره در هر وزن چند گرمی)، رفت و آمد بسایه بی اندازه



شکل ۳۰ - رفتار ذرات گاز و غبار در سحابی شمسی اولیه ، بنا بر نظر فون وایتزکر

سخت و تصادم میان ذرات بسیار فراوان بوده باشد . وقتی دو ذره تقریباً هم اندازه با سرعت‌های شهابی تصادم می‌کنند ممکن است انتظار خرد شدن کامل هر دو برود ، یا تا حدی تبدیل به بخاری شوند که بعداً دوباره به صورت دانه‌های غبار ذره بینی در آیند ؛ ولی وقتی که ذره کوچکی به ذره بزرگتری برمی‌خورد به آن می‌چسبد و ، بنابراین ، بر جرم آن افزوده می‌شود . نتیجه این رویدادها باید تشکیل قطعات بزرگتر و بزرگتری از مواد جامد بوده باشد (که فضای اطراف خود را روفته و قطعات کوچکتر را به خود جذب می‌کرده است . در حالی که اجماعات اولیه غبار منحصراً به وسیله تصادم‌های کامل مستقیم میان ذرات حاصل شده باشد ، لاجرم قطعاتی بزرگتر از حجمی نسبتاً بزرگ باید شروع به جذب ذرات کوچکتر به وسیله گرانش واقعی کرده و در نتیجه مواد را از فضای نسبتاً پهناوری گردآوری کرده باشند . این وضع شبیه به توسعه انحصارات عظیم صنعتی است که شرکت‌های کوچکتر را در خود فرو می‌برند ، ولی چون قانون ضد تراست در عالم وجود ندارد ، این جریان ادامه دارد تا وقتی چند

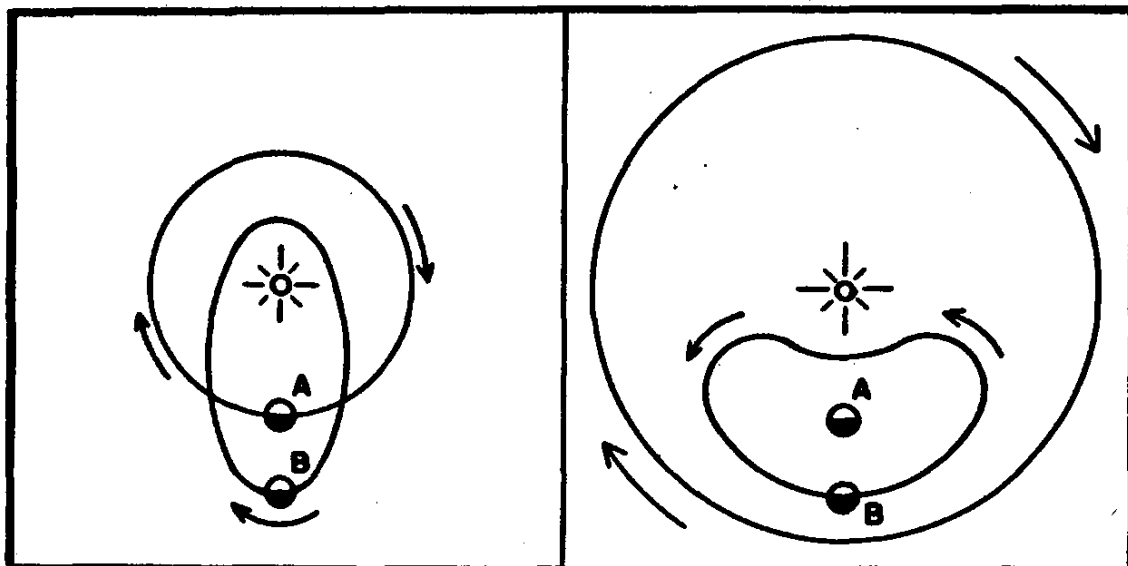
«همکار بزرگ» باقی بمانند - که بقدری از یکدیگر دور و جدا هستند که دخالتی در کار هم ندارند .

فرایند اجماع غبار باید هماهنگ با پراکنده شدن قرض گازی پیش رفته باشد ، و در حقیقت مقیاسهای زمانی این دو نظیر هم بوده است : زمان لازم برای آنکه ذرات ذره بین اصلی به بزرگی دانه ریگی شوند (به قطر يك سانتیمتر) باید فقط چند سالی باشد ، و برای ساخته شدن سیاره بزرگی چون مشتری قریب 10^4 سال لازم بوده است . جرم سیارات فردی باید به وسیله مقدار کل مواد موجود در نواحیی که در آنجا تشکیل یافته اند مشخص شده باشد ، به طوری که چنین باید انتظار داشت که بزرگترین سیارات تقریباً در نیمه راه میان خورشید و لبه خارجی قرص آشکار شده باشند ؛ نزدیک خورشید چگالی ممکن است بالا باشد ، ولی حجم فضای قابل استفاده بی اندازه کوچک است ، و در کناره ، با آنکه فضای وافر وجود دارد ، چگالی بی اندازه پست می باشد ، این عقیده با حقیقت مشهودی که سیارات درونی و بیرونی (عطارد ، ونوس ، زمین ، مریخ و پلوتون بسیار کوچکتر از سیارات وسطی (مشتری ، زحل ، اورانوس و نپتون) هستند ، کاملاً سازگار است .

اگر بنا باشد به جزئیات تشکیل سیارات وارد شویم ، یکباره در دریای ژرفی فرو خواهیم رفت ، چون ترکیب حرکت جرمهای گازی و ذرات غبار در حال رشد باید بسیار پیچیده باشد . شایستگی عمده تئوری وایتسزکر در این است که نقش مهم حرکت گردابی را شناخته است . شرایط لازم برای وجود جریان ناپیوسته دور از این است که در مواد قرص گازی صدق کند ، به طوری که حرکت باید به گردابهای متعددی خرد شده باشد . این وضع شبیه وضعی

است که منجر به تشکیل ستارگان در کهکشانهای ابتدایی گازی اولیه شده است. ولی تفاوت عمده‌ای که میان این دو موجود بوده آن است که گردابهای درون کهکشانهای ابتدایی تنها به اندازه جزئی از يك درصد ضخامت کل کهکشانی هستند. ولی در سحابی شمسی کوچکترین گردابهایی که از لحاظ گرانش پایدارند باید حجم قابل مقایسه‌ای با ضخامت کل قرص گازی داشته باشند بنابراین ابرهای کهکشانی اولیه به بیلیونها ستارده شکسته شده، در حالی که مواد قرص خورشیدی تنها به کمتر از ۱۲ سیارده حیات بخشیدند. فون وایتسزکر، و پس از وی تر هار^۱ و چاندراشکهر و کوپپر، پیشرفت قابل توجهی در فهم مربوط به حرکت گردابی در سحابی شمسی به دست آوردند. نتایجی را که آنان به دست آوردند فقط به يك صورت بسیار کلی می‌توان در اینجا توصیف کرد. کلید معرفت برای حرکت مختلطی که وقوع یافته در برگزیدن يك گروه از ذراتی قرار دارد که دوره‌های دوران آنها تقریباً یکسان باشد (همچنین با فواصل متوسط متساوی تا خورشید) و حرکت آنها در دستگاه مختصات مورد توجه قرار گیرد که حول مرکز خورشید، با همان دوره دوران، حرکت می‌کند. چون از چنین دستگاه مختصاتی دوارنگاه کنیم، آن ذرات که با سرعت ثابت بر مسیرهای دایره شکل در حرکتند بیحرکت به نظر خواهند رسید؛ ولی ذراتی که بر مدارهای بیضوی در حرکتند وقتی نزدیک خورشید باشند جلو و وقتی از آن دور هستند عقب می‌افتند. این ذرات چون از چنین دستگاه مختصاتی نظاره شوند منحنیهای مسدودی ترسیم می‌کنند که هرچه مدارها کشیده‌تر باشد حجم آنها بزرگتر است. این وضع که

با «اپیسیکلهای»ی نجوم قدیم مشابه است در شکل ۳۱ نشان داده شده است . در طی زمان ، حرکت ذرات متعدد غبار به سوی حالتی میل می کند که با حداقل تعداد تصادمات متمایز است . چنین حالتی در

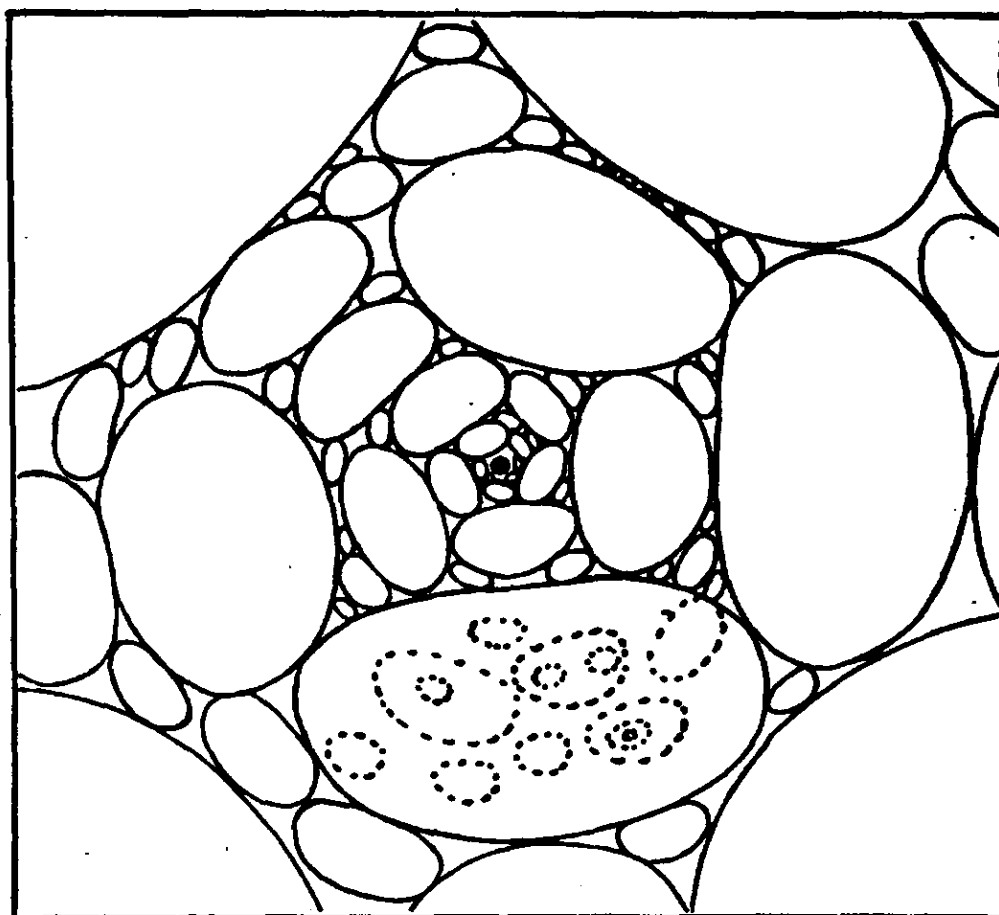
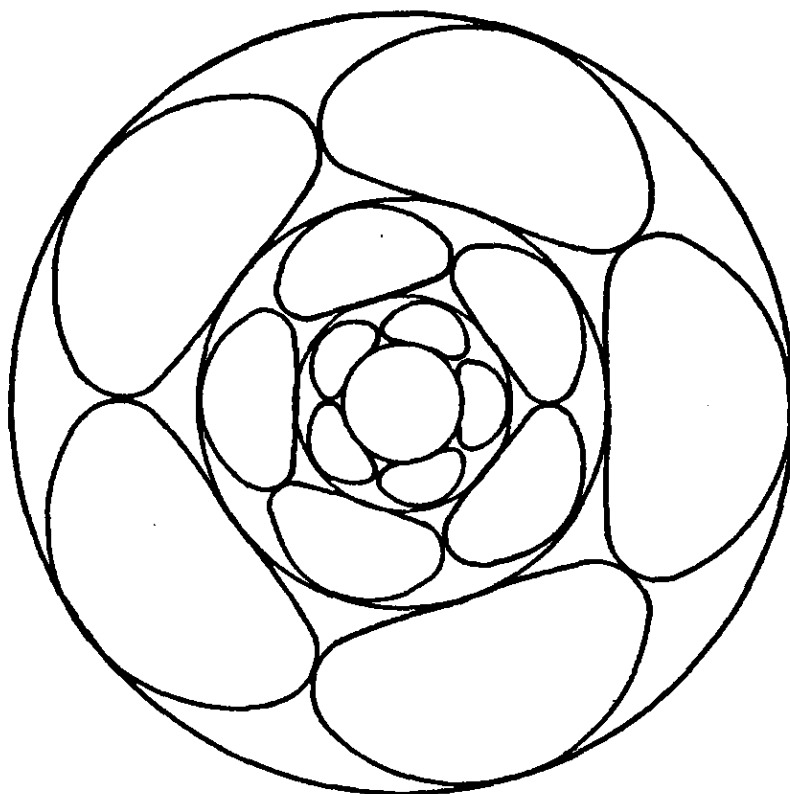


شکل ۳۱ - چگونه يك حرکت دورانی (A) و يك حرکت بیضوی (B) مربوط به يك ذره غبار از نظر يك دستگاه مختصات دوار ، با همان دوره تناوب دیده می شوند .

دستگاه مختصات دوار ما می تواند به وسیله نمونه ای از اپیسیکلهای غیر متقاطع نمایش داده شود که بعضی از آنها درون دیگری قرار گرفته اند . هر گروه ذرات که متعلق به منظومه متحدالمرکزی از این اپیسیکلهای هستند نشانه گردابی در میان سحابی خورشید است ، یا به عبارت دیگر ، گرداب آشفته ای است . چون ما تنها ذراتی را انتخاب کرده ایم که دارای دوره های تناوب و فاصله متوسط از خورشید هستند ، این نمونه شبیه طوقی است که از صدفهای پهن ساخته شده باشد . طوقهای مدور فراوانی از این قبیل وجود دارند که یکی درون دیگری قرار گرفته و با دوره های تناوب مختلف دوران می کنند ؛

کوچکترین دوره‌های تناوب نزدیک به خورشید و بزرگترین آنها دور از آن می‌باشند. شکل ۳۲ تصویر اولیه (بالای شکل) فون وایتسزکر و منظومه بسیار پیچیده‌تری را نشان می‌دهد که توسط کوپپر، با حجمهای گردابی اتفاقی، که طرز توزیع آن مطابق با قانون آشفستگی کولموکوروف است، ساخته شده (پایین شکل). تنها گـردابهای بزرگ می‌توانند به وسیله نیروی گرانش نیوتنی به هم نگاه داشته شوند و، بنابراین، درون این گردابها فرایند اجماع غباری به میزان سریعی ادامه خواهد یافت که در نهایت به رشد سیارات منجر شود. با مطالعه مشروح خواص سحابی اولیه خورشیدی و حرکت ناشی از گردش آن، ممکن است ابعاد صحیح سیارات مختلف منظومه شمسی را به دست آورد. همچنین ممکن است تعبیر معقولی از قانون معروف «بود - تیتوس»^۱ در باره فواصل سیارات به دست آورد، که بیان این قانون چنین است: درون خانواده سیارات (با توجه به اینکه خرده سیاره‌ای که میان مریخ و مشتری می‌گردد بقایای سیاره کهنسالی در نظر گرفته شده) فاصله هر یک از افراد خانواده از خودشید تقریباً دو برابر فاصله فرد ما قبل آن است.

در اینجا مورد ندارد که وارد جزئیات بیشتر این تئوری بشویم. از این رو تنها به ذکر چند نتیجه جالب آن می‌پردازیم. نخست، همان طور که در فصل سوم ذکر شد، چنین فرایند تشکیل به سازمانهای شیمیایی گوناگون برای سیارات کوچکتر و بزرگتر منجر می‌شود. در حالی که سیارات «کناره» (از عطارد به مریخ از داخل، و پلوتون از خارج) هرگز آن اندازه حجیم نشدند که گاز بین اختری بیشتری جذب کنند، و از این رو اصولاً با ساختمان



شکل ۳۲- گردابه‌های آشفته در سحابی شمسی، (قسمت بالا) بنا بر تئوری بدیع
فون وایتسزگر، (قسمت پایین) بنا بر نظریه کویپر.

صخره‌ای به جا ماندند ، سیارات «نیمه راه» (مشتري ، زحل ، و به میزان کمتر اورانوس و نپتون) از ابعاد محدود تجاوز کرده و توانسته‌اند به وسیله گرانرش قسمتی از مواد قشر گازی اولیه را ، پیش از آنکه در فضای اطراف پراکنده شود ، جذب کنند (به صفحه تصویر III مراجعه شود که درون ساختمان درونی بیشتر نشان داده شده) .

سیاره‌ای که باید زمانی میان مریخ و مشتري وجود می داشت از قرار معلوم در گذشته پاره پاره شده (شاید به واسطه نیروهای کشندی مشتري) ، و پاره‌های آن ، که اکنون در نزدیکی مدار سابق در حرکت می باشند ، طوق خرده سیارات را تشکیل می دهند . بعضی پاره‌های متعلق به طوق خرده سیاره که جسورانه از قلمرو خود خارج و دور می شوند تصادفاً به صورت احجار سماوی بر سطح زمین سقوط می کنند . ساخت شیمیایی احجار سماوی بشدت نشان می دهد که مواد آن باید در فشارهای بسیار زیاد ، نظیر فشارهای درون يك سیاره ، منجمد شده باشد .

چنین ارتباط آشکاری به هیچ وجه در دیگر افراد منظومه شمسی ، یعنی ستارگان دنباله دار ، وجود ندارد . گرچه ستارگان دنباله دار تقریباً پر جلوه ترین اجسامی هستند که می توان با چشم غیر مسلح در آسمان رؤیت کرد ، قسمت بسیار ناچیزی از منظومه شمسی اولیه درست شده و اکثر از ترکیبات شیمیایی عناصر سبك از قبیل آب و امونیاك و ئیدروکربورهای گوناگون تشکیل یافته اند . شاید در حدود بیست بیلیون ستاره دنباله دار درون کره ای به قطر قریب سه سال نور در حرکت باشند (اکثر آنها بسیار بسیار دور از مدار پلوتون) . ولی چون جرم يك ستاره دنباله دار متوسط فقط 10^{16} گرم است ، جرم همه

آنها تنها قریب ۱/۱۰ جرم زمین است. ستارگان دنباله‌دار تصادفی از این مخزن عظیم به نزدیکی خورشید می‌آیند و در اثر تشعشعات آن دنباله‌زیبایی تشکیل می‌دهند که در میان بومیان خرافاتی افریقا ایجاد وحشت و هراس کرده و داستانهای عجیب و غریب دربارهٔ بد-رفتاری اجسام سماوی، نظیر داستان ایمانسوئل و لیکوفسکی الهام می‌کنند.

در پایان باید متذکر شویم که، با استثنای احتمالی در باب کرهٔ ماه خودمان (فصل اول)، اقمار منظومهٔ سیاره‌ای به طریقی بسیار مشابه، اگر نه یکسان، با طریقهٔ تشکیل خود سیارات درست شده‌اند.

بنا بر این نظریات، بر خلاف تئوری کهنهٔ تصادم، باید چنین انتظار داشت که برای هر ستاره کاملاً این احتمال وجود داشته که برای خود یک منظومهٔ سیاره‌ای فراهم سازد. و البته رصدگیری نشان می‌دهد که ممکن است واقعاً چنین بوده باشد. مطالعات مشروحی که در بارهٔ حرکت اختصاصی ستارگان نزدیک، همچون ستارهٔ بارنارد (به فاصلهٔ ۶۱ سال نور) و دجاجه ۶۱ (به فاصلهٔ ۱۱ سال نور)، توسط وان د کمپ^۱ در رصدخانهٔ سیروول و به وسیلهٔ سترااند^۲ در دانشگاه نورثوسترن انجام گرفت نشان داد که حرکت آنها در فضا خط کاملاً مستقیم نیست. این حقیقت وجود رفیقی نامرئی را نشان می‌داد، ولی انحرافات مشهود از خط مستقیم به اندازه‌ای خفیف است که جرم این رفیق نامرئی نمی‌تواند از جرم مشتری بزرگتر باشد. میزان بزرگی آن به میزان عظمت اختری بیشتر نزدیک است تا به بزرگی

1— van de Kamp

2— K. A. G. Strand

سیارات. علاوه بر این، کاملاً امکان دارد که این ستارگان دارای سیارات کوچکتری شبیه زمین ما باشند، ولی دقت اندازه‌گیری که در حال حاضر به دست آوردنی است به اندازه‌ای نیست که بتواند آنها را کشف کند.

فصل پنجم

زندگیهای خصوصی ستارگان

همزیستی اختری

در فصل چهارم رشته چگالشهای متوالی را، به هر طریق، از کهکشانهای ابتدایی اولیه به ستارگان فردی و سیارات و اقمار آنها مورد بحث قرار دادیم. حقیقتی که تاکنون به آن توجه نشده این است که ستارگان فردی، مانند خورشید خودمان - با یا بی منظومه‌های سیارهای - بیشتر جنبه استثنایی نسبت به قانون کلی دارند. قریب ۸۰ درصد کلیه ستارگان را ستارگان بستایی - بالاخص عمدتاً دوتایی ولی در بعضی موارد ستارگان سه‌تایی یا چهارتایی^۱ - تشکیل می‌دهند. در نتیجه مسئله ستارگان بستایی در هر نوع تئوری مربوط به مبدأ و تحول اختری اهمیت اصلی به خود می‌گیرد.

ستارگان دوتایی را منجمان به دوتایی «سرئی» و «طیفی» و

۱- فقط در حدود بیست درصد ستارگان فهرست شده در ردیف ستارگان بستایی قرار گرفته‌اند. ولی این امر احتمالاً مربوط به انتخاب رصدی است.

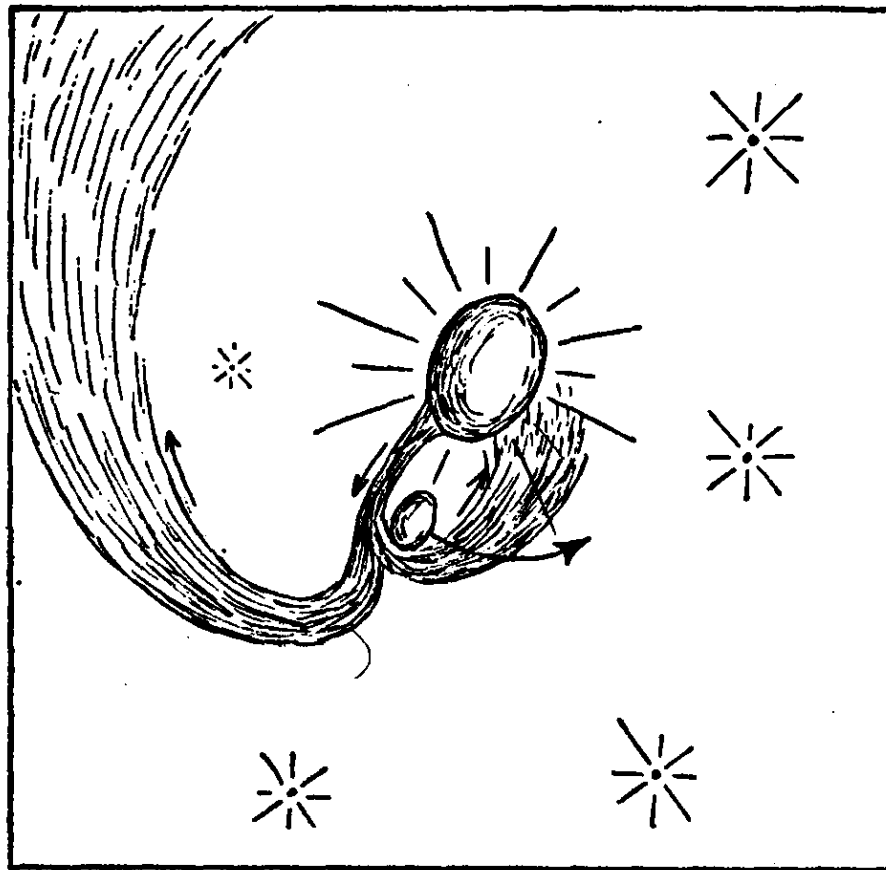
«گرفتی» طبقه‌بندی می‌کنند. ولی این طبقه‌بندی به رصد بیشتر مربوط است تا به طبیعت حقیقی جفت‌های ستاره. هر گاه دو ستاره نسبت به فاصله‌ای که از ما دارند به اندازه کافی از هم دور باشند، به صورت مجزا از یکدیگر مشاهده شوند، چنین جفتی را جفت مرئی می‌نامند. در چنین موردی می‌توان حرکات مداری آنها را مشروحاً مطالعه کرد و حداکثر اطلاع را درباره خواص مکانیکی مجموعه به دست آورد. ولی اگر دو مؤلفه يك جفت ستاره بسیار به هم نزدیک، یا هر گاه مجموعه جفت بسیار دور باشد، رصد تلسکوپی تنها يك نقطه روشن را نشان خواهد داد، و کیفیت جفت بودن ستاره فقط به وسیله طیفنما می‌تواند کشف شود. مؤلفه A در طی نیمی از دوره دوران خود به سوی ما حرکت می‌کند و در نیم دیگر از ما دور می‌شود؛ و مؤلفه B هنگامی که A به سوی ما حرکت می‌کند از ما دور می‌شود و بالعکس. بنا بر این، هر يك از خطوط طیفی ستاره يك انتقال متناوب «دوپلری» نشان خواهد داد. این انتقال خطوط طیفی مستقیماً دوره تناوب دوران مؤلفه‌ها و سرعت‌های مدار آنها، یا به عبارت دقیق‌تر تصویر هندسی حرکت مداری را بر روی خطوط نور به ما می‌دهد. بنا بر این، طیفنما در مورد این گونه ستارگان دوتایی طیفی، نه تنها حقیقت جفت بودن ستاره را آشکار می‌سازد بلکه همان اطلاعاتی را که از طریق رصد برای جفت‌های مرئی به دست می‌آید برای ما فراهم می‌سازد.

در موارد استثنایی ممکن است اتفاق افتد که يك ستاره دو - تایی طوری در فضا قرار گرفته باشد که خط نور صادر از زمین با سطح حرکت مداری مؤلفه‌های آن تقریباً منطبق باشد. در این حالت دو ستاره متناوباً یکدیگر را کسوف می‌کنند و بدین ترتیب اطلاعات اضافی

درباره ابعاد قرصها و اغلب درباره جو خود فراهم می سازند.

از نظر سیر تحولی اختری، ستارگان دو تایی تنها در مواردی دارای اهمیت خاص هستند که فاصله میان دو رفیق به اندازه کافی کوچک باشد - فاصله‌ای در حدود اقطار آنها - تا تأثیرات متقابل فیزیکی میان جوهای آنها تولید کند. مثال نمونه‌ای از این جفتهای نزدیک یا «در تماس»، دومین درخشانترین ستاره صورت فلکی شلیاق - بتاشلیاق - است که از يك ستاره غولپیکر آبی و رفیقی بسیار کوچکتر و مایل به زرد تشکیل یافته است. فاصله میان این دو ستاره تقریباً مساوی قطر مؤلفه اصلی می باشد. شکل ۲۳ که مبتنی بر نتایج رصدی حاصل توسط اوتو شترووه^۱ و مطالعات نظری جرارد پ. کوپر است نشان می دهد که در نتیجه گرانش نیوتنی در طبقات خارجی این ستارگان چه رخ داده است. به نظر چنین می رسد که جریان عظیمی از گاز داغ سطح ستاره بزرگتر را ترك و با سرعت متوسطی در حدود ۳۵۰ کیلومتر در ثانیه به سوی رفیق کوچکتر خود حرکت می کند. ولی به سبب حرکت دورانی مجموعه کامل، این جریان بدون آنکه به هدف خود برسد از عقب ستاره کوچکتر گذشته و در عین حال در اثر میدان گرانشی آن از مسیر خود منحرف می شود. در هر حال قسمتی از جریان در طول مسیر خم شده و به منبع اصلی خود باز می گردد. ولی قسمتهای تندرو جریان آشکارا در فضا پرتاب شده و در امتداد مسیری مارپیچی که تدریجاً توسعه می یابد حرکت می کنند. شاید برخی از این مواد به وسیله مؤلفه کوچکتر جفت جذب، و منجر به افزایش تدریجی جرم آن شده باشد.

در وضع کنونی اطلاعات ما ، بیان اینکه آینده تکاملی این جفت و منظومه‌های کوچکتر چه خواهد بود دشوار است . بالاخص اینکه هنوز رصدگیری نتوانسته است آشکار سازد که آیا چنین مبادله‌ی موادی میان دو ستاره‌ی جفت نزدیک به هم منجر به افزایش یا



شکل ۳۳ - دفع مواد گازی به وسیله «بتا شلیاق» بنابر نظر شتروود و کویپر

کاهش فاصله بین آنها خواهد شد . اگر فاصله افزایش یابد ، ممکن است چنین انتظار داشت که از حجم جریان گاز بتدریج کاسته شده و سرانجام کاملاً از میان برود . اگر فاصله کاهش یابد ، باید تماسی واقعی نتیجه شود که باعث به هم آمیختن ستاره‌ی کوچکتر و بزرگتر و تبدیل آنها به جسم واحد شود .

با تمام اهمیتی که مبدأ منظومه‌های متعدد در کیهانزایی عمومی دارد ، متأسفانه با آنکه مساعی فراوان در این مسئله به کار رفته ، هنوز

تئوری رضایتبخشی برای بیان علت آن در دست نداریم ، به نظر بسیار محتمل می‌رسد که این پدیده به نحوی ارتباط به وجود سرعت‌های زاویه‌ای بسیار بزرگ در مواد اصلی داشته باشد که ستارگان مجموعه از آن تشکیل یافته‌اند. حقیقتی که وجود دارد این است که نسبت درصد ستارگان دو تایی در میان ستارگان متعلق به بازوان مارپیچی (سکنه اختری نوع I) بسیار زیادتر از آن است که مابین ستارگان مسکون در ناحیه تقریباً کروی محیط بر جسم کهکشانی مرکزی (سکنه اختری II) یافت می‌شود.^۱

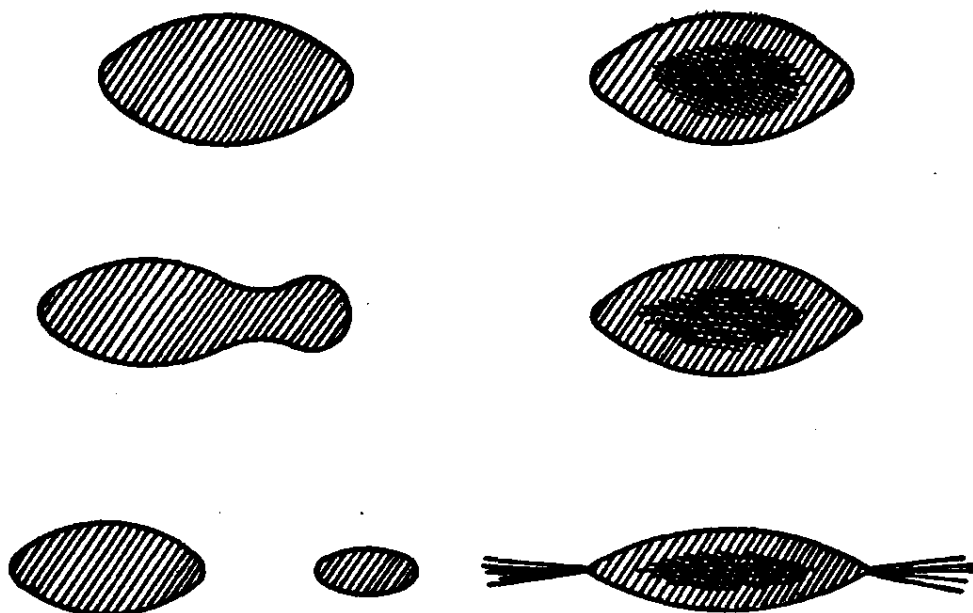
این فکر معقول به نظر می‌رسد که ستارگان دوتایی باید از راه شکافته شدن ستارگان فردی سریعاً دوار به وجود آمده باشند. حقیقت این است که وقتی ستاره نوپدیدی منقبض و شعاع آن کوچکتر و کوچکتر می‌شود ، سرعت دورانی آن تدریجاً افزایش یافته و سرانجام مقداری بحرانی به دست می‌آورد که به ازای آن نیروی گریز از مرکز به اندازه‌ای شدید می‌شود که ستاره را پاره می‌کند ، و در نتیجه يك ستاره دوتایی «در تماس نزدیک» تشکیل می‌دهد . از این پس سرگذشت ستاره دوتایی به وسیله تأثیر متقابل گرانشی میان دو مؤلفه مشخص می‌گردد که ممکن است منجر به افزایش یکنواخت در فاصله میان آنها بشود . هر چه دو ستاره به یکدیگر نزدیکتر باشند این تأثیر متقابل شکل شکننده‌ای به خود می‌گیرد که شبیه است به آنچه در باره بنا شلیاق شرح داده شد . وقتی فاصله بزرگتر شود

۱ - همان طور که شکل ۲۷ نشان می‌دهد ، ستارگان اختری II ، به طور کما بیش یکنواخت در همه جهات اطراف جسم مرکزی پراکنده شده و اکثر حرکت شعاعی (به سوی مرکز یا طرف مقابل آن) دارند ، و دوران زاویه‌ای کوچک و اختلافات سرعت کم نشان می‌دهند.

نیروهای کشندی معمولی وجود خواهد داشت که نظیر نیروهایی است که ماه را از زمین دور ساخته‌اند (فصل اول).

ایراد اساسی وارد بر تئوری شکافتگی مبدأ ستارگان دوتایی در این واقعیت قرار دارد که چنین پاره پاره شدنی را نمی‌توان انتظار داشت که در ستارگان، بسا طرز توزیع معمولی چگالیها در اجسام آنها، وقوع یافته باشد. سر جیمز جینز از راه ریاضیات نشان داده که شکافته شدن يك جسم سریعاً دوار تنها هنگامی می‌تواند روی دهد که چگالی آن از مرکز تا سطح تقریباً یکنواخت باشد. اگر در ناحیه مرکزی ماده تراکم مشخصی وجود داشته باشد، فرایند پاره پاره شدن جریان کاملاً متفاوتی اختیار خواهد کرد؛ در این حالت يك نوع برآمدگی مرکزی (استوایی) لب تیز در ستاره تکامل می‌یابد و مواد به صورت شاخه نازکی از لبه خارج خواهد شد. اختلاف میان این دو حالت در شکل ۳۴ نمایش داده شده. می‌دانیم که همه ستارگان معمولی دارای مراکز بسیار بسیار چگال هستند؛ در ناحیه مرکزی خورشید چگالی قریب صد برابر چگالی متوسط آن است. همچنین موارد بسیاری از ستارگان دوار مشاهده می‌شود که واقعاً مواد را از برآمدگی استوایی خود دفع می‌کنند. در این صورت به نظر خواهد رسید که فرایند شکافتگی تعبیر قابل قبولی نباشد.

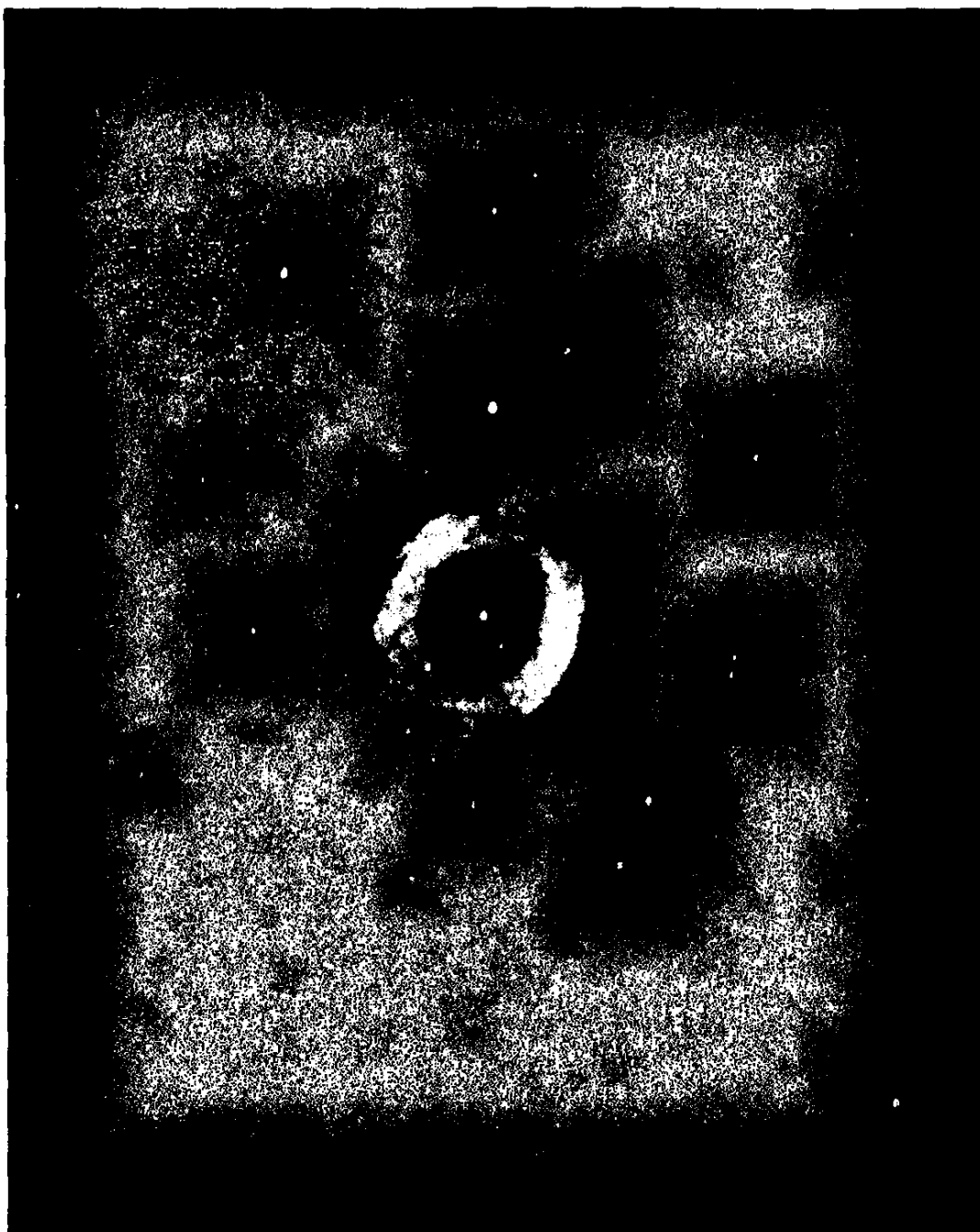
ولی کلیه دانش ما مربوط به ستارگانی است که مدتها قبل تشکیل یافته و برای تعدیل کردن طرز توزیع ماده در درون خود فرصت کافی داشته‌اند. در باره طرز توزیع چگالی در ستاره نوپدید، بلافاصله پس از پیدایش آن از چگالش مواد پراکنده گازی اولیه، هیچ اطلاعی نداریم. چنین «ستاره ابتدایی»، وقتی به اندازه کافی انقباض یافت که سرعت دورانی زیاد به دست آورده باشد، ممکن



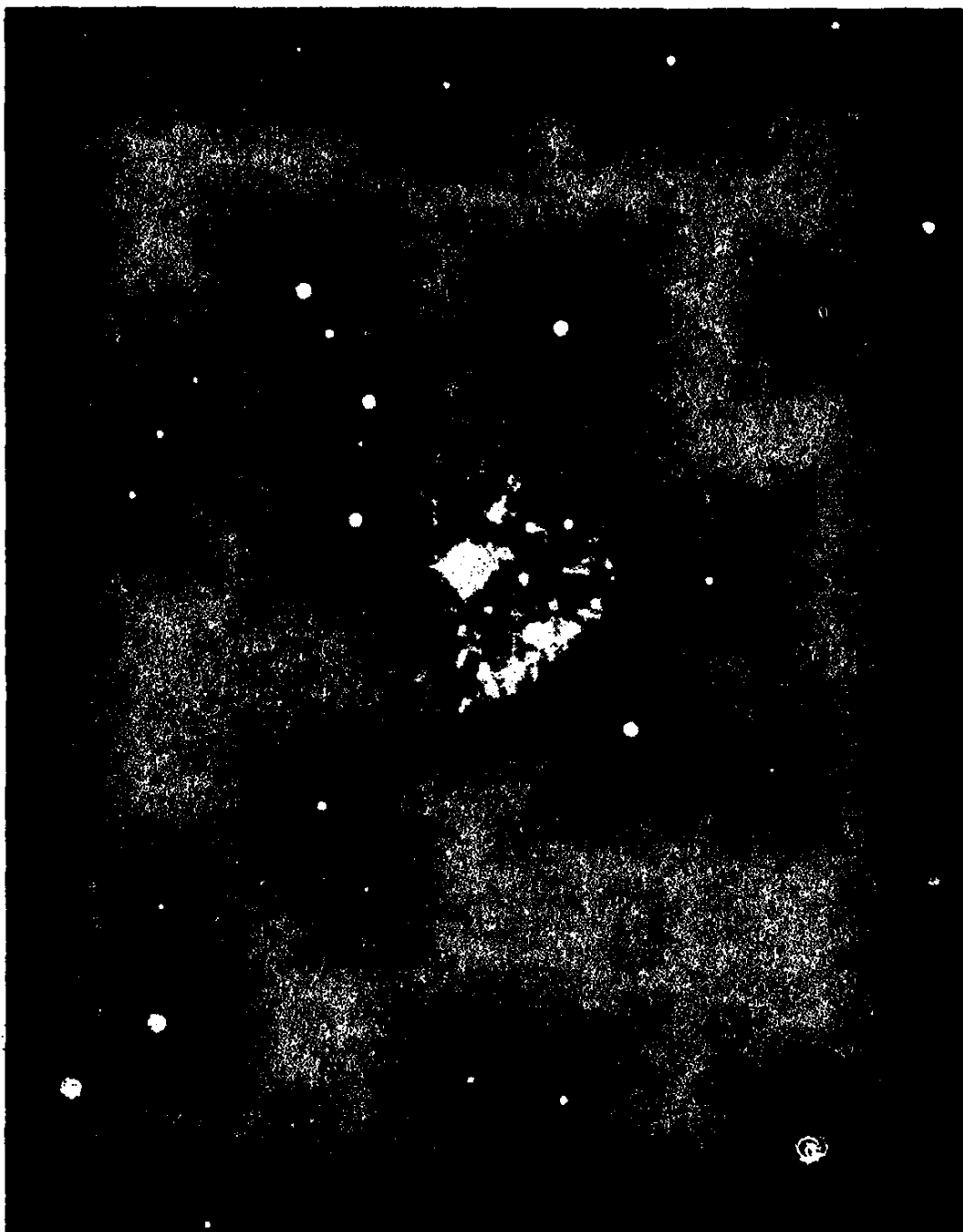
شکل ۴۴ — آنچه بر سر يك ستاره دوار آمده است ، سمت چپ شکل در مورد يك چگالی یکنواخت و سمت راست با يك چگالی مرکزی.

است هنوز توزیع جرم در درون آن به طرز یکنواختی باشد . در چنین شرایطی بازهم ممکن است فرایند شکافت روی داده و دو مؤلفه‌ای به وجود آورده باشد که بعداً با طرز توزیع چگالی متعارفی در جسم خود دو باره تعدیل شوند .

اشکالی که در مسئله مبدأ ستارگان دوتایی ، مانند بسیاری از دیگر مسائل کیهانزایی ، پیش می‌آید این است که هرگز احتمال مشاهده و رصد کردن خود فرایند تشکیل ستاره برای ما فراهم نمی‌شود ؛ در اینجا با فراورده پایان یافته مواجه هستیم . بنابراین ، بسیاری از اجزاء مدارك مهمی را ، که می‌تواند از طریق ارساد تشکیل ستاره به دست آید ، فاقد می‌باشیم . و تئوری ریاضی فرایندهایی را که می‌توان انتظار داشت که در يك جسم واسطه آشفته‌گرانش‌دار روی داده باشد فوق العاده پیچیده و بغرنج و قسمت عمده آن از دسترس



صفحه تصویر VIII . «حلقه سحابی» در شلیاق که یک سحابی سیارهای معمولی است.



صفحه تصویر IX . سحابی گسترده‌ای که از انفجار نواختر برساووش نتیجه شده.

روشهای تجزیه و تحلیل معمولی خارج است. ولی می توان امیدوار بود که در آینده نزدیکی، با استفاده از حسابگرهای الکترونی جدید، پیشرفتهای فراوانی به دست آید و با این حسابگرها بتوان مسائل پیچیده تئودینامیک را به همان آسانی حل کرد که دانش آموز با استعدادی يك مسئله معمولی جبر را می تواند حل کند. وقتی چنین مطالعاتی کامل شد ضمناً به ما خواهد گفت که چرا چگالش ساده پراکنده اولیه در پاره‌ای موارد منجر به تشکیل ستارگان دو تایی یا سه تایی یا بستایی شده، در صورتی که دیگر موارد ستاره فردی یا يك منظومه سیاره به وجود آورده است.

منابع انرژی هسته‌ای

وقتی که ستارگان، در آغاز کار، به وسیله چگالش «کهنکشان» های ابتدایی» اولیه تشکیل یافتند، فقط کرات عظیمی از مواد گازی نیمگرم بودند که به تانی منقبض می شدند. ولی در نتیجه چگالش تدریجی و توأم با رهایی مقادیر فراوان انرژی گرانشی، این کرات گازی سرعت گرم شدند و سطوح آنها شروع به انتشار نور مرئی کرد. هر ستاره مسیر «تحول انقباضی» خود را، از مرحله «حرارت قرمز» نسبتاً کم رنگی با تابناکی نسبتاً پست به سوی مرحله بسیار نورانی سفید پیروی کرد. با توصیف خواص رصد پذیر ستارگان، عادت بر این است که نمودار معروف هرتسپرونگ - راسل را به کار برد (شکل ۳۵) که در آن تابناکی ستارگان (یا بهتر بگوییم لگاریتمهای آن تابناکی) در مقابل رنگ آنها، آن طور که به وسیله دمای سطحی مشخص می شود، رسم شده است، در این نمودار مسیرهای تحولی انقباضی به وسیله خطوط مستقیمی نمایش داده شده که از پایین

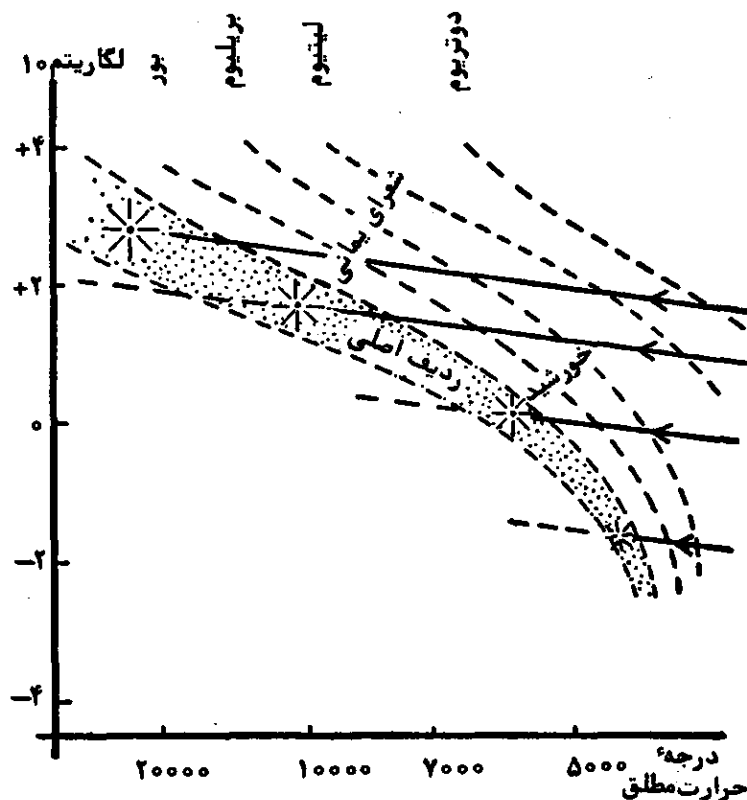
سمت راست آغاز شده به بالای گوشه سمت چپ منتهی می شود. وقتی که ستاره‌ای به وسیله انقباض گرانشی تحول می یابد، دمای سطحی و تابناکی آن پیوسته و نسبتاً سریع با زمان افزایش می یابد. اگر مثلاً وضع کنونی خورشید مرحله‌ای از چنین تحول انقباضی باشد، می توان انتظار داشت که تابناکی آن در هر ده میلیون سال دو برابر می شود؛ در نتیجه ده میلیون سال پیش مقدار تشعشع خورشیدی که بر سطح زمین می تابیده آن اندازه کافی نبوده که بتواند دماهای سطحی را بالای نقطه انجماد آب^۱ نگاه دارد. اگر این مطلب صحیح می بود، اقیانوسهای اعصار اولیه زمین شناختی باید منحصرأ از قطعات یخی تشکیل شده باشند که فقط در زمان نسبتاً تازه‌ای ذوب شده است.

ولی می دانیم که این موضوع نمی تواند درست باشد. مدارك دیرینشناسی نشان می دهد که دمای سیاره ما، در دوره دست کم يك بلیون سال، بسیار نزدیک به مقدار کنونی باقی مانده، و این همان مدت زمانی است که برای توسعه و بسط اشکال حیاتی کنونی لازم بوده است. بنا بر این، ناگزیر باید چنین نتیجه گرفت که خورشید ما، و به قرار معلوم همه ستارگان دیگر، دارای منبع دیگری سرشار از انرژی هستند که آنها را قادر می سازد که يك وضع موجود را مدتی طولانی نگاه دارند، و تردیدی نمی تواند وجود داشته باشد که

۱ - بنا بر قانون شتفان - بولتسمان دمای سطحی زمین (به مقیاس مطلق) همچون ریشه چهارم تابناکی خورشید تغییر می کند. چون دمای کنونی خورشید در حدود ۳۰۰ درجه مطلق است، دمای مربوط به نیمی از تشعشع کنونی خورشید چنین خواهد بود:

$$۳۰۰: \sqrt[4]{۲} = ۳۰۰: ۱.۲ = ۲۵۰ \text{ درجه مطلق}$$

که کاملاً زیر نقطه انجماد آب است.



شکل ۳۵ - نمودار هر تسپرونگک - راسل نشانگر رشته اصلی، مسیرهای تحول انقباضی و «خطوط قابل توقف» مربوط به فعل و انفعال با عناصر سبک را نشان می‌دهد.

این منبع انرژی را باید در تبدیلات هسته‌ای جستجو کرد که در درون داغ ستارگان روی می‌دهد. به محض آنکه دمای مرکزی یک ستاره که سرعت در حال تحول انقباضی است به «نقطه افروزش» فعل و انفعالات هسته‌ای می‌رسد، انقباض متوقف می‌شود، و ستاره در وضع هسته‌ای تازه موجود باقی می‌ماند تا سرانجام این منبع انرژی بیرون کشیده شود.

نمودار هر تسپرونگک-راسل می‌تواند به ما نشان دهد که اغلب ستارگان موجود در امتداد نوار باریکی قرار گرفته‌اند که همچون رشته اصلی شناخته شده‌اند که در سراسر مسیرهای تحول انقباضی سیر می‌کند. پس این رشته باید ردیف و توالی نقاطی باشد که در

آنها منابع انرژی هسته‌ای برای ستارگان با جرمهای متفاوت به کار افتاده است. برای محقق ساختن اینکه چه نوع فعل و انفعال خاصی مسئول متوقف کردن انقباض است، باید دانست که چه نوع شرایط فیزیکی در مناطق مرکزی ستارگان رشته اصلی وجود دارد، و این اطلاع به وسیله تئوری ساختمانی اختری فراهم می‌شود که توسط دانشمند نجوم فیزیک سر آرثر ادینگتن^۱ تکمیل شده است.

نظری اجمالی بر مسئله یافتن دماها و فشارهایی که درون ستارگان حکمفرماست مسلماً آن را بسیار دشوار می‌نماید. ولی در واقع اطلاعاتی را که می‌توان در باب ستاره‌ای که در چند صدسال نور از ما دور است به دست آورد بسیار وسیعتر و معتبرتر از اطلاعاتی است که راجع به قسمت درونی زمین، آن هم چند هزار کیلومتر زیر پای خود، در دست داریم. دلیل این امر آن است که زمین از جامدات و اجسام مذاب ساخته شده، در صورتی که ستارگان کلا و جملگی از گازهایی تشکیل یافته‌اند که تابع قوانین فیزیکی ساده‌تری هستند.

مواد گازی تشکیل دهنده درون يك ستاره از لحاظ خواص فیزیکی خود حتی ساده‌تر از هوای جو است. اتمهای این گاز به سبب دماهای بی‌اندازه زیاد خود به هسته اتمی برهنه و الکترونهای آزاد متلاشی شده‌اند. با دانسته‌های کنونی در باره فیزیک اتمی می‌توان مشخصات يك چنین گازی را با اطمینان و دقت فوق‌العاده پیشگویی کرد و فرمولهای ساده و معتبری برای خواص مکانیکی، بصری، و الکتریکی آنها استنتاج کرد. با در دست داشتن این فرمولها و آغاز کار در شرایط فیزیکی مشهود در سطح يك ستاره، می‌توان

1- Sir Arthur Eddington

شرایطی را که در طبقات درونتر آن حکمفرماست گام به گام تعیین کرد و به ارقامی رسید که مربوط به دما و فشار و چگالی هسته واقعی آن است. این محاسبات نخست برای خورشید خودمان انجام یافته و نشان داده است که در مرکز خورشید باید در حدود بیست میلیون درجه و چگالی قریب صد برابر چگالی آب باشد. بنا به کار بردن همین روش برای ستارگان رشته اصلی، ادینگتن چنین دریافت که ستاره مورد نظر، خواه بسیار کمرنگ و خواه بسیار درخشان باشد، در هر حال دمای مرکزی همیشه نزدیک بیست میلیون درجه است. البته اختلافی میان ستارگان کمرنگ و درخشان وجود دارد، ولی این اختلاف به طرز شگفت آوری خفیف است. این مقدار ۲۰ میلیون درجه آشکارا دمای افروزش فعل و انفعال حرارتی هسته‌ای را نمایش می‌دهد که تابناکی ستارگان رشته اصلی را پا بر جا نگاه می‌دارد.

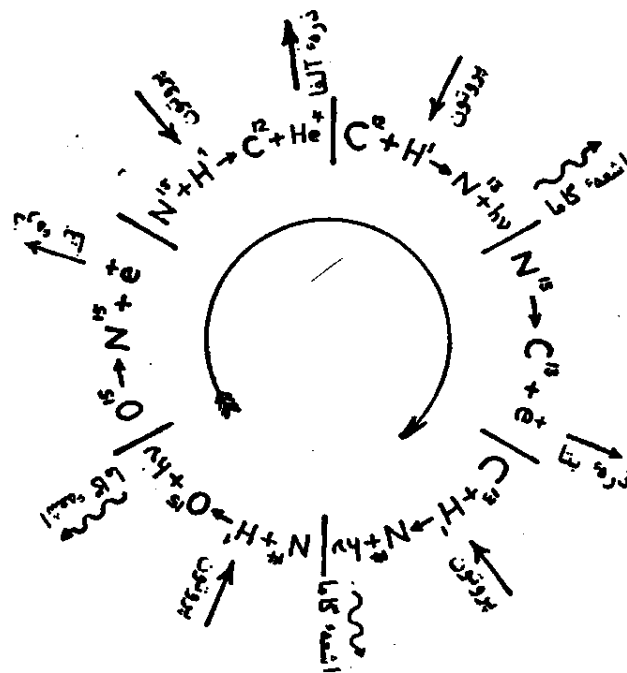
برای برقرار ساختن فعل و انفعال خاصی که در کار است و انواع عناصر شیمیایی که در آن سهیم هستند باید به نتایج فیزیک هسته‌ای، اختیاری و نظری، هر دو، مراجعه کنیم.

چنین معلوم شده است که فعل و انفعال هسته‌ای وقتی روی می‌دهد که دو هسته با چنان سرعتی با هم برخورد کنند که برای نفوذ از سد دافعه الکتریکی ناشی از بارهای مثبت آنها کافی باشد. در نمونه‌های گوناگون اتم‌شکنهایی که در آزمایشگاههای فیزیک به

۱- خواننده نباید تعجب کند که موادی با چنین چگالی زیاد بازهم مانند گاز منظور شده است. مشخصات نمونه و کلی حالت گازی وقتی موجود است که فاصله میان ذرات بزرگتر از ابعاد آنها باشد. چون اتمهای ماده درونی ستاره به ذرات بسیار کوچکتر پاره پاره شده (الکترون و هسته) ، مواد در چگالیهای بالاتر به حالت گازی باقی می‌مانند.

کار رفته، این قبیل تصادمات پرسرعت را به وسیله ذراتی که حرکت آنها در میدانهای ولتاژ بلند تند می شود تولید کرده اند. این گونه تصادم در ستاره در اثر حرکت حرارتی شدید ذرات که ناشی از دماهای بسیار بالاست به وجود می آید. با به کار بردن تئوری کوانتوم مربوط به فعل و انفعالات هسته ای که توسط گندن و گرنتی و مستقل از آنها توسط مؤلف در پنجاه سال پیش تکمیل و بسط یافت، می توان رهایی انرژی را برای عناصر متفاوت در چگالیها و دماهای مختلف محاسبه کرد. چنین محاسباتی نخستین بار در ۱۹۲۹ به وسیله اتکینسن و هاوترمانز انجام یافت. اینان تعیین کردند که تنها فعل و انفعالات هسته ای که می تواند مقادیر مشهود انرژی در شرایط درونی خورشید تولید کند فعل و انفعالات میان تیدروژن و هسته عناصر سبک است.

ولی در آن زمان اطلاعات اختباری در باره انواع گوناگون



شکل ۳۶ - فعل و انفعال هسته ای حلقه ای که مسئول تولید انرژی خورشید است.

فعل و انفعالات هسته‌ای هنوز در مراحل کودکی به سر می‌برد؛ و ۴۰ سال بیشتر نمی‌گذرد که جزئیات فعل و انفعال خورشیدی توانسته است کاملاً برقرار شود.

اکنون می‌دانیم که فرایندی که انرژی هسته‌ای خورشید را فراهم می‌کند شامل يك رشته فعل و انفعالاتی است که « حلقه کربن » نامیده شده است. این رشته فعل و انفعالات هسته‌ای، که توسط بث^۱ و کارل فون وایتسزکر مستقل از یکدیگر در ۱۹۳۸ پیشنهاد شد نتیجه خالص و نهایی آن تبدیل تیدروژن به هلیوم است که با نقش کاتالیزگر کربن و ازت در سراسر دوره تبدیل انجام می‌گیرد.

يك فعل و انفعال « رقیبانه »، که نخست به وسیله کریچفیلد^۲ تقریباً همزمان پیشنهاد شد (شکل ۳۷)، همین فعل و انفعال را به انجام می‌رساند، یعنی بدون کمک هیچ « کاتالیزگر هسته‌ای » تیدروژن را به هلیوم تبدیل می‌کند. حدود ۸۵ در صد انرژی رها شده در خورشید ما به وسیله حلقه کربن انجام گرفته است، در صورتی که فرایند تیدروژن - هلیوم ($H-H$) کریچفیلد متوجه ۱۵ در صد بقیه است. چون این دو فعل و انفعال به میزان وسیعی بستگی به دما دارد، اهمیت نسبی آنها در ستارگان مختلف تغییر می‌کند و مربوط به جرم و تابناکی ستاره می‌باشد. در ستارگانی که بسیار درخشان‌تر از خورشید ما هستند، مثلاً شعرای یمانی، حلقه کربن واقعاً مسئول تولید انرژی است، در حالی که در ستارگانی که کم‌نورتر از خورشید ما هستند منحصرأ وابسته به فرایند $H-H$ هستند.

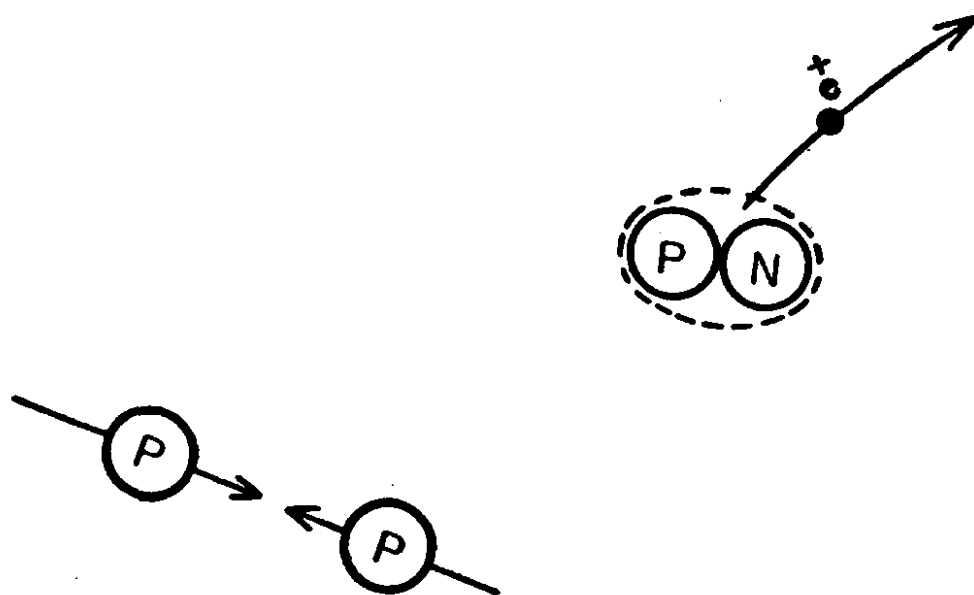
این دو فعل و انفعال، هر دو، بسا فرایندهای مصرف‌کردن

1- H. Bethe

2- C. Critchfield

تیدروژن انجام می گیرند ، ولی چون بیش از نصف مواد اختری را تیدروژن تشکیل می دهد، ستارگان می توانند وضع موجود هسته ای خود را، برای مدتی بسیار طولانی، که چندین برابر بزرگتر از مدت انقباض است ، نگاه دارند. از آنجا که تیدروژن يك ستاره بکنندی تبدیل به هلیوم می شود، شعاع و تابناکی و دمای سطحی آن اصولاً تغییر نکرده باقی می ماند، و تنها وقتی اندکی افزایش می یابد که تیدروژن محتوی در منطقه تبدیل بسیار کم شود.

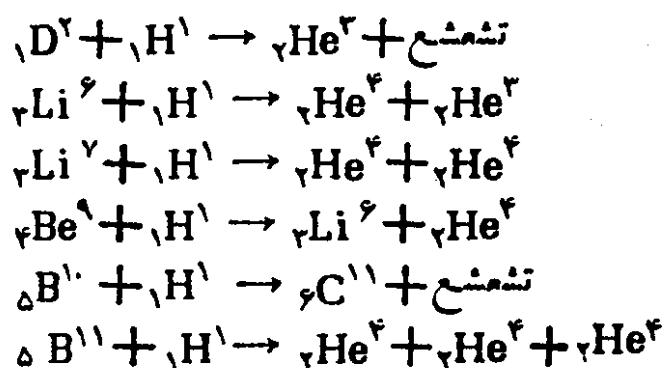
ولی وقتی که تیدروژن از دست برود، ستاره باید انقباض خود را که مدتی مدید متوقف شده بود باز گیرد و «آخرین مرحله» عمر



شکل ۳۷- فرایند $H-H$ کریچفیلد

خود را آغاز کند. پیش از بحث در باره آنچه بر سر يك ستاره در حال مرگ می آید باید تذکراتی چند در باب دیگر فعل و انفعالات هسته ای در میان بگذاریم.

به طوری که مؤلف، با همکاری ادوارد تلر، بعدها نشان داده، ممکن است چنین انتظار داشت که بعضی فعل و انفعالات هسته‌ای در مرحله‌ای نسبتاً قدیمی از دوران انقباض ستاره روی داده باشد. اگر فهرست همه فعل و انفعالات هسته‌ای را که ممکن است میان عناصر سبک روی دهد دقیقاً از نظر بگذرانیم چنین می‌یابیم که شش فعل و انفعال وجود دارد که نقطه افروزش آنها بسیار پایینتر از حلقه کربن یا فرایند تیدروژن - هلیوم است. اینها فعل و انفعالات میان دوتریوم، لیتیوم، بریلیوم، و بور از يك طرف، و تیدروژن از طرف دیگر است، یعنی نقطه افروزش این شش فعل و انفعال بین يك میلیون



و هفت میلیون درجه دما قرار دارد. اختلاف اساسی میان فعل و انفعالات و حلقه کربن این است که دوره‌ای و متناوب نیستند، بدین معنی که عناصر سبک وارد در آنها دوباره به وجود نمی‌آیند. چون دوتریوم، لیتیوم، بریلیوم، و بور معرف جزء بسیار اندکی از کل ماده اختری هستند، انقطاعات دوره انقباض ستارگان جوان که ناشی از این فعل و انفعالات هسته‌ای است باید نسبتاً کوتاه باشد.

ستارگان رو به پیری

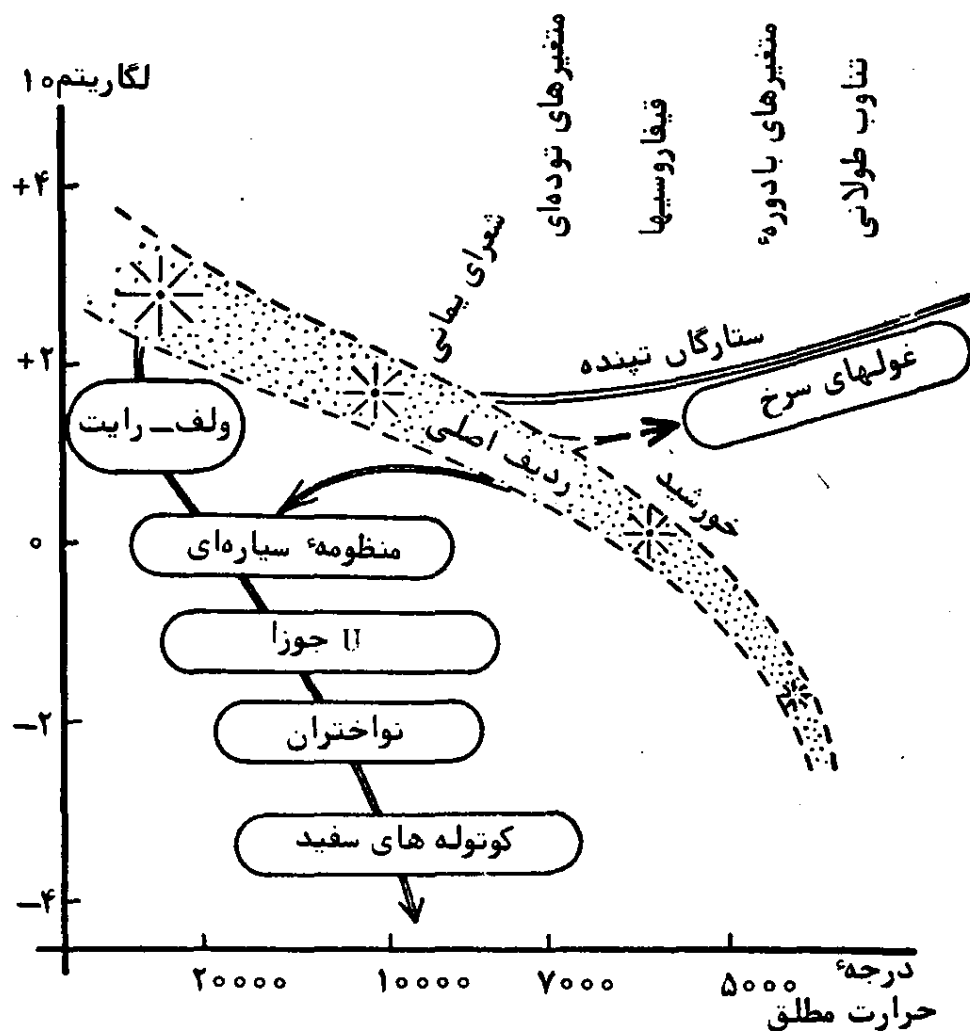
اکنون توجه خود را به مرحله‌نهایی تحول اختری معطوف می‌داریم، یعنی مرحله‌ای که در آن يك ستاره نزدیک به تمام کردن

منابع ئیدروژن خود می شود . به طوری که در فصل اول دیدیم ، می توان انتظار داشت که تمام شدن ئیدروژن برای کلیه ستارگان در دوران کنونی با ذخیره اولیه ، که جرمهای آنها بیش از چهار یا پنج برابر جرم خورشید ما می باشد ، وقوع یابد .

در نمودار هرتسپرونگ - راسل ، این کمر بند ستارگان پیر (شکل ۳۸) رشته اصلی را تا اندازه ای بالای شعرای یمانی قطع می کند ، و همه گونه رفتار غیر عادی وجه تمایز آنهاست .

در سمت راست رشته اصلی گروه وسیعی از ستارگان ، نظیر غولهای سرخ ، وجود دارد که دارای قطرهای بسیار بزرگتر ، چگالیهای متوسط بسیار کمتر ، و دماهای بسیار پستتر از رشته اصلی همجرم می باشند . بسیاری از ستارگان متعلق به این گروه ظاهراً در يك حالت ناپایدار هستند و جسم غولپیکر آنها متورم شده و دوباره فروکش می کند ، و بدین ترتیب سبب تغییرات متناوبی در تابناکی آنها می شود . دوره تناوب تبیدن ، هر چه از خط رشته اصلی دور می شویم ، افزایش می یابد . دوره های تناوب کوتاه ، که از چند ساعت تا چند روز می رسد وجه تمایز «ستارگان متغیر خوشه ای» هستند که معمولاً در خوشه های گلبولی (نام آنها ناشی از همین است) یافت شده و متعلق به سکنه اختری II می باشند . قیفاووسیه ای متغیر با دوره هایی می تبند که از چند روز تا چند ماه است و اکثر در میان سکنه اختری I در مناطق بازوان مارپیچی یافت می شوند . بالاخره دوره های تناوب طولانی متغیری وجود دارد که تغییرات تابناکی کاملاً نامنظمی نشان می دهند ، و اغلب به يك دوره بیش از چند سال می رسند .

در سمت چپ رشته اصلی گروهی از ستارگان منقبض شده



شکل ۳۸ - کمربند ستارگان رو به پیری در نمودار هرتهرونگ - راسل

وجود دارد که چنان دماهای سطحی فوق‌العاده‌ای (چندین هزار درجه) دارا می‌باشند که گاز خارج‌ترین طبقات همیشه دور از فشار تشعشع آنهاست. این گروه شامل «ولف - رایت» (به نام دو کاشف آنها) است که جریانهای گازی با سرعتهای متجاوز بر ۳۰۰۰ کیلومتر در ثانیه دفع می‌کنند. چنین تخمین شده که ستارگان ولف - رایت، که مواد خود را با چنین سرعتی دفع می‌کنند بیش از قریب یک میلیون سال می‌توانند دوام یابند.

فرایند دفعی که شدت آن بسیار کمتر است در هسته «سحابیهای

سیاره‌ای»^۱ مشاهده شده است . این ستارگان گازها را با سرعت نسبتاً پست ده تا بیست کیلومتر در ثانیه دفع می‌کنند ؛ و این گازها بسیار چگالتر از گازهای دفع شده به وسیله «ولف - رایت» نیز می‌باشند. این غلاف گازی که تشعشع ماوراء بنفش ستاره داغ مرکزی آن را روشن می‌کند چنان فلوئورسان می‌شود که رصد مستقیم و عکسبرداری آن آسان می‌شود (صفحه تصویر VIII).

این ستارگان که در يك سمت رشته اصلی قرار گرفته ولی میزان تابناکی آنها تا اندازه‌ای پستتر است ، انواعی از ستارگان هستند که تابع انفجارهای متناوب شدیدی می‌باشند . درست همان طور که ستارگان تپنده حدود وسیعی از دوره‌های تپش را نشان می‌دهند ، زمان میان انفجارهای این ستارگان نیز بین حدود وسیعی قرار گرفته است . نخست ممکن است ستارگان U جوزا (که بر حسب يك نمونه واقعی گروه نامگذاری شده) را ذکر کنیم که بعضی از آنها هر دو هفته يك بار، در صورتی که بعضی دیگر هر چند ماه يك بار، منفجر می‌شوند. یکی از سیماهای بسیار مهم این ستارگان منفجر شونده متناوب را کوکارین^۲ و پرنگو^۳ کشف کردند ، بدین معنی که شدت انفجارها مستقیماً متناسب با زمان بین آنهاست . مثلاً ستاره معروف «AB تنین» به طور متوسط هر دو هفته يك بار منفجر می‌شود

۱ - این نام گمراه کننده است ، زیرا هیچ سیاره‌ای را شامل نیست ، و منحصرأ به این سبب انتخاب شده که غلاف کروی گازی این اجسام همچون قرصی دیده شده است (صفحه تصویر VIII) ، همان طور که سیارات در يك تلسکوپ کوچک دیده می‌شوند .

2 - Kukarin

3 - Parengo

و در ضمن هر انفجار درخشندگی آن تا پانزده برابر درخشندگی معمولی آن افزایش می‌یابد. U جوزا به فواصل زمانی ۹۷ روز با افزایش صد برابر درخشندگی منفجر می‌شود؛ بنابراین فاصله بین دو انفجار آن ۷ برابر فاصله «AB تنین» و انفجار ۷ بار شدیدتر است. این ارتباط میان فاصله و شدت انفجار نشان می‌دهد که در همه ستارگان منفجر شونده متناوب از دسته U جوزا، مقدار متوسط انرژی آزاد شده ثابت است. اختلاف میان تجلیات گوناگون منحصرأ اختلافی است مربوط به فواصل زمان میان رهایی انرژی ذخیره شده، و از این رو به احتمال قوی سر و کار ما با ستارگان همجرم است. کلیه فعل و انفعالات هسته‌ای حرارتی که دما را مشخص می‌سازد، نسبت به جرم اختری بی اندازه حساس است. بنابراین، به نظر غیر ممکن می‌رسد که ستارگان مختلف الجرم با يك نرخ انرژی آزاد سازند. اگر این موضوع درست باشد، ستارگان U جوزا با دوره‌های تناوب متفاوت ممکن است همچون نماینده مراحل تحولی مختلفی در زندگی يك ستاره فردی این دسته ستارگان به شمار روند. به طوری که بعداً خواهیم دید، مسلماً دلایل نظری مناسبی وجود دارد که انتظار این گونه رفتار از ستارگانی برود که ذخیره تیدروژنی خود را تمام کرده‌اند.

علاوه بر ستارگان U جوزا، انفجارات متناوب دیگری از ستارگان وجود دارد که کمیابتر ولی شدیدتر است. دو ستاره معروف «RS حوا» و «U عقرب» به نظر می‌رسند که به طور تناوب از سی تا چهل سال منفجر شوند (برای اولی يك بار و برای دومی دو بار تکرار مشاهده شده). ضمن این انفجارها درخشندگی آنها چند هزار برابر افزایش می‌یابد. البته در این صورت نو اخترانی

معمولی هستند که تابناکی آنها چند میلیون بار افزایش یافته و هرگز مشاهده نشده است که بیش از يك بار منفجر شوند. ولی، با به کار بردن رابطه کوکار کین - پرنگو، چنین به دست می آید که دوره های تناوب انفجاری این ستارگان باید در حدود ده هزار سال باشد که بسیار بزرگتر از دورانی است که علم نجوم به کار افتاده است. صفحه تصویر IX يك نمونه غلاف گازی نورانی را نشان می دهد که به وسیله انفجار نو اختری دفع شده است.

بالاخره انفجارهایی که اهمیت آنها به هیچ وجه کمتر نیست انفجارهای «فوق نو اختری» است که در ضمن آنها ستاره ای درخشندگی خود را بیست میلیون بار افزایش داده و اغلب مجموعه کهکشانه ای را که به آن تعلق دارد تحت الشعاع قرار می دهد. البته انفجارهای فوق نو اختری بسیار نادر هستند. ما هزارها از ستارگان U جوزا را می شناسیم و هر سال ۱۲ انفجار نو اختری در کهکشان خودمان می بینیم، ولی تنها يك انفجار فوق نو اختری در هر چهار قرن پیش می آید.

ممکن است بیت لحم نخستین انفجار فوق نو اختری باشد که در سالنامه های تاریخ ثبت شده است، ولی نخستین مثال از انفجار فوق نو اختری که از لحاظ علمی ثبت شده فوق نو اختر ۴ ژویه ۱۰۵۴ میلادی بوده است. اگر ما به نقطه ای از آسمان نگاه کنیم که منجمان چینی معاصر «ستاره تازه» خود را قرار دادند، می توانیم توده ابری نورانی بیابیم که به سحابی سرطان معروف است و دارای يك ستاره کم نور در وسط خود می باشد (صفحه تصویر X). با آنکه این شیء آسمانی ممکن است شبیه به یکی از سحابیهای سیاره ای (صفحه تصویر VIII)، با قشری که به وسیله يك نو اختر

معمولی (صفحه تصویر IX) دفع می‌گردد ، دیده شود ، در واقع بسیار بزرگتر است . جرم کلی گازهایی که سحابی سرطان را تشکیل می‌دهند تخمین شده است ، و باید در حدود ۹ برابر جرم خورشید باشد ؛ جرم غلافهای نورانی سحابیهای سیاره‌ای هرگز از چند صدم جرم خورشیدی تجاوز نمی‌کند . سرعت انبساط ۱۱۱۱ کیلومتر در ثانیه ، یعنی بزرگترین سرعتی که هرگز در درون کهکشان دیده نشده ، می‌باشد . ستاره مرکز سحابی سرطان ، که تشعشع کیهنجیی را فراهم می‌سازد که جرمهای در حال انبساط را فلوئورسان می‌کند ، به نظر می‌رسد که چگال بوده و دمایی سطحی در حدود نیم میلیون درجه داشته باشد .

نظیر فوق نو اختر چینی سال ۱۰۵۴ تنها دو انفجار فوق نو- اختری در کهکشان ما روی داده است . یکی از آنها توسط منجم معروف دانمارکی تیکو براهه در سال ۱۵۷۲ و دیگری در سال ۱۶۰۴ به وسیله یوهان کپلر ، شاگرد تیکو براهه ، و کاشف قوانین حرکت سیاره‌ای ثبت شده است . با آنکه این دو انفجار تا اندازه‌ای به همان شدت انفجار سال ۱۰۵۴ بودند ، و از قرار معلوم غلافهای گازی مشابهی دفع کردند ، بقایای آنها تصویر تماشایی و جالبی مانند سحابی سرطان نشان نمی‌دادند . علت این امر بیشتر محتمل است مربوط به شرایط نامساعد روشنایی بوده باشد .

کمیابی بی‌اندازه فوق نو اختران در کهکشان ما چنین نمی‌رساند که باید يك قرن دیگر یا در این حدود در انتظار باشیم تا در وضعی قرار گیریم که یکی دیگر از آنها را رصد کنیم . اگر به طور متوسط هر چهار صد سال يك بار يك فوق نو اختر در کهکشان ما پیدا شود ، می‌توان انتظار داشت که هر گاه چند صد کهکشانه مجاور

را زیر رصد قرار دهیم سالی يك فوق نواختر مشاهده کنیم. این طرح مورد قبول والتر باده و فریتس تسویکی^۱ در رصدخانه ماونت ویلسن قرار گرفت، و پس از چند سالی بر تصاویر به حد کافی اعلا از فوق نو اختران دست یافتند که جزئیات فراوانی را فراهم ساختند. مراحل متوالی تکامل و بسط فوق نواختر در صفحه تصویر XI نشان داده شده است.

پس از این بررسی انواع گوناگون ناپایداری اختری، اکنون می توانیم توجه خود را به مساعی گوناگونی معطوف داریم که برای توضیح این پدیده در اصطلاحات نمونه های نواختری به کار رفته که همچون ئیدروژن محتوی در آنها رو به زوال تدریجی است. تئوری کنونی سازمان اختری چنین مسلم می دارد که انرژی آزاد شده به وسیله فعل و انفعالات هسته ای حرارتی در مرکز ستارگان به وسیله دو فرایند مختلف به سطح آنها انتقال یافته است. در ناحیه بلافاصله محیط بر منبع مرکزی انرژی، که محتوی قریب ده درصد جرم اختری است، زینه * حرارتی به حدی تند است که مواد گازی شروع به جریان به سوی خارج در امتداد شعاع می کنند، و به این ترتیب جریانهای همرفتی گردابی فراوانی تشکیل می دهند. در این حالت انرژی بسادگی توسط جریانهای سریع ماده گرم شده به سوی خارج برده می شود، که فرایندی مشابه فرایندی است که در يك قهوه جوش انجام می گیرد.

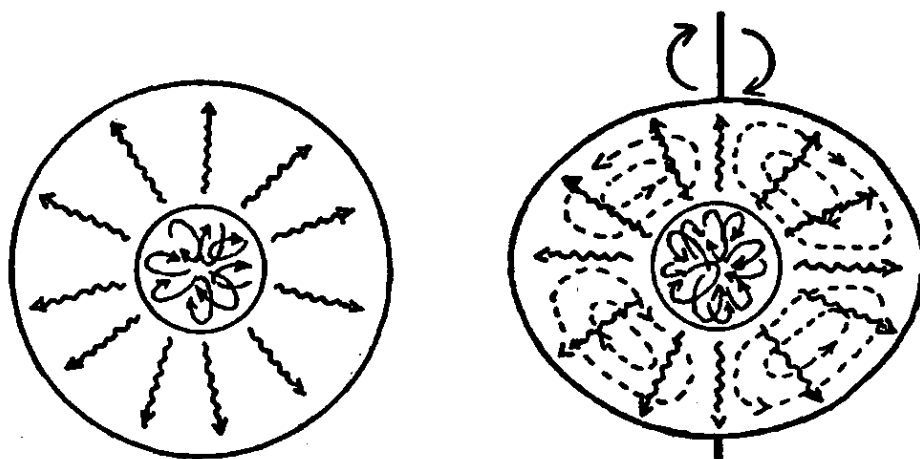
ناحیه آرام ستاره در آن سوی منطقه همرفتی قرار دارد. نود درصد باقیمانده - و در این ناحیه اصولاً حرکت مواد وجود ندارد.

* - اصطلاحی که برای تعیین نرخ تغییر يك متغیر به کار برده شده. (مترجم)

1 - Fritz Zwicky

در سراسر این نواحی حرارت از طریق هدایت مستقیم ، همان طور که در امتداد میله ای فلزی که تنها يك سر آن گرم شده انجام می گیرد، انتقال می یابد (سمت چپ شکل ۳۹) .

جریانهای گردابی در منطقه همرفتی ، نه تنها حرارت را همراه می برند ، بلکه مواد را نیز کاملاً با هم می آمیزند ؛ بدین ترتیب تیدروژن تازه را به ناحیه مرکزی ، که در آنجا فعل و انفعالاتی هسته ای انجام می گیرد، وارد می کنند . چون زمسانی بگذرد ، مواد



شکل ۳۹ - جریانهای همرفتی ، (سمت چپ) در يك ستاره غیر دوار، (سمت راست) در يك ستاره دوار ، سهمهای موجی ریزش تشعشع را نشان می دهد .

منطقه جریانهای همرفتی تقریباً بدون تیدروژن می شوند . نود درصد جسم خارجی اختری ، که در سراسر آن حرارت به وسیله هدایت جریان می یابد ولی فعل و انفعالات هسته ای در آن انجام نمی گیرد ، ممکن است تیدروژن اولیه خود را در واقع دست نخورده نگاه دارد . ولی در ستارگانی که دوران سریع دارند وضع بکلی متفاوت است . بنا بر قضیه تسایپل^۱ انتظار می رود که این گونه ستارگان دارای

1 - Zeipel

جریانهای همرفتی فرعی باشند که از مرز منطقه همرفتی به نحوی گذشته و به سطح ستاره می‌رسند (سمت راست شکل ۳۹). اگر چنین باشد، و اگر جریانها به اندازه کافی تند باشند، تیدروژن محتوی در ستاره ممکن است ادامه به این دهد که در سراسر مجموعه تنه ستاره یکنواخت شود.

اگر همان طور که در ستارگانی که به سرعت دوران می‌کنند ممکن است انتظار داشت، زوال ذخیره تیدروژن به طور یکنواخت در سراسر مجموعه جسم ستاره وقوع یابد، اتمام نهایی تیدروژن محتوی در ستاره آن را اصولاً در همان حالتی می‌گذارد که پیش از به کار افتادن منبع انرژی هسته‌ای دارا بوده است. آنوقت انتظار می‌رود که ستاره انقباض خود را که قطع شده بود ادامه دهد. بنا بر این، موضع ستاره در نمودار هر تسپرونگت-راسل تندتر و تندتر به سمت چپ رشته اصلی حرکت خواهد کرد، یعنی به سوی ناحیه اشعه کمتر، تابناکی شدیدتر، و دمای سطحی بالاتر.

در مرحله معینی از انقباض، دمای سطحی محققاً به اندازه‌ای زیاد می‌شود که فشار تشعشع به جدا شدن از جو خود آغاز خواهد کرد؛ چنین کیفیتی در ستاره «ولف - رایت» و در سحابیهای سیاره‌ای رصد شده است. باز هم پس از این، یعنی وقتی که دما در قسمت‌های مرکزی ستاره به چند بیلیون درجه رسید، ممکن است انتظار داشت که يك فرايند هسته‌ای تازه و نامتعارفی وقوع یابد. به طوری که مؤلف با همکاری شونبرگ^۱ نشان دادند، فعل و انفعالات هسته‌ایی که در چنین دمایی انجام می‌گیرد ممکن است انتظار رود که مقادیر

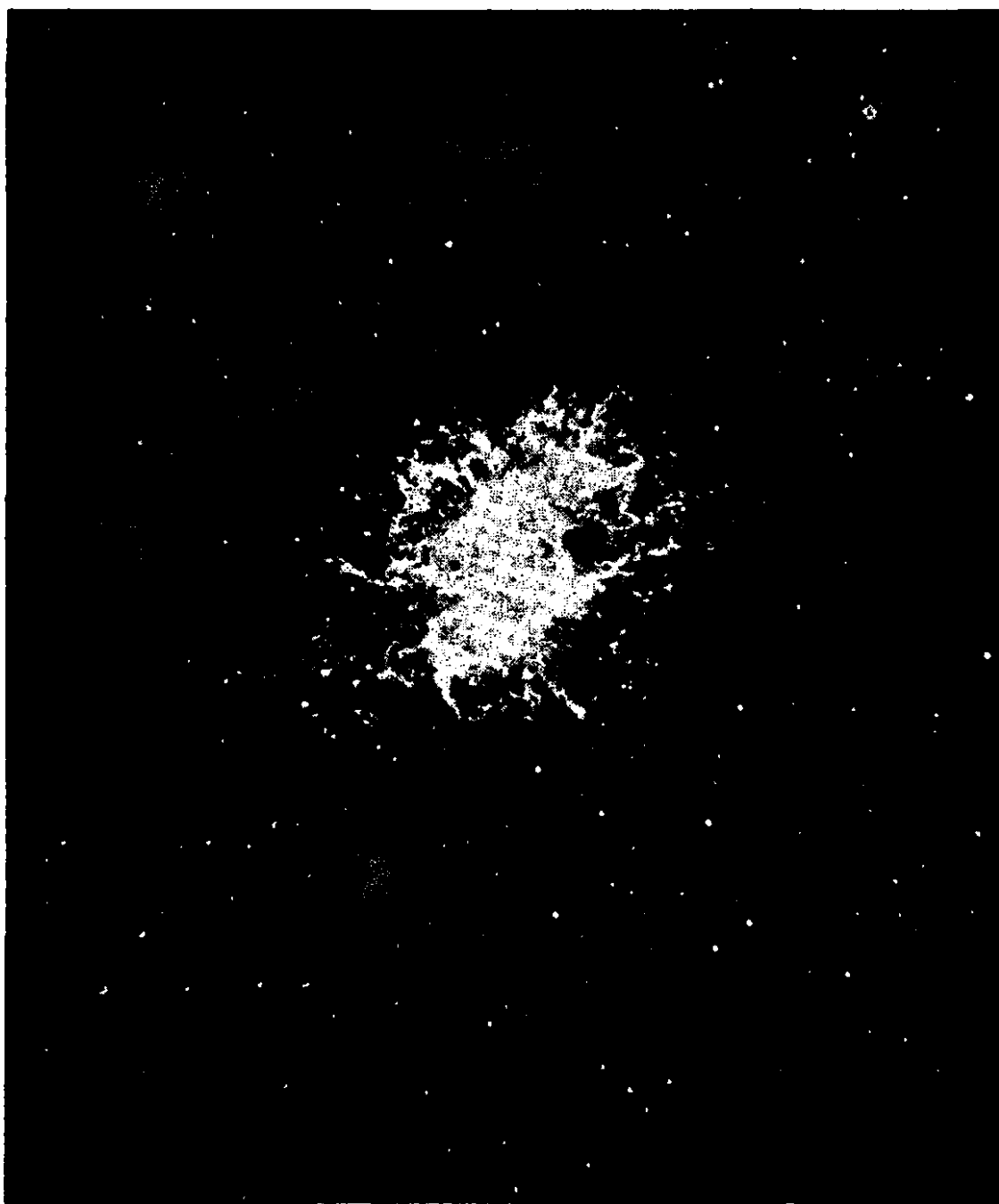
1 - M. Schönberg

فراوانی نوترینوس^۱ تولید کنند که از تنه ستاره گریخته و حرارت درونی را خارج کنند. سرد شدن درون ستاره به وسیله این فرایند که به «فرایند اورکا» - به نام کاسینو دا اورکا^۲، از ریود ژانیرو - موسوم است به اندازه‌ای سریع است که می‌توان انتظار فرو ریختن کل ستاره را داشت. در ضمن یک چنین فرو ریختن ناگهانی مقادیر هنگفتی از مواد فوق‌العاده گرم نورانی به خارج افکنده خواهد شد. این گونه پدیده، چه واقعاً در جهان مایه‌ای داده باشد یا بتواند موجب بعضی انفجارهای اختری رصد شده به شمار رود - مثلاً فوق نواختری -، هنوز در مرحله بحث است.

در این موارد که اختلاط مواد اختری محدود و منحصر به منطقه همرفتی مرکزی است، تحول ستارگان مختلف ممکن است مسیرهای اساساً متفاوتی اختیار کرده باشد. بآسانی می‌توان درک کرد که تمام شدن ئیدروژن در منطقه همرفتی مرکزی ممکن است منجر به یک گسترش «شعله هسته‌ای» بشود که از مرکز به سوی نخستین مرز میان مناطق همرفتی و غیر همرفتی که سوخت ئیدروژن هنوز به مقادیر فراوان در آن موجود است کشیده می‌شود. در این مرحله، ساختمان ستارگان معروف به «مدل منبع قشری» نسامیده خواهد شد (شکل ۴۰)، که مشتمل بر یک هسته همدمای بدون ئیدروژن (یک منطقه همرفتی پیشین) است که به وسیله غلاف پر ئیدروژن

۱ - نوترینوها ذراتی هسته‌ای هستند که معمولاً از فرایند تبدیل بتا خارج می‌شوند. چون بار برقی و عملاً جرم ندارند، نیروی نفوذ عجیبی داشته و فقط طبقه‌ای از سرب به ضخامت چند سال نور می‌تواند آنها را متوقف سازد.

2 - Casino da Urca



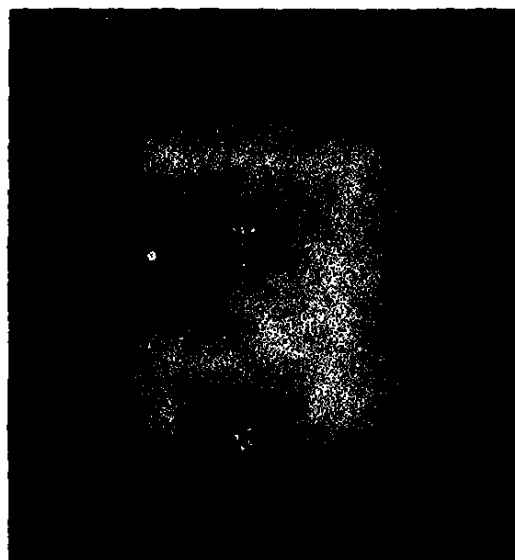
صفحه تصویر X. سحابی خرچنگ در صورت فلکی ثور



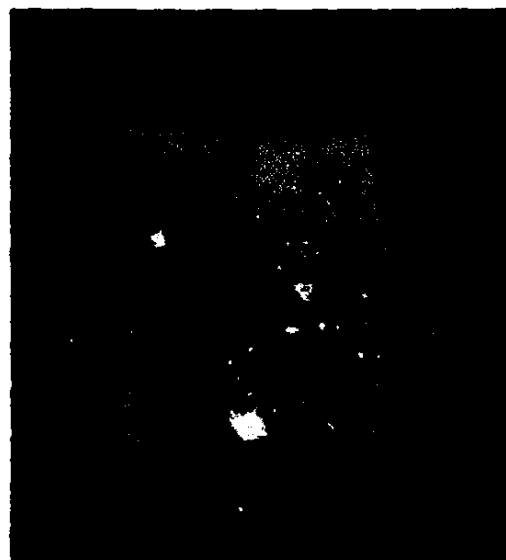
ب - در آغاز انفجار ؛ حداکثر درخشندگی.



الف - پیش از انفجار ؛ نور آن کافی برای رصد نیست.



د - باز هم دیرتر؛ برای رصد به اندازه کافی روشن نیست.

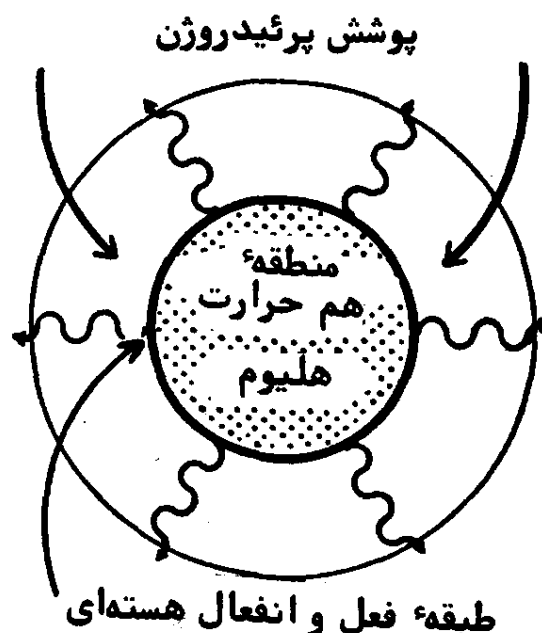


ج - پس از انفجار ؛ نور آن ضعیف می شود.

يك فوق نواختر : چپار مرحله

صفحه تصویر XI . (عکسهایی که در مرحله الف و د برداشته شده بیش از دو عکس دیگر زمان لازم داشته اند تا بتوانند ساختمان کیهان را نشان دهند.)

احاطه شده است . آنوقت فعل و انفعال هسته‌ای (حلقه کربن) در وجه درونی قشر محیطی انجام خواهد گرفت . این فرایند از نزدیک بسیار شبیه به گسترش حلقه آتش است در چمن خشکی در يك روز آرامی هوا.



شکل ۴۰ - مدل منبع قشری

خواص يك مدل منبع قشری نخستین بار توسط مؤلف با همکاری کریچفیلد (آزمون معروف $H-H$) و کلر و به وسیله پژوهشگران دیگر مطالعه شد. ولی اغلب رفتار احتمالی چنین ستاره‌ای هنوز در معما پیچیده است. به نظر چنین می‌رسد که از دو مسیر تحولی متفاوت - هر دو از لحاظ ریاضی امکانپذیر-، وقتی که قشر تولید کننده انرژی به سوی سطح حرکت می‌کند، یکی را باید انتخاب کرد.

اولی آن است که شعاع ستاره ممکن است به آن سوی حد

افزایش یابد و در نتیجه سقوط پیوسته و منظمی در دمای سطحی پدید آید. در این حالت ستاره در سراسر نمودار هرتسپرونگ - راسل به سوی منطقه اشغالی غولپیکران سرخ حرکت خواهد کرد. آ. ریتس^۱ در سوئد واقعاً نشان داد که مدلی از ستاره عیوق می تواند با این فرض ساخته شود که تبدیل از طریق حلقه کربن در سطح درونی قشری وقوع یافته که هسته بدون ئیدروژن را احاطه کرده است.

دومین امکان این است که خواص ستاره کاملاً مانند خواص ستارگان رشته اصلی باقی بماند تا وقتی که ابعاد هسته بدون ئیدروژن از حد معینی تجاوز کند؛ آنوقت ستاره قادر خواهد بود که تعادل پایدار خود را محفوظ نگاه دارد. مؤلف و لونگمیر^۲ نشان داده اند که می توان انتظار داشت که ستاره به حالتی تغییر یابد که در آن حالت شعاع آن تابع تغییرات متناوب کندی شود. وقتی که منبع قشری انرژی در حال رشد درست از مقدار بحرانی، که در آن تعادل امکان پذیر است، تجاوز کند، این نوسانات دوره تناوب نسبتاً کوتاه و دامنه کوچکی خواهند داشت. بتدریج که منبع قشری انرژی رشد می کند، دوره تناوب زیادتر و دامنه بزرگتر می شود.

البته نوساناتی با دوره تناوب طولانی که از بررسی ریاضی يك منبع قشری مدل به دست می آید تغییرات کندی نشان می دهند و مستقیماً کمکی به ادراك فرایند انفجار خود بخود نمی کنند. ولی در مراحل معین و در مرز میان هسته گرم بدون ئیدروژن و غلاف تا اندازه ای سرد پرنئیدروژن ممکن است يك پایداری همرفتی برقرار

1- A. Riez

2- C. Longmire

سازد، و اختلاط سریعی در دو منطقه روی دهد. اگر چنین اتفاق افتاده باشد تأثیری به دست خواهیم آورد که نظیر همان است که با خالی کردن سطلی پر از بنزین سرد بر روی زغال داغ سرخ به دست می-آید؛ انرژی هسته‌ای به صورت برق زنده‌ای آزاد خواهد شد و ستاره همچون بمبی منفجر می‌شود. عظمت و شدت انفجار طبیعیاً بستگی به جرم ناحیه مرزی ناپایدار دارد، و محتمل است که قشر مولد انرژی هر چه به سوی سطح نزدیکتر شویم بزرگتر شود. اگر این مطلب صحیح باشد ستاره نمونه‌ای خواهیم داشت که به وسیله انفجارهای متناوب با شدت دائم التزاید مشخص شده و در فواصل زمانی که پیوسته رو به افزایش است واقع می‌شود. همین ممکن است تعبیر [فوق نواختر $\rightarrow$ نواختر $\rightarrow$ U جوزا] باشد که قبلاً شرح دادیم.

هر گاه این نظر را بپذیریم باید کلیه انفجارهای اختری را همچون مراحل متوالی در تحول يك ستاره رو به کهولت منظور کنیم که با طره‌های کوچکی از نوع U جوزا آغاز و به انفجارات فوق نو اختری پایان می‌یابد. ولی تا کنون این تئوری به مقدار زیاد متکی بر حدس و الهام است، و تا وقتی که واقعاً يك تجزیه و تحلیل ریاضی، که نوعاً طولانی و پر زحمت است، تکمیل نشود نمی‌تواند مانند يك تئوری استوار به شمار رود. چنین محاسباتی مورد اندیشه و نظر است و شاید به وسیله يك حسابگر الکترونی انجام گیرد. هر کس می‌تواند تصور مناسبی از پیچیدگی این کار به دست آورد که با يك تخمین نسبتاً محتاطانه حل این مشکل نیازمند به خدمات صد حسابگر انسانی در مدت صد سال خواهد بود. ولی حسابگر الکترونی، که به مزاح آن را مانیاك (یعنی دیوانه) نامیده‌اند و اکنون

دو نوع آن، که یکی در پرینستن و دیگری در لوس آلاموس ساخته شده، شاید در عرض يك هفته مشکل را حل کند.

پیش از آنکه مسئله انفجار ستارگان را کنار بگذاریم باید این نکته را تذکر دهیم که مقایسه امکانات نظری مختلف با وسایل موجود، در نتیجه این حقیقت پیچیده و درهم می شود که فهرست انفجارات اختری معلوم ممکن است ستارگان دو گروه سنی مختلف را جمعاً شامل باشد. از يك طرف ستارگان رو به پیری از ذخیره اولیه ای می باشند که چهار یا پنج برابر سنگینتر از خورشید ما هستند، و پیش از آنکه ذخیره ئیدروژنی آنها تمام شود قریب سه بیلیون سال زندگی کرده اند. از طرف دیگر ستارگان بسیار سنگینتری با مبدأ بسیار تازه تر وجود دارد که ئیدروژن خود را بسرعت سوزانیده اند. پیش از آنکه حوادث رصد شده را به یکدیگر ارتباط داده و يك تئوری مبتنی بر رصدها و ارتباط احتمالی آنها با یکدیگر بسازیم، باید بتوانیم این دو گروه را از هم جدا کنیم، و متأسفانه این امر به هیچ وجه کار آسانی نیست.

ستارگان مرده

تا اینجا تمام زندگی يك ستاره را، از انقباضات اولیه تا تجلیات جالبی که ممکن است با تشنجات احتضار مرگ مقایسه شود، مورد بحث قرار دادیم.

ولی يك ستاره مرده چگونه به نظر می رسد؟

هرگاه يك ستاره مرده را همچون ستاره ای تعریف کنیم که در آن هیچ منبع انرژی باقی نمانده و، در نتیجه، تغییرات تحول بعدی در آن امکانپذیر نباشد، ستارگان معروف به کوتوله های سفید در

این زمره قرار می گیرند. اینها گروهی از ستارگان بی اندازه چگال و داغ در پایینترین گوشه سمت راست نمودار هر تلسپروننگ-راسل هستند (شکل ۳۵). رفیق معروف شعرای یمانی مثالی نمونه ای از يك کوتوله سفید است. قطر آن چندان بزرگتر از قطر زمین نیست ولی جرمش تقریباً برابر جرم خورشید خود ما می باشد. کوتوله های سفید مرحله حد انقباض اختری را نشان می دهند، و چگالی متوسط آنها در حدود يك میلیون برابر چگالی آب است. مطالعات نظری مربوط به ساختمان درونی آنها تعیین می کند که آخرین اثر ئیدروژن از دست داده و به سبب اینکه هنوز زمان کافی نگذشته است که سرد و اجسام تاریکی بشوند، هنوز هم گرم هستند. گرمی آنها همان است که يك لاشه چند دقیقه پس از مرگ نشان می دهد؛ ولی به سبب حرارت زیادی که در آنها وجود داشته، بیلیونها سال لازم خواهد بود تا سرد شوند. در کهکشان ما تقریباً يك کوتوله سفید در مقابل ده ستاره رشته اصلی که زندگی فعالی دارند، وجود دارد، و همین نشان می دهد که کهکشان ما هنوز نسبتاً جوان بوده و گورستان آن هنوز پر نشده است. به احتمال قوی همه کوتوله های سفید کهکشان ما بقایای ستارگان نسبتاً پر جرمی بوده اند که ذخیره ئیدروژنی خود را به شیوه مسرفانه مصرف کرده اند. ستاره کم نور در مرکز محابی سرطان به احتمال قوی یکی از تازه ترین موارد مرگ و میر اختری است. البته این ستاره هنوز به تراکم رفیق شعرای یمانی نیست، و گرمای آن هنوز هم به طرز قابل توجهی زیادتز از این ستاره است که چند صد میلیون سال از مرگ آن می گذرد. ولی سرانجام به این حالت خواهد رسید، و با گذشت زمان لاشه های اخترهای زیادتز و زیادتزی ده افلاك پهناور جهان یافت خواهد شد.

نتیجه گیری

اکنون به پایسان سخنرانی خود می‌رسیم ، و تصویری از کیفیت و فرایند آفریننده تجلی خود را آغاز می‌کند - تصویری که تا اندازه‌ای مبهم و ناپیوسته ، ولی در رئوس مطالب کاملاً مشخص است . در تاریکی گذشته «پیش - کهکشانی» نظری اجمالی از عهد ماوراء فیزیک سنت آوگوستین به دست می‌آوریم که وقتی جهان ، از هر چه ساخته شده بود ، شامل یک فروریختگی عظیم بود . البته در باره آن عهد ، که می‌تواند از منهای بینهایت تا قریب سه بیلیون بیش طول کشیده شده باشد ، هیچ اطلاعی نداریم ، چون جمیع مدارك باستانشناختی مربوط به این گذشته دور باید هنگام فشرده شدن جرمهای کیهانی به صورت خمیر ، بکلی از میان رفته باشد . جرمهای جهان باید از تراکم عظیم به حالت کاملاً پاره پاره خارج شده و ایلم اولیه نوترونها و پروتونها و الکترونها را تشکیل داده باشند . بتدریج که در طی انبساط ایلم به سرعت سرد شد ، این ذرات ابتدایی شروع به چسبیدن به یکدیگر کردند و اجتماعاتی از ترکیبات مختلفی

تشکیل دادند که «پیش نمونه» هسته‌های اتمی امروزی هستند. در طی این نخستین دوره «بخت و پز هسته‌ای» که بیش از يك ساعت به طول نینجامیده، شرایط موجود در سراسر جهان تقریباً همان بوده که در مرکز يك بمب اتمی در حال انفجار موجود است. فضای کیهانی پر از انرژی تشعشعی گاما بوده و چگالی جرمی آن از چگالی ماده اتمی بی‌اندازه تجاوز می‌کرده است. دما در سراسر جهان نزدیک به يك بیلیون درجه، ولی چگالی ماده قابل مقایسه با چگالی هوای جو در ارتفاعات بسیار بالا بوده است.

به دنبال این نخستین ساعت بی‌اندازه بارور از تاریخ جهان، هیچ حادثه خاصی برای ۳۰ بیلیون سال بعد روی نداده است. گاز شامل اتمهای نو پدید به انبساط ادامه داده و دمای آن کمتر و کمتر شده است. انرژی تشعشعی که در آفرینش نقش عمده را در عمل تحول ایفا کرده بتدریج اهمیت خود را از دست داده و در پایان سال سی بیلیون تفوق خود را تسلیم ماده اتمی معمولی کرده است. به محض آنکه ماده کار را تحویل گرفت، نیروی گرانش نیوتنی که یکی از مهمترین مشخصات ماده «وزن دار» را بیان می‌کند وارد کار شد و گاز را که تا آن زمان متجانس بود به ابرهای غولپیکر کهکشانه‌های ابتدایی پاره پاره کرد. در آن عهد دما به درجه‌ای که آن را «دمای اطاق» می‌نامیم پایین آمد به طوری که با آنکه کاملاً تشاریک بود هنوز نسبتاً گرم بود.

در حالی که کهکشانه‌های ابتدایی اولیه به واسطه انبساط دائمی از یکدیگر دور و دورتر شدند، مواد درون آنها شروع کردند به چگالیدن به صورت جماعات کوچکتر فراوان که ستارگان ابتدایی نامیده شدند؛ به سبب حجم نسبتاً کوچک این ستارگان ابتدایی،

انقباض آنها کاملاً سریع پیشرفت کرد ، و بزودی دمای آنها به مقداری رسید که در آن دما فعل و انفعال هسته‌ای میان ئیدروژن و عناصر سبک گوناگون امکانپذیر شد ، و فضا در حالی که ستارگان بیشمار آن را روشن کرده بودند بازهم نورانی شد . وقتی که ستارگان به واسطه انقباض مواد گازی کهنکشانهای ابتدایی تشکیل شدند ، بعضی از آن مواد در همسایگی آنها به جا مانده و از آنها منظومه‌های سیاردای برخاستند . سیارات کوچکتر از آن بودند که بتوانند منابع اختصاصی انرژی هسته‌ای خود را خلق کنند ، بدین جهت سرعت سرد شدند و قشرهای سنگی جامدی به وجود آوردند . با کمک تشعشعات صادر از خورشیدهای مربوط ، بعضی ترکیبات شیمیایی که در سطح این سیارات وجود داشت ، در يك سیر تحولی که هنوز بخوبی درك نشده کشیده شدند که به وسیله آن مواد آلی پیچیده و پیچیده‌تر به وجود آمد . بدین ترتیب سطوح سنگی بستره سیارات اکنون از فرشهای سبز چوبها و چمنزارها پوشیده شدند . جانوران ، نخست جانورانی ابتدایی و سپس پیچیده و پیچیده‌تر ظاهر شدند و سرانجام به صورت موجود انسانی تکامل یافتند که هوش او آن اندازه است که پرسش و پاسخ مسائل مربوط به حوادثی را که بیلیونها قبل از به وجود آمدن وی رخ داده مطرح می کند .

شاید یکی از شگفت‌ترین نتایج حاصل از تحقیق و بررسی ما در داستان جهان این واقعیت باشد که حوادث تحولی اصلی مربوط به تکامل فیزیکی فقط جزء بسیار کوچکی از دوره کل را اشغال کرده است . البته مفهوم این امر آن است که تحول و تکامل آلی به میزان بسیاربطئی‌تر از مقیاس وسیع اعمال فیزیکی جهان انجام گرفته است .

بدیهی است کمتر از يك ساعت برای ساخته شدن اتم ، چند
میلیون سال برای ساخته شدن ستارگان و سیارات به کار رفته است ،
ولی برای ساخته شدن انسان سه بیلیون سال لازم بوده است .

ضمیمه

ریاضیات مربوط به روش هومز (ضمیمه فصل اول)

با این فرض که روشهای زمینشیمیایی می تواند غلظتهای نسبی اورانیوم و سرب را در نمونه های مختلف تغییر دهد ولی هرگز فراوانی نسبی ایزوتوپها را تغییر نمی دهد ، هومز سه معادله زیر را برای سه نمونه سنهای زمینشاختی مختلف t_1 ، t_2 ، t_3 به دست آورد:

$$\frac{a_i - x}{b_i - y} = R(t_0) \frac{1 - e^{-\lambda(t_0 - t_i)}}{1 - e^{-\lambda(t_0 - t_0)}} \quad (i = 1, 2, 3)$$

که در آن a_i و b_i غلظتهای نسبی مشهود Pb^{206} و Pb^{207} (در رابطه با Pb^{204}) در نمونه ای از عهد t_i ؛ λ و λ_1 ، تباهی ثابتهای U^{238} و U^{235} ؛ $R(t_0)$ مقدار نسبی U^{238} و U^{235} در زمان صفر t_0 (این محاسبه از روی مقادیر نسبی مشهود کنونی آنها و مقادیر ثابت تباهی به دست آمده است) ؛ x و y غلظتهای نسبی Pb^{206} و Pb^{207} اولیه (نسبت به Pb^{204}) می باشند . با حل معادله برای نمونه های سه گانه ، هومز برای هر يك از موارد مقادیر x ، y و t_0 را به دست آورد . مقدار نقل شده سال $t_0 = 3.35 \times 10^9$ مقدار متوسطی است که از بسیاری

نمونه‌های سه گانه به دست آمده است .

انرژی پتانسیل و انرژی جنبشی انبساط (ضمیمه فصل دوم)

کره بزرگی به شعاع R فرض کنید که آن اندازه کهکشانه‌ها را شامل باشد که بتوان آن را به طور یکنواخت پر شده از ماده فرض کرد (سمت راست شکل ۳) . ماده در حرکت از مرکز دور می‌شود، به طوری که ممکن است بخوبی آن را منطبق بر کهکشان خودمان فرض کنیم . سرعت حرکت به سوی خارج ، هر چه ماده از مرکز دورتر باشد بزرگتر است . بنابر قانون هبل ، کهکشانهایی که در فاصله r قرار گرفته‌اند با سرعت $v = ar$ در حرکتند که در آن a برای ضریب عددی فرمول هبل که در متن کتاب آمده نوشته شده است . انرژی جنبشی ماده متحرک در درون کره ، طبق معمول ، از نصف حاصلضرب جرم در مجذور سرعت به دست می‌آید . چون سرعت از مقدار صفر (نزدیک مرکز) تا مقدار $\dot{R} = a.R$ در محیط کره ، تغییر می‌کند ، باید مقدار متوسطی را به کار ببریم . تجزیه ریاضی نشان می‌دهد که این مقدار باید $3/5$ مقدار سرعت محیطی باشد . بابه کار بردن این رقم ، و نوشتن ρ برای چگالی ماده در کره ، برای انرژی جنبشی عبارت زیر به دست می‌آید :

$$K = 1/2 \rho R^3 \dot{R}^2 = 1/2 \rho a^2 R^5 \quad (1)$$

از طرف دیگر ، انرژی پتانسیل U مربوط به گرانش نیوتنی میان

۱ - در فرم مبسوط :

$$K = 1/2 (4/3 \pi R^3 \rho)^2 \times 3/5 (a\dot{R})^2 = 2/5 \pi \rho a^2 R^5$$

جرمهای درونی کره عبارت است از :

$$U = -\gamma \times 10^{-7} \rho^2 R^5 \quad (2)$$

چون U و K هر دو متناسب با همان قوه R (قوه پنجم) هستند ، نسبت آنها بستگی به حجم کره مورد نظر دارد ، یعنی :

$$\frac{K}{U} = \frac{1.8 \times 10^6 \times a^2}{\rho} \quad (3)$$

اگر $a = 1.9 \times 10^{-17}$ اختیار شود ، و برای چگالی متوسط ماده در جهان مقدار بسیار محتمل گرم سانتیمتر مکعب $\rho = 10^{-20}$ را قبول کنیم (فقط يك اتم ئیدروژن در هر سانتیمتر مکعب) ، چنین به دست می آید که نسبت K/U مساوی ۶۵۰ است . انرژی جنبشی جهان در حال انبساط به طور آشکار بسیار بزرگتر از انرژی پتانسیل گرانش نیوتنی آن است . کهکشانه‌ها با سرعت‌های بسیار بزرگتر از سرعت گریز دور از هم در پروازند ، و انبساط هرگز متوقف نخواهد شد . اگر ، بنا بر نظر بر ، چنین فرض کنیم که فواصل بین کهکشانی دو برابر بزرگتر از آن است که قبلاً فرض کردیم ، a نصف مقدار قبلی آن خواهد بود ، و مقدار چگالی متوسط جهان $1/8$ مقداری است که به کار رفت . بنابراین ، فرمول (۳) نسبت K/U را ۱۳۰۰ خواهد داد و نتیجه گیری ما باز هم با حاشیه اطمینانی بیشتری استوار خواهد ماند .

۱ - در فرم مبسوط:

$$U = G/RM^2 = -G/R(\frac{4}{3}\pi\rho R^3)^2 = -16/15 \pi^2 G \rho^2 R^5$$

که در آن مقدار ثابت نیوتن $G = 6.66 \times 10^{-8}$ است .

دما و تغییرات چگالی در جهان در حال انبساط (ضمیمه فصل دوم)

اگر عبارت (۱) و (۲) را برای انرژیهای جنبشی و پتانسیل در جهانی در حال انبساط به کار ببریم، آنوقت می‌توانیم معادله‌ای را که بر جهان حکمفرمایی می‌کند، با بیان این نکته که حاصل جمع انرژی جنبشی و انرژی پتانسیل در هر قسمت از جهان در طی انبساط ثابت می‌ماند (قانون بقای انرژی)، بنویسیم. بنابراین، معادله زیر را به دست می‌آوریم:

$$(۴) \quad \text{مقدار ثابت} = \rho^2 R^5 - 7 \times 10^{-7} \rho^2 R^2 = 1.26$$

که رابطه میان هر فاصله R و میزان تغییر R را به دست می‌دهد. این معادله که از ملاحظات ساده مکانیک به دست آمده درست همان است که از معادلات تانسوری پیچیده تئوری نسبیت عمومی اینشتین به دست خواهد آمد. اکنون نیازمند به ادراک نتایج این معادلات برای مراحل قدیمی انبساط هستیم، یعنی برای زمانی که چگالی و دما هر دو در جهان بی اندازه زیاد بوده‌اند.

شناسایی اهمیت عظیم تشعشع در طی مراحل قدیمی جهان در حال انبساط به ما اجازه می‌دهد که بیان ساده‌ای برای دمای فضا در دوره‌های مختلف پس از آغاز انبساط استنتاج کنیم. اگر ρ را در معادله (۴) منحصرأ برای نشان دادن چگالی تشعشع در نظر گیریم،

۱ - در فرم مبسوط:

$$\text{مقدار ثابت} = \rho^2 R^5 - 15/16 \pi^2 G \rho^2 R^2 = 5/2 \pi$$

چنین خواهیم یافت^۱ که t ثانیه پس از آغاز انبساط دمای فضا باید :

$$T = \frac{1.5 \times 10^{10}}{\sqrt{t}} \text{ درجه مطلق} \quad (5)$$

بوده باشد .

تا وقتی که تئوری بیان صحیحی برای دما در جهان در حال انبساط فراهم می‌سازد ، به عبارتی منجر می‌شود که در آن عامل مجهولی برای چگالی ماده وجود دارد. بآسانی می‌توان به دست آورد^۲ که چگالی ماده در جهان باید بستگی به سن آن داشته باشد ، که شامل عامل ثابت ولی مجهول ρ است .

$$\rho = \frac{\rho^0}{t^{3/2}} \quad (6)$$

۱ - معادله فوق را می‌توان چنین نیز نوشت :

$$\frac{\dot{R}}{R} = \sqrt{\frac{8\pi G \rho}{3}} + \frac{\text{مقدار ثابت}}{R^2}$$

با این فرض که $\rho = \frac{aT^4}{c^2}$ (قانون شتفان-بولتسمان) و $\dot{R}/R = -\dot{T}/T$

(قانون وین) ، با صرف نظر کردن از جمله دوم زیر رادیکال ، به دست می‌آید:

$$-\dot{T}/T = \sqrt{8\pi G/3 \times aT^4/c^2}$$

که تبدیل می‌شود به :

$$T = \sqrt[4]{\frac{3c^2}{32\pi Ga}} \times \frac{1}{t^{1/2}} = \frac{1.5 \times 10^{10}}{t^{1/2}}$$

$$\rho \sim \frac{1}{R^3} \sim T^3 \sim \frac{1}{T^{3/2}} \quad -2$$

فرایند ساخت اتم (ضمیمه فصل سوم)

از لحاظ ریاضی ، معادله ساختمانی را می توان چنین نوشت:

$$\dot{n}_A = v n_0 (\sigma_{A-1} n_{A-1} - \sigma_A n_A) \quad (7)$$

که در آن n_0 تعداد نوترونها ، n_A و n_{A-1} تعداد هسته های مختلط باوزنهای A و $A-1$ ، و سرعت نوترونهایی است که مشخص کننده تعداد تصادمات است . چون محاسبات برای ایلیم در حال انبساط و سرد شدن انجام یافته ، باید فرض شود که دما و چگالی مواد ، به موجب بالا تابع زمان است.

«پایان»