



حسیب‌آثر - امراتلی

آیا خورشید چگونه هستی یافته و گرما و روشنایی همیشگی آن از کجاست؟ و سر نوشت نهایی آن چه خواهد بود؟ مگر نه آنکه زندگی و پیشرفت و سعادت بشر همه در گرو آن انرژی است که از آفتاب می‌تابد؟ مؤلف می‌کوشد تا در این کتاب به ساده‌ترین بیان، خلاصه‌ای از اکتشافات اساسی و نظریه‌هایی را، که برای پیدا کردن نظر کلی دربارهٔ پیدایش و تکامل جهان ما راهنمای خوبی خواهد بود، در دسترس خوانندگان بگذارد.

چاپ اول بهمن ماه ۱۳۳۵
چاپ دوم تیر ماه ۱۳۴۲
چاپ سوم، سازمان کتابهای جیبی، ۱۳۴۶

ژرژ گاموف

پیدایش و مرگ خورشید

ترجمه احمد آرام



سازمان کتابهای صبی

تهران - خیابان شاهرضا - خیابان خارك - شماره ۶۵

تلفن ۶۵۷۶۳

This is an authorised translation of
THE BIRTH AND DEATH OF THE SUN
by George Gamow. Copyright 1940, 1945, by George
Gamow. Published by the Viking Press, New York.

با همکاری مؤسسه انتشارات فرانکلین

این کتاب در پنج هزار نسخه در شرکت سهامی افست به چاپ رسید.

حق چاپ محفوظ است.

فهرست مندرجات

صفحه ۱	مقدمه جناب آقای دکتر مصاحب
۴	مقدمه مؤلف
۷	مقدمه چاپ ۱۹۵۲

فصل اول: خورشید و انرژی آن

۱۴	خورشید و زندگی
۱۶	واحد انرژی
۱۷	تشنه انرژی خورشید
۱۸	درجه حرارت خورشید
۱۹	چگالی خورشید
۲۱	نمودهایی که در سطح خورشید ظاهر می شود
۲۳	عمر خورشید
۲۵	آیا خورشید به راستی «می سوزد»؟
۲۷	نظریه انقباض
۲۸	انرژی زیر اتمی

فصل دوم: گالبد شناسی ائومها

۳۰	اتوم به عنوان مفهومی فلسفی
	الف

فهرست مندرجات

۳۱	کیمیایگری و جنون طلاسازی در قرون وسطی
۳۳	شیمی مقدماتی
۳۵	نظریه حرکتی حرارت
۳۶	انرژی حرکت مولکولی
۴۰	اندازه‌گیری سرعت مولکولی
۴۳	آمار و روش توزیع ماکسول
۴۴	آیا اتمها واقعا ذرات عنصری هستند؟
۴۶	آب طلا دادن قدیمی عربی
۴۷	بار برقی اتمها
۴۸	اتومی بودن بار برقی در اجسام کوچک
۵۱	الکترون به عنوان ذره عنصری برق
۵۲	جرم يك الكترو ن
۵۴	نمونه اتمی
۵۷	عدد اتمی و سلسله عناصر
۵۸	ایزوتوپها
۶۰	ساختمان ورقه ورقه ای اتم
۶۲	میل ترکیب شیمیائی
۶۳	مکانیک رسمی در اتم کار نمی‌کند
۶۵	قوانین کوانتوم
۶۷	مکانیک جدید
۶۹	مسئله هسته اتم

فصل سوم: تبدیل عناصر به یکدیگر

۷۰	اکتشاف رادیو اکتیویته
۷۲	تجزیه و انحلال اتمهای بسیار سنگین
۷۵	انرژی آزاد شده و دوره‌های تجزیه و انحلال
۷۷	نظریه «ترشح» ذرات α
۷۸	خروج ذرات β برای برقرار کردن تعادل برقی هسته است
۸۰	بازگشت به کیمیا

۸۱	عکسبرداری از بمباران هسته
۸۳	شکافتن اتوم نیتروژن
۸۷	بمباران کردن به وسیله پروتونها
۸۹	اتومشکافهای یابرق ساکن
۹۲	سیکلوترون
۹۵	گلوله‌های «نافذ» جدید
۹۶	نتایج بمباران بانوترون
۹۷	منفجر ساختن هسته

فصل چهارم: آیا انرژی زیراتومی را می توان مهار کرد؟

۹۸	انرژی به جای طلا
۹۹	انرژی زیراتومی به نسبت خیلی ناچیز آزاد می شود
۱۰۰	حد احتمال اصابت گلوله بارداری به یک هسته
۱۰۱	رخنه کردن در دژ هسته
۱۰۲	تلاشی به وسیله همنوایی
۱۰۴	بمباران کردن بانوترونها
۱۰۵	فعل وانفعالهای تصاعدی هسته
۱۰۹	بهای انرژی اورانیوم
۱۱۰	تجدید نظر درباره آنچه گذشت: ساختمان اتوم

فصل پنجم: گیمپای خورشید

۱۱۴	انرژی زیراتومی و گرمی خورشید
۱۱۵	فعل وانفعالات حرارتی هسته
	درجه حرارتی که برای فعل وانفعالات حرارتی هسته -
۱۱۷	لازم است
۱۲۱	چگونه می توان يك «موتور زیراتومی» ساخت؟
۱۲۳	کوره خورشید
۱۲۴	فعل وانفعالی که در خورشید صورت می گیرد
۱۲۹	تحول خورشید

۱۳۴ پس ازان چه؟

فصل ششم: خورشید در میان ستارگان

- ۱۳۵ درخشندگی ستارگان چه اندازه است؟
 ۱۳۷ رنگ ستارگان و طبقه بندی طیفی آنها
 ۱۴۱ نمودار راسل
 ۱۴۴ جرم ستارگان
 ۱۴۶ فعل و انفعالات هسته ای در ستارگان
 ۱۴۸ فعل و انفعال رقیبی در ستارگان سبکتر
 ۱۴۹ نشو و نما و دوره زندگی ستارگان
 ۱۵۱ تحول ستارگان و ارتباط میان جرم و نورانیت
 ۱۵۳ جوانی و پیری ستارگان

فصل هفتم: غولهای سرخ و جوانی خورشید

- ۱۵۵ بعضی از غولهای سرخ برجسته
 ۱۵۹ درون غولهای سرخ
 ۱۶۰ فعل و انفعالات عناصر سبک
 ۱۶۱ موجود نبودن عناصر سبک در خورشید
 ۱۶۲ فعل و انفعالات عناصر سبک در غولهای سرخ
 ۱۶۴ تکامل غولهای سرخ
 ۱۶۷ ستاره های تپنده
 ۱۷۰ نظریه مربوط به ستاره های تپنده
 ۱۷۱ سه گروه ستاره تپنده
 ۱۷۲ علت تپش

فصل هشتم: گوتوله های سفید و احتضار خورشید

- ۱۷۴ پایان سیر تکاملی ستارگان
 ۱۷۵ فرو ریختن ماده
 ۱۷۹ خواص ماده در حالت بهم کوفتگی

- ۱۸۰ بزرگترین تخته‌سنگ چه اندازه می‌تواند باشد
۱۸۲ مشتری به‌عنوان بزرگترین پاره‌سنگ
۱۸۳ ارتباط میان جرم و شعاع اجرام ویران شده
۱۸۶ کوتوله‌های سفید
۱۸۹ هنگام احتضار خورشید ما

فصل نهم : آیا ممکن است خورشید منفجر شود

- ۱۹۱ نواختران
۱۹۳ طبقه‌بندی انفجارهای کوکبی
۱۹۶ اندازه احتمال منفجر شدن خورشید
۱۹۸ حالت پیش‌از نواختری ستارگان
۲۰۰ کیفیت انفجار
۲۰۳ چه چیز سبب انفجار ستارگان می‌شود؟
۲۰۵ فوق نواختران و «حالت هسته‌ای» ماده

فصل دهم : تشکیل ثوابت و سیارات

- ۲۱۰ ستارگان همچون «قطره‌های گاز»
آیا کیفیت پیدایش ستارگان در زمان حاضر نیز -
ادامه دارد؟
۲۱۴ منشأ کوتوله‌های سفید
۲۱۵ منشأ سیارات چه بوده؟
۲۱۶

فصل یازدهم : جهانهای جزیره‌ای

- ۲۲۲ کهکشان یا جاده شیری
۲۲۴ شماره ستارگان آسمان
۲۲۴ ابعاد منظومه اختری ما
۲۲۶ حرکت ستارگان در داخل کهکشان
۲۲۸ سرعت ستارگان
۲۲۹ دوران کهکشان

- ۲۳۰ عمر کهکشان
 ۲۳۰ « کهکشانهای دیگر »
 ۲۳۲ فاصله‌ها و ابعاد سحابیهای خارج کهکشانی
 ۲۳۴ « سحابیهای » خارج کهکشانی سحابی نیستند
 ۲۳۵ دوران سحابی خارج کهکشانی و منشأ بازوهای مارپیچی

فصل دوازدهم : تولد جهان

- ۲۳۷ سحابیها می‌گریزند
 ۲۳۹ جهانی که گسترش پیدا می‌کند
 ۲۴۲ کدام يك سالخورده تر است: ستارگان یا کهکشانها ؟
 مرحله ابتدایی گسترش جهان و آفرینش عناصر -
 ۲۴۳ رادیو آکتیو
 ۲۴۵ بیپایانی فضا

فصل سیزدهم : نتیجه

- ۲۴۶ نتیجه
 ۲۴۹ گاهنامه
 ۲۵۰ ضمیمه
 ۲۵۰ بومبهای اتمی
 ۲۵۷ فهرست اعلام و مطالب
 تصاویر ضمیمه

مقدمه



مقدمه نویسی بر کتاب **پیدایش و مرگ خورشید** برای این جانب که در هیچ‌یک از مسائل مورد بحث در کتاب تخصص ندارم امری دشوار و شاید ناصواب است؛ ولی وقتی دوست دانشمند آقای احمد آرام این کار را به من تکلیف کردند به دواعی انجامش را پذیرفتم. اول اطاعت امر ایشان که بر من فرض بود. اما علت دوم عبارت است از اهمیتی که این‌گونه کتب از جهات مختلف دارد.

سالیان بسیار متمادی است که در ممالک متمدن، برای مطلع ساختن مردم از ترقیات سریع و شکفت‌انگیز علمی و فنی و غیره، رسائلی منتشر می‌شود حاوی رؤوس نظریات و اکتشافات جدید با زبانی حتی الامکان ساده و درخور فهم مردم غیر متخصص. اگرچه در این ممالک و رسائل نشر اطلاعات منحصر به کتاب نیست، و برای این منظور از سخنرانیها و رادیو و جراید و غیره نیز کمال استفاده می‌شود، کسانی که این ممالک را دیده‌اند می‌دانند که تعداد رسائلی که «برای همه» نوشته می‌شود، و نیز عده‌ی طالبین و خریداران آنها، شگفت‌آور است.

متأسفانه تا چند سال پیش، گذشته از اینکه ترجمه‌ی فارسی این

قبیل رسائل در دست نبود، تحصیل اصل آنها نیز دشوار بلکه تاحدی غیر عملی بود؛ و این جانب خوب به خاطر دارم که وقتی در مدرسه‌ی متوسطه تحصیل می‌کردم چه رنج و مرارتی در راه تهیه‌ی کتبی از این قبیل می‌بردم، و نیز شاهد و ناظر رنج و مرارت سایر طالبین اطلاعات جدید بودم. خوشبختانه چند سال است که مترجمین ایرانی دست زده‌اند به ترجمه‌ی بعضی رسائل خارجی که «برای همه» نوشته شده است، و اگرچه در بعضی موارد انتخاب متون به خوبی انجام نگرفته و نقل به فارسی چنانکه باید به عمل نیامده است، اساس فکر که حاکی از درک احتیاج به دانستن پیشرفتهای دانش بشری است، به خصوص برای ما که بیش از حد تصور از قافله‌ی علوم و فنون دور مانده‌ایم، کمال اهمیت را دارد. ذکر این مطلب مفید به نظر می‌رسد که نویسندگان بعضی از رسائل مورد بحث، به خیال اینکه به عده‌ی بیشتری بهره برسانند، در ساده نمایاندن مطالب افراط می‌کنند، تاحدی که خواننده را از مشکلات مسائل و عمق آنها دور می‌سازند، و احیاناً منشأ تصورات باطلی در خواننده‌ی نامتخصص می‌گردند. البته این‌گونه اشتباهات از طرف نویسندگان متخصص که کتبی برای استفاده‌ی همه می‌نویسند سر نمی‌زند یا به ندرت سر می‌زند. در هر حال چون احتمال چنین خطری هست، بر مترجمین ایرانی که به مطلع ساختن عامه‌ی ایرانیان از فرهنگ خارجی همت گماشته‌اند فرض است که در انتخاب متون نهایت دقت را بنمایند تا نیت خیر آنان منجر به گمراه کردن مردم نشود.

ترجمه‌ی رسائل مورد بحث به زبان فارسی در توانا ساختن این زبان نیز اهمیت به‌سزایی دارد. چنانکه در موارد دیگر گفته و نوشته‌ام، خالصانه معتقدم که زبان فارسی امروزی در وضع اصطلاحات و بیان دانش عمیق بشری عصر حاضر بسیار ناتوان و ناپخته است. امیدوارم روزی برسد که دانشمندان و متفکرین ایرانی گردهم آیند و چاره‌ای بیندیشند و به زبان صلب امروزی قابلیت انعطافی بدهند تا ما نیز مانند اروپاییها و آمریکاییها بتوانیم با آوردن پیشوندها و پسوندهای مناسب و توسل به ریشه‌های لغات، برای بیان معانی لغاتی بسازیم بدون اینکه اساس زبان را دستخوش هرج و مرج و احیاناً بازیچه‌ی سلیقه‌های شخصی قرار

دهیم. در هر حال آنچه قطعی است این است که مترجمین دقیق آثار علمی خارجی خدمت بزرگی به پروراندن زبان شیرین فارسی می‌کنند. فی الجمله، رساله‌ی حاضر دارای جمیع مزایایی که به آنها اشاره شد می‌باشد. اگرچه اصل کتاب برای استفاده‌ی عموم نوشته شده، مؤلف دانشمند آن که در مسائل مورد بحث در کتاب سرشناس جهانیان است، هیچ‌گاه دقت را فدای جلب مشتری بیشتری ننموده، بلکه مانند راهنمایی پر صبر و حوصله دست خواننده را می‌گیرد و او را از راه راست به‌گردش در فضای لایتناهی و انرژی‌های بی‌حدی که در آن نهفته است می‌برد. اگرچه اسم کتاب این توهم را ایجاد می‌کند که فقط خورشیدمورد بحث است، فصول اولیه‌ی آن اطلاعات مفید و جامعی (تأحدی که از رساله‌ی با این حجم می‌توان انتظار داشت) از مسائلی که امروز همه‌جا سرزبانها افتاده و اغلب مردم تشنه‌ی وقوف بر آنها هستند به خواننده می‌دهد، از قبیل ساختمان ماده و انرژی اتمی و غیره.

اما راجع به ترجمه‌ی فارسی کتاب حق آن است که فقط به این مطلب اکتفا شود که احمد آرام آن را ترجمه کرده است. این خود بهترین معرف رساله‌ی حاضر است، چه بین اهل علم کسی سراغ ندارم که این مرد دانشمند را نشناسد و از توانایی او در نقل متون معضل به فارسی و خدمتی که از این راه به پروراندن و پخته کردن زبان فارسی نموده است غافل باشد.

امیدوارم تحسین بی‌وقوفی چون من قدر کتاب را نشکند، و خوانندگان در مطالعه‌ی آن ساعات لذتبخشی نظیر آنچه من گذرانده‌ام بگذرانند.

غلامحسین مصاحب

تهران ۲۰ دیماه ۱۳۳۵

مقدمه مؤلف

تولد و مرگ خورشید



آیا خورشید ما چگونه پا به عالم هستی گذاشته و چیست که پیوسته آن را گرم و روشن نگاه می‌دارد و سرنوشت آخری آن چه خواهد بود؟ اینها سؤالاتی است که مورد توجه همه ساکنان کره ماست، چه زندگی و پیشرفت و سعادت آنان همه از آن انرژی که از آفتاب تشعشع می‌کند سرچشمه می‌گیرد.

از آن هنگام که اندیشه علمی در جهان پیدا شده، مسئله انرژی خورشید از مسائلی بوده است که بسیار درباره آن بحث شده و در عین حال ازدشوارترین معماهای طبیعت به‌شمار می‌رود. تنها در این ده سال اخیر است که امکان آن فراهم آمده تا با کمال امیدواری در صدد برآیند که برای روشن ساختن معمای پیدایش انرژی خورشید راه حلی عملی پیدا کنند، و بنا بر آن جواب سؤالاتی را که به گذشته و حال و آینده خورشید نورانی و سوزان ما ارتباط دارد به دست آورند. در پایان کار به این نتیجه رسیده‌اند که منبع این همه انرژی ساطع از خورشید تحولات

و تبدلاتی است که در عناصر موجود در جرم خورشید صورت می‌گیرد، و در واقع همان منقلب شدن عناصر به یکدیگر که آن همه مورد علاقه و آرزوی کیمیاگران قرون وسطی بوده عملاً در خورشید صورت می‌گیرد و از آن این انرژی عظیم حاصل می‌شود.

از آنجا که خورشید یکی از اعضای خانواده‌های کواکب بی - شماری است که در فضای جهان پراکنده‌اند، جواب گفتن به مسائل مربوط به خورشید ناچار پای مسائل مربوط به تاریخ تحول ستارگان را به میان می‌آورد، و این خود ما را باز با معمای اساسی آفرینش جهان ستارگان روبه‌رو می‌سازد.

مؤلف که با تحقیقات علمی مربوط به این مسائل تماس نزدیک دارد، می‌کوشد تا در کتاب حاضر به ساده‌ترین بیان ممکن خلاصه‌ای از اکتشافات اساسی و نظریه‌هایی را، که برای پیدا کردن نظر کلی درباره پیدایش و تکامل جهان ما راهنمای خوبی خواهد بود، در دسترس خوانندگان بگذارد. پاره‌ای از نظریات که در این کتاب مورد بحث قرار گرفته به اندازه‌ای تازه است که پیش از انتشار کتاب حاضر در هیچ کتاب دیگری که برای عموم مردم نوشته شده باشد نیامده است.

اگرچه نگارنده نمی‌تواند مقدمه خود را با این عبارت مألوف پایان دهد که « همه شخصیت‌هایی که در این کتاب آمده جنبه تخیلی دارند، و میان آنها با اشخاصی که حقیقتاً زیسته‌اند ارتباطی وجود ندارد»، با وجود این شاید بهتر آن باشد که خواننده را از اهمیت دادن بیش از اندازه به جزئیاتی که پس از این در کتاب خواهد آمد بر حذر داریم، و از آن جمله است پریشانی و آشفتگی موهای ریش «دموگریتوس»، یا بارانی بودن هوای پرینستون در آن روز که راسل دیاگرام خود را رسم می‌کرد، یا ارتباطی که میان پر اشتهایی معروف دکتر هانس بث و حل سریع مسأله فعل و انفعال خورشید وجود داشته است.

یکی از وظایف مسرتبخش مؤلف آن است که حقیقت‌شناسی خود را

۱. در این کتاب هر جا از «ستاره» نام برده ایم مقصود ستاره

ثابت است. مترجم.

مقدمه مؤلف

نسبت به دوست خویش دکتر دسموند ه. کوپر ابراز دارد، چه وی نسخه اصلی کتاب را پیش از چاپ خوانده و در باره تبدیل ارگ به کالوری و مسائل مشابه آن راهنماییهای گرانبهایی به مؤلف کرده است.

جورج گاموف

دانشگاه جورج واشینگتون؛ اول ژانویه ۱۹۴۰

مقدمه چاپ ۱۹۵۲



از زمان چاپ اول کتاب تاکنون دوازده سال می‌گذرد ، و در این مدت ترقیات قابل ملاحظه‌ای دراطلاعات ما نسبت به تکامل ونموکواکب وطرز تشکیل خانواده‌های ستارگان فراهم شده است .

در عین اینکه نظریهٔ مربوط بهخورشید ما و بعضی ستارگان دیگر تقریباً تغییر نکرده (فصلهای ۵و۶) ، نظرهای مربوط بهماهیت ستارگان غولپیکر سرخ^۱ (فصل ۷) و اصل کوتوله‌های سفید^۲ (فصل ۸) وکیفیت انفجار کواکب (فصل ۹) تحولات قابل ملاحظه‌ای پیدا کرده است .

نخست اینکه واضح شده است که فعل وانفعالات شیمیایی که در مرکز يك ستاره صورت می‌گیرد، ممکن است (پس ازتمام شدن سوخت مرکزی) بهخارج ازمرکز سرایت کند، وبه تدریج به سطح ستاره برسد، همان گونه که چون کبریتی درگوشه‌ای ازکشتزار بیفتد رفته رفته آتش

-
1. Red Giant Stars
 2. White Dwarfs

مقدمه مؤلف

آن به همه جای مزرعه سرایت می‌کند. از همین جا این فکر پیش آمده است که منبع انرژی ستارگان را به صورت « پوسته پوسته و صدفی »^۱ تصور کنند؛ به این ترتیب هر ستاره یک هسته دارد که از لحاظ کیمیایی عنوان مادهٔ کاملاً سوخته‌ای دارد، و برگرد آن پوستهٔ مولد انرژی است که در آن آتش کیمیایی هنوز افروخته است، و بیرون این پوسته غلاف دیگری است که ماده‌ی اختری آن دست نخورده است. به تدریج که « آتش » به طرف سطح خارجی پیش می‌رود، غلاف خارجی ستاره انبساط پیدا می‌کند و قطر آن به اندازه‌ای می‌رسد که چند صد برابر قطر خورشید می‌شود. به این ترتیب ستاره غول سرخی می‌شود و در نمودار راسل از طرف چپ به طرف راست انتقال پیدا می‌کند. بنا بر محاسبات تازه‌ای که به وسیلهٔ مؤلف و همکار وی آقای گلر صورت گرفته، بیشتر غولهای سرخی که در آسمان مشاهده می‌شود به احتمال قوی در همین مرحلهٔ « صدفی » تکامل خود هستند که پس از مرحلهٔ ستارگان واقع در رشتهٔ اصلی هنجاری می‌آید.

به موازات گسترش غلاف خارجی، هستهٔ مرکزی حالت انقباضی پیدا می‌کند و چگالی مادهٔ آن رفته رفته زیاد می‌شود. در آخرین مرحلهٔ تکامل به این مادهٔ درونی کاملاً حالت انحطاط دست می‌دهد و چگالی بسیار زیادی دارا می‌شود، و در آن هنگام که قشر خارجی به صورت نهایی کاملاً در فضای مجاور حالت پراکندگی و محوشدن را پیدا می‌کند، به جای غول سرخ کوتولهٔ سفیدی را مشاهده خواهیم کرد. به این ترتیب معلوم می‌شود که کوتوله‌های سفید به صورت طبیعی در منظرهٔ پیوستهٔ تکامل ستارگان جای دارند، و از شکم داغ ستارگان غول سرخ متولد می‌شوند. پس از آنکه غلافهای در حال گسترش ستارگان از میان رفتند، کوتولهٔ سفید در برابر چشم آدمی آشکار می‌شود.

در مورد نظریهٔ مربوط به انفجارهای بسیار عظیم ستارگانی که به نام « فوق نواختران »^۲ خوانده می‌شوند نیز پیشرفت‌های عظیم حاصل

1 . Shell - source Model

2 . Super - Novae

شده است. این انفجارها، همانگونه که در فصل ۹ آمده، در نتیجه فرو ریختن تمام جرم ستاره ایجاد می‌شود، ولی علت این ویرانی و فرو ریختن نمودی است که به تازگی کشف و به نام «کیفیت اورکا»^۱ نامیده شده. به وسیله مؤلف و همکار او دکتر **شونبرگ** این مسئله به اثبات رسیده است که در درجه حرارت چند بلیونی که در داخل ستارگان در آخرین مرحله انقباض آنها وجود دارد، بالضروره یک نوع فعل و انفعال تازه که تاکنون شناخته نبوده است صورت می‌گیرد. این فعل و انفعال که با جذب و دفع متوالی الکترونهاي آزاد به وسیله هسته‌های عناصر مختلف ارتباط دارد، عبارت از تشکیل عده بسیار زیادی «نوترون»^۲ است که از ذرات شکفتاور فیزیک به شمار می‌روند، و چون هیچ بار الکتریکی و جرم محسوسی ندارند، برای نفوذ در داخل ماده نیروی شگرفی از خود نشان می‌دهند. این نوترونها که در نزدیک مرکز ستاره تولید می‌شوند، برای فرار از جرم ستاره هیچ دشواری در پیش ندارند، و با فرار خود مقدار عظیمی انرژی را از شکم ستاره خارج می‌کنند. به این ترتیب از فشار گاز در داخل ستاره کم می‌شود، و در نتیجه آن قشرهای خارجی بر روی قسمت مرکزی خراب می‌شوند. جرم گازهای داخلی که با فرو ریختن قشرهای خارجی از ستاره بیرون می‌رود همان چیزی است که سبب افزایش ناگهانی نورانیت ستاره می‌شود، و چون این گازها پس از آن در فضای مجاور گسترش پیدا می‌کند، در اطراف «فوق نواختران» کهنه غلاف گازی ممتدی ایجاد می‌گردد.

در خصوص مسئله تشکیل سیارات بایستی گفت که در نتیجه تحقیقات عالم فیزیک و جهان‌شناس آلمانی **کارل فون وایتسزگر**^۳ نظریات قدیمی کاملاً زیر و زبر شده است. برهان این دانشمند بر پایه معرفت کنونی ما درباره ماده بین ستارگان است که نود و نه درصد آن ئیدروژن و هلیوم و تنها یک درصد آن از مواد متعارفی (زمینی) است، و از همین

- 1 . Urca - process
- 2 . Neutron
- 3 . Carl von Weizsäcker

مقدمه مؤلف

راه توانسته است تناقضاتی را که در فرضیه کانت - لاپلاس وجود دارد از میان ببرد، و برای پیدایش ستارگان فرضیه قابل قبولی را وضع کند. به این ترتیب باید گفت که مطالب مندرج در آخر فصل دهم کاملاً زیرورو شده و اینک در این مسئله کمتر شکی بر جای مانده است که منظومه سیارات ما کمابیش به طریقه « کانت - لاپلاس » تشکیل شده و برخلاف نظر جینز و شامبرلن و مولتون سیارات همراه خورشید از تصادم میان آن یکی دیگر از ستارگان آسمان به وجود نیامده است.

بنا بر نظریه وایتسزگر که پس از وی به وسیله کارهای گویپرا^۱ و ترهار^۲ تکامل پیدا کرده، سحابی اصلی شمسی به صورت قرص پهن شده گازی (ئیدروژن-هلیوم) و غباری (مواد خاکی) در همان زمان تشکیل شده که خورشید با عمل تکاثف خود به وجود آمده است. ولی چنان تصور می شود که تکامل قسمتهای گازی و غباری سحابی اصلی شمسی در جهات مختلف پیش رفته است. در همان حین که قسمت گازی که ۹۹ درصد از جرم کلی را تشکیل می داد در فضای مجاور پراکنده شده و در نتیجه نیروی گرین از مرکز از خورشید دور افتاده است، قسمت غباری که در حدود یک درصد جرم کلی را می ساخته به تدریج در نتیجه برخورد ذرات به یکدیگر چسبیده و به این ترتیب سبب پیدایش اجرام سنگی بزرگی شده است که در پایان کار از آنها همین سیاراتی که اکنون می بینیم به وجود آمده است.

فرضیه تجمع غبارها که مهمترین قسمت نظریه وایتسزگر به شمار می رود، بر این واقعیت متکی است که اگر دو جرم جامد که تقریباً به یک اندازه باشند با حرکت سریع با یکدیگر برخورد کنند، در نتیجه حرارتی که از تصادم ایجاد می شود هر دو به حالت بخار درمی آیند، و حال آنکه اگر یکی از آن دو کوچکتر باشد قسمت کوچک به جرم قسمت بزرگتر اضافه می شود. این کیفیت را غالباً با وضع رقابتی که در صناعت موجود است مقایسه می کنند که هرگاه رقابت میان دو کمپانی

1 . G . P . Kuiper

2 . D . ter - Haar

کوچک باشد اسباب تباهی و ویرانی هر دو می شود، در صورتی که اگر رقابت میان کمپانی کوچکی با کمپانی بزرگتر باشد، معمولاً کار به اینجا پایان می پذیرد که کمپانی کوچکتر در کمپانی بزرگتر تحلیل رود. همان گونه که در صنعت چنین تصادمی سبب پیدایش انحصارهای بزرگ می شود، تصادم میان ذرات غباری که در آغاز کار سحابی شمسی را می ساختند، سبب شده است که آن غبارها به یکدیگر اتصال پیدا کنند، و از آن میان چیزهایی به وجود آید که ما امروز آنها را به نام سیارات می شناسیم.

وایتسزگر با تحقیق مفصل در این نظریه چنین نتیجه گرفته است که برای آنکه ذره غباری به بزرگی یک میکرون آن اندازه بزرگ شود که به صورت سیاره ای در آید، در حدود چند صد میلیون سال وقت لازم است. و نیز وی ثابت کرده است که در خانواده سیارات فاصله هر سیاره از خورشید تقریباً دو برابر فاصله آن سیاره تا نزدیکترین سیاره ای است که میان آن و خورشید واقع است، و این همان قانون تجربی قدیمی بود - **تیتوس** درباره فاصله سیارات است که چند قرن به عنوان یکی از اسرار حل نشده منظومه شمسی به شمار می رفت. این حقیقت که برانگیخته شدن و تجدید حیات فرضیه قدیمی **کانت - لاپلاس** به دست **وایتسزگر** نظریه قابل قبولی درباره اصل سیارات در اختیار ما می گذارد، و نیز تطابق نظریه **وایتسزگر** با قانون فواصل سیارات که هیچ نظریه دیگر نمی توانسته است آن را تعبیر کند، خود نشان می دهد که ما بالاخره برای یکی از کهنه ترین مسائل مورد اختلاف جهان شناسی راه حل نهایی را پیدا کرده ایم.

در مسئله وسعت جهان شناسی یعنی «نظریه جهان در حال گسترش»^۲ و تشکیل عناصر شیمیایی در مراحل بسیار قدیمی این گسترش (فصل ۱۲)، در ظرف مدت پنج سال اخیر به دست مؤلف و همکاران وی آقایان

1. Bode - Titius

2. Expanding Universe

مقدمه مؤلف

رالفا الفر^۱ وهرمن^۲ و انریکو فرمی^۳ و آنتونی تورکوویچ^۴ پیشرفتهای مهمی صورت گرفته است. امکان اثبات این مسئله فراهم آمده است که فراوانی نسبی عناصر شیمیایی مختلف در جهان نتیجه فعل و انفعالات هسته‌ای است که در مدت نخستین سی دقیقه پس از آنکه جهان ما شروع به گسترش کرده حاصل شده، یعنی در آن زمان که درجه حرارت ماده اصلی که فضا را پر می‌کرده در حدود یک بلیون درجه بوده است. این ماده اصلی که به آن نام «ایلم»^۵ داده‌اند به تمامی از ذرات ابتدایی یعنی نوترون و پروتون و الکترون تشکیل شده بود. به تدریج که درجه حرارت جهان در نتیجه گسترش تنزل پیدا می‌کرد، پروتونها و نوترونها به اشکال متنوع بایکدیگر ترکیب شده و هسته‌های مختلف با وزن اتمیهای گوناگون را ساخته‌اند. هرگاه کسی معلومات فیزیکی هسته‌ای را با تغییرات درجه حرارت و چگالی جهان در حال گسترش که از نظریه نسبیت نتیجه می‌شود ترکیب کند و مورد استفاده قرار دهد، می‌تواند شماره نسبی هسته‌های مختلف اتمی را که در اثر این جریان تولید می‌شود تعیین کند. نتیجه چنین محاسبات عموماً با معلومات تجربتی که درباره فراوانی نسبی عناصر داریم مطابقت رضایتبخشی دارد. علی‌رغم این موفقیت کلی باید گفت که هنوز اشکالات جدی وجود دارد (بالخاصه فقدان هسته اتمی باجرم ۵) که توضیحی درباره آنها نمی‌توان داد، و ناچار بایستی کارها و پژوهشهای بیشتری در این راه صورت بگیرد.

این ادعا که عناصر در مدتی که بیشتر از نیم ساعت نبوده و در فاصله سه و نیم بلیون سال پیش از این ساخته شده، ممکن است در نظر بسیاری از خوانندگان باور نکردنی به نظر برسد، و بگویند چگونه می‌شود درباره چنین مدت کوتاهی در چنان زمان دوری سخن گفته شود. باید به این

1. Ralph Alpher
2. R.C. Hermann
3. Enrico Fermi
4. Antony Turkevich
5. Ylem

مقدمه مؤلف

خوانندگان گفته شود که ما دربارهٔ زمانهایی به همین اندازه متفاوت از حیث کمی یا زیادی چیزهایی می‌گوییم و هیچ احساس نمی‌کنیم که قابل باور کردن نباشد. مثلاً هستهٔ اتم در یک بومب اتمی در زمانی معادل یک میلیونم ثانیه منفجر می‌شود و خاصیت رادیو اکتیویته را که از این انفجار به وجود می‌آید پس از چند سال می‌توان در محل انفجار بومب اکتشاف کرد. پیدا است که نسبت میان یک میلیونم ثانیه به چند سال در حدود همان نسبت نیم ساعت به سه بلیون و نیم سال است، و در هر دو حالت مثل نسبت ۱ به ۱۰۰،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰ است. در مورد بومب اتمی باید اشاره کنیم که پس از انتشار این کتاب در ۱۹۴۰ انسان توانسته است بر منابع انرژی درون اتمی که در فصل ۴ مورد بحث قرار گرفته تسلط پیدا کند، و ترقیات فنی مهم این مبحث را به اختصار در ضمیمهٔ کتاب آورده‌ایم.

جورج گاموف - آوریل ۱۹۵۲

فصل اول

خورشید و انرژی آن

خورشید و زندگی

« کدام يك سودمندتر است ، خورشید یا ماه ؟ » این سؤالی است که فیلسوف نامدار روسی **کوزما پروتکوف** می‌کند و خود پس از اندکی تأمل در پاسخ خویش چنین می‌گوید: « البته ماه سودمندتر است، چه وی شب هنگام که همه‌جا را تاریکی فراگرفته به ما روشنی می‌دهد، در صورتی که آفتاب در هنگام روز نوربخشی می‌کند و همه می‌دانیم که در این وقت همه‌جا غرق در روشنی است. »

۱. این يك شخصیت خیالی است که شاعران روسی کونت‌الکسی تولستوی و برادران گمچوشینکوف آن را توهم کرده‌اند. با وجود این باید دانست که نظریات پروتکوف لااقل به اندازه نظریات بسیاری از فیلسوفان کهنه و نو خوب و دلپسند است.

پیدایش و مرگ خورشید

البته هر طفل دبستانی می‌داند که نور ماه از انعکاس نور خورشید است، ولی این را همه مردم نمی‌دانند که هر حادثه و نمودی که بر روی زمین اتفاق افتد چنان است که ناچار دنباله آن به انرژی تشعشی آفتاب می‌کشد و از آنجا سرچشمه می‌گیرد.

مخصوصاً این نکته را باید دانست که اصل وریشه همه منابع انرژی که به وسیله جهان متمدن اکتشاف و از آنها بهره‌برداری شده از خورشید است. درست است که بهره‌برداری مستقیم از انرژی آفتاب که به وسیله آینه‌های مقعر بزرگ جمع‌آوری شده باشد تنها در بعضی از اسبابهای عجیب و غریب صورت می‌گیرد - و از آن جمله است دستگاههای آب سردکنی که در صحرای اریزونا دیده می‌شود، یادستگاههایی که برای گرم کردن گرمابه‌های عمومی در تاشکند به کار می‌رود - ولی در آن حین که چوب یا زغال سنگ یا نفت را در خانه و کارخانه‌ها می‌سوزانیم کارما تنها آن است که انرژی آفتاب را که به شکل ترکیبات کربونی در جنگلهای امروز یا جنگلهای دوره‌های کهن زمینشناسی ذخیره شده آزاد سازیم. شعاع آفتاب که بر سطح برگ سبزی می‌تابد، در مجاورت گاز کربونی هوا این گاز را به کربون و اکسیژن گازی تجزیه می‌کند. اکسیژن آزاد شده به هوا باز می‌گردد (و به همین جهت است که چون گیاهی در اطاق باشد هوا را تلطیف می‌کند)، و کربون آزاد شده در تنه درخت به حالت ذخیره باقی می‌ماند و آماده آن است که در اجاق یا بخاری از نو با اکسیژن هوا ترکیب شود. در آن هنگام که درخت را می‌سوزانیم، هرگز نمی‌توانیم بیش از آن اندازه انرژی که از خورشید گرفته و در خود ذخیره کرده از آن انرژی به دست آوریم. بنا بر این بدون وجود خورشید امکان آن نیست که در زمان حاضر جنگلی به وجود آید یا در گذشته چنین جنگلی به وجود آمده باشد؛ اگر خورشید نبود هرگز زغال سنگ یا نفت در زمین ذخیره نمی‌شد.

لازم به ذکر نیست که نیروی آب نیز صورت دیگری از انرژی حرارتی خورشید است؛ گرمای خورشید آب را از سطح اقیانوسها بخار می‌کند، و این بخار که به ارتفاعات هوا رسیده دوباره به آب می‌گردد و به صورت برف و باران فرو می‌ریزد و در نقاط مرتفع ذخیره می‌شود تا بعد

پیدایش و مرگ خورشید

به حساب می آید.

تشنه انرژی خورشید

انرژی اشعه آفتاب که بزرگ سانتیمتر مربع در مدت يك ثانیه به حال عمودی بتابد معادل $1,350,000$ ارگ تخمین شده، والبته در محاسبه این رقم مقداری از انرژی که به وسیله فضای اطراف زمین جذب می شود نیز به حساب آمده است. اگر این انرژی را از روی بهای زغال به حساب آوریم معلوم می شود که روزانه معادل چند صد ریال انرژی که بر سطح حیاط خانه ما می تابد تلف می شود. اگر بیان خود را با واحد اندازه گیری معمولی کار تجدید کنیم، نتیجه آن می شود که مقدار انرژی روزانه خورشید که بر سطح زمین سقوط می کند برای هر میل مربعی برابر با انرژی $4,690,000$ اسب بخار است و انرژی کلی سالانه که از این راه به سیاره ما می رسد چندین میلیون برابر تمام انرژیهای است که در سطح زمین از سوزاندن زغال و سایر مواد سوختنی به دست می آید. ولی زمین تنها قسمت مختصری از این انرژی عظیم را جمع می کند، و قسمت اعظم آن آزادانه به فضای میان سیارات می گریزد که مقدار آن برابر است با $10^{33} \times 38$ ارگ در ثانیه یا $10^{41} \times 12$ ارگ در سال. چون انرژی خورشید را بر سطح آن که معادل $10^{22} \times 61$ سانتیمتر مربع است قسمت کنیم، معلوم می شود که هر سانتیمتر مربع از سطح خورشید $10^{10} \times 62$ ارگ انرژی در هر ثانیه از خود بیرون می فرستد.

۱. در فیزیک و نجوم عادت بر آن است که اعداد بسیار بزرگ یا بسیار کوچک را به صورت قوای ده نمایش دهند. مثلاً $10^4 \times 3$ برابر است با $3 \times 10,000$ (یعنی دارای چهار صفر) یا $30,000$ و $10^{-3} \times 7$ برابر است با 7×0.001 یا 0.007 - (یعنی با سه رقم اعشار). یا بلیون که در این کتاب به کار رفته مساوی است با هزار میلیون یا $1,000,000,000$ یا 10^9 .

درجه حرارت خورشید

آیا سطح خورشید چه اندازه باید گرم باشد تا بتواند چنین تشعشعات حرارتی شدید را سبب شود؟ داغترین رادیا تورها در جاهایی که حرارت مرکزی وجود دارد (در درجه حرارت آب جوش) تقریباً در هر یک ثانیه مقداری انرژی معادل یک میلیون ارگ از هر سانتیمتر مربع از سطح خود خارج می کند. در بخاری که به درجه حرارت سرخ (یعنی ۵۰۰ درجه) رسیده باشد، این مقدار به ۲۰ میلیون می رسد، و در درجه حرارت سفید چراغ برق (یعنی در حدود ۲۰۰۰ درجه) این رقم به ۲ بلیون ارگ بالا می رود. مقدار تشعشع اجسام گرم باز یاز شدن درجه حرارت ترقی می کند و با قوه چهارم این درجه حرارت که نسبت به صفر مطلق^۱ حساب شده باشد متناسب است.

اگر تشعشع خورشید را با مثالهایی که پیش از این آوردیم مقایسه کنیم، به آسانی می توان حساب کرد که **درجه حرارت سطح خورشید** بایستی نزدیک ۶۰۰۰ درجه باشد. این درجه حرارت از بزرگترین درجه حرارتی که می توانیم در آزمایشگاهها با ساختن کوره های مخصوص برقی تولید کنیم بسیار زیادتر است. یک دلیل بسیار ساده وجود دارد که بنا بر آن هیچ کوره ای نمی تواند به این درجه حرارت برسد، و آن اینکه در ۶۰۰۰ درجه تمام موادی که با آنها می توان کوره ای ساخت، و از جمله مواد دیر گداز پلاتین و کربون، نه تنها ذوب می شوند، بلکه کاملاً به حالت بخار در می آیند.^۲ هیچ ماده ای در چنین درجه حرارت نمی تواند

۱. درجه حرارت صفر مطلق در مقیاس صدرجه ای ۲۷۳ درجه زیر نقطه یخ بستن آب است (به شکل ۴ مراجعه شود). تمام درجات حرارتی که در این کتاب آمده با مقیاس صدرجه ای است.

۲. درست از راه همین اصل است که بر روی زمین توانسته اند درجه های حرارتی بزرگتر از درجه حرارت سطح خورشید تولید کنند. برای این کار جریان برق بسیار شدید را در سیم بسیار نازکی می فرستند که به محض تخلیه جریان آن فلز به فوریت بخار می شود و برای مدت بسیار کوتاهی اسباب اندازه گیری درجه حرارتی در حدود ۲۰،۰۰۰ درجه ثبت می کند.

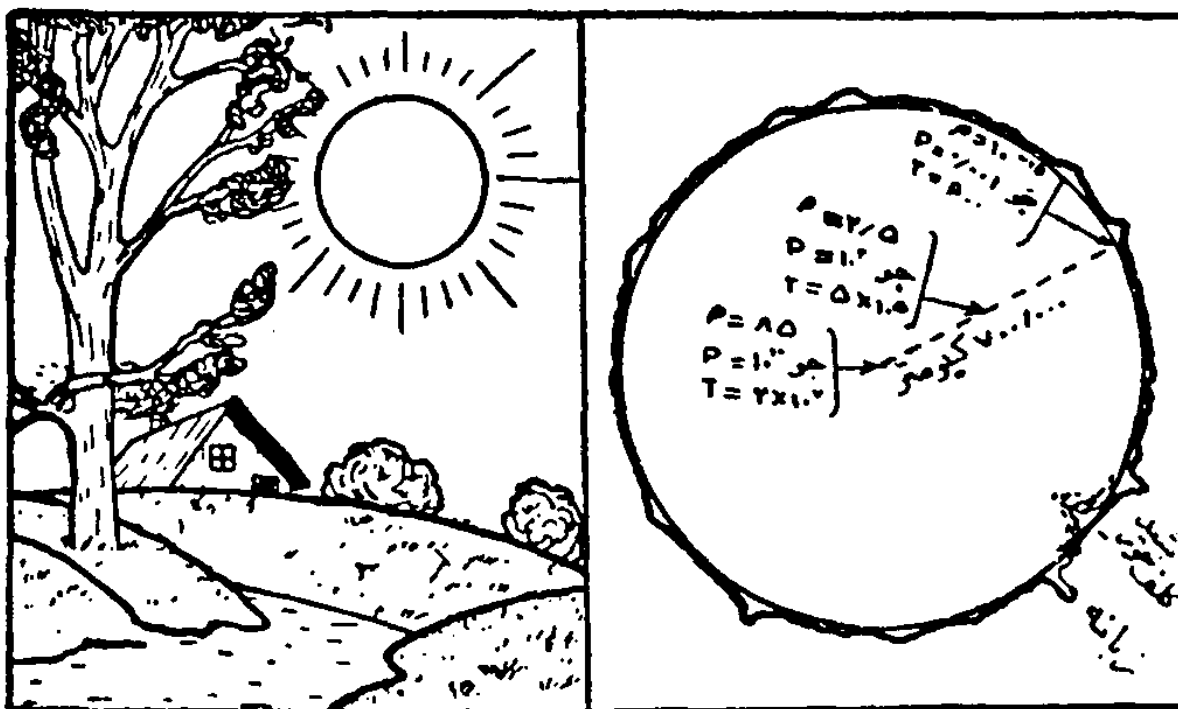
پیدایش و مرگ خورشید

جز به حالت گازی وجود داشته باشد، و در سطح خورشید چنین است و همه مواد در آنجا به حالت گازی هستند.

اگر این مطلب برای سطح خورشید صحیح باشد، به طریق اولی برای مرکز آن بیشتر صحت دارد، چه باید اختلاف حرارتی بین مرکز و سطح خورشید موجود باشد تا جریان حرارتی از مرکز به سطح برقرار شود. مطالعه اوضاع داخلی خورشید نشان داده است که درجه حرارت مرکز خورشید به رقم بسیار عظیم ۲۰ میلیون می‌رسد. شاید نتوان اهمیت این درجه حرارت را چنانکه باید تصور کرد، و به همین جهت باید برای توضیح بگوییم که اگر فرض کنیم یک بخاری به حجم عادی داشته باشیم و این بخاری بتواند چنین درجه حرارتی را تحمل کند، چون آن بخاری به این درجه حرارت گرم شود تا صد فرسنگ اطراف خود همه چیز را خواهد سوزاند.

چگالی خورشید

از ملاحظاتی که گذشت به این نتیجه می‌رسیم که خورشید ما



شکل ۱

خورشید در نظر اول

مقطع عرضی خورشید

جورج کاموف

کره بسیار عظیمی از گاز بی اندازه داغ است، ولی اگر تصور کنیم که این گاز بسیار رقیق است تصور غلطی کرده ایم. با شرایط متعارفی زمین گازهایی که ما با آنها سروکار داریم از اشکال جامد و مایع ماده چگالی بسیار کمتری دارند، ولی نباید از این نکته غافل بمانیم که در مرکز خورشید فشار شگرف ۱۰ بلیون جوهر قرار است. در چنین اوضاع و احوال هر گاز آن اندازه فشرده می شود که چگالی آن از مواد جامد و مایع عادی به مراتب بالاتر می رود. و این از آن جهت است که اختلاف میان حالت گازی از یک طرف و دو حالت جامد و مایع از طرف دیگر تنها مربوط به اختلاف چگالی آنها نیست، بلکه ازان است که گازها پیوسته می خواهند فضای بیشتری را اشغال کنند، و اگر فشار ترقی کند تا حد زیادی قابلیت تراکم دارند. چون قطعه سنگی را از داخل زمین به سطح آن بیاورند حجم آن تفاوت محسوسی نخواهد کرد، ولی اگر فشار خارجی خورشید به اندازه کافی تقلیل پیدا کند، ماده ای که مرکز خورشید با آن ساخته شده به صورت نامحدودی انبساط و ازدیاد حجم پیدا خواهد کرد. به دلیل همین قابلیت تراکم زیاد مواد گازی است که هر چه از سطح خورشید به داخل آن برویم چگالی ماده آن زیادتر می شود، و چنان حساب شده است که چگالی ماده مرکزی خورشید بایستی ۵۰ برابر چگالی متوسط آن باشد. چگالی متوسط خورشید که از تقسیم کردن وزن کلی آن بر حجمش به دست می آید (جرم خورشید $10^{33} \times 2$ گرم و حجم آن $10^{33} \times 10^{33}$ سانتیمتر مکعب است) ۱۰۴۱ برابر چگالی آب است، و مطابق حساب، گازی که در مرکز خورشید قرار گرفته به حدی فشرده است که چگالی آن شش برابر چگالی جیوه می شود. از طرف دیگر قشرهای خارجی خورشید بسیار رقیق است و فشار در آن قسمت خارجی خورشید که «کره رنگین» نام دارد و خطوط جذبی طیف در آنجا تشکیل می شود تنها به اندازه یک هزارم فشار جو است.

اگرچه اطلاعات مستقیم مادرباره فیزیک و شیمی خورشید محدود به نمودهایی است که در جو رقیق خورشید صورت می گیرد، با وجود این اگر همین اطلاعات مربوط به سطح خورشید را مبنای کار قرار دهیم و از اطلاعات کلی خود در مورد خواص ماده استفاده کنیم، می توانیم از اوضاع

پیدایش و مرگ خورشید

واحوالی که در داخل خورشید برقرار است به همان درجهٔ یقینی که از سطح آن داریم آگاه شویم. بیشتر اطلاعات ریاضی ما دربارهٔ داخل خورشید نتیجهٔ تحقیقات و کارهایی است که به وسیلهٔ منجم انگلیسی سرارثر - ادینگتون صورت گرفته، و در شکل (۱) طرحی از ساختمان داخلی خورشید بنا بر محاسبات ریاضی اورسم شده است. در آن تصویر P و T و P به ترتیب نمایندهٔ درجهٔ حرارت و فشار و چگالی است که در قسمت‌های مختلف جرم خورشید اندازهٔ آنها در همان شکل ثبت شده.

نموده‌هایی که در سطح خورشید ظاهر می‌شود

مناظری از فعالیت خورشید، که بسیاری از مردم بیشتر با آن انس و آشنایی دارند. **کلفها** و **زبان‌های** سطح آن است، (تصویر I پایان کتاب) و این زبان‌ها عبارت از فوران‌گازهای بسیار داغ روشن است که گاه به گاه از سطح خورشید خارج می‌شود و پاره‌ای اوقات صدها هزار کیلومتر از جرم آن دورتر می‌رود (شکل ۱ - طرف راست). کلفها که تنها از لحاظ مجاور بودن با قسمت‌های بسیار روشن تیره به نظر می‌آیند، در واقع عبارت از حفره‌های گرداب مانند قیفی شکلی هستند که در قشر خارجی خورشید قرار گرفته و از میان آنها مواد گازی با حرکت مارپیچی به طرف بالا و خارج حرکت می‌کند. به تدریج که گازها از این حفره‌ها بالا می‌آید انبساط پیدا می‌کند، و به همین جهت از حرارت آنها کاسته می‌شود و از سایر قسمت‌های خورشید که چنین نشده تاریکتر به نظر می‌رسد.

در آنجا که این کلفها در نزدیکی کنار ظاهری قرص خورشید قرار گرفته باشد، فوران‌گازها را به شکل نیمرخ می‌بینیم و همین گازهای فوران کرده است که به صورت ستون‌های بسیار روشن غولپیکر به نظر می‌رسد. نظریهٔ رایج دربارهٔ اصل پیدایش کلفها مبنی بر این واقعیت است که چون خورشید جسم جامدی نیست، در ضمن دوران قسمت‌های مختلف آن سرعت‌های زاویه‌ای متفاوت پیدا می‌کند؛ دوران در قسمت‌های

1. Sunspots
2. Solar prominences

استوایی ازدوران در قسمت‌های مجاور باقطب خورشید سریعتر است، و همین اختلاف سرعت است که سبب پیدا شدن حفره‌های گرداب مانند درسطح خورشید می‌شود، همان‌گونه که اختلاف سرعت جریانهای آب برسطح رودخانه‌ها و جریانهای دریایی سریع سبب تولیدگردابها می‌شود. قبل از ختم این بحث باید توجه خواننده را به مسئله دوری بودن و متناوب بودن کلفهای خورشید جلب کنیم، گوا اینکه هنوز توضیح قانع کننده‌ای برای این تناوب کلفها پیدا نشده باشد. در دوره‌ای تقریباً مساوی یازده سال ونیم عدد این کلفها به‌طور متناوب زیاد و کم می‌شود. این دوران تأثیرات ضعیفی درحالات فیزیکی کره زمین دارد، از جمله اینکه درجه حرارت زمین به‌طور متوسط سالانه در حدود یک درجه اختلاف پیدا می‌کند، و همچنین در طرز قرار گرفتن عقربه مغناطیسی و شفق قطبی تغییراتی در آن ایجاد می‌شود. بعضی کوشیده‌اند که مختلف شدن وقت مهاجرت پرستوها یا رسیدن گندم و حتی انقلابات اجتماعی را با این تغییرات کلفها مربوط کنند، ولی هنوز نمی‌توان به‌طور قطع گفت که چنین ارتباطی به‌راستی وجود دارد.

کلفها و زبانها در قشری از خورشید وجود دارد که به‌طور نسبی بسیار نازک است و به احتمال قوی با تاریخ تکامل جرم خورشید ارتباط آن بیش از ارتباطی نیست که میان خراش پوست بدن انسان و تکامل حیات آدمی وجود دارد. از این رو مسائلی که با این نمودها ارتباط دارد در این کتاب مورد توجه مان نیست.

۱. حد اعلاى این کلفها در سالهای ذیل ثبت شده: ۱۷۷۸- ۱۷۸۸- ۱۸۰۴- ۱۸۱۶- ۱۸۳۰- ۱۸۳۷- ۱۸۴۸- ۱۸۶۰- ۱۸۷۱- ۱۸۸۳- ۱۸۹۴- ۱۹۰۵- ۱۹۱۷- ۱۹۲۸. آنچه مسلم است اینکه انقلاب امریکا و انقلاب فرانسه و کمون پاریس و هردو انقلاب روسیه و بسیاری حوادث دیگر درست نزدیک همین سالهای حد اعلاى کلف اتفاق افتاده. در سالهای ۱۹۴۰- ۱۹۳۷ از یاد ثابتی در کلفها مشاهده شده که اگر خواننده بخواهد می‌تواند آنرا نیز با وضع مغشوش سیاسی زمین در این سالها مربوط بداند.

عمر خورشید

اینک به مسئله قابل توجه سن خورشید توجه می‌کنیم که از یک طرف با عمر زمین و از طرف دیگر با مجموعه جهان ستارگان ارتباط بسیار نزدیک دارد. می‌دانیم که خورشید امروز همان خورشید دیر روز است و همان خورشیدی است که ناپلئون به عنوان «خورشید اوسترلیتز» آنرا به سر بازان خود نشان داد، و همان خورشیدی است که کاهنان مصر باستانی آنرا به نام آمون - رع^۱ خدای خدایان می‌پرستیدند.

زمان تاریخ ثبت شده در مقایسه با زمانهای زمینشناختی و دیرینشناختی همچون زمان چشم به هم زدن سریعی است، و دلایل و شواهدی که در زیر سطح زمین نهفته خود دلیل بر آن است که در دوره بسیار طولانیتری فعالیت خورشید به صورت تغییر ناپذیری ادامه داشته است. زغال سنگی که امروز در بخاریهای خود می‌سوزانیم بهترین دلیل است بر آنکه همین خورشید اشعه خود را بر جنگلهای عظیم درختان غولپیکر دوره‌های معرفه الارضی بسیار قدیم می‌افشانده است؛ سنگواره هایی که در طبقات مختلف زمینشناختی به دست آمده نماینده آن است که تحول و تکامل موجودات زنده از دوره‌های ماقبل کامبری^۲ تا کنون ادامه داشته است. بنابراین در مدت چند صد میلیون سال گذشته درخشندگی خورشید به مقدار قابل ملاحظه تغییر نکرده است، چه اگر چنین تغییری پیش می‌آمد ناچار زندگی بر سطح زمین غیر ممکن می‌شده و رشته تکامل موجودات زنده می‌گسیخته است^۳. اگر اندازه تشعشع خورشید به نصف برسد، درجه حرارت زمین از درجه‌ای که آب در آن یخ می‌بندد پایینتر می‌رود، و

۱. Amon - Re

۲. pre - Cambrian

۳. امکان آن هست که دوره‌های موسوم به دوره های یخبالی که

شواهد معرفه الارضی معرف آن است، با تغییرات مختصری در فعالیت خورشید ارتباط داشته باشد. با وجود این باید در نظر داشت که این تغییرات کوچک آب و هوا به سهولت ممکن است تنها در نتیجه تغییرات عوامل زمینی، مثلاً تغییر مقدار گاز کربونیک جو، حادث شده باشد.

جورج کاموف

چون مقدار تشعشع آن چهار برابر شود تمام اقیانوسها و دریاها به جوش خواهد آمد.

پیدایش حیات بر سطح زمین البته از پیدایش خود زمین جدیدتر است، و از آثار و شواهد غیر آلی موجود در سنگهایی که قشر زمین را می سازند، می توان دلایلی بدست آورد که به وسیله آنها بتوانند دوره های عمر بزرگتری را حساب کنند. بعضی از این سنگها محتوی مقادیر بسیار کوچک از موادی هستند که آنها را به نام عناصر تشعشع کننده یارادیو آکتیو می نامند (مانند اورانیوم و توریوم)، و چنانکه می دانیم این عناصر حالت ثبات ندارند و به کندی بسیار تحول پیدامی کنند، و در ظرف مدت بلیونها سال به صورت ماده دیگری درمی آیند که شبیه به سرب معمولی است. تا آن زمان که قشر زمین به حالت گداخته و آبکی بود، در نتیجه همین حالت، مواد تشعشعی از عناصری که عنوان مادر آنها را داشته جدا می شده است، ولی به محض آنکه قشر زمین حالت جامد پیدا کرد، ناچار این مواد تشعشعی نیز در مجاورت عناصر تشعشع کننده باقی مانده است. بنا بر این به وسیله اندازه گرفتن مقدار نسبی این عناصر تشعشع کننده و محصولات تشعشع آنها در سنگهای مختلف می توان دریافت که از چه مدت پیش این سنگها به حالت انجماد در آمده است، و این درست مثل آن است که از روی شماره استخوانهایی که در یک گورستان موجود است می توانند عمر دهکده ای را که این گورستان در آن قرار گرفته اندازه بگیرند.

تحقیقاتی که از این راه صورت گرفته چنین نتیجه داده است که قشر جامد زمین دیرتر از ۱۶۶ بلیون سال پیش از این تشکیل نشده است. و از آنجا که تشکیل پوسته زمین مدت زیادی پس از جدا شدن آن از خورشید صورت نگرفته، به این ترتیب وسیله ای در اختیار ما قرار می گیرد که از آن رو بتوانیم تخمین صحیحی از سن سیاره خودمان، زمین، در دست داشته باشیم. البته عمر خورشید از این اندازه بیشتر است، و برای آنکه حد اعلائی برای سن خورشید معلوم کنیم بایستی به مدارك و شواهدی که از جهان کواکب به دست می آید و خورشید یکی از اعضای این مجموعه است مراجعه کنیم.

پیدایش و مرگ خورشید

اینکه ستارگان و مخصوصاً خورشید چگونه از گاز یکنواختی که تمام فضا را پر می‌کرده درست شده‌اند، بحثی است که در فصل‌های آینده (۱۰ - ۱۲) به آن خواهیم پرداخت. در اینجا فقط اشاره به این نکته لازم است که مطالعه حرکت ستارگان در منظومه کواکب خود ما، و همچنین تحقیق در حرکت مجموعه‌های مختلف کواکب نسبت به یکدیگر، دلایلی قوی در اختیار ما می‌گذارد که بنا بر آنها معلوم می‌شود تشکیل ستارگان در زمانی آغاز شده که از دو بلیون سال به ما نزدیکتر نبوده است. به این ترتیب حدی برای عمر خورشید به دست می‌آید، و نیز معلوم می‌شود که زمین ما و سایر سیارات در همان اوایل عمر خورشید ازان جدا شده‌اند.

چون تشعشع سالانه خورشید را که پیش از این به آن اشاره کردیم (یعنی $10^{41} \times 10^{22}$ ارگ) در سنین تقریبی عمر آن (در حدود ۲ بلیون سال) ضرب کنیم، به این نتیجه می‌رسیم که جرم خورشید از ابتدای زندگی خود تا کنون $10^{50} \times 10^{22}$ ارگ یعنی $10^{17} \times 10^{22}$ ارگ برای هر گرم از ماده خود انرژی تشعشع کرده است. آیا این مقدار سرسام‌آور انرژی از کجا آمده است؟

آیا خورشید به راستی «می‌سوزد»؟

احتمال دارد که نخستین نظریه مربوط به اصل گرما و روشنی خورشید را در واقع غارنشینان دوره حجر بر زبان آورده باشند، چه برای نمایاندن این جرم نورافشان فلکی همان کلمه را به کار می‌بردند که با آن آتش شعله‌ور در اجاق‌های خود را نیز می‌نامیدند. در آن هنگام که پرومتهوس^۱ اخگری از آتش جاودانی خورشید را برای نخستین بشر دزدید، به احتمال قوی آن را برای کار

۱. پرومتهوس یکی از غول‌های افسانه‌ای یونان است که آتش و هنر را به نوع بشر آموخت؛ زئوس که یکی از ارباب انواع است براو خشمگین شد و او را در کوهی به زنجیر کرد و کرسی جگرش را بلعید. هرکولس او را از بند آزاد کرد. - م.

پخت و پز آدمی به اندازه آتش چوب و زغال کار آمد می دانست. این اعتقاد است که جرم خورشید در حال «سوختن» است تا همین اواخر جزو معتقدات جزمی و یقینی تمام افراد بشر به شمار می رفت.

ولی به محض آنکه پیرسیم که آنچه در خورشید می سوزد چیست، به زودی آشکار می شود که با فرض احتراق متعارفی هرگز نمی توان این فعالیت متمادی خورشید را در آن همه سالهای زیاد توجیه کرد. پیش از این گفتیم که چون یک گرم زغال سنگ احتراق کامل پیدا کند مقداری انرژی مساوی $10^{11} \times 3$ ارگ می دهد که نیم میلیون مرتبه کمتر از آن انرژی است که هر گرم جرم خورشید در عمر گذشته خود پس داده است. اگر جرم خورشید از زغال سنگ خالص ساخته شده بود، و در زمان نخستین فرعون مصر آن را آتش زده بودند، تاکنون می بایستی تمام آن سوخته و چیزی جز خاکستر بر جای نمانده باشد. برای هر نوع ماده سوختنی دیگری که به جای زغال فرض شود نیز چنین اشکالی وجود دارد، و با هیچ یک از سوخته های شیمیایی ممکن نیست عمر خورشید حتی از یک صد هزارم سنی که دارد تجاوز کند.

حقیقت امر این است که مفهوم «سوختن» کاملاً با اوضاع و احوالی که در خورشید وجود دارد ناسازگار است. تجزیه های طیفی نشان داده است که در خورشید کربون و اکسیژن هردو هست ولی آن اندازه گرم است که نمی تواند بسوزد. معمولاً ما چنان فکر می کنیم که هر چه حرارت بیشتر باشد فعل و انفعالات شیمیایی که در نتیجه آنها مواد مرکبی به دست می آید بهتر صورت می گیرد. برای آنکه قطعه چوبی بسوزد، یعنی با اکسیژن هوا ترکیب شود، باید شعله کبریتی را به آن نزدیک کنیم، و برای آنکه کبریت روشن شود باید فسفور نوك آن را به وسیله مالش با کناره زبر قوطی کبریت به اندازه کافی گرم کرده باشیم؛ ولی درجات حرارت زیاد خود از طرف دیگر برای مرکبات شیمیایی جنبه تخریبی دارند یعنی آنها را به عناصر اولیه تبدیل می کنند، مثلاً در چنین درجات حرارت بخار آب به اکسیژن و هیدروژن، و گاز کربونیک به اکسیژن و زغال مبدل می شود.

درجه حرارت ۶۰۰۰ موجود در جو خورشید پیوستگی شیمیایی

تمام ترکیبات پیچیده را می‌گسلد و به این ترتیب است که **گازی که خورشید را می‌سازد تنها مخلوطی مکانیکی از عناصر خالص خواهد بود**. البته در قشر خارجی ستارگان دیگری که درجه حرارت آنها کمتر از خورشید است (۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ درجه) تشکیل مواد مرکب از قبیل گاز کربونیک امکانپذیر خواهد بود.

نظریه انقباض

تأخیری از بحث خود درباره اصل انرژی خورشید دورافتادیم، و چون بخواهیم به آن بازگشت کنیم بایستی از کارهایی که دانشمند فیزیک آلمانی **هرمان فون هلمهولتز** در قرن گذشته کرده یادآور شویم. کارهای این دانشمند، از توجه به حالت حاضر خورشید گذشته، مبدأ پیدایش آن را نیز شامل می‌شود.

بنا به نظر هلمهولتز، خورشید در زمانی که **کره غولپیکری** از گاز سرد بوده و قطری به مراتب بزرگتر از قطر کنونی خود داشته است. واضح است که چنین کره گازی سردی نمی‌توانسته است در حال تعادل باشد، چه فشار نسبتاً خفیف گاز سرد و بسیار رقیق هرگز نمی‌تواند با وجود جاذبه‌های ثقلی که میان قسمت‌های مختلف آن وجود دارد حال تعادل پیدا کند. چنین است که خورشید ابتدایی در تحت تأثیر وزن خود انقباض سریعی پیدا کرده و گازهایی را که در قسمت داخلی آن قرار داشته می‌فشرده است. از طرف دیگر، بنا بر اصول مقدماتی فیزیک می‌دانیم که چون گازی فشرده شود درجه حرارت آن بالا می‌رود. بنابراین انقباض تدریجی یا کوچک شدن کره گازی غولپیکر ابتدایی سبب گرم شدن ماده آن شده تا آنکه ازدیاد فشار قسمت درونی به حدی رسیده است که بتواند وزن قشرهای خارجی را تحمل کند.

در این مرحله بایستی کوچک شدن جرم متوقف شود، و اگر از سطح آن هیچ انرژی بیرون نرود تعادل کاملی در آن برقرار گردد. ولی چون پیوسته از سطح خورشید تشعشعاتی به فضای سرد اطراف آن صورت

می گرفته ، کره گازی ما به صورت پیوسته مقداری انرژی از کف می داده و به همین جهت برای جبران این نقض لازم می شده است که مجدداً انقباضی صورت پذیرد . بنا بر نظریه هلمهولتز خورشید اکنون در همین مرحله انقباض تدریجی است ، و تشعشع آن نتیجه هیچ فعل و انفعال شیمیایی نیست ، بلکه منبع این انرژی همان انرژی ثقلی است که در ضمن عمل انقباض آزاد می شود .

از روی قانون جاذبه نیوتون به آسانی می توان حساب کرد و دریافت که برای برقرار ماندن شدت تشعشعی که در خورشید دیده می شود ، لازم است که شعاع کره خورشید در هر قرن به اندازه 3×10^3 درصد که تقریباً دو کیلومتر است کوچکتر شود . البته چنین تغییری برای عمر یک فرد و حتی برای تمام تاریخ بشریت ممکن است نامحسوس باشد ، ولی چون آنرا نسبت به مقیاس زمانی دوره های معرفه الارضی در نظر بگیریم ، مقدار انقباض بسیار زیاد و قابل ملاحظه می شود .

مقدار کل انرژی ثقلی خورشید که از ابتدای پیدایش آن (حتی در آن زمان که حجم بینهایت داشته) تا وضع حاضر آزاد شده ، قابل محاسبه است و اندازه آن فقط به $10^{47} \times 2$ ارگ بالغ می شود ، که این خود هزار بار از انرژی کلی صادر شده از خورشید کوچکتر است . بنابراین اگرچه نظریه انقباضی هلمهولتز برای توجیه حالت ابتدایی خورشید بسیار قابل قبول به نظر می رسد ، باید چنین نتیجه بگیریم که خورشید در حال حاضر خود منبع انرژی دیگری در اختیار دارد که از انرژی شیمیایی یا ثقلی بسیار نیرومندتر است .

انرژی زیر اتمی^۱

علم فیزیک قرن گذشته توانایی آنرا نداشت تا به ما بگوید که ذخیره انرژی خورشید در کجاست . ولی در آغاز قرن حاضر که نمود انحلال و تجزیه تشعشعی ماده کشف شد و امکان تحویل عناصر به یکدیگر

1 . Subatomic energy

پیدایش و مرگ خورشید

فراهم آمد، روشنی خاصی بر این مشکل اساسی علم فیزیک ستارگان افکنده شد. این نکته را فهمیدند که در ژرفنای ماده و در داخل هسته بینهایت کوچک اتمهایی که تمام اجسام مادی از آنها ساخته شده است مقادیر عظیمی از انرژی نهفته است. آنچه به نام انرژی زیر اتمی نامیده شده، و در ابتدا به نظر می‌رسید که فقط به‌کندی از اتمهای اجسام رادیو آکتیو خارج می‌شود، درپاره‌ای اوضاع و احوال ممکن است به شکل سیل نیرومندی جاری شود که میلیونها مرتبه از انرژی که در فعل و انفعالات شیمیایی آزاد می‌شود بزرگتر باشد.

مطالعه در انرژی زیر اتمی و شرایط فیزیکی لازم برای آزاد شدن آن، در ازمنه اخیر به ما اجازه آنرا داده است که نه تنها بتوانیم به حساب تشعشعات خورشید رسیدگی کنیم، بلکه تشعشعات و سایر خواص انواع مختلف ستارگانی که منجمان آنها را می‌شناسند، نیز از این راه شناخته شود. به علاوه، پس از حل شدن مسائل مربوط به منابع انرژی، مسائل مربوط به تحول ستارگان و مخصوصاً گذشته و آینده خورشید به حل نهایی نزدیکتر شده است.

ولی پیش از آنکه به بحث در این مسائل جالب بپردازیم، باید به گردش درازی در جهان اتمها بپردازیم تا معلومات خاص و مهمی را درباره خواص و ساختمان درونی اتمها فراگیریم. ممکن است بعضی از کسان که این کتاب را تنها به عشق عنوان نجومی آن خریده‌اند، از این حاشیه روی ناراحت شوند و این خود مایه تأسف نویسنده است، ولی باید دانست که جز شاعران هیچ کس نیست که بتواند از ستارگان سخن گوید بی آنکه به ماده‌ای که این ستارگان از آن ساخته شده اشاره‌ای کند. اگر خواننده حوصله کند و سه فصل کمی دشوار آینده را بخواند و به خوبی فهم کند، اجر او آن خواهد بود که مطالب مربوط به نجوم را که پس از آن فصول آمده به نیکوترین وجهی خواهد فهمید. از طرف دیگر ممکن است از خواندن این سه فصل صرف نظر شود و نتایجی را که از آنها به دست می‌آید بپذیرند، و البته از این راه به فهم گذشته و حال و آینده انقلابی خورشید زیانی نخواهد رسید.

فصل دوم

گالبدشناسی ائومها

ائوم به عنوان مفهومی فلسفی



تاریخ نظریه ائومی در شهر قدیمی یونان به نام آبدرا ۱ تقریباً در سال ۳۷۵ پیش از میلاد آغاز شده است. نخستین پیشقراول این نظریه مرد سالمندی بود که ریش پریشان انبوهی داشت و عقاید خود را در سایه معبدی به مردم تعلیم می داد. نام وی **دموکریتوس** ۲ بود و مردم به او لقب فیلسوف خندان داده بودند.

می شود تصور کرد که وی در ضمن سخنان خود به شاگردانش چنین گفته باشد: «هرپاره آزماده، مثلاً این تکه سنگ، از عده فراوانی اجزای مجزای بسیار خرد ساخته شده است، همان گونه که این معبد که در

-
1. Abdera
 2. Democritus

پیدایش و مرگ خورشید

برابر چشم است از تکه‌های مجزای سنگ برپاشده است. این اجزای خرد که همه اجسام مادی از آنها ساخته شده به اشکال و اوضاع مختلف مجاور یکدیگر قرار می‌گیرند، همان‌گونه که از حروف الفبا با آنکه شماره آنها چندان زیاد نیست این همه کلمات ساخته می‌شود. این اجزای اساسی ریز آخرین حد قابل تصور بخش‌پذیری ماده است و به همین جهت من آنها را به نام **اتوم** [یعنی بخش‌ناپذیر] می‌نامم ... اتوم به اندازه‌ای کوچک است که منطقی نمی‌توان آنرا به پاره‌های خردتری تقسیم کرد.»

برای فکر فلسفی **دموکریتوس** وجود اتومها ضرورت منطقی داشت، و این را حد آخر تجزیه ماده می‌دانست، و به نظر او عمل تقسیم ماده نمی‌توانست پایان‌ناپذیر باشد. فرض وجود اتوم به نظر وی انواع مختلف نمودهایی را که در جهان مشاهده می‌شود تقلیل می‌داد، و آنها را به ترکیب چند نوع اجزا و ذرات ابتدایی منحصر می‌ساخت، و به همین جهت این فکر با تصور فلسفی وی درباره سادگی طبیعت هماهنگی و سازگاری داشت.

به تبعیت از افکاری که در آن زمان بر فلسفه یونان حکمروایی داشت، دموکریتوس چهار نمونه اصلی اتوم مربوط به آب و خاک و باد و آتش قائل شد، که به ترتیب نماینده تری و خشکی و سبکی و سنگینی به شمار می‌رفتند. به عقیده وی تمام مواد شناخته شده طبیعت از راه ترکیبات متنوع این عناصر اصلی به دست آمده است، همان‌گونه که گل از اختلاط آب و خاک به دست می‌آید، یا بخار از «اختلاط آب و آتش» در دیگ فراهم می‌شود. وی حتی درباره خواص این ذرات اساسی مواد حدسهایی داشت و بالخاصه چنان تصور می‌کرد که «اتومهای آتش» شکل‌گروی لغزان دارند، و از همین راه جاننداری شعله‌ها تفسیر می‌کرد.

کیمیاگری و جنون طلاسازی در قرون وسطی

از آن زمان که متفکران یونان در اندیشه آن افتاده بودند تا تنها از راه فکر و تصور به اسرار ساختمان ماده پی‌ببرند، چندین قرن گذشت، تا اینکه مردم به فکر افتادند که از راههای عملی‌تری به تحقیق در ماده و تبدیل مواد به یکدیگر توجه پیدا کنند. در تمام قرون وسطی کیمیاگران

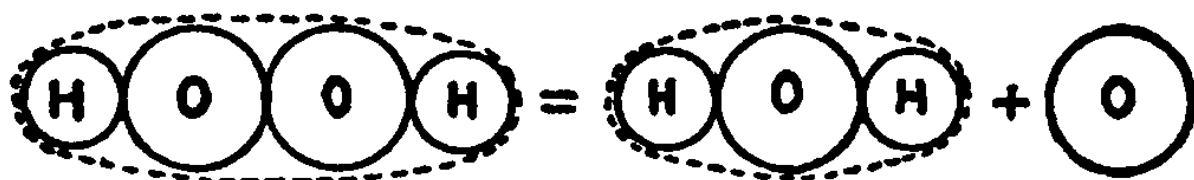
اروپا در داخل اطاقهای تاریک خودکنار کوره‌های آتش و قرع و انبیقهای گوناگون و مواد و فلزات مختلف بیهوده رنج می‌بردند. با اتکای به عقیده فلسفی کهن وحدت اصل انواع مختلف ماده، به عشق به دست آوردن پول و ثروت مند شدن، هرگونه ماده‌ای را که در طبیعت وجود داشت و به دست آنان می‌افتاد، می‌کوبیدند و گرم می‌کردند و می‌گداختند و حل می‌کردند و می‌جوشاندند و بخار می‌کردند و به حالت تصعید در می‌آوردند، و به هر راهی متوسل می‌شدند تا مگر بتوانند دراز ساختن و پرداختن طلای مصنوعی را به دست آورند، و در ضمن همین کارها بود که بر حسب اتفاق شالوده علم شیمی جدید را ریختند.

در آن هنگام به جای چهار «عنصر» فلسفه یونان قدیم چهار ماده دیگر را که به حالت عنصری تصور می‌شد قرار داده بودند، و این چهار ماده عبارت بود از: جیوه و گوگرد و نمک و آتش. چنان باور داشتند که چون این مواد بر نسبت‌های معین بایکدیگر ترکیب شود، ممکن است از این راه زروسیم و سایر مواد به دست آید. ولی چون علی‌رغم کوششهای صدها کیمیاگرد در مدت‌های طولانی بالاخره امکان ساختن طلا به دست نیامد، کم‌کم در اواخر قرن هفدهم این فکر در بسیاری از آزمایشگاههای کیمیاگری رواج یافت که این دو فلز گرانبها و بسیاری از مواد دیگر خود ممکن است عناصری بوده باشند. به این ترتیب بود که فن اسرار آمیز طلاسازی رفته رفته سبب پیدایش علم شیمی شد، و چهار ماده عنصری فن کیمیاگری و فلسفه جای خود را به عدد زیادتر ولی محدودی از عناصر مستقل شیمیایی داد.

چون نتیجه کارهای کیمیاگران قرون وسطی همیشه منفی بود، در قرنهای هجدهم و نوزدهم عدم امکان تبدیل عناصر به یکدیگر یکی از اصول پابرجا و مسلم علمی به شمار می‌رفت. در این زمان اتومهای عناصر مختلف را همان‌گونه که از معنی یونانی کلمه اتوم بر می‌آید بخش ناپذیر می‌دانستند، و در میان دانشمندان عنوان کیمیاگر باسخریه و سرزنشی همراه بود. ولی چنانکه پس از این خواهیم دید رقاصک نماینده این نظریه به منتهی حد مسیر خود رسیده و در شرف آن بود که هر چه زودتر در جهت مخالف به راه افتد.

شیمی مقدماتی

اگر انواع مختلف اتمها محدود باشد (اکنون می دانیم که ۹۲ عنصر وجود دارد)، پس بایستی این عدهٔ بشمار مواد واجسامی را که می بینیم از ترکیبات گوناگون آن عناصر به وجود آمده باشد؛ واجزای مرکبی که در ساختن این مواد به کار می رود، یعنی **مولکولهای** مواد شیمیایی غیر بسیط تنها اختلافشان بایکدیگر از آن است که عدد اتمهایی که در آنها به کار رفته تفاوت دارد و راه ترکیبشان یکسان نیست. امروز هر دانش آموزی می داند که مثلا مولکول آب از دو اتم **تیدروژن** و یک اتم اکسیژن مرکب شده، یا اینکه مولکول پراکسید **تیدروژن** یا آب اکسیژنه که آن اندازه مطلوب بانوانی است که آرزوی گیسوان بوردارند - از دو اتم **تیدروژن** و دو اتم اکسیژن ساخته شده. در مولکول این جسم اخیر استحکام اتم دیگر اکسیژن کمتر است و زودتر می تواند آزاد شود، و به همین جهت است که سبب اکسید کردن و بنابر آن بیرنگ ساختن مواد آلی مختلف می شود. راه تجزیه شدن شیمیایی یک مولکول پراکسید **تیدروژن** و به دست آمدن یک مولکول آب و یک اتم اکسیژن چنان است که ما آنرا در شکل (۲) نمایش داده ایم.



شکل ۲

تجزیهٔ آب اکسیژنه و به دست آمدن آب و اکسیژن

علمای شیمی برای آنکه این کیفیت تجزیه و ترکیب را بهتر و آسانتر نمایش دهند، فورمولهایی به کار می برند که در آنها عناصر شیمیایی با رموز و علامتهای خاصی نموده می شود (یک یا دو حرف از نام یونانی یا لاتینی آن عناصر)، و عدهٔ اتمهای موجود در هر مولکول را با عدد کوچکی که در طرف راست و پایین آن رمز قرار داده شده نشان می دهند. مثلا فعل و انفعال شیمیایی تجزیهٔ پراکسید **تیدروژن** را که پیش از این دیدیم به این صورت می نویسند:



به همین ترتیب است که برای نمایاندن گاز کربونیک فورمول CO_2 به کار می رود و برای الکل و کاتکسود و سیانور نقره به ترتیب چنین می نویسند:



فرض وجود اتم و مولکول مستلزم آن است که مقادیر مختلف عناصر شیمیایی که برای ساختن یک جسم مرکب شیمیایی لازم می شود، همیشه باید بر نسبت اوزان اتمهای متناظر با آنها بوده باشد، و چون تجربه هم این نظر را تأیید می کند، خود دلیل است بر آنکه این طرز تفکر و تصور صحت دارد. نظریه اتمی را نخستین بار یک دانشمند شیمی انگلیسی به نام **جان دالتون** در آغاز قرن گذشته وضع کرده است.

استدلال دالتون از این قرار بود: «فرض کنیم که حق با **دموکریتوس** بوده است و حقیقتاً همه اجسام بسیط از اتمهای بینهایت کوچک ساخته شده باشند. اگر کسی بخواهد این اتمها را برای ساختن مرکبات شیمیایی به کار برد، بایستی از هر نوع اتم یک یا دو یا سه یا بیشتر بردارد، و مثلاً هرگز نمی تواند با سه اتم و ربع اتم کار کند، درست مثل آنکه با سه نفر و ربع نفر نمی توان یک نمایش ورزشی را انجام داد.» پس از آنکه وی به سال ۱۸۰۸ در شهر منچستر کتاب معروف خود به نام «**سازمان جدید فلسفه شیمیایی**»^۲ را انتشار داد، وجود اتم و مولکول به عنوان شالوده استوار و تزلزل ناپذیر علم ماده مورد قبول قرار گرفت. از تحقیق کمی در فعل و انفعالات شیمیایی که میان عناصر مختلف صورت پذیر می شود، توانستند که **وزن اتمی نسبی** آن عناصر را با مقایسه به یکدیگر حساب کنند، ولی تعیین وزن مطلق و بزرگی اتم چیزی بود که علم شیمی به آن دسترس نداشت. برای آنکه در نظریه اتمی ترقیات بیشتری پیش آید، لازم بود که علم فیزیک ترقی کند و اکتشافات تازه در آن صورت گیرد.

1. John Dalton

2. *New System of Chemical Philosophy*

نظریه حرکتی حرارت

آیا از راه نظریه مولکولی ساختمان ماده می توان اختلافی را که میان سه حالت جامد و مایع و بخار هر ماده موجود است توجیه و تفسیر کرد؟ می دانیم که هر ماده در طبیعت می تواند به هر یک از این اشکال سه گانه در آید. حتی آهن در چند هزار درجه به صورت بخار در می آید، و چون درجه حرارت به اندازه کافی تنزل کند هوا شکل تخت جامدی را پیدا می کند. اختلاف میان سه حالت جسم نتیجه اختلاف درجه حرارت است. چون جسم جامدی را گرم کنیم به حالت مایع مبدل می شود، و اگر بیش از آن گرم شوم مایع به حالت گازی در می آید. ببینیم خود حرارت چیست؟ در مراحل نخستین پیدایش علم فیزیک چنان می اندیشیدند که گرما ماده سیال منحصر به فرد بی وزنی است که از جسم گرم به اجسام سردتر می رود و آنها را گرم می کند، و این خود بازمانده آن فکر کهن یونانی بود که آتش را به عنوان عنصری می شناختند. ولی می دانیم که چون دستهای خود را به یکدیگر مالش دهیم گرم می شوند، و چون قطعه آهنی را با چکش بکوبیم آن نیز درجه حرارتش بالا می رود. این خود مایه تعجب بود که چگونه مالش یا کوبیدن ممکن است سبب تولید آن «سیال حرارتی» فرضی شود.

با نظریه مولکولی تفسیر بهتری برای حرارت به دست آمد. بنا بر این نظریه جسم گرم محتوی هیچ سیال اضافی نیست، بلکه تنها تفاوت آن با جسم سرد وابسته به حالت حرکت ذرات آن است. **مولکولهای هر جسم مادی در درجه حرارت متعارفی حالت حرکت دائمی دارد و هر چه این حرکت تندتر شود آن جسم گرمتر به نظر می رسد.** چون جسم گرمی را در مجاورت جسم سردی قرار دهیم، مولکولهای جسم گرم که حرکت تندتری دارند، در سرحد مشترک، با مولکولهای جسم سرد که کندتر حرکت می کنند تصادم پیدا می کنند، و مقداری از انرژی حرکتی خود را به آنها می دهند. به این ترتیب حرکت مولکولهای اولی رفته رفته کندتر و حرکت مولکولهای دومی رفته رفته تندتر می شود، تا به جایی می رسد

1. the Kinetic theory of heat

جورج کاموف

که در هر دو جسم انرژیهای حرکتی مولکولها بایکدیگر برابری پیدا می‌کنند؛ در این هنگام است که می‌گوییم هر دو جسم درجه حرارت واحدی دارند و «جریان حرارت» از یکی به دیگری منقطع می‌شود.

با این طرز تصور نسبت به گرما و درجه حرارت چنین نتیجه می‌شود که بایستی **یک درجه حرارت پست یا صفر مطلق** وجود داشته باشد، و در آن درجه حرارت تمام مولکولهای اجسام مادی کاملاً از حرکت بیفتند و ساکن شود. در چنین درجه حرارتی ذرات خرد سازنده هر ماده در نتیجه قوه جاذبه میان آن ذرات به یکدیگر می‌چسبند و جسم به حالت صلب و جامد درمی‌آید.

به تدریج که درجه حرارت بالاتر رود، رفته رفته مولکولها به حرکت در می‌آیند و زود یا دیر مرحله‌ای می‌رسد که دیگر قوه جاذبه میان ذرات نمی‌تواند آنها را متصل به یکدیگر نگاه دارد و نگذارد که از جای خود بجنبند، ولی هنوز قوه جاذبه می‌تواند نگذارد که مولکولها فرار کنند و پراکنده شوند. جسم دیگر به حال جامد نیست ولی حجم محدود خود را حفظ می‌کند، و در این هنگام است که می‌گوییم حالت مایع پیدا کرده است. چون درجه حرارت بیشتر ترقی کند، مولکولها چنان به سرعت حرکت خواهند کرد که از یکدیگر دور می‌شوند و به همه جهات می‌پرنند، و به این ترتیب است که مایع به گاز مبدل می‌شود، و گاز دائماً خواستار آن است که جای بیشتری را بگیرد. علت اینکه بعضی از اجسام زودتر ذوب یا تبخیر می‌شوند، آن است که نیروی جاذبه و التصاق میان مولکولهای آنها با اجسام دیگر تفاوت دارد.

انرژی حرکت مولکولی

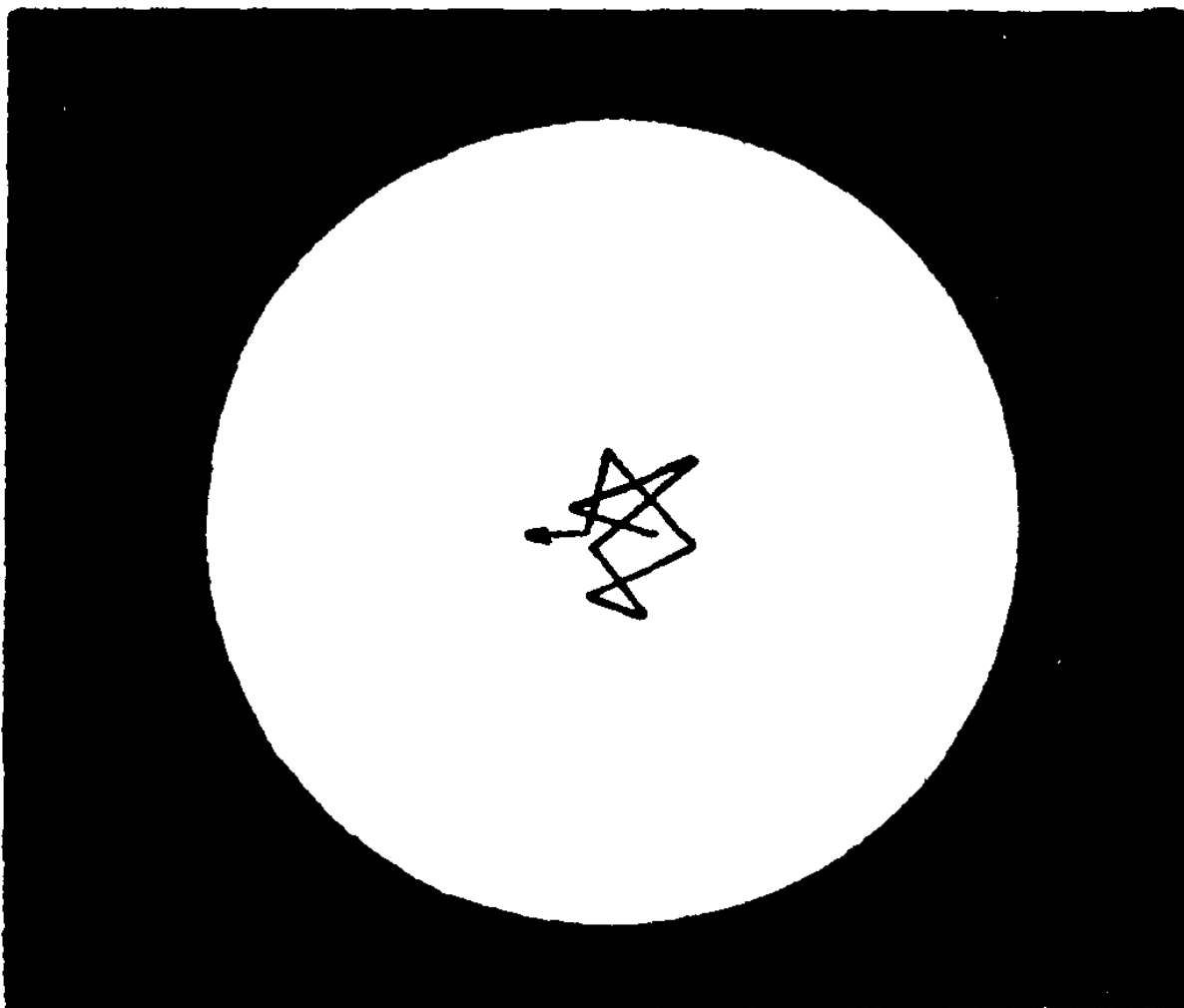
آیا برای آنچه گفتیم هیچ دلیل تجربتی وجود دارد؟ و آیاراهی هست تا کسی بتواند حرکت حرارتی مولکولها را به چشم ببیند؟ نخستین گام در آغاز قرن نوزدهم در این راه برداشته شد، و کسی که عامل آن بود هیچ نمی‌دانست که اکتشاف او چه اهمیت فراوانی دارد.

رابرت براون^۱ سرپرست مجموعه‌های گیاهی موزه لندن که

1. Robert Brown

پیدایش و مرگ خورشید

پشت میکروسکوپ خودخم شده و مشغول نگاه کردن بود، باکمال تعجب دریافت که هاگهای گیاهی معلق در قطره کوچک آب زیر میکروسکوپ حالت شکفت انگیزی پیدا کرده اند. چنان به نظری رسید که این هاگها جاندار شده اند و حرکت دایمی ولی غیر منظمی دارند؛ به این طرف و آن طرف می جهیدند و مسیر شکسته ای را می پیمودند، ولی هرگز از اطراف وضع نخستین خود زیاد دور نمی شدند (شکل ۳). چنان می نمود که



شکل ۳

مسیر حرکت براونی همان گونه که در زیر میکروسکوپ دیده می شود.

تمام داخل قطره آب مانند چیزهایی که در داخل يك قطار سریع السیر باشد حالت لرزش خاصی پیدا کرده است، ولی میکروسکوپ بر روی میز آن گیاه شناس پیر محکم بر جای خود بود و هیچ تکانی نداشت!

این خاصیت حرکت دایمی در مورد هر ذره خردی که در مایعی به حال تعلیق باشد، و همچنین درباره ذرات خرد فلز که در آب معلق باشد (فلزاتی که به حالت تعلیق سریشمین باشند)، و همچنین در ذرات غبار بسیار خرد موجود در هوا قابل مشاهده است.

براون در سال ۱۸۲۸ خبر اکتشاف خود را منتشر ساخت، ولی نمی‌توانست برای آن علت صحیحی پیدا کند. تقریباً نیم قرن پس از آن ثابت شد که سبب حرکت براونی آن است که ذرات خرد معلق مدام در تحت تأثیر بمباران نامنظم مولکولهایی که در اثر حرارت حرکت پیدا کرده‌اند قرار می‌گیرند. «ذرات خرد براونی» از لحاظ اندازه درست در نیمه راه میان مولکولهای خرد نامرئی و اجسام متعارفی که در زندگی روزانه آنها را با چشم خود می‌بینیم قرار دارند؛ از یک طرف کوچکی آنها به اندازه‌ای است که می‌توانند در تحت تأثیر تصادم با مولکولها به حرکت در آیند، و از طرف دیگر آن اندازه بزرگی دارند که ممکن است با میکروسکوپ به خوبی رؤیت شوند. با مطالعه در حرکت این ذرات خرد می‌توانیم انرژی حرکت حرارتی مولکولهای محیط بر آنها را مستقیماً حساب کنیم. قوانین اساسی مکانیک به ما می‌گوید که در مخلوطی از تعداد بیشمار ذرات متحرک که بدون نظم حرکت می‌کنند، همه آنها بایستی به طور متوسط انرژی حرکتی واحدی داشته باشند؛ بایستی که ذرات خردتر تندتر و ذرات درشتتر کندتر حرکت کنند تا آنکه حاصل ضرب جرم فردی در سرعت فردی آنها همیشه یکسان بماند (و همین حاصل ضرب است که به نام انرژی حرکتی^۱ نامیده می‌شود). اگر این **قانون تقسیم به تساوی انرژی^۲** در ابتدای کار اجرا نشده باشد، تصادم میان ذرات از سرعت ذرات تند می‌کاهد و بر سرعت ذرات کند می‌افزاید تا در پایان انرژی کلی میان همه آنها به تساوی قسمت شود. ذرات براونی اگر چه در نظر ما بسیار خرد است، ولی در مقایسه با مولکولها بسیار کوهپیکر جلوه می‌کند، و به همین جهت است

1. Kinetic energy

2. equipartition law of energy

جورج ساموف

ارتباط میان انرژی اندازه گرفته شده ذرات براونی را (که همان انرژی تک تک مولکولها است) با درجه حرارت مایع نشان داده ایم. در مورد آب واضح است که این اندازه گیری تنها میان دو نقطه یخ بستن و جوشیدن آن امکان پذیر است (و این همان قسمت است که در شکل با خط پرمیان ۰.۵ و ۱۰۰.۵ نمایش داده شده)؛ ولی چون همه نقاطی که در میان این دو حد واقع است بر روی خط مستقیمی قرار گرفته، می توانیم این خط را برای درجات حرارت کمتر و زیادتر نیز ادامه دهیم و قسمت نقطه چین شکل (۴) را با آن بسازیم.

این خط چون از طرف درجات کوچک امتداد پیدا کند، محور افقی را در نقطه ۲۷۳۵- قطع می کند. در این نقطه انرژی حرکتی مولکولها مطلقاً صفر می شود و از میان می رود، و به همین جهت بحث در درجات حرارتی پایینتر از این نامعقول و بی معنی خواهد بود. درجه ۲۷۳- پایینترین درجه حرارت ممکن را که همان صفر مطلق است معرفی می کند، و همین نقطه است که مبنای مقیاس حرارتی مطلق یا کلووین است.

اندازه گیری سرعت مولکولی

از آنجا که تحقیق در حرکت براونی به ما این توانایی را می دهد که انرژی حرکتی مولکولها را در حرکت حرارتی اندازه بگیریم، تنها محتاج قاعده ای هستیم که به وسیله آن سرعت مولکولها را حساب کنیم، و از این دو اندازه گیری به آسانی خواهیم توانست جرم مولکول را نیز به دست آوریم (چون می دانیم که انرژی حرکتی $= \frac{1}{2} \text{جرم} \times \text{مربع سرعت}$ است). یک دانشمند فیزیک آلمانی به نام او توسترن^۲ راهی بسیار عالی برای اندازه گیری سرعت مولکولها به دست آورده است. شترن می دانست که چون درگازها و مایعات مولکولها دائماً به یکدیگر تصادم می کنند، و سرعت آنها پیوسته و به صورت نامنظمی تغییر جهت می دهد، امیدی به

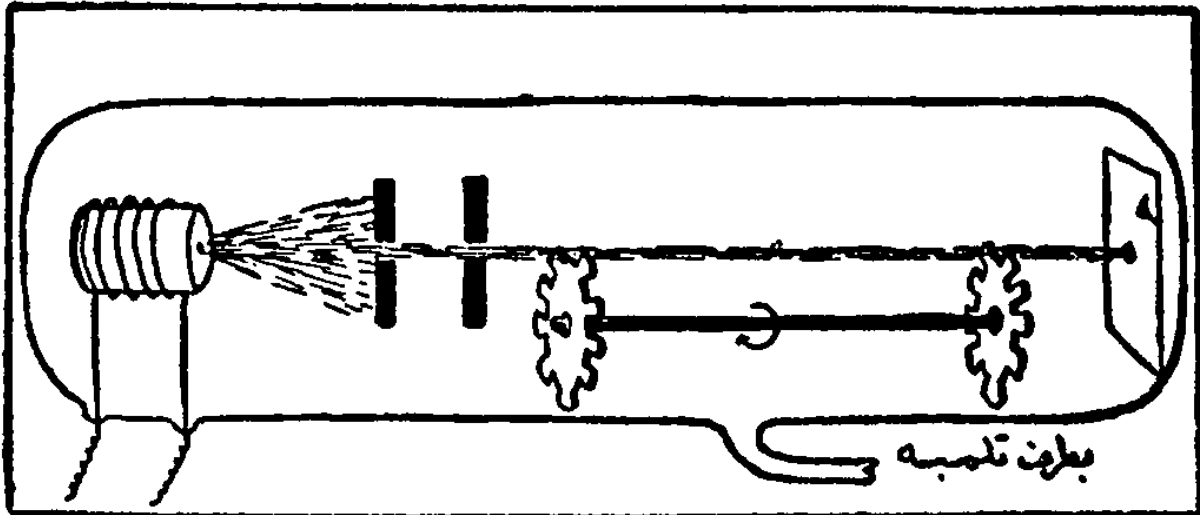
1. Kelvin's temperature scale

2. Otto Stern

پیدایش و مرگ خورشید

آن نیست که از این راه بتوانند سرعت مولکولها را به دست آورند. مثلاً در هوا هنگامی که فشار و حرارت معمولی را داشته باشد، عده تصادم مولکولها در هر ثانیه چندین بلیون است و راه بدون مانعی که هر مولکول میان دو برخورد متوالی می‌پیماید به طور متوسط 0.0001 سانتیمتر است.

شترن درصدد آن برآمد که عده معدودی از مولکولهای گازی را در اختیار بگیرد و برای آنها مسیری قابل اندازه‌گیری و بدون مانع بسازد، و پس از چندماه اسبابی را برای این منظور ساخت که در شکل (۵) صورت آن را نمایش داده‌ایم. تمام قسمتهای ماشین وی درون لوله طویل استوانه‌ای جای دارد که هوای آن را به کلی خالی کرده‌اند. در یک کنار این استوانه (طرف چپ) زندان مولکولها جای دارد و آن عبارت از اطاق بسته‌ای است که در آن ماده مورد امتحان قرار می‌گیرد (از راه دریچه‌ای که پشت اطاق است). از مفتولی که دور این اطاق پیچیده شده هر وقت بخواهند جریان برق را عبور می‌دهند تا چون حرارت زیاد شود ماده محتوی در آن



شکل ۵

شکل دستگاه شترن که برای اندازه‌گرفتن سرعت مولکولها به کار می‌رود. به حالت بخار درآید. چون ذرات این بخار در نتیجه حرکتی که به واسطه گرما پیدامی‌کنند به همه طرف می‌روند، قسمتی از آنها از سوراخ کوچکی که در دیواره این اطاق است به خارج پاشیده می‌شود. در برابر آن سوراخ دو صفحه سوراخدار است که چون ترشحات مولکولی به آنها می‌رسد

جورج گاموف

تنها آن مولکولها که در امتداد محور اطاق در حرکت بودند می توانند از سوراخ دوم خارج شوند. به این ترتیب یک دسته مولکول به دست می آید که همه در یک امتداد با سرعت اصلی خود حرکت می کنند.

ولی اساس کار این دستگاه آن است که بتواند سرعت مولکولهایی را که در این دسته به موازات یکدیگر حرکت می کنند، اندازه بگیرند. برای این منظور شترن از طریقهای استفاده کرد که در بعضی از شهرها برای تنظیم روشنی سر چهارراههایی که در یک خیابان طولانی قرار دارد به کار می رود، و چنان است که چون اتموبیلی با سرعت معین از یکی از چهارراهها گذشت دیگر به سر هر چهار راه که می رسد راه برای اوباز خواهد بود. راه کار دستگاه شترن به ترتیب ذیل است.

در سر راه دسته مولکولها دو چرخ دنداندار به دو طرف یک محور متصل است، و طرز اتصال آنها چنان است که برآمدگیهای یک چرخ مقابل فرورفتگیهای چرخ دیگر واقع می شود، و به این ترتیب اگر محور چرخها دوران نکند هیچ دانه مولکولی نمی تواند از آنها عبور کند. ولی اگر سرعت دوران محور آن اندازه باشد که مدتی که برای حرکت یک دندان به اندازه نصف پهنای آن لازم می شود درست مساوی مدتی باشد که مولکولها فاصله میان دو چرخ را طی می کنند، در آن صورت تمام مولکولهایی که دارای این سرعت معین هستند از میان هر دو چرخ عبور می کنند و در طرف راست استوانه بر روی صفحه ای اثر آنها ثبت می شود. به این ترتیب شترن با محاسبه سرعت دوران چرخها که برای عبور مولکولها لازم است، توانست سرعت ذرات دسته معین از مولکولها را اندازه بگیرد. سرعت اتموهای سو دیوم در درجه حرارت 1500°C شترن مساوی $100,000$ سانتیمتر در ثانیه (یا $3,600$ کیلو متر در ساعت) به دست آورد که چون از آنرو سرعت اتموهای ئیدروژن را در درجه حرارت متعارفی اطاق حساب کنیم سرعت $10^5 \times 28$ سانتیمتر در ثانیه به دست خواهد آمد.

چون اکنون با در نظر گرفتن تجربه پون (صفحه ۳۹) به خاطر آوریم که انرژی حرکتی حاصل از حرارت برای تمام ذرات در این درجه حرارت $10^{-14} \times 63$ ارگ است به آسانی می توان [از این راه که

پیدایش و مرگ خورشید

انرژی حرکتی = $۱۲ \text{ جرم} \times \text{مجدور سرعت}$ [دریافت که: **جرم اтом ئیدروژن برابر است با $۱۰^{-۲۴} \times ۱۶۶$ گرم**. جرم اتمها و مولکولهای دیگر را نیز می توان از روی وزن اتمی و وزن مولکولی نسبی آنها که از راههای شیمیایی به دست می آید اندازه گرفت. مثلاً مولکول آب ۱۸ مرتبه سنگینتر از اтом ئیدروژن است، و چون وزن يك سانتیمتر مکعب آب يك گرم است معلوم می شود که در این يك سانتیمتر آب $۱۰^{۲۲} \times ۳$ مولکول آب وجود دارد و بنابراین قطر يك مولکول آب برابر با $۱۰^{-۸} \times ۳$ سانتیمتر خواهد بود. ^۱ برای آنکه از ناچیزی وزن و حجم اтом و مولکول که در بالا به آن اشاره شد بهتر آگاه شویم، باید به خاطر بسپاریم که عدد مولکولهایی که در قطره كوچك آب موجود است تقریباً مساوی است بانصف عدد قطره های آبی که مثلاً در دریای خزر وجود دارد.

آمار و روش توزیع ماکسول^۲

پیش از این اشاره کردیم که در هر مجموعه ای که از شماره زیاد ذرات متحرك بینظم تشکیل شده باشد، تصادمات متقابلی که بین این ذرات رخ می دهد، به زودی حالتی را ایجاد می کند که در آن حالت مجموع کلی انرژی دستگاہ به طور متوسط در میان تمام ذرات به صورت متساوی تقسیم شده است. از عبارت « به طور متوسط » مقصود ما آن است که نشان دهیم که این قضیه تنها از لحاظ آماری صحت دارد، چه همان گونه که می دانیم در نتیجه عدم انتظام برخوردها هر مولکول در لحظه معین ممکن است سرعت بی اندازه زیاد داشته باشد، یا برعکس تقریباً بدون حرکت شود. بنابراین انرژی حرکتی هر ذره معین پیوسته و بدون ترتیب و نظم در حال افزایش یا کاهش است، ولی مقدار متوسط برای تمام ذراتی

۱. اندازه حجمی که برای مولکول حساب شده ارزش تقریبی و متوسط دارد چه، مطابق آخرین نظریه جاری در باره ساختمان اтом، حدود صحیح مولکول اساساً نامعین است (شکل ۱۴ دیده شود).

۲. Maxwell

که در آن مجموعه موجود است یکی خواهد بود. اگر در لحظه معین بتوانیم یک مرتبه سرعت همه مولکولهای گازی را که در ظرفی موجود است اندازه بگیریم، در خواهیم یافت که اگرچه انرژی اغلب ذرات بسیار نزدیک به اندازه انرژی میانگین و متوسط است، ولی همیشه در چند درصدی از آن ذرات سرعتی بسیار زیادتر یا بسیار کمتر از اندازه متوسط دارند.

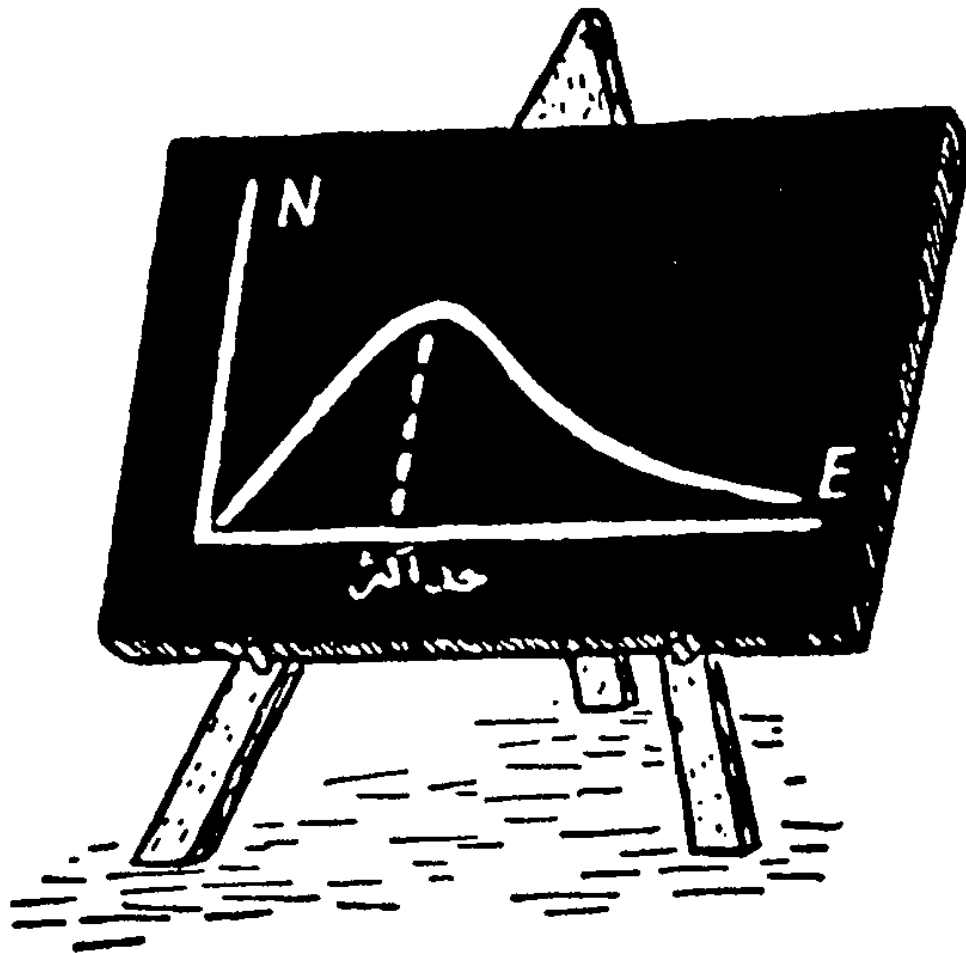
مثلاً از روی دستگاه شترن معلوم شده است که همیشه در دسته مولکولها بعضی ذرات تندتر یا کندتر از حد وسط حرکت می‌کنند. این مطلب از راه تجربه با آن دستگاه به این شکل اثبات شده است که چون سرعت حرکت چرخهای دندانه‌دار را تغییر دهند، بلافاصله دسته مولکولهایی که از میان آنها می‌گذرد از بین نمی‌رود، بلکه کم شدن شدت آن تا هنگام رسیدن به صفر به شکل تدریجی صورت می‌گیرد. از این نمونها راهی به دست می‌آید که از آن راه می‌توانیم معلوم کنیم چند مولکول با انرژیهای متفاوت در هر دسته وجود دارد. این طرز توزیع انرژی را دانشمند انگلیسی، **کلرک ماکسول**، از روی ملاحظاتی که تنها جنبه آماری دارد با فورمول ساده‌ای نمایش داده است که به نام **قانون توزیع ماکسول** نامیده می‌شود.

این طرز توزیع که نمودار آن در شکل (۶) دیده می‌شود کاملاً کلیت دارد و به هر مجموعه بزرگ ذرات قابل تطبیق است، خواه مولکولهای گاز محتوی در یک ظرف باشد یا مجموعه ستارگانی که کهکشان را تشکیل می‌دهد. پس از این خواهیم دید که این توزیع مولکولی سرعتها در مسائلی که به آزاد کردن انرژی زیر اتمی اجسام در درجات حرارت بسیار زیاد مربوط می‌شود، نقش مهمی بازی می‌کند.

آیا ائومها واقعا ذرات عنصری هستند؟

از زمانی که نظریه ائومی طرح‌ریزی شد و عنوان اساس و شالوده علم ماده را پیدا کرد، ائومها را عامل تمام خواص گوناگون عناصر مختلف می‌دانند. چرا چنین است که ئیدروژن می‌تواند با اکسیژن یا کربون متحد شود، ولی هرگز با سو دیوم یا مس ترکیبی نمی‌دهد؟ جواب

آن است که خواص اتمهای این اجسام مقتضی این نتیجه است. چرا چون ملح سودیومی درشعله چراغ گذاشته شود رنگ درخشان زردی به آن می‌دهد، در صورتی که املاح مس درشعله سبب پیدایش روشنی سبز رنگی می‌شود؛ به آن جهت که اختلاف خواص نوری اتمهای سودیوم و مس چنین است. چرا آهن سخت و محکم است و قلع نرم است و جیوه در حرارت متعارفی حالت مایع دارد؛ به آن جهت که در نیروی التصاق اتمهای این مواد چنین اختلافی موجود است.



شکل ۶

منحنی ماکسول که شماره نسبی مولکولها را در درجه حرارت معین با انرژیهای مختلف نشان می‌دهد. N در محور قائم نماینده شماره مولکولها است و E در محور افقی انرژی را نشان می‌دهد.

ولی آیا می‌توان توضیح داد که چرا اتمهای گوناگون خواص مختلف دارند؟ آری به آن شرط که اندیشه بخشناپذیر بودن قدیمی اتم

جورج گاموف

را از سر به در کنیم و به جای آن قبول کنیم که اتموم ساختمان پیچیده‌ای دارد و از ذرات خرد ترکیب شده. به این ترتیب شایستگی آنرا پیدا می‌کنیم که اختلاف خواص اتمومهای عناصر مختلف را نتیجهٔ اختلاف در ساختمان داخلی آنها بدانیم. ولی اگر واقعاً اتمومها دستگاه مرکب و پیچیده‌ای هستند، پس آن اجزائی که اتموم از آنها ساخته شده چیست؟ آیا می‌توان اتموم را « کالبدشکافی » کرد و اجزای مختلف آنرا بیرون آورد و هر یک را جداگانه مورد مطالعه قرار داد؟ برای جواب گفتن به این پرسشها بایستی نخست توجه خود را به نمودهای الکتریکی و بالخاصه ذرات برقی موسوم به الکترون معطوف داریم.

آب طلا دادن قدیمی عربی

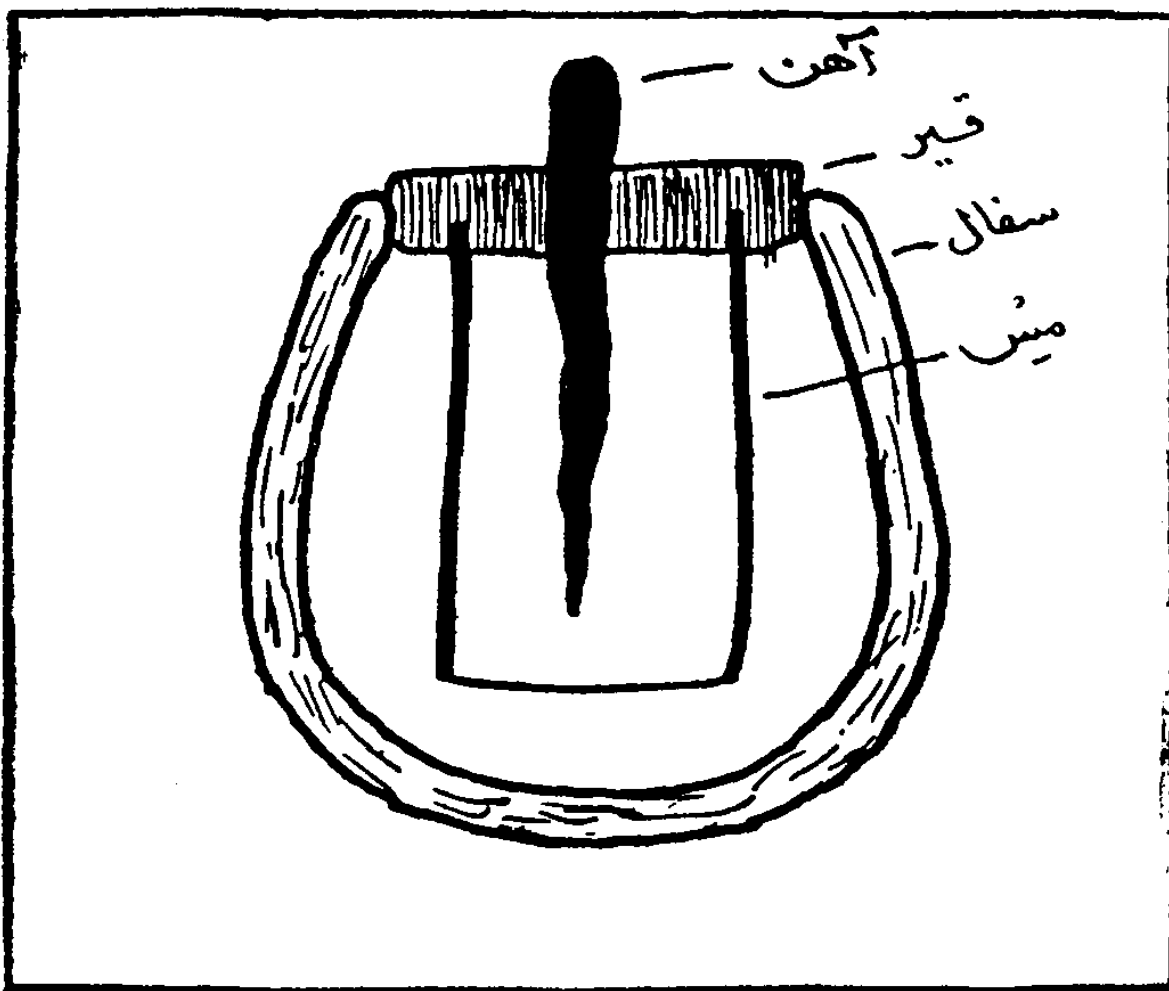
نخستین مورد استعمال برق و جریان برق از زمانی است که مدتها ازان می‌گذرد. در ضمن حفاریهایی که به تازگی در نزدیکی بغداد صورت گرفته، در میان آثاری که ظاهراً مربوط به قرن اول پیش از میلاد است ظرف عجیبی پیدا کرده‌اند. این يك ظرف گلی است که دهانهٔ آنرا قطعهٔ ضخیمی قیر پوشانده، و در میان این قیر استوانه‌ای مسین است که میله‌ای آهنی در وسط آن جای دارد. نوک این میله آهنی خورده شده و چنان می‌نماید که این خوردگی در تحت تأثیر اسیدی بوده است (شکل ۷).

به نظر می‌رسد که این ظرف برای تولید يك جریان برق ضعیف به کار می‌رفته است. به احتمال قوی این ظرف را زرگران عرب مدتها پیش از سلطنت افسانه‌ای هارون الرشید برای آب طلا دادن به کالاها و ساخته‌های خود به کار می‌برده‌اند. در پستوی دکانهای زرگری بازارهای رنگین شرق، دو هزار سال پیش از آنکه نمود الکترولیز^۱ به وسیلهٔ **گالوانی**^۲ ایتالیایی کشف شود و انسانیت ازان اطلاع پیدا کند، جریان برق برای آب طلا دادن به دستبندها و گوشواره‌ها مورد استعمال داشته است.

1 . electrolysis

2 . Dottore Galvani

پیدایش و مرگ خورشید



شکل ۷

یک باتری برقی عربی قدیمی.

بار برقی اتومها

همان راهی که به وسیله زرگران باستانی خاور زمین برای انتقال مواد به کار می‌رفته و به آن وسیله سطح فلزات را باقشری از زر و سیم می‌پوشاندند، برای به دست آوردن خواص ماده و برق توسط دانشمند شهیر انگلیسی **فاراده** نیز مورد استفاده قرار گرفت. فاراده در ضمن تجسس برای یافتن ارتباط میان مقدار فلزی که در تجزیه برقی رسوب می‌کند با مقدار برقی که به کار افتاده است، به این نتیجه رسید که مقدار رسوب

1. M. Faraday

جورج ساموف

عناصر گوناگون با وزنی که از آنها در ترکیبات شیمیایی وارد می‌شود تناسب دارد. این مطلب از لحاظ نظریه اتمی و مولکولی چنین معنی می‌دهد که بار برقی که به وسیله اتمهای مختلف حمل می‌شود، همیشه مضرب ساده‌ای از مقدار معین برق می‌باشد. مثلاً یک یون (یعنی اتمی که بار برقی دارد) ئیدروژن تنها یک بار برقی مثبت را حمل می‌کند، در صورتی که یون اکسیژن بار منفی مضاعف و یون مس بار مثبت مضاعف حمل می‌کند.

به این ترتیب معلوم می‌شود که به موازات اتمی بودن ماده یک اتمی بودن بار برقی نیز وجود دارد. ممکن است قدرمطلق این بار عنصری را به سادگی از راه تقسیم کردن مقدار کل برق که در ظرف تجزیه برقی گذشته بر عدد اتمهای ئیدروژنی که در الکترود منفی جمع شده است به دست آورد. چون این مقدار بار برقی عنصری را با آحاد متعارفی اندازه بگیرند، عدد بسیار کوچکی به دست می‌آید. مثلاً جریانی که برای به کار انداختن یک لامپ برق معمولی به کار می‌رود بلیونها بلیون از چنین بار برقی را در هر ثانیه حمل می‌کند.

اتمی بودن بار برقی در اجسام کوچک

پیش از این دیدیم که اتمی بودن ماده و حرکت حرارتی مولکولها را می‌توان به وسیله تأثیر همین حرکت در ذرات خرد برآونی با چشم مشاهده کرد. نیز می‌شود با مطالعه ذرات بینهایت کوچک که ممکن است از نیروهای خفیف برقی متأثر شوند، ناپیوسته بودن بار برقی را ملاحظه کرد، منتهی باید این ذرات به اندازه کافی بزرگی داشته باشند که دیدن آنها با میکروسکوپ امکانپذیر باشد.

در یک روز مه آلود پاییز سال ۱۹۱۱ رابرت ا. میلیکان^۱ استاد دانشگاه شیکاگو با دقت در میکروسکوپی نگاه می‌کرد که به یک مجموعه بیچیده از استوانه‌ها و لوله‌ها و سیمها ارتباط داشت. در میدان روشن میکروسکوپ قطره کوچکی در وسط هوا نزدیک محل تقاطع

1. Robert A. Millikan

تارهای عنکبوتی که نماینده مرکز میدان دید بود شناوری می‌کرد؛ این قطره کوچک یکی از هزاران قطره مشابهی بود که در زیر میکروسکوپ قرار داشت و همه آنها را عطرباشی تولید می‌کرد و مجموع آنها با چشم بدون میکروسکوپ همچون ابری از مه به نظر می‌رسید. ناگهان آن قطره کوچک مورد نظر که برای لحظه‌ای بیحرکت جلوه کرده بود به طرف بالا حرکت کرد، ولی پیش از آنکه بتواند کاملاً از میدان دید بیرون رود، دکتر میلیکان به سرعت دسته رئوستات را جابه‌جا کرد و دوباره آن قطره کوچک را به حالت سکون درآورد. دستیار او در این هنگام گفت: «دوپنجاه و هشت» و آنچه را بر روی ولت‌متر خوانده بود در دفترچه خود یادداشت کرد. و بار دیگر که حرکت دست رئیس خود را دید گفت: «یک بیست و نه» و همین‌طور: «صفر هشتاد و شش»، «صفر شصت و چهارونیم...» پس از آنکه میلیکان از تعقیب آن قطره کوچک ودقت زیاد در آن خسته شد، کار خود را رها کرد و در صندلی آرام گرفت.

چون به یادداشتهای دستیار خود مراجعه کرد گفت: «حادثه ظریفی بود. درست يك الکترون در هر بار. گمان می‌کنم که اکنون آن اندازه مواد در اختیار داریم که بتوانیم اندازه صحیح بار برقی عنصری را حساب کنیم.»

آیا این کارها برای چه بود و چه ضرورتی داشت که آن قطره کوچک در زیر میکروسکوپ بیحرکت نگاه داشته شود؛ اهمیت قضیه در این است که آن قطره کوچک که می‌خواست بگریزد تنها يك جسم مادی کوچکی بود که بار برقی داشت، و آن اندازه کوچک بود که می‌توانست از نیروهای برقی مؤثر هر بار عنصری متأثر شود میزان کردن ولتاژ برق برای اینکه آن قطره در جای خود ثابت بماند تنها راهی بود برای آنکه بتوانند بار برقی موجود در این قطره کوچک را اندازه بگیرند (شکل ۸).

بر حسب تصادف ابر کوچکی که در زیر میکروسکوپ میلیکان وجود داشت از جنس مهی که آن روز صبح خیابانهای شهر شیکاگو را پوشانده بود نبود. این ابر «مه‌روغنی» بود که ذرات آن را قطره-

تاباندن اشعه زیر بنفش بر مه روغنی خود به دانه‌های روغن موجود در آن بار برقی مثبتی داد که مقدار آن گاه به‌گاه تغییر پیدا می‌کرد. اگر چنین مه برقداری در میان دو صفحه خازنی قرار گیرد که صفحه تحتانی آن بار مثبت و صفحه فوقانی آن بار منفی داشته باشد، نیروی برقی مؤثر در دانه‌های روغن سبب آن می‌شود که این دانه‌ها به طرف بالا حرکت کنند. اگر میدان برقی میان دو صفحه را درست میزان کنند، ممکن است چنان شود که نیروی برقی روبه‌بالا با سنگینی وزن دانه روغن تعادل کند و این دانه در میان آن دو صفحه بیحرکت بماند؛ هر وقت در تحت تأثیر اشعه زیر بنفش بار این دانه تغییر پیدا کند، می‌خواهد حرکت کند، و میزان کردن ولتاژ از نو ضروری می‌شود. با دانستن ولتاژی که به کار رفته و جرم هر دانه ممکن است بار برقی را که این دانه دارد حساب کنند.

میلیکان با تجربه‌های متعددی که در این باره کرد به حقیقت دست یافت که اندازه عددی بارهای قطره‌های کوچک همیشه مضرب صحیحی از حداقل باری است که هرگز کمتر از آن مشاهده نمی‌شود. علاوه بر این معلوم شده است که این حداقل بار برقی که قطره کوچک روغن آن را حمل می‌کند درست به اندازه حداقل بار برقی اتوم باردار یایونی است که مقدار آن از روی نمودهای برقی به دست آمده است. از اینجا به طور قطع معین می‌شود که یک بار برقی **عنصری جهانی** وجود دارد، و اهمیت آن برای اجسام مادی بزرگتر همان اندازه است که برای اتومهای جدا از یکدیگر چنین است.

الکترون به عنوان ذره عنصری برق

تاکنون از مقادیر برقی که اتومها یا قطره‌های کوچک میلیکان یا اجسام مادی بزرگتر حمل می‌کنند سخن گفتیم. ولی می‌خواهیم بدانیم که آیا بار برقی همیشه به جسمی مادی بسته است، یا آنکه می‌توان این بار را از اجسام مادی جدا کرد و آن را به تنهایی در فضای آزاد مورد مطالعه قرار داد؟

پیش از این دیدیم که تمام اجسام چون در تحت تابش اشعه زیر

جورج ساموف

بنفش قرار گیرند دارای بار برقی مثبت می‌شوند. و از آنجا که نور دارای هیچ نوع بار برقی نیست و نمی‌تواند اجسامی را که به آنها می‌تابد دارای برق کند، باید چنین نتیجه بگیریم که در نتیجه تابش اشعه بر سطح جسم مقداری از برق منفی آن جسم از میان می‌رود، و این کیفیت شبیه است به آنچه به نام **صدور حرارتی برقی** نامیده می‌شود، و آن عبارت از این است که چون جسمی گرم شود از سطح آن بار منفی صادر می‌شود. به علاوه چون همه اجسام از اجتماع اتمهای مجزی از یکدیگر ساخته شده‌اند، آشکار می‌شود که در نتیجه تابیدن نور یا گرم شدن از این اتمهای جدا از یکدیگر بارهای برقی عنصری خارج می‌شود و از آنجا به این نتیجه می‌رسیم که این ذرات برقی منفی به طور نسبی لختترین قسمت سازنده اتم به شمار می‌روند. این بارهای منفی آزاد را الکترون می‌نامند و اکتشاف آنها نخستین گامی است که برای فهم ساختمان درونی اتم برداشته شد.

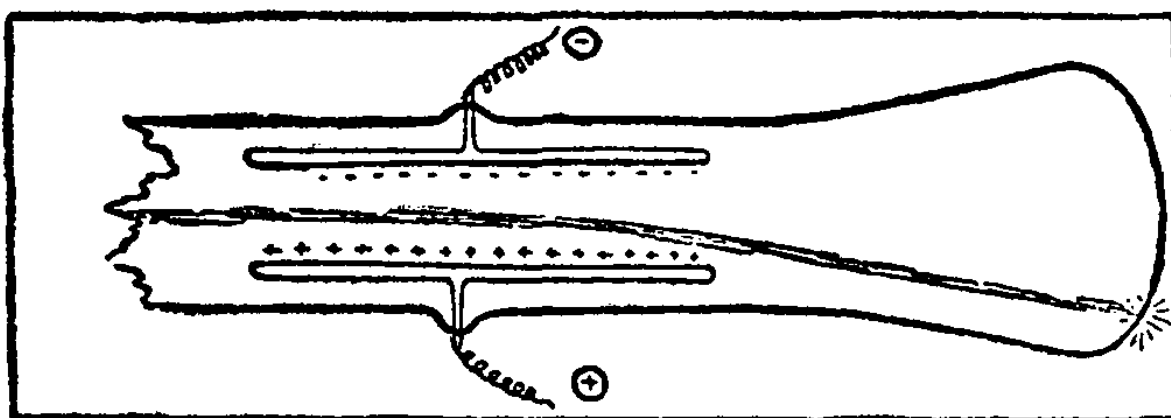
جرم يك الكترو ن

آیا این بار برقی آزاد جرم قابل توزینی دارد، و اگر چنین است نسبت این جرم به جرم کلی اتم چیست؟ جرم يك الكترو ن و اگر صحیحتر گفته شود نسبت بار برقی آن به جرمش نخستین مرتبه در پایان قرن گذشته به وسیله دانشمند فیزیک انگلیسی به نام **سر جوزف جان تامسن** اندازه گرفته شد. چون يك دسته الکترون را که از راه نورا برقی یا راه حرارتی تولید شده از میان دو صفحه خازنی عبور دهیم (شکل ۹)، الکترونها به طرف الکتروود مثبت جذب می‌شوند و الکتروود منفی آنها را از خود می‌راند و در نتیجه مسیر این دسته به طرف الکتروود مثبت خمیده می‌شود.

اگر این دسته الکترونی بر پرده‌ای که به ماده رخشانی (فلوآور- سانت) اندوده و در عقب خازن قرار گرفته باشد بتابد، آنرا روشن می‌کند

1. thermionic emission
2. Sir Joseph John Thomson

پیدایش و مرگ خورشید



شکل ۹

دستگاه ج . ج . تامسن برای اندازه‌گیری نسبت باربرقی به جرم الکترون.

وخمیدگی آن به‌خوبی آشکار می‌شود. نیروی برقی که بريك الکترون مؤثر می‌شود با بار آن تناسب دارد ولی تأثیر این نیرو برای خم کردن مسیر حرکت با جرم ذره‌ای که در حال حرکت است نسبت معکوس دارد. بنابراین تنها نسبت $\frac{\text{بار}}{\text{جرم}}$ یا، بنابر اصطلاح، **بار ویژه الکترون** است که از تجربه نتیجه می‌شود.

ولی باید در نظر داشت که انعطاف مسیر به‌سرعت حرکت نیز بستگی دارد و هر کس می‌داند که يك معادله را که دو مجهول دارد هرگز نمی‌توان حل کرد. اما جستن «معادله» دیگری برای حل این مسئله چندان دشواری ندارد. اگر به‌جای نیروی برقی نیروی مغناطیسی را که از قرار دادن آهنربایی در نزدیکی مسیر الکترون حاصل می‌شود مورد استفاده قرار دهیم، باز هم خط سیر الکترونها خمیدگی پیدا می‌کند، ولی این خمیدگی به‌صورت دیگری خواهد بود. از ترکیب نتایج این دو تجربه هم‌بار ویژه الکترون را می‌توان حساب کرد و هم سرعت آن را. و چون بار ویژه حساب شد، با دانستن اندازه بار مطلق می‌توان جرم الکترون را حساب کرد. **جرم الکترون بسیار کوچک و ۱۸۴۰ بار از جرم اتم ئیدروژن کوچکتر است.**

البته مقصود از این جمله آن نیست که هر اتم ئیدروژن ۱۸۴۰ الکترون دارد، زیرا علاوه بر الکترونهای حامل بار منفی هر اتم

جورج تاموف

قسمتی دارد که از بار برقی مثبت پر شده و جزء اعظم از جرم آن را می‌سازد.

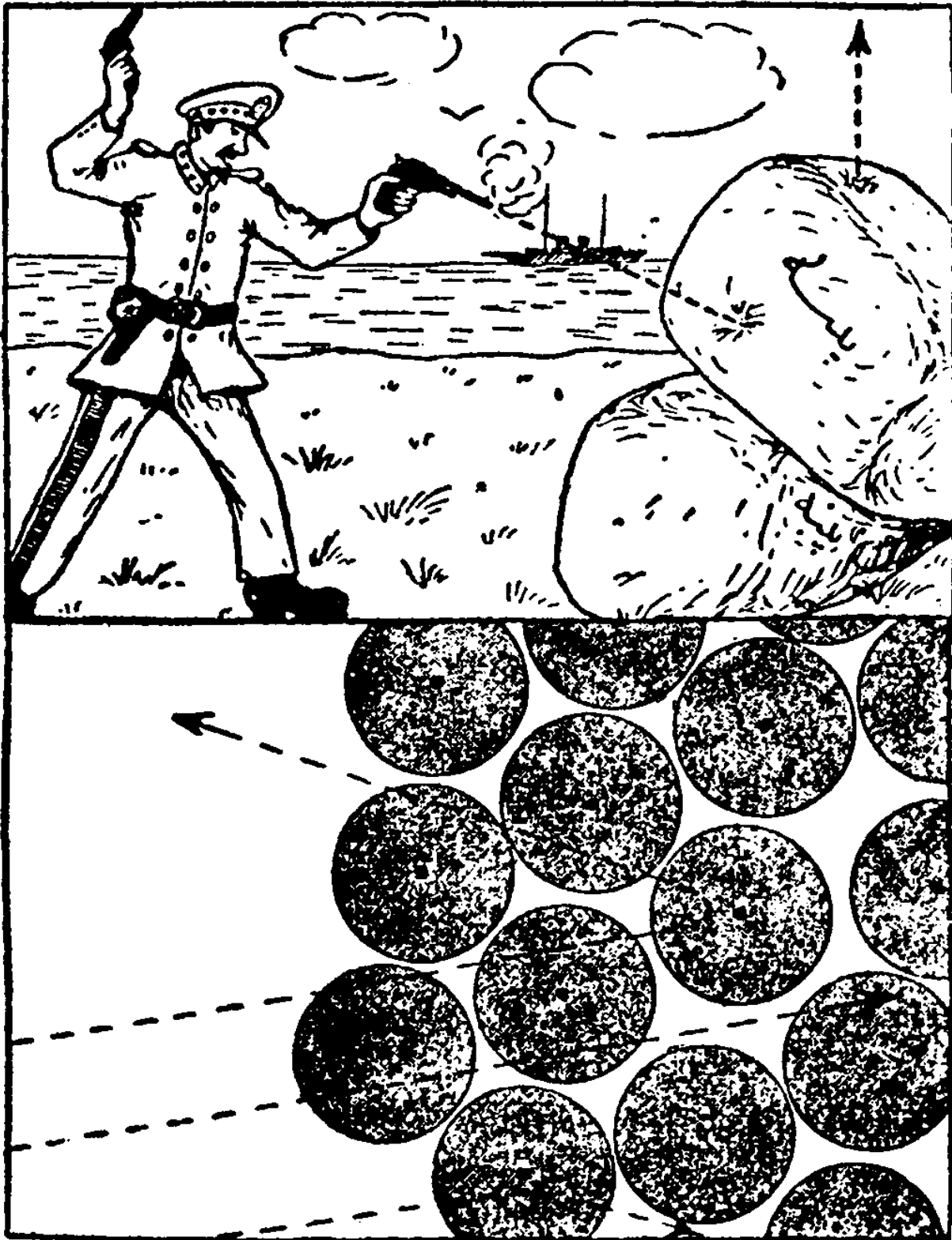
نمونه ائومی

مسئله اینکه بارهای مثبت و منفی در ائوم چگونه توزیع شده، به وسیله یکی از بزرگترین دانشمندان فیزیک زمان حاضر یعنی **سر ارنست رادرفورد** پدر فیزیک هسته مورد تحقیق قرار گرفته است. وی برای نخستین بار به سال ۱۹۱۱ به غور و بررسی ائوم پرداخت و کار اساسی او عبارت از آن بود که وسیله اکتشافی آن اندازه کوچک پیدا کند که بتواند در جسم کوچک ائوم داخل شود و «قسمتهای نرم» و «استخوانبندی» آنرا، در صورتی که چنین چیزی وجود داشته باشد، کشف کند.

برای آنکه روشی را که **رادرفورد** به کار برده بهتر درک کنیم مثالی می‌زنیم. فرض کنید یک مأمور گمرک وظیفه‌شناسی در مرز یکی از جمهوریهای کوچک امریکای جنوبی، در آن هنگام که کشورش در آستانه انقلابی است، به محمولات یک کشتی که همه بار آن عدلهای پنبه است ظنین شده و می‌خواهد آنها را مورد تفتیش قرار دهد تا مبادا در میان آنها اسلحه قاچاق حمل شده باشد. این شخص وقت کافی ندارد که همه عدلهای رایک به یک باز کند و پس از کمی تفکر هفت تیرهای خود را بیرون می‌آورد و گلوله‌های آنها را پشت سر هم در عدلهای پنبه خالی می‌کند. استدلالی که آن مأمور پیش خود می‌کند چنین است که: «اگر در این عدلهای پنبه چیزی نباشد گلوله به خط مستقیم از عدل خارج می‌شود یا اصلاً از آن بیرون نمی‌آید، ولی اگر ماجراجویان در میان عدلهای اسلحه مخفی کرده باشند پاره‌ای از گلوله‌ها کمانه خواهد کرد و گلوله از جایی که انتظار آن نمی‌رود خارج خواهد شد.»

راه حلی که مأمور پیشبینی کرده ساده و علمی است، و اساساً شبیه است باطریقه‌ای که **رادرفورد** برای اکتشاف درون ائوم به کار برده بود.

1. Sir Ernest Rutherford



شکل ۱۰

کشف قاچاق در بار پنبه و کشف هسته در اتوم به وسیله تیراندازی.

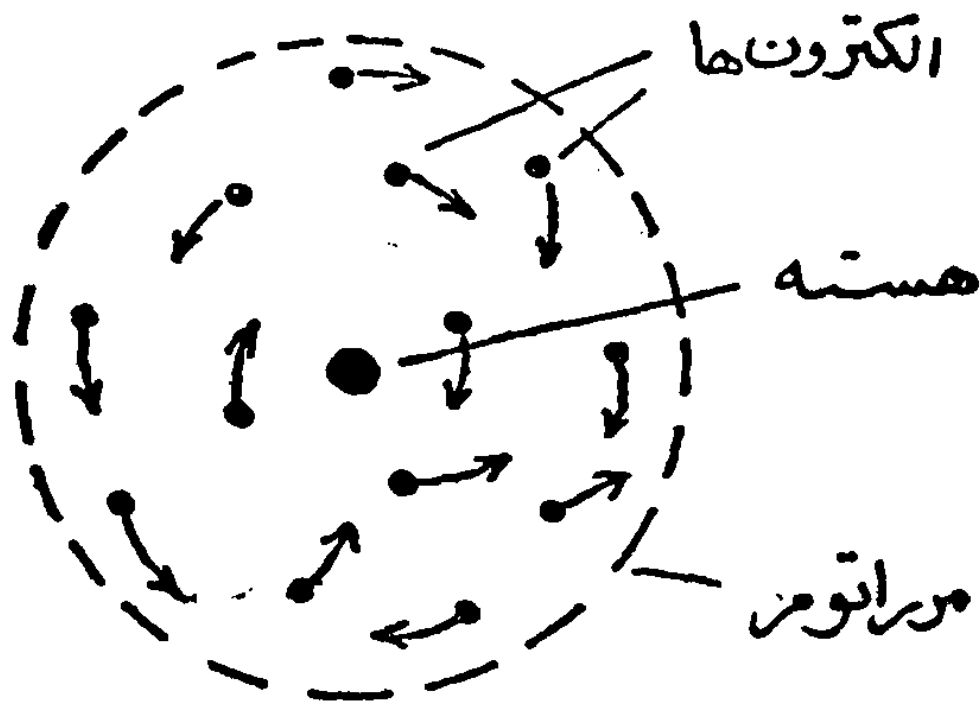
با این تفاوت که دانشمند فیزیک ما برای کار خود گلوله‌هایی را مورد استفاده قرار می‌داد که به طور نسبی بسیار بسیار خردتر بوده است. رادرفورد بسته‌بندی اتمها یعنی قطعه‌ای از ماده متعارفی را با آنچه به اصطلاح ذرات (آلفا) α نامیده می‌شود بمباران کرد و این ذرات عبارت از گلوله‌های بسیار کوچکی است که از اجسام رادیوآکتیو خارج می‌شود. ذره آلفا که از میان جسم يك اتم عبور کند، در تحت تأثیر بار برقی خود و قسمتهای باردار اتم قرار می‌گیرد، و به همین جهت بایستی از مسیر اصلی خود منحرف شود. به این ترتیب است که از روی پراکندگی دسته‌ای از ذرات آلفا که از میان ورقه نازکی از ماده عبور کرده باشد، ممکن است تصویری درباره توزیع بارهای برقی در اتمهای مورد نظر به دست آید. اگر بارهای مثبت و منفی درون اتم کمابیش به صورت یکنواختی تقسیم شده باشد، نباید انتظار آن داشت که در دسته ذرات آلفا پراکندگی فراوان مشاهده شود. ولی اگر به خلاف بار برقی حالت تمرکزی مثلاً در قسمت مرکزی اتم داشته باشد، آن قسمت از ذرات آلفا که از نزدیکی این مرکز عبور کند به سختی منحرف می‌شود، درست مانند گلوله‌های هفت تیر آن مأمور هوشمند گمرک که چون به اشیاء فلزی نهان شده در عدل پنبه برسد کمانه می‌کند و از راه اصلی خود به راه دیگری می‌رود.

تجربه‌های رادرفورد، عملاً زوایای انحراف شدیدی را نشان داد و این خود نشانه آن بود که در مرکز هر اتم بار برقی به شدت حالت انباشتگی دارد. به علاوه نوع انحراف خود نشان داد که بار برقی انباشته در قسمت مرکزی علامت مثبت دارد. این ناحیه مرکزی (که بار مثبت اتم و همچنین بزرگترین قسمت جرم آن در آنجا تمرکز یافته) لااقل ۱۰،۰۰۰ بار (از حیث قطر) از تمام اتم کوچکتر است و آن را به نام هسته اتم نامیده‌اند. بار منفی که این «اسکت نقطه‌ای» هر اتم را

۱. اشعه‌ای را که از فعل و انفعالات زیر اتمی سرچشمه می‌گیرد با حروف یونانی آلفا (α) و بتا (β) و گاما (γ) نمایش می‌دهند و در متن کتاب پس از این راجع به این اشعه سخن خواهیم گفت.

پیدایش و مرگ خورشید

احاطه می‌کند و مجازاً می‌توان به آن نام «گوشت اتوم» را داد، عبارت از عده‌ای الکترون است که در تحت تأثیر قوای جاذبه برقی دو طرفی برگرد هسته مرکزی در حالت دوران هستند (شکل ۱۱). چون جرم الکترونها به‌طور نسبی بسیار کوچک است این «جو منفی



شکل ۱۱

نمونه اتمی رادرفورد

اتوم» عملاً تأثیری در ذرات سنگین آلفا که از میان جسم اتوم می‌گذرند نخواهد داشت همان‌گونه که دسته‌پشه‌ای در یک جنگل نمی‌تواند در حرکت فیزیکی که ترسیده و در حال فرار است تأثیر داشته باشند. تنها آن ذرات آلفا که مستقیماً یا تقریباً به این صورت به هسته اتم برخورد کنند به سختی از مسیر اولی خود منحرف می‌شوند و در بعضی حالات ممکن است در جهت عکس مسیر خود به حرکت درآیند.

عدد اتمی و سلسله عناصر

چون هر اتم به عنوان یک مجموعه از لحاظ برقی خنثی است، بنابراین عدد الکترونهايي که برگرد هسته آن می‌چرخد از روی عده

بارهای عنصری مثبتی که هسته آن حمل می‌کند معلوم می‌شود، و این به نوبه خود از روی زاویه انحراف ذرات آلفا در نتیجه مجاورت با هسته اندازه گرفته می‌شود. به این ترتیب فهمیده‌اند که: **اتومهای عناصر مختلف از لحاظ عدد الکترونیایی که بر گرد هسته هر عنصر می‌گردد، باید دیگر تفاوت دارند.** اتم ${}^1_1\text{H}$ یک الکترون دارد و اتم هلیوم دو الکترون و همین‌طور بالا می‌رود تا اینکه به سنگین‌ترین عنصر شناخته شده یعنی اورانیوم می‌رسیم که هر اتم آن نود و دو الکترون را شامل می‌شود.

این مشخصات عددی را عموماً به نام **عدد اتمی** عنصر مورد نظر می‌نامند و این عدد با عددی که نماینده مقام آن عنصر در سلسله عناصر است و پیش از این از راه خواص شیمیایی به دست آمده مطابقت می‌کند (به شکل ۱۲ مراجعه شود). به این ترتیب می‌بینیم که تمام خواص فیزیکی و شیمیایی هر عنصر را ممکن است به آسانی با عددی که نماینده بار مثبت هسته اتمی آن است، یا به عبارت دیگر با عدد متعارفی الکترونیهای آن اتم، مشخص ساخت.

ایزوتوپها^۱

ولی پژوهشهای بسیار تازه که بیشتر آنها کار عالم فیزیک انگلیسی **ف.و. استون^۲** است ثابت می‌کند که اگر چه بار برقی هسته برای هر عنصر معین شده، جرم اتم ممکن است در حالت‌های مختلف تفاوت پیدا کند. مثلاً ثابت شده است که **کلور عادی عملاً مخلوطی از دو نوع اتم است که جرمهای هسته‌های آن دو باید دیگر تفاوت دارد.** سه چهارم این مخلوط از اتمهای کلور به جرم ۳۵ (نسبت به ${}^1_1\text{H}$) ساخته شده و یک چهارم آن از اتمهای با جرم ۳۷. وزن اتمی متوسط این مخلوط بایستی با $(35 \times \frac{3}{4}) + (37 \times \frac{1}{4}) = 35.75$ باشد، و این خود با اندازه‌گیریهای شیمیایی سابق وزن اتمی کلور (۳۵٫۴۶)

1. isotopes
2. F.W. Aston

پیدایش و مرگ خورشید

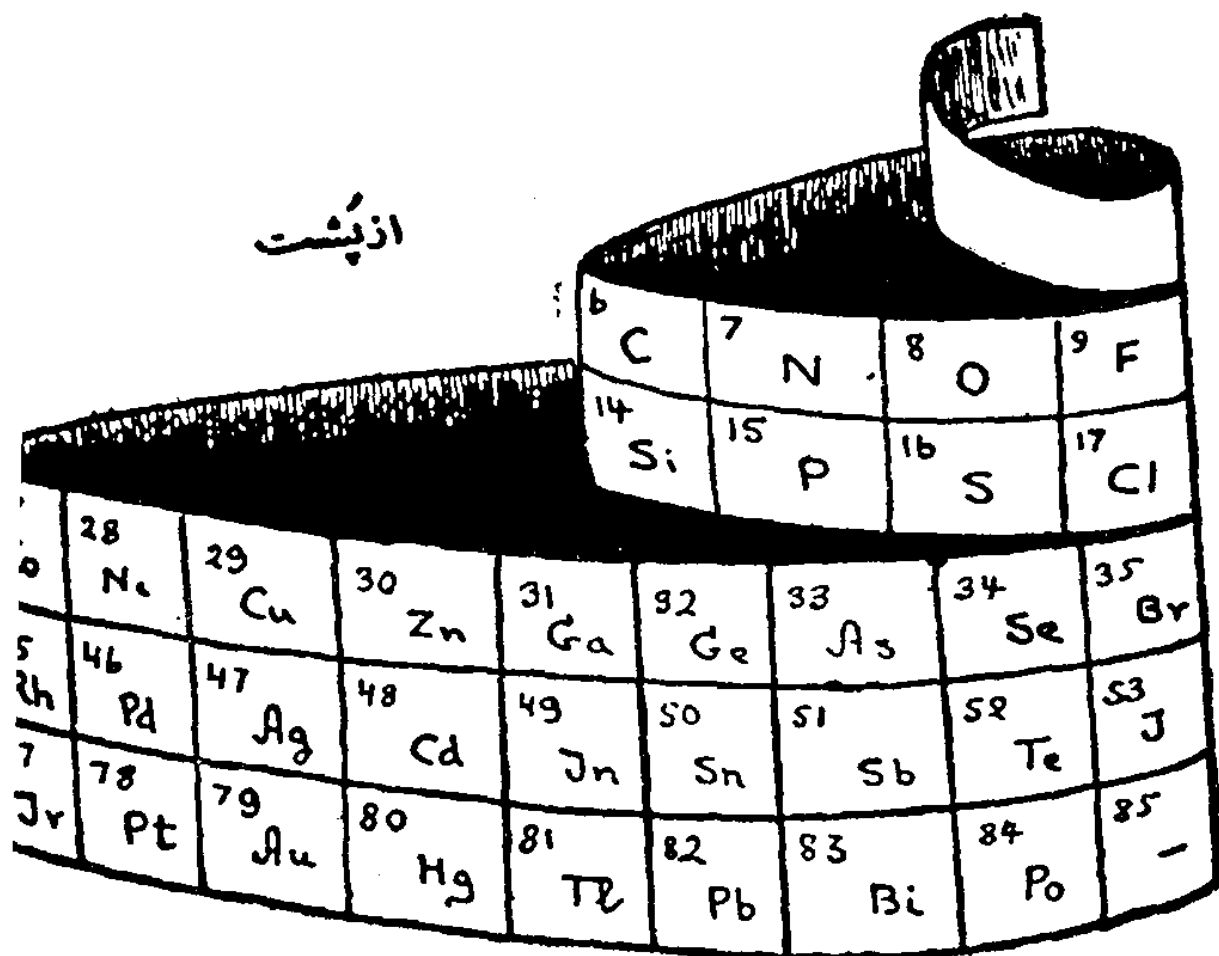
کمال مطابقت را دارد.

اتومیایی که از لحاظ عدد الکترونها و همچنین از لحاظ خواص شیمیایی و فیزیکی بایکدیگر یکسان هستند ولی جرمشان باهم تفاوت دارد، به نام **ایزوتوپ** یا **همجا** [یعنی اشغال کننده یک جا در سلسله عناصر] نامیده می‌شوند. در زمان حاضر طریقه‌های خوبی در اختیار است که به وسیله آنها می‌توانند ایزوتوپها را از یکدیگر جدا کنند. به طوری که مثلاً اکنون می‌توانیم دو نوع کلور در اختیار داشته باشیم که خواص شیمیایی آن دو عین یکدیگر است ولی از حیث وزن اتمی باهم اختلاف دارند.

تحقیقات **استون** و دیگران به این نتیجه انجامیده است که اغلب عناصر شیمیایی که آنها را می‌شناسیم مخلوطی از دو یا چند ایزوتوپ هستند. مثلاً در هوای جو که قسمت اعظم آن از نیتروژن با وزن اتمی ۱۴ و اکسیژن با وزن اتمی ۱۶ ساخته شده، قسمت مختصری از ایزوتوپهای سنگینتر این عناصر نیز وجود دارد (۳٫۰ درصد از نیتروژن ۱۵ و ۰٫۳ درصد از اکسیژن ۱۷).

یکی از یافته‌های جالب توجه ازمنه جدید اکتشاف و جدا کردن **ایزوتوپهای سنگینتر ئیدروژن یا (دوتریوم)** به وسیله عالم شیمی امریکایی **ه. ک. یوری** است. آبی که در مولکولهای آن به جای اتمهای ئیدروژن متعارفی ایزوتوپ سنگینتر آن باشد (**آب سنگین**) در حدود ۵ درصد از آب معمولی سنگینتر است، و البته شنا کردن در آن برای کسانی که خوب شنا نمی‌دانند لذتبخش است. ولی ئیدروژن سنگین مورد استعمال مهمتر و ارزنده‌تری دارد. پس از این خواهیم دید که به کار بردن آن در رشته فیزیک هسته سبب آن شده است که اطلاعات وسیعی درباره ساختمان هسته اتم و راه تبدیل مصنوعی عناصر به یکدیگر به دست آید.

1. H.C. Urey



ساختمان ورقه ورقه‌ای اتم

نخستین بار دانشمند شیمیدان روسی دمیتری مندلیف^۱ به این نکته اشاره کرد که در سلسله عناصری که بر حسب زیاد شدن وزن اتمی آنها مرتب شده باشد، تمام خواص شیمیایی و فیزیکی بایک دوره تناوب منظمی تکرار می‌شود؛ این مطلب را به آسانی از روی شکل (۱۲) می‌توان دریافت که در آن عناصر بر روی یک استوانه چنان نمایش داده شده‌اند که آنها که خواص مشابه بایکدیگر دارند روی هم قرار گرفته‌اند.^۲

۱. Dmitri Mendelyev

۲. باید به خاطر داشت که شکل نماینده استوانه‌ای است که در آن مثلاً هلیوم در میان راه ئیدروژن و لیتیوم واقع می‌شود. بنابراین هلیوم وستون عناصر زیر آنرا ممکن است درست در کنار راست «منظره از پشت» استوانه قرار داد.

پیدایش و مرگ خورشید

از سرد سرد

1 H																															
2 He	3 Li	4 Be	5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne																							
11 Na	12 Mg	13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar																								
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr														
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe														
55 Cs	56 Ba	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
87 Fr	88 Ra	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr															

شکل ۱۲

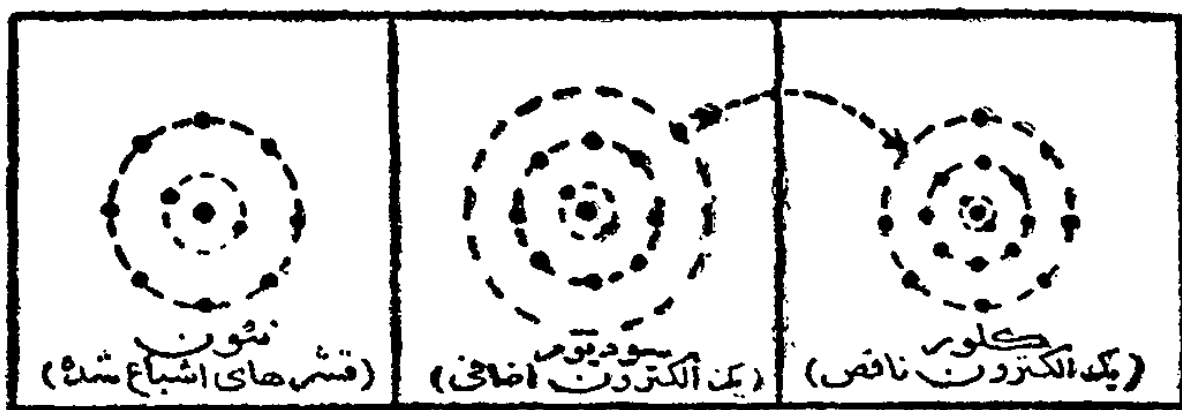
سازمان متناوب عناصر به صورت نواری استوانه شکل که بر آن دورهای تناوب ۲ و ۸ و ۱۸ نمایش داده شده. حلقه‌ای که از دور تناوب ششم بیرون آمده متناظر است با عناصری (خاکهای کمیاب) که از لحاظ تجدید ساختمان ورقه‌های اتمی از دوره تناوب بیرون می‌مانند.

فصلتین دوره تناوب تنها شامل دو عنصر ئیدروژن و هلیوم است؛ پس از آن دو دوره تناوب داریم که هر کدام از هشت عنصر تشکیل شده، و پس از آن خواص عناصر بعد از گذشتن هر هجده عنصر تکرار می‌شود. اگر در نظر بگیریم که هر پایه‌ای که به طور افقی در سلسله عناصر پیش رویم متناظر با اضافه شدن یک الکترون اضافی است، ناچار به این نتیجه می‌رسیم که این دوره تناوبی که مشاهده می‌شود از آن است که هیئت

جورج ۴اموف

الکترونهاي اتوم يا «قشرهاي الكتروني» پس از گذشتن آن دوره - هاي تناوب به صورت ثابت و پايداري درمي آيد. نخستين قشر ثابت آن است كه شامل دو الكترون باشد؛ پس از آن دو قشر است كه هريك شامل هشت الكترون باشد؛ و پس از آن تمام قشرهايي كه مي آيد هر کدام شامل هجده الكترون است.^۱

در شكل (۱۳) تصوير نظري سه اتوم مختلف را آورده ايم كه دريكي از آنها قشر الكتروني كامل است و در دو تاي ديگر، اين قشر، ناقص است.



شكل ۱۳

قشرهاي الكتروني در اتومهاي مختلف

ميل تركيب شيميايي

اكنون مي توانيم به اين سؤال جواب دهيم كه چه نيرهائي باعث آن مي شود تا اتومهاي عناصر مختلف به يكديگر متصل شوند و تركيبات شيميايي گوناگون ازان به وجود آيد. از شكل (۱۳) معلوم مي شود كه مثلا اتوم كلور تنها يك الكترون كسر دارد تا اينكه قشر خارجي آن كامل شود. از طرف ديگر اتوم سوديوم پس از كامل شدن قشر الكتروني آن يك الكترون اضافي دارد. به اين ترتيب مي توان انتظار داشت كه

۱. بايد توجه داشت كه در نزديكي پايان سلسله تناوب خواص تاحدي پريشان مي شود، و اين ازان جهت است كه در اينجا تجديد ساختمان يكي از قشرهاي داخلي كه پيشتر كامل شده بود آغاز مي شود.

پیدایش و مرگ خورشید

در تلاقی این دو اتم، الکترون اضافی سو دیوم به اتم کلور منتقل شود و کسری آن را پر کند. در نتیجه چنین تغییری اتم سو دیوم بار مثبت پیدا می کند (چون یک بار منفی از دست داده) و اتم کلور به این ترتیب دارای برق منفی می شود. در تحت تأثیر نیروهای برقی این دو اتم به یکدیگر می چسبند و یک مولکول کلورور سو دیوم یا نمک طعام می سازند.

به همین طریق است که یک اتم اکسیژن که برای پر کردن قشر الکترونی خود به دو الکترون نیازمند است، از دو اتم هیدروژن دو الکترون «می رباید» و یک مولکول آب (H_2O) می سازد. از طرف دیگر هیچ میل ترکیبی میان اتمهای اکسیژن و اتمهای کلور (که هر دو یک الکترون اضافی دارند) مشاهده نمی شود. در مورد اتمهایی که قشر خارجی کامل دارند (مانند نئون و هلیوم) هیچ دادوستد الکترونی امکانپذیر نیست، و به همین جهت است که این عناصر از لحاظ شیمیایی بی اثر و لخت می مانند.

از این تصویر فعل و انفعالات شیمیایی می توان چنان استنتاج کرد که آن انرژی که از راه تشکیل یک مولکول فراهم می شود نتیجه اختلاف اتصالات الکترونی در دو یا چند اتمی است که در فعل و انفعال دخالت کرده اند. چون انرژی پوتانسیل موجود میان الکترون و هسته اتمی در ۱۰-۱۲ ارگ است، مقدار انرژی که از هر اتم در ضمن فعل و انفعالات شیمیایی آزاد می شود در همین حدود خواهد بود.

مکانیک رسمی در اتم کار نمی کند

اکنون به یک نقطه بحرانی در مرحله تکامل نظریه اتمی رسیده ایم. خواننده پیش از این دریافته است که نمونه اتمی را در مورد (شکل ۱۱) عبارت است از هسته کوچک و سنگین مرکزی که عده ای الکترون در تحت تأثیر جاذبه دوطرفی برگرد آن می چرخند، و این دستگاه شبیه است به منظومه سیارات که در تحت تأثیر نیروی جاذبه دور خورشید دوران می کنند. این تشابه از آنجا بیشتر کسب اهمیت می کند که نیروهای برقی و نیروهای جاذبه هر دو به نسبت معکوس مجذور فاصله تغییر می کند و به همین جهت در هر دو حال بایستی مدارت به شکل

جورج گاموف

بیضی باشد .

ولی يك تفاوت مهم وجود دارد که نباید در ضمن این مقایسه ازان غفلت شود. الکترونیهای که برگرد هسته می چرخند بار برقی نسبتاً بزرگی دارند و به همین جهت امواج الکترو مغناطیسی از خود صادر می کنند، همان گونه که آنتنهای بزرگ فرستنده رادیو چنین امواجی را در فضا پخش می کنند. ولی چون این « آنتنهای اتمی » بسیار کوچک است، امواج الکترو مغناطیسی که از آنها صادر می شود بلیونها بار کوتاهتر از امواجی است که از ایستگاههای رادیوی بیرون می آید. این امواج کوتاه را شبکیه چشم آدمی به صورت نموده های نورانی می گیرد و هر وقت که از جسمی چنین امواجی صادر شود آن جسم نورانی به نظر می رسد. بنابراین ناچار باید چنین نتیجه بگیریم که الکترونیهای که برگرد هسته می چرخند بایستی امواج نورانی از خود صادر کنند، و نتیجه این پخش کردن موج آن باشد که هر چه زودتر انرژی حرکتی خود را از دست بدهند. به آسانی می توان حساب کرد که اگر چنین چیزی صحیح باشد، همه الکترونیهای اتم بایستی انرژی حرکتی خود را در کسر غیر قابل ملاحظه ای از ثانیه از کف بدهند و بر سطح هسته سقوط کنند.

ولی شواهد روشن تجربی نشان می دهد که چنین سقوطی صورت نمی گیرد و الکترونیهای اتم دائماً برگرد هسته در حرکت هستند و در فاصله نسبتاً زیادی ازان هسته مرکزی به این حرکت دائمی خود ادامه می دهند. علاوه بر این تناقض، که به طبیعت اساسی خود اتم ارتباط دارد، عده زیادی تناقضات مهم دیگر میان پیشگوییهای نظری و شواهدی که از تجربه به دست می آید وجود دارد. مثلاً با تجربه معلوم می شود که نوری که از اتم صادر می شود عبارت از تعداد معینی از طول موجهای کاملاً مشخص است (خطوط طیف)، در صورتی که حرکت الکترونها در نمونه اتمی را در فورده مستلزم آن است که طیف پیوسته ای تشکیل شود که همه طول موجهای مختلف ممکن را شامل شود. عملاً هیچ يك از پیشگوییهای نظریه رسمی در داخل اتم صورت تحقق پیدا نمی کند.

قوانین کوانتوم^۱

دران هنگام که نیلز بور^۲ فیزیکدان جوان دانمارکی از شهر زمردین بام کوپنهاگ به انگلستان آمد تا بار اذرفورد درباره مسائل مربوط به ساختمان اتم مشغول کارشود، این تناقضات فکر او را ناراحت ساخته بود. در نظریه آشکار بود که با دادن تغییرات کوچکی به نظریه موجود هرگز امکان ندارد که این معماها حل شود.

همه این علایم دلالت بر آن می‌کرد که ساختمان داخلی اتم همچون صخره‌ای است که کشتی نظریه کلاسیک و رسمی محکوم به خرد شدن بر روی آن است.

اگر حرکتی که در درون اتم صورت می‌گیرد بامکانیک رسمی قابل توجیه و تفسیر نباشد، تقصیر از این مکانیک است نه از اتم. از این گذشته به جز عادت و تبعیت از سنت هیچ دلیل عقلی در دست نبود که بنا بر آن بتوان انتظار داشت مکانیک اختراعی گالیلئو و نیوتون در مورد ستارگان و اجسام بزرگ، حتماً بر «پاره‌های متحرک» موجود در ساختمان ظریف و دقیق اتم نیز قابل تطبیق باشد. به این ترتیب بود که بور در صدد برآمد تا مکانیک رسمی را که قرن‌ها با کمال غرور ادعای مطلقیت و کلیت داشت از تخت خود فرو کشد، و به جای آن نظریه کلیتری درباره حرکت طرح بریزد که مکانیک رسمی تنها حالت خاصی از آن به شمار رود. فیزیکدان آلمانی ماکس پلانک^۳ در سال ۱۹۰۰ یک نظریه انقلابی پیشنهاد کرده بود که بنابر آن صادر شدن و جذب شدن نور تنها به شکل اجزای منفصل از یکدیگر یا کوانتوم‌های انرژی صورت می‌گیرد. بور به تبعیت از وی این اصل را پذیرفت که انرژی مکانیکی هر دستگاه که از اجزای متحرک ترکیب شده نیز باید «حالت کوانتایی»^۴ داشته باشد، یعنی این انرژی تنها به صورت مجموعه‌ای از انرژی‌های

۱. quantum laws

۲. Niels Bohr

۳. Max Planck

۴. کوانتا صیغه جمع کلمه لاتینی کوانتوم است. م.

منفصل از یکدیگر باشد.

این مفهوم انفصالی بودن انرژی را (که البته کاملاً از میدان نظریه کلاسیک خارج است) تا حدی می‌توان همچون بیانی دربارهٔ **اتومدار بودن انرژی** دانست، البته با این تفاوت که در اینجا **دیگریک** جزء عنصری کلی (مثلاً شبیه به الکترون در مورد برق) وجود ندارد و بزرگی کوانتوم انرژی را در هر حالت خاص شرایط اضافی متغیر تعیین می‌کند. مثلاً در مورد تشعشعات، **انرژی هر کوانتوم مجزا همیشه با طول موج نور نسبت معکوس دارد**، در صورتی که در مورد مجموعه اجزای متحرک کوانتوم انرژی مکانیکی با تنزل ابعاد این مجموعه **و همچنین با تنزل جرم این اجزاء افزایش پیدا می‌کند**.

به این ترتیب می‌بینیم که در مورد تشعشع، پاره‌های انرژی یا کوانتا، گرچه برای امواج بلند رادیویی بسیار کوچک و قابل اغماض است، ولی در مورد امواج کوتاه‌تر نورانی که از اتمها صادر می‌شود بسیار مهم و قابل ملاحظه می‌شود. به همین ترتیب کوانتوم انرژی مکانیکی تنها وقتی حایز اهمیت خواهد بود که سروکار ما با اجزای کوچکی باشد همچون الکترونها که برگرد هستهٔ اتم دوران می‌کنند. همان‌گونه که در مسائل مربوط به زندگی عادی می‌توانیم از اتمدار بودن ماده چشم‌پوشیم، در این‌گونه مسائل اتمدار بودن انرژی را نیز ممکن است نادیده بگیریم، ولی چون سروکار ما با جهان صغیر اتمها باشد وضع کاملاً دگرگون می‌شود. الکترونهای نمونهٔ اتمی را **اذر فورد** تنها از آن جهت بر روی هسته فرو نمی‌ریزند که **این الکترونها کمترین مقدار انرژی را دارند که چنین ذرات کوچکی در چنین اوضاع و احوال می‌توانند دارا باشند**. از آن جهت که کمترین مقدار انرژی را دارند، اساساً نمی‌توان مقدار آنرا از این کمتر کرد، حرکت آنها را بایستی به عنوان «حرکت نقطهٔ صفر»^۱ مورد توضیح و تفسیر قرارداد که در فیزیک رسمی متناظر با سکون کامل است.

اگر در صدد آن باشیم که مقداری انرژی اضافی به اتم بدهیم،

1. Zero - Point motion

پیدایش و مرگ خورشید

نخستین کوانتوم آن حالت حرکتی اتوم را کلاً تغییر می‌دهد و الکترونهاى آن را به‌حالی در می‌آورد که آن را اصطلاحاً **نخستین حالت تحريك شده کوانتوم** می‌نامند. اتوم ما، برای اینکه به‌حالت متعارفی خود باز گردد، بایستی آن مقدار انرژی را که گرفته به‌صورت کوانتوم نورانی خاصی صادر کند، و علت اینکه طول موج نور صادر شده کلاً مشخص می‌باشد نیز همین است.

مکانیک جدید

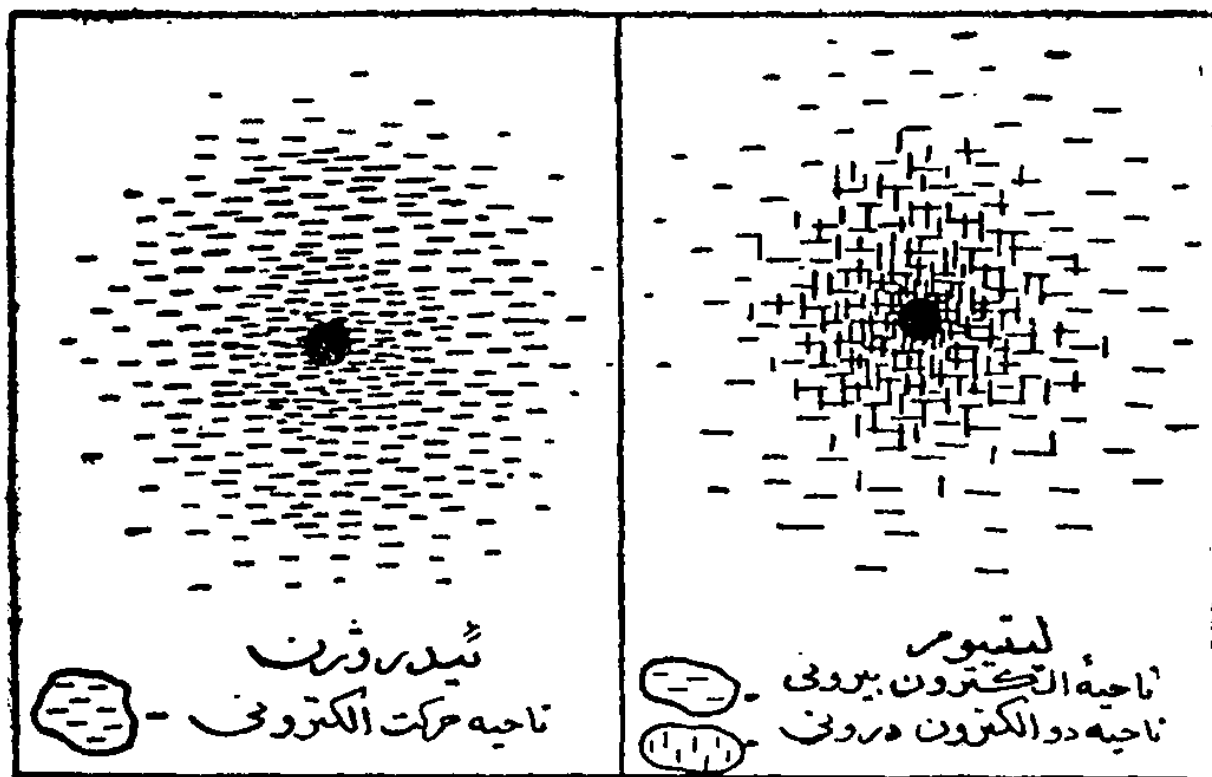
با وجود آنکه نظریهٔ اتومی **بور** پیشرفت شگرفی را در طرز فهم ما نسبت به نمودهای زیراتومی سبب شد، واضح است که هنوز نمی‌توانست نمایندهٔ نظریهٔ جامعی دربارهٔ حرکت زیراتومی به‌شمار رود. تکامل عجیب دیگری در خصوص نظریهٔ کوانتوم در سال ۱۹۲۶ صورت گرفت. در آن سال فیزیکدان اتریشی **اروین شرودینگر**^۱ و فیزیکدان آلمانی **ورنر هایزنبرگ**^۲ در يك زمان و بدون اطلاع از یکدیگر طرحی را پیشنهاد کردند که اکنون به‌نام دستگاه جدید مکانیک نامیده می‌شود. شرودینگر پایهٔ نظریهٔ خود را بر روی افکار هوشمندانهٔ دانشمند بزرگ فرانسوی **لویی دو بروی**^۳ قرار داد. فکر این فیزیکدان فرانسوی آن بود که هر حرکت جسم مادی همراه و در تحت هدایت چیزی است به‌نام «امواج راهنما» که به این حرکت خواص معینی می‌دهد که از مشخصات نمودهای موجی به‌شمار می‌روند. نظریهٔ هایزنبرگ در خصوص مکانیک جدید بر پایه‌ای قرار داشت که ظاهراً با شالودهٔ نظریهٔ شرودینگر متفاوت به نظر می‌رسید. بنا به نظری سرعت هر جزء متحرك نباید با اعداد متعارفی بیان شود، بلکه وسیلهٔ این معرفی باید قالبهای ریاضی تغییرناپذیری^۴ باشد که در آن زمان بیش از يك قرن بود که چنین مفهومی را در ریاضیات

1. Erwin Schrödinger
2. Werner Heisenberg
3. Louis de Broglie
4. noncommutable matrices

جورج ساموف

محض می‌شناختند. علی‌رغم این اختلاف و تفاوت ظاهری به‌زودی ثابت شد که این دو نظریه از لحاظ ریاضی همسنگ یکدیگرند و تفسیرهای متفاوت يك واقعیت فیزیکی را نشان می‌دهند.

دیری نگذشت که این واقعیت در نتیجه انتقاد عمیق از عقاید کلاسیک مربوط به اندازه‌گیریهایی که به‌وسیلهٔ هایزنبرگ و مخصوصاً به وسیلهٔ بور صورت گرفته بود، آشکار شد. این مسئله به‌ثبوت رسید که وجود نمودهای کوانتومی مستلزم آن است که برای توضیح و تشریح جهان فیزیکی بایستی يك اصل نامعینی^۱ پذیرفته شود که با قانون علیت و حتمیت مکانیک رسمی سازگاری ندارد. بنابراین اصل «نامعینی»، اساسی‌ترین مفهومیهای مکانیک کلاسیک - مثلاً از قبیل مفهوم مسیر حرکت - بایستی در این مکانیک جدید طرد شود، و حرکت يك الکترون برگرد هستهٔ اتمی به‌جای آنکه به‌وسیلهٔ مدار کاملاً مشخص و معینی معرفی گردد، به‌صورت منظرهٔ «پراکنده‌ای»، همان‌گونه که در شکل (۱۴) می‌بینیم،



شکل ۱۴

تصویر موجی - مکانیکی ماده.

1. uncertainty Principle

نمایش داده شود. ۱.

بحث مفصلتری در باره اصول مکانیک جدید از حوصله کتاب حاضر بیرون است و خوانندگانی که مایل باشند در خصوص مسائل وابسته به نامعینی در فیزیک جدید اطلاعاتی به دست آورند، بایستی به کتابهای خاص مربوط به این موضوع مراجعه کنند.

مسئله هسته اتوم

در این فصل دیدیم که چگونه اتومی که ۲۰۰۰ سال پیش از این به عنوان کوچکترین جزء ممکن - و از لحاظ منطقی غیر قابل تقسیم - ماده وارد علم شده بود، در پرتو فیزیک جدید به صورت مجموعه مکانیکی پر طول و تفصیلی درآمد. اگر چیزی از اندیشه‌های **دموکریتوس** درباره بخشناپذیری و ابدیت اتوم باقی مانده، باید گفت که این خصوصیات و صفات در زمان حاضر به عمق اتوم نفوذ کرده و باید آنها را از مختصات هسته اتوم دانست که بنا بر نمونه **راذرفورد** همچون مرکز مرده و بیحرکتی است که الکترونها برگرد آن دوران می‌کنند. با وجود این، نمود رادیو آکتیویته، که در فصل بعد از آن بحث خواهیم کرد، نشان خواهد داد که این هسته که در نگاه اول مرده و بدون فعالیت به نظر می‌رسد و «استخوانبندی اتوم» به شمار می‌رود، خود ساختمان درونی معینی دارد که شاید پیچیدگی آن حتی از ساختمان اتوم هم زیادتر باشد.

۱. به همین جهت غیر ممکن است که به طور دقیق ابعاد هندسی یک اتوم یا یک مولکول را اندازه بگیریم (صفحه ۴۳ دیده شود).

فصل سوم

تبدیل عناصر به یکدیگر

اکتشاف رادیو اکتیویته



کشف رادیو اکتیویته کمابیش نتیجه تصادف محض بود ، گواينکه اگرچنين تصادفي، بدان گونه که برای پروفیسور **هانری بکرل** اتفاق افتاده پیش نمی آمد ، ترشح انرژی از اندرون هسته اتمها ، که به کندی حالت تجزیه و انحلال پیدا می کنند، ناچار از طریق دیگری جلب توجه می کرد و این کیفیت شناخته می شد. بکرل استاد فیزیک سوربون درباره نمود فلواورسانی (فلواورسانس) کار می کرد، و چنانکه می دانیم این خاصیت مربوط به بعضی مواد است که انرژی نورانی را که بر آنها می تابد ذخیره می کنند و چون آنها را از روشنی به تاریکی برند تا مدتی حالت نورانیت خود را حفظ می کنند. بکرل در سال ۱۸۹۶ مقصداری

1. Henri Becquerel

بی سولفات اورانیوم به دست آورد تا آن را از لحاظ خاصیت فوسفورسانی (فوسفورسانس) در معرض آزمایش قرار دهد؛ در ضمن آزمایش کاری پیدا کرد و این ماده را در کشو میز کار خویش قرار داد.

در آن کشو شیشه‌های استعمال نشده عکاسی وجود داشت، و چنان اتفاق افتاد که شیشه بی سولفات اورانیوم درست روی این شیشه‌ها واقع شد و مدت چند هفته به همان حال باقی ماند. بکرل چندی بعد قصد عکاسی داشت. کشو را باز کرد و شیشه بی سولفات فراموش شده را کنار زد و جعبه محتوی شیشه‌های عکاسی را بیرون آورد و عکاسی را کمی خواست گرفت. (نمی دانیم که این يك عکس خانوادگی بود یا تصویری بود از طیف نور). هنگامی که شیشه عکس را ظاهر کرد بر روی آن لکه‌هایی دید و چنان می نمود که شیشه عکاسی مدتی در برابر نور قرار گرفته است. چون شیشه‌های عکاسی در جعبه در بسته و در میان کاغذهای سیاه ضخیم دست نخورده بود، این حادثه در نظر بکرل بسیار عجیب جلوه کرد. تنها عاملی که مسئول خراب شدن شیشه عکاسی به نظر می رسید همان بی سولفات اورانیومی بود که مدت درازی در مجاورت شیشه‌های عکاسی باقی مانده بود.

بکرل همان گونه که شیشه بی سولفات را در دست داشت با خود اندیشید که ممکن است این ماده خود به خود و بدون آنکه قبلاً تحریک شده باشد اشعه نامرئی و سخت نافذی از خود خارج کند که از جعبه و کاغذهای سیاه بگذرد و در شیشه حساس عکاسی تأثیر کند. برای آنکه صحت فرض خویش را بیازماید، همین تجربه را با شیشه عکاسی دیگری انجام داد. ولی در ضمن این تجربه از روی عمد کلید کشو میز را در میان شیشه حساس عکاسی و منبع فرضی صدور این اشعه اسرار آمیز قرار داد.

چند روز بعد که بکرل در روشنی سرخ رنگ تاریکخانه خود شیشه عکاسی را ظاهر می کرد، با کمال تعجب دید که تصویر کلید به تدریج در زمینه تاریک صفحه حساس آشکار می شود. به این ترتیب به صورت قطعی معلوم شد که **از اتومهای اورانیوم نوع جدیدی تشعشع خارج می شود** و این اشعه می تواند از موادی که نور عادی از آنها عبور نمی کند بگذرد و در عین حال قدرت آن را ندارد تا از ضخامت کلید آهنی عبور کند.

جورج ساموف

تحقیقات بعدی ثابت کرد که تنها عامل دیگری که در آن زمان می‌توانست چنین اشعه‌ای را از خود خارج کند **توریوم** است که پس از اورانیوم سنگین‌ترین عنصر به‌شمار می‌رود. ولی تجسسات دامنه‌داری که به‌وسیله آقا و خانم **کوری** صورت گرفت سبب آن شد که عناصر رادیو آکتیو جدیدی کشف شود. پس از دو سال کار و کوشش سخت، مادام **کوری** بالاخره موفق شد تا از یک قسم سنگ معدن اورانیوم (به‌نام پیچ بلاند که از ناحیه **بوهم** به‌دست می‌آید) دو عنصر تازه کشف کند که خاصیت تشعشی یارادیو آکتیو آنها از اورانیوم و توریوم به‌مراتب زیادتر است. یکی از این دو عنصر به‌یادگار زادگاه این خانم، یعنی لهستان، به‌نام پولونیوم نامیده شد و دیگری به‌نام رادیوم. چندی پس از آن یکی از همکاران خانواده کوری عنصر رادیو آکتیو دیگری را به نام **آکتینیوم** کشف کرد. و نیز این نکته ثابت شد که از ترکیبات رادیوم ماده‌گازی فعالی برمی‌خیزد که آن را به‌نام **بخار رادیوم یارادون** نامیدند.

عده عناصر رادیو آکتیو که پیوسته روبه‌زیادی بود جاهای خالی را در آخرین سطر جدول تناوب عناصر شیمیایی پر کرد و این نکته آشکار شد که عناصر رادیو آکتیو در پایان سلسله طبیعی عناصر نزدیک یکدیگر جمع شده‌اند، و خود این حادثه سبب پیدایش این تصور شد که فعالیت تشعشی خاص این‌گونه عناصر با پیچیدگی و تعقید اتمهای آنها بستگی دارد.

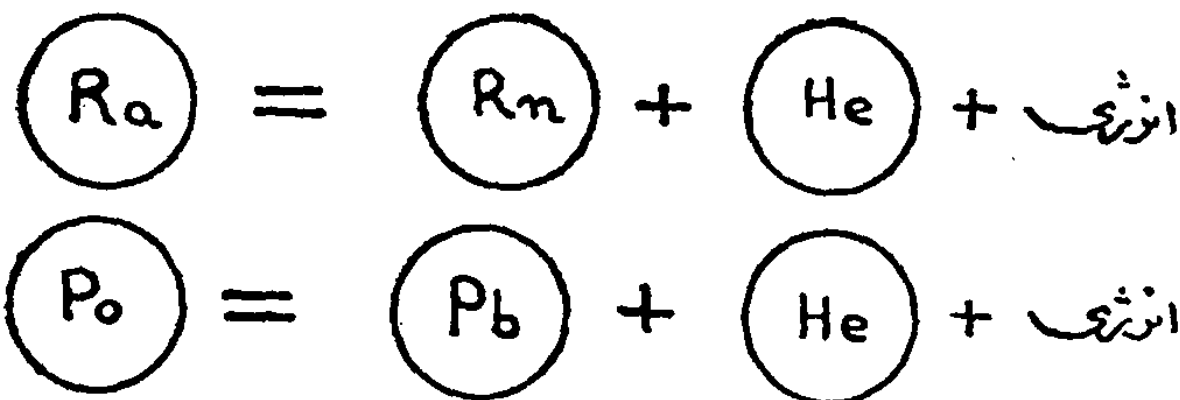
تجزیه و انحلال اتمهای بسیار سنگین

به‌سال ۱۹۰۳ فیزیکدان انگلیسی **ارنست رادرفورد** که پیش از این، هنگام بحث در باره نمونه هسته اتم، با نام وی آشنا شدیم، فرضیه‌ای را پیشنهاد کرد که بنا بر آن **اتمهای عناصر بسیار سنگین فطراً ناپایدارند و آهسته آهسته حالت تجزیه و انحلال پیدا می‌کنند** و قسمتی از اجزای سازنده آنها خارج می‌شود. این دانشمند ثابت کرد که اشعه α که از اجسام رادیو آکتیو خارج می‌شود در واقع دسته‌ای از هسته‌های دارای بار مثبت هلیوم است که با حرکت سریعی پیش می‌روند.

پیدایش و مرگ خورشید

(باید به خاطر داشت که باهمین اجزاء α بود که رادرفورد اتمهای خود را بمباران می کرد). پس از آنکه در ضمن برخورد با اتمهای ماده ای که این ذرات α از آن می گذرند انرژی زیاد خود را از دست دادند، حرکت آنها کند می شود و با گرفتن دو الکترون برای مدار خود يك اتم متعارفی هلیوم از آنها ساخته می شود. این نکته را باید در نظر داشت که همیشه در رادیوم کهنه می توان به وجود هلیوم پی برد. چون واضح است که ذرات α از داخل هسته عناصر رادیو آکتیو خارج می شود، باید گفت که این هسته ها غیر ثابت و ناپایدار است. پس از آنکه هسته يك یا چند جزء α از خود صادر کند (یعنی چهار واحد جرم و دو واحد باربری هر جزء) هسته اتم رادیو آکتیو به هسته عنصر نسبتاً سبکتری مبدل می شود که در جدول تناوبی عناصر جای دورتری از پایان جدول را اشغال می کند.

مثلاً چون از رادیوم ($A=226, Z=88$) ذرات α خارج شود رادیوم به رادون ($A=222, Z=86$) مبدل می شود، و چون از هسته پولونیوم ($A=210, Z=84$) ذرات α بیرون رود اتمهای سرب ($A=206, Z=82$) بر جای می ماند. این دو تجزیه را می توان با فورمولهای شکل (۱۵) نمایش داد.



شکل ۱۵

تجزیه خود به خود هسته های ناپایدار: ۱- تجزیه رادیوم به رادون و هلیوم. ۲- تجزیه پولونیوم به سرب و هلیوم.

۱. Z عدد نماینده محل عنصر در جدول تناوبی عناصر است (به شکل ۱۲ مراجعه شود). A وزن اتمی عنصر را نسبت به ^1H نشان می دهد.

جورج ساموف

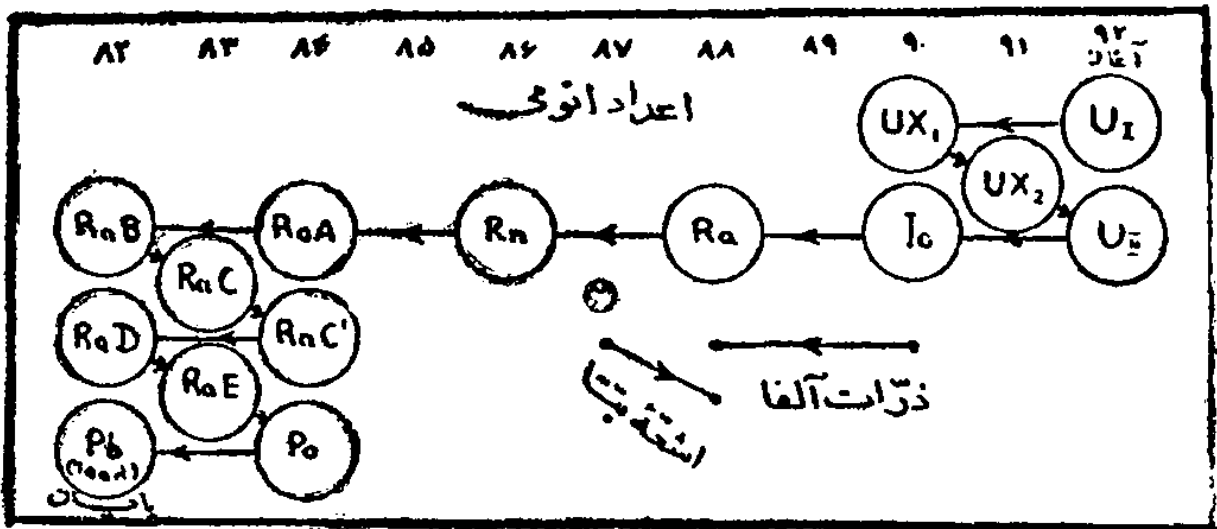
چون به سرب برسیم رشته متوالی تشکیل ذرات α متوقف می شود، زیرا سرب متعلق به ناحیه ای از عناصر است که هسته ثابت دارند و انحلال و تجزیه در آنجا دیگر ممکن نیست. با وجود این باید دانست که تجزیه تدریجی عناصر ناپایدار گاه به گاه در نتیجه صادر شدن يك الکترون منفی که ظاهراً از درون هسته در حال انحلال بیرون می آید متوقف می شود. این تشعشع الکترونی هسته که نام صدور اشعه β (بتا) دارد و چنان است که عملاً در جرم اتم تغییر نمی دهد (از آن جهت که به واسطه کوچکی بی اندازه جرم الکترون می توان از آن چشم پوشید) سبب آن می شود که عدد اتمی عنصر زیاد شود و جای آن در سلسله تناوبی عناصر يك گام پیشتر رود. ^۱ ولی این پیشرفت موقتی با عمل بعدی خروج بیش از اندازه رشته های متوالی ذرات α جبران می شود و در نتیجه گاهی عنصر ناپایدار دوگام به پس وزمانی يك گام به طرف پیش می رود و به این ترتیب به کندی از ناحیه عناصر ناپایدار دور می شود تا بالاخره به وضع غیر قابل تبدیلی برسد، و این همان وقت است که عنصر رادیو آکتیو به صورت سرب درآمده است.

از این تبدلات پیایی عناصر به یکدیگر خانواده های رادیو آکتیو به دست می آید. از این قبیل است خانواده اورانیوم (شکل ۱۶) که رادیوم یکی از اعضای آن است، و خانواده توریوم، و خانواده آکتینیوم.

در پایان باید گفت که ترشح ذرات α و اشعه β غالباً همراه با تحریک شدید عمل تجزیه و انحلال درونی هسته است و نتیجه آن صادر شدن امواج برقاطیسی (الکتروماینیتیک) بسیار کوتاهی شبیه اشعه x است که معمولاً به نام اشعه γ (گاما) نامیده می شود. این تشعشعات، که بی اندازه خاصیت نفوذ دارد (و برخلاف تشعشعات α و β از ذرات مادی تشکیل نشده)، در بسیاری حالات عامل آثاری است که از لحاظ عکسبرداری و چیزهای دیگر در مواد رادیو آکتیو بروز می کند.

۱. از دست دادن يك بار الکتريکی منفی معادل است با ازدیاد

بار مثبت هسته.



شکل ۱۶

تجزیه و انحلال در خانواده اورانیوم. پیکان‌ها نماینده تبدلات متوالی در وضع عنصر در جدول تناوبی است که نتیجه خروج ذرات α و اشعه β می‌باشد. آنچه در میان دایره‌ها است نماینده علامت شیمیایی عناصر رادیو آکتیو مختلف است، مثلاً U نماینده اورانیوم است و Io علامت یونیوم و Ra علامت رادیوم و Rn نماینده رادون و Po علامت پولونیوم.

انرژی آزاد شده و دوره‌های تجزیه و انحلال

سابقاً اشاره شد که انرژی حرکتی ذرات α که در ضمن تجزیه و انحلال خود به خود هسته صادر می‌شود به مقدار بی‌اندازه زیاد می‌رسد (همان‌گونه که در هنگام بحث از استعمال این ذرات به وسیله رادرفورد برای بمباران کردن اتمها دیدیم) مثلاً ذرات α که از رادیوم خارج می‌شود سرعتی برابر با ۱،۵۰۰،۰۰۰،۰۰۰ سانتیمتر (یا ۹،۰۰۰ میل) در ثانیه دارد که هزاران برابر سرعت حرکت حرارتی مولکولها در درجه حرارت اتاق است، و با وجود آنکه جرم این ذرات بی‌اندازه کوچک است هر یک از آن ذرات دارای انرژی معادل با ۷،۰۰۰،۰۰۰ ارگ است. به این ترتیب معلوم می‌شود که غلظت انرژی در ذرات α (یعنی انرژی حساب شده برای واحد جرم) عملاً یک بلیون مرتبه بزرگتر از غلظت گلوله‌هایی است که در سلاحهای تیراندازی جدید

وجود دارد.

اگر تمام اتمهای موجود در یک گرم رادیوم می توانستند همه ذرات α خود را تقریباً در یک زمان و مثلاً در مدت یک ساعت خارج کنند، انرژی شکست انگیزی معادل با $10^{16} \times 2$ ارگ آزاد می شد. به این قرار انرژی اتمی محتوی در چند کیلوگرم رادیوم کافی خواهد بود تا بتواند کشتی بزرگ اقیانوس پیمایی را از اروپا به آمریکا ببرد و بازگرداند، یا یک اتموبیل را در مدت چندین قرن حرکت دهد. ولی باید دانست که انرژی اتمی پنهان شده، در هسته رادیوم یکباره خارج نمی شود، بلکه با کمال کندی و در مدت درازی این کار صورت می گیرد. برای آنکه نیمی از جرم مقدار معین رادیوم تجزیه شود ۱۶۰۰ سال وقت لازم است، و چون ۱۶۰۰ سال دیگر بگذرد آن نیمه باقی مانده نیز نصف می شود. این کندی در تجزیه و انحلال رادیو آکتیو سبب آن می شود که انرژی آزاد شده در واحد زمان خیلی کم باشد. اگر بخواهند یک فنجان چای را با انرژی که از یک گرم رادیوم (به بهای ۳،۰۰۰،۰۰۰ ریال) تراوش می کند گرم کنند، بایستی مدت چندین هفته انتظار بکشند.

در مورد اورانیوم و توریوم که دوره تجزیه و انحلال آنها به ترتیب ۴۵ و ۱۶ بلیون سال طول می کشد، اندازه انرژی آزاد شده در واحد زمان به مراتب کمتر است. البته عناصر کم عمری نیز وجود دارد مانند رادون (که دوره عمرش ۳٫۸ روز است) یا RaC' که مدت تجزیه و تلاشی آن از ۰٫۰۰۰،۰۱ روزه ثانیه تجاوز نمی کند، و به واسطه همین تجزیه سریع است که نمی توان به وجود آنها در معادن رادیو آکتیو از طریق وسایل عادی شیمیایی پی برد.

پس از این خواهیم دید (فصل ۱۲) که تمام عناصر رادیو آکتیو که تا کنون می شناسیم در نخستین مراحل ساختمانی جهان تشکیل شده و به این ترتیب « قدیمیترین سند آفرینش » به شمار می روند. ازان میان تنها عناصری مانند اورانیوم و توریوم را که نشان طوری است که قابل مقایسه با سن کنونی جهان است (در حدود دو بلیون سال)، می توان با محصولات تجزیه ای آنها (یعنی اعضای خانواده رادیو آکتیو خود) در مجاور یکدیگر یافت. اگر عناصر ناپایداری با عدد اتمی

بیشتر دران دوره بسیار قدیمی آفرینش که عناصر ساخته شده وجود داشته است، ناچار در این دو بلیون سال تجزیه شده و اثری از آنها بر روی سیاره ما باقی نمانده است.

نظریه « ترشح » ذرات α

اگر هسته عناصر رادیو آکتیو ناپایدار است و در نتیجه صادر شدن اجزاء مرکب کننده آن متلاشی می شود، پس چه چیز مانع آن است که همه این اجزاء يك باره از آن صادر شود؛ چرا هسته اورانیوم و هسته توریوم پاره های α خود را مدت بلیونها سال نگاه می دارند. در صورتیکه هسته های دیگر اجزاء α خود را در مدت کسری از ثانیه بیرون می فرستند؛ در آن هنگام که مؤلف این کتاب در تابستان ۱۹۲۸ از دانشگاه گوتینگن دیدن می کرد، این گونه سؤالات که مدت درازی عنوان اساس و قلب معمای بزرگ نظریه رادیو آکتیویته را پیدا کرده بود پیوسته فکر و خاطر او را به خود مشغول می داشت و در پی آن بود که جوابی برای این پرسشها بیابد. گوتینگن شهر محقری بود که امکانات تفریح و وقتگذرانی در آن از دو سینما تجاوز نمی کرد، و نگارنده که در نخستین سفر خارج خود آرزوی آن داشت تا به چیزهای بزرگتری دسترس پیدا کند کار دیگری نداشت جز آنکه خود را به تحقیقات و پژوهشهای علمی دلخوش کند.

بر من آشکار بود که فرار ذرات α از میان « حصار پوتانسیل مرتفعی » که برج هسته آنها را احاطه می کند از لحاظ فیزیک رسمی بایستی کاملاً غیر ممکن باشد. چه بنا بر آزمایشهای رادرفورد که گزارش آنها درست در همان زمان منتشر می شد معلوم بود که « حصار های » که هسته های رادیو آکتیو را در بر می گیرد دارای انرژی است که به مراتب سطح آن بلندتر از سطح انرژی ذرات α است. ولی در همان زمان که در چارچوبه نظریه کلاسی و رسمی متلاشی و پاشیده شدن مواد رادیو آکتیو مطلقاً غیر ممکن به نظر می رسید، مکانیک کوانتوم وسیله ای در اختیار می گذاشت که بنا بر آن تفسیر این واقعیت امکان پذیر می شد. چون مؤلف کتاب فکر خود را در این جهت به کار انداخت

به زودی توانست این مطلب را اثبات کند که انحلال و تلاشی عناصر رادیوآکتیو کیفیتی است که جنبه مکانیک کوانتوم محض دارد و در آن ذرات از حصارهای پوتانسیل « تراوش می کند »، درست بر آن سان که اشباح از میان باروهای قصرهای دور افتاده و کهن عبور می کنند و در افسانه ها داستان آن را زیاد خوانده ایم. فورمولهای مکانیک کوانتوم که برای « شفافیت » دیوارهای هسته به دست آمد به خوبی نشان می داد که چرا میان انرژی ذرات صادر شده و زمان تلاشی متناظر با آن ارتباطی موجود است و جای شکی باقی نمی گذاشت که این طرز توضیح کاملاً صحیح است.

عملاً در همان حینی که مؤلف در آن شهر کهنه آلمان مشغول تکمیل نظریه تجزیه و تلاشی ذرات α بود، در آن طرف اقیانوس اطلس ضمن مباحثاتی که میان دونفر عالم فیزیک دیگر به نامهای گرنی^۱ و گوندون^۲ صورت می گرفت توضیحی در باره نمودهای رادیو آکتیو به دست آمد که بانظر مؤلف این کتاب شبیه بود.

در سالهای پس از آن سال معلوم شد که نظریه حصار پوتانسیلی هسته نه تنها برای فهم مسئله انحلال و جدا شدن خود به خود ذرات α مفید است، بلکه در موارد استعمال متنوع آن در مسائل مربوط به تحول و تبدیل مصنوعی عناصر به یکدیگر که از راه بمباران هسته حاصل می شود بینهایت سودمند است. و نیز همین نظریه برای توضیح و تفسیر فعل و انفعالات حرارتی هسته بسیار کارآمد است و چنانکه پس از این خواهیم دید همین فعل و انفعالات حرارتی هسته است که منبع انرژی ستارگان به شمار می رود.

خروج ذرات β برای برقرار کردن تعادل برقی هسته است

پیش از این گفتیم (صفحه ۷۴) که رشته خروج متوالی ذرات α در هر خانواده رادیوآکتیو گاه به گاه با صدور بار برقی منفی یا الکترون-

1. R. W. Gurney
2. E. U. Condon

هایی از هسته قطع می‌شود. بنابراین طبیعی چنان است که الکترونها را همدوش باذرات α به‌عنوان اجزای اصلی سازنده هسته اتم تصور کنیم. تحقیقات بیشتری که این کتاب جای ذکر آنها نیست علمای فیزیک را به این نتیجه رسانیده است که الکترون به‌همان صورت خود عملاً و فعلاً در هسته وجود ندارد، و دلیل آن‌هم این است که حجم الکترون آن اندازه بزرگ است که نمی‌توان قبول کرد چندتای از آنها در حجم بینهایت ناچیز هسته وجود داشته باشد.

این نتیجه که در نظر اول معمای به‌نظر می‌رسد، بنابراین نظریه حل و تفسیر شده است که می‌گویند: الکترونهايي که از مواد رادیو اکتیو صادر می‌شود درست در همان لحظه پیش از صدور « خلق می‌شود » و از بار برقی « بیشکلی » که هسته حامل آن است بیرون می‌آید. باید دانست که توضیح این نظریه بدون ورود در جزئیات و مسائل فنی امکان ندارد، و ما فعلاً خود را به دانستن این مطلب قانع می‌سازیم که الکترونها پیش از آنکه صادر شوند در درون هسته وجود ندارند، همان‌گونه که حبابهای صابون پیش از آنکه از نوک قلم خارج شوند در آن موجود نبوده‌اند.

هروقت که با خارج شدن ذرات α تعادل میان بار برقی و جرم هسته‌ای که در حال انحلال و تجزیه است بهم بخورد، بلافاصله تسویه برقی صورت می‌گیرد و بار اضافی به‌صورت ذرات برقی خارج می‌شود. به‌عنوان مثال آنچه را که در مورد یکی از افراد خانواده توریوم مثلاً ThC هنگام خارج کردن یک ذره پرانرژی α اتفاق می‌افتد در اینجا ذکر می‌کنیم. هسته ThC پس از این عمل به‌صورت هسته ThC'' تبدیل می‌شود که وزن اتمی آن ۲۰۸ و بار برقی مثبت آن ۸۱ واحد عنصری است. اگر به جدول عناصر ثابت مراجعه کنیم خواهیم دانست که هسته ثابتی که جرم ۲۰۸ دارد بایستی بار برقی ۸۲ واحدی داشته باشد که ایزوتوپ سرب است. بنابراین نتیجه تجزیه ThC برای آنکه پایدار بماند لازم است که یک بار منفی آزاد (یا ذره β) از خود خارج کند و به صورت سرب متعارفی درآید و پس از آن همیشه به همین صورت ثابت باقی بماند.

پس از این خواهیم دید که هسته‌ای که در عمل تبدیل مصنوعی هسته تشکیل می‌شود، ممکن است از جهت مخالف با جهتی که ذکر کردیم تعادل برقی خود را از نو به دست آورد، یعنی یک بار مثبت آزاد از خود صادر کند. مثلاً هسته نیتروژن وقتی که به صورت مصنوعی به دست می‌آید و وزن اتمی ۱۳ دارد (همجای سبک)، به وسیله همین کیفیت به هسته ثابت کربون مبدل می‌شود (همجای سنگین که آن نیز وزن اتمی ۱۳ دارد). اکتشاف چنین الکترو نهایی مثبتی که تا آن زمان مجهول بود و وجود آنها را به صورت نظری دانشمندی به نام **دیرک** پیشگویی کرده بود دوره تازه‌ای در پیشرفت علم نسبت به خواص ذرات β روی کار آورده است، ولی بحث در این مطلب از حوصله کتاب حاضر بیرون است.

بازگشت به کیمیا

اکتشاف کیفیت تلاشی و انحلال عناصر رادیو آکتیو نشان داد که کیمیاگران قرون وسطی در اندیشه تحول مصنوعی عناصر به یکدیگر چندان هم به راه غلط نمی‌رفته‌اند. اگر عناصری که از لحاظ ساختمان درونی ثبات و پایداری ندارند و در نزدیک کنار فوقانی سلسله طبیعی عناصر قرار گرفته‌اند، قابل آن هستند که به یکدیگر تبدیل شوند، می‌توان باور کرد که در مورد عناصر سنگینتر که در حالت متعارفی حالت ثبات دارند نیز در تحت تأثیر عوامل شدید خارجی چنین تحولی به طور مصنوعی بتواند صورت پذیر شود.

البته کیمیاگران در کوشش خود مفتضحانه شکست خوردند، ولی باید دانست که تنها مؤثرات و عوامل خارجی که آن مردم در اختیار داشتند، عواملی بود که از فعل و انفعالات حرارتی و شیمیایی معمولی به دست می‌آید، در صورتی که انرژی پیوستگی اجزای هسته میلیون‌ها مرتبه از انرژی ارتباط عناصر شیمیایی که در فعل و انفعالات آزاد می‌شود بزرگتر است. حمله کیمیاگران را به هسته اتم می‌توان به این تشبیه کرد که کسی

پیدایش و مرگ خورشید

بخواید بامنجنیقها وساز وبرگهای جنکی قرون وسطی استحکامات خط زیگفرید یاخط مازینورا منهدم کند.

اگر کسی بخواید دربرج وباروی نیرومند هسته اتوم شکافی ایجاد کند، ناچار گلوله‌ای که به کار می‌برد بایستی انرژی داشته باشد در حدود انرژی ذرات وپاره‌هایی که از خود هسته به خارج پرتاب می‌شود. اکنون که عناصر رادیو آکتیو گوناگون را در اختیار داریم که می‌توانند ذرات α را با انرژی فراوان از خود خارج کنند، شاید بتوانیم با این گلوله‌ها به دیوار هسته عناصر سبک که در حالت متعارفی ثابت و تغییر ناپذیرند شلیک کنیم و آرزو مند آن باشیم که بعضی از این گلوله‌ها به هدف برسد و از حصار هسته بگذرد و آن خرابی و ویرانی را که در داخل هسته چشم به راه آن هستیم بار آورد. با همین اندیشه بود که مکتشف بی آرام درون اتوم یعنی **راذرفورد** به سال ۱۹۱۹ دسته‌ای از ذرات سریع α را که از جسمی رادیو آکتیو به دست آورده بود متوجه اتومهای نیتروژنی کرد که به آرامی در یک اطاق پرازگاز به حرکت مشغول بودند و آنها را شکافت!

عکسبرداری از بمباران هسته

بلافاصله پس از آنکه راذرفورد توانست هسته اتوم را بمباران کند، یکی از شاگردان وی به نام **پاتریک بلاکت** طریقه‌ای به دست آورد تا از این بمباران و تخریب اتومی عکسبرداری هوایی کند. ممکن است کسی بگوید که گلوله‌های هسته آن اندازه کوچک و تند حرکتند که از آنها نمی‌توان عکس برداشت، ولی از یک لحاظ چنین نیست و حقیقت امر آن است که عکسبرداری از خط سیر این ذرات کوچک و منهدم کننده بسیار آسانتر از عکسبرداری از خط سیر گلوله‌های توپ میدانهای جنگ است.

اسبابی که برای این کار به کار می‌رود معمولاً به نام **اطاق ابر** یا **اطاق ویلسون** نامیده می‌شود و اساس عمل آنها مبتنی بر این امر است که ذرات سریع حرکت α در ضمن گذشتن از میان هوا یا هر گاز دیگر انحراف و تغییری در اتومهایی که سر راه آنها قرار گرفته‌اند تولید می-

1. Patrick Blackett

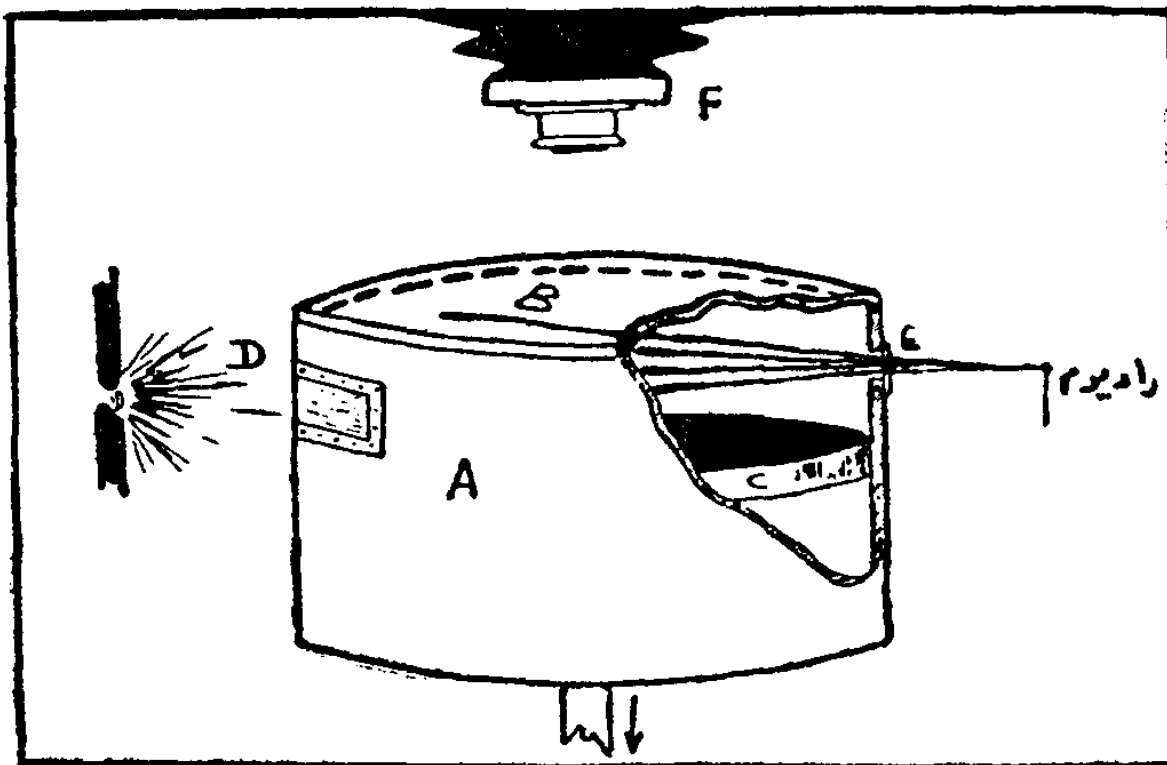
کنند. این گلوله‌ها بامیدان برقی شدیدی که دارند از اتمهای گازی که در سر راهشان واقعند یک‌یادوالکترون می‌کنند و در پشت سر خود اتمهای یونیده (= یونی شده) برجای می‌گذارند. این حالت مدت درازی طول نمی‌کشد، چه اتمهای یونیده پس از عبور گلوله‌های α هرچه زودتر الکترونهای خود را باز می‌گیرند و به حالت عادی برمی‌گردند.

ولی اگر گازی که در آن این کیفیت یونش (یونیده شدن) پیش آمده با بخار آب اشباع شده باشد، قطرات بسیار خرد آب بر روی هر یک از اتمهای یونیده پدیدار می‌شود (و این از خواص بخار آب است که بر روی یونها و ذرات گرد و غبار و نظایر آنها حالت غلظت و تمرکز پیدا می‌کند). و به این ترتیب نوار باریکی ازمه در مسیر گلوله α تشکیل می‌شود. به عبارت دیگر اثر هر ذره بارداری که در میان گازی حرکت کند همان‌گونه قابل رؤیت می‌شود که اثر حرکت هواپیمایی که بادود بر روی آسمان علامات و نوشته‌هایی را رسم می‌کند قابل رؤیت است. از لحاظ فنی اطاق ابر اسباب بسیار ساده‌ای است (شکل ۱۷).

اساس آن عبارت است از استوانه فلزی (A) که سرپوش شیشه‌ای (B) آن را می‌پوشاند، و در داخل آن پیستون (C) می‌تواند به وسیله دستگاهی که بر روی شکل نشان داده نشده به بالا یا پایین حرکت کند. فاصله میان سرپوش شیشه‌ای و پیستون از هوای متعارفی (یا هر گاز دیگری که بخواهند) پر شده و مقدار زیادی بخار آب همراه آن است. اگر پس از داخل شدن گلوله‌ای اتمی به اطاق از راه پنجره (E) پیستون به صورت ناگهانی به طرف پایین کشیده شود، هوای بالای آن سرد می‌شود و بخار آب موجود در آن به صورت نوار باریکی از مه در اطراف خط سیر گلوله اتمی درمی‌آید. این نوار مه را بانور شدیدی که از پنجره دیگر (D) می‌تابد سخت روشن می‌کنند و به همین جهت است که نوار مه به خوبی بر زمینه سیاه و تاریک پیستون قابل رؤیت می‌شود، و نیز می‌توانند با دوربین عکاسی (F) از آن عکس بردارند؛ بازوبسته شدن دوربین عکاسی

۱. این پنجره را معمولاً با ورقه نازکی از میکا می‌پوشانند که از آن گلوله‌های اتمی می‌توانند با کمی دشواری عبور کنند.

پیدایش و حرکت خورشید

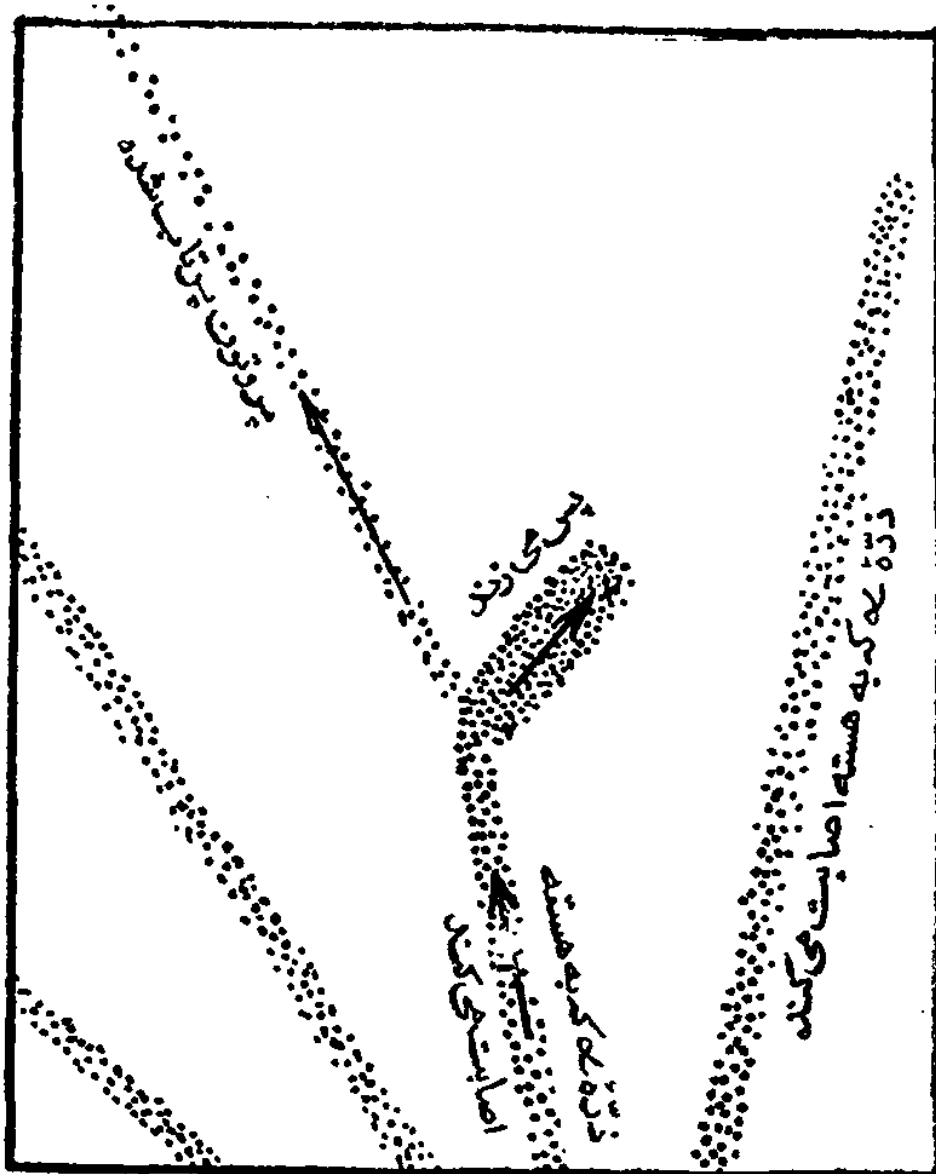


شکل ۱۷
اطاق ابرویلسون

به صورت خود به خودی به وسیله حرکت پیستون انجام می شود. این دستگاه ساده یکی از پرارزشترین آلات فیزیک جدید به شمار می رود و به وسیله آن می توانیم عکسهای زیبایی از نتایج بمباران هسته اтом برداریم.

شکافتن اتم نیتروژن

بلاکت برای آنکه بمباران شدن اتمهای نیتروژن را مورد تحقیق قرار دهد، به چیزی جز آن احتیاج نداشت که تنها اطاق خود را با هوای جوپرکند، زیرا چنانکه می دانیم قسمت عمده این هوارانیتروژن تشکیل می دهد. البته قراول رفتن هسته اتم نیتروژن بایک ذره α غیر ممکن است، و فقط تصادف است که یکی از گلوله های بمباران اتمی را از پنجره کنار دستگاه به یک هسته می رساند و آنرا درهم می شکند. در نخستین عکسهایی که گرفته شد هیچ اثری از برخورد مستقیم



شکل ۱۸

تحلیلی از صفحه عکسی که بلاکت برداشته و در طرف راست صفحه تصویر شماره (۲) دیده می شود. نقطه های جدا از یکدیگر نماینده قطرات مه است.

ذرات α به هسته اتم دیده نمی شد، یعنی اثر عبور ذرات α در ضمن عبور از اطاق درست خط مستقیمی بود. ولی پس از آنکه بلاکت عکسهای زیادی برداشت (یعنی ۲۳,۰۰۰ تصویر)، بالاخره در میان آنها هشت تصویر یافت که برخورد ذرات α را با هسته اتمهای نیتروژن نشان می داد. این کمی تصادف برخورد ذرات α با هسته های نیتروژن به خوبی نشان می داد که لااقل با وضعی که علم و تجربه در آن زمان داشت امید آن نیست

پیدایش و مرگ خورشید

که تهیه عناصر جدید به مقدار فراوان و همچنین به دست آوردن انرژی زیر اتمی قابل ملاحظه از این راه امکانپذیر باشد.

یکی از تصاویر تجزیه و شکستن هسته را که به وسیله بلاکت به دست آمده در صفحه تصویر شماره II پایان کتاب نشان داده ایم و شکل نظری آن را که نماینده حادثه‌های است که در ضمن برخورد ذره α با هسته نیتروژن صورت گرفته در تصویر شماره (۱۸) رسم کرده ایم این تصویر يك ذره α را نشان می‌دهد که با سرعت فراوان به اتم نیتروژن نزدیک می‌شود و با هسته آن تصادم پیدا می‌کند. بر روی آن شکل نتیجه این تصادم را نیز می‌بینیم؛ يك پروتون (یعنی هسته ئیدروژن) از داخل هسته به طرف چپ پرتاب می‌شود و در عین حال باقیمانده جسم هسته با زاویه قائمه از محل وقوع تصادم به کنار می‌رود. ولی اثر خود ذره α از میان رفته و از اینجا نتیجه می‌گیریم که ذره α در حین تصادم در هسته نیتروژن فرو رفته و جزء آن شده است.

بنا بر این هسته‌ای که از تصادم نتیجه شده دیگر هسته نیتروژن نیست، بلکه از اضافه شدن يك ذره α (یا يك هسته هلیوم) به هسته نیتروژن و کاسته شدن يك پروتون (یا يك هسته ئیدروژن) از آن چیزی درست شده که بانیتروژن کاملاً تفاوت دارد. نتیجه تصادم آن است که بار

۱. این را باید بگوییم که از روی عکسهایی که از اطاق ابر گرفته می‌شود نه تنها شکل مسیر ذراتی که در تجربه دخالت دارند به دست می‌آید، بلکه از آن رو می‌توانیم طبیعت و ماهیت آنها را نیز تعیین کنیم. مقدار یونش که از يك ذره متحرك حاصل می‌شود به بار برقی آن بستگی دارد و هر اندازه بار زیادتر باشد مهی که در اطاق ابر تشکیل می‌شود غلیظتر خواهد شد. از روی عکس و همچنین از روی شکل شماره (۱۸) می‌توان دریافت که شاخه‌چپ دوشاخه‌ای که از تصادم به دست آمده تا حدی از اثر ذره α که بر هسته تابیده نازکتر است، و این می‌رساند که بار برقی شاخه‌چپ از بار برقی ذره α کمتر است، و بنا بر این بایستی يك پروتون باشد. از طرف دیگر شاخه راست این دوشاخه بسیار غلیظ است و این خود نماینده آن است که بار هسته سنگینتر شده است.

هسته نیتروژن به اندازه يك واحد (1-2+) و جرم آن به اندازه سه واحد (1-4+) افزایش پیدا می کند؛ به این ترتیب به جای هسته نیتروژن با عدد اتمی 7 و وزن اتمی 14، اکنون هسته اکسیژنی داریم با عدد اتمی 8 و وزن اتمی 17. چنین است که بمباران شدن اتمهای نیتروژن با ذرات α سبب آن می شود که نیتروژن به اکسیژن مبدل گردد، و خواب کهن کیمیاگران قدیم درباره تبدیل عناصر به یکدیگر تعبیر شود.

این عمل تبدیل هسته را می توان به صورت ساده ای شبیه فرمول فعل و انفعالات شیمیایی عادی نمایش داد (شکل 19). تنها فرقی که دارد این است که به جای آنکه وضع اتمها در مولکولها مانند فرمولهای شیمی در نظر باشد در اینجا با خود اتمها سروکار داریم. این مطلب نیز باید گفته شود که اکسیژنی که در فعل و انفعال



شکل 19

از تصادم هسته های نیتروژن و هلیوم با یکدیگر هسته های اکسیژن و هیدروژن به دست می آید. اعدادی که بالای علامت عناصر نوشته شده نماینده وزن اتمی آنها است.

هسته ای مذکور در اینجا تشکیل شده، به جای آنکه وزن اتمی 16 داشته باشد وزن اتمی 17 دارد، و به همین جهت هم جای سنگین این عنصر است. پیش از این در فصل دوم دیدیم که اکسیژن هوای جو عملاً مخلوطی از دو نوع اکسیژن است: یکی از آن دو فراوانتر است و با علامت O^{16} نمایانده می شود و دیگری که مقدار آن ناچیز است و از 0.3 درصد تجاوز نمی کند O^{17} است.

آزمایشهای دیگری که به وسیله رادرفورد و مکتب او صورت گرفت معلوم داشت که عناصر سبک دیگر را نیز چون با ذرات α بمباران

کنند فعل و انفعالات اتمی نظیر آنچه در مورد نیتروژن دیدیم صورت پذیر خواهد شد. و از این قبیل است تبدیل بور ($Z=5$) به زغال ($Z=6$)، یا تبدیل سودیوم ($Z=11$) به منیزیوم ($Z=12$)، یا تبدیل آلومینیوم ($Z=13$) به سیلیسیوم ($Z=14$). ولی نسبت تبدیل که در هر يك از این حالات بسیار كوچك است به تدریج كه وزن اتمی عنصر بمباران شده بالاتر می رود كمتر می شود، به طوری كه برای عناصر واقع در آن طرف از گون در دستگاه تناوبی عناصر هیچ تجزیه و تحلیلی در عناصر دیده نمی شود.

بمباران کردن به وسیله پروتونها

در همه آزمایشهای رسمی برای ساختن مصنوعی عناصر كه تاكنون دیدیم، ذرات α به عنوان وسیله بمباران به كار می رفت، چه اینها تنها گلوله های سنگینی بودند كه به خودی خود از عناصر رادیو آکتیو به خارج پرتاب می شدند. با وجود این نظریه تبدیل هسته كه به وسیله مؤلف این كتاب طرح ریزی شد، این مطلب را آشكار ساخت كه اگر به جای ذرات α پروتونهای سریع مورد استفاده واقع شود، می توان انتظار نتایج بهتری را داشت. چون بار برقی پروتونها بسیار كم است، نیروی دافعه ای كه هنگام نزدیك شدن با هسته های هر باربر آنها اعمال می شود كمتر خواهد بود، و به همین جهت قابلیت پروتونها برای نفوذ كردن به داخل هسته بیشتر می شود. از این گذشته با استعمال پروتونها می توان انتظار داشت كه انواعی از هسته بیش از آنچه تاكنون مورد مطالعه قرار گرفته به دست آید. ولی چون پروتونها خود به خود از عناصر رادیو آکتیو صادر نمی شوند، نخست لازم بوده است كه به طور مصنوعی دسته هایی از این ذرات را به وسیله شتاب دادن به اتمهای ئیدروژن (و اگر صحیحتر بخواهیم یونهای آن) در میدانهای برقی بسیار شدید فراهم سازند. نخستین تجربه ثمر بخشی كه در این باره صورت گرفته در آزمایشگاه راذرفورد در كیمبریج و به دست شاگرد جوان و با استعداد وی ژ. كاكرافت^۱ بوده است. این

1. J. Cockcroft

جورج ساموف

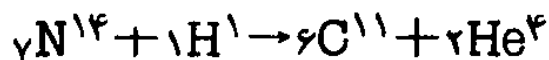
شخص با استفاده از ترانسفورماتوری ۵۰۰،۰۰۰ ولتی توانست دسته‌ای موازی از پروتون‌ها با سرعت ۱۰،۰۰۰ کیلومتر در ثانیه تهیه کند. اگر چه انرژی این پروتون‌های سریع شده هنوز کوچکتر از انرژی ذرات α است، با وجود این توانسته‌اند در بمباران هسته از آنها به عنوان وسیله بسیار کارآمدی استفاده کنند. کاکرافت پس از آنکه دسته پروتون‌های خود را بر صفحه‌ای اندوده از یک قشر لیتیوم تابانید، متوجه شد که بسیاری از اتم‌های لیتیوم در تحت تأثیر پروتون‌ها شکسته و به دو جزء متساوی منقسم شده است (صفحه تصویر III - آ - پایان کتاب دیده شود).

معادله فعل و انفعال هسته‌ای را که در این حالت صورت گرفته در شکل (۲۰) نمایش داده‌ایم، و از آن رو معلوم می‌شود که از تصادم هسته‌های **نیدروژن و لیتیوم خالص به دست می‌آید**. از سایر فعل و انفعالاتی که به وسیله بمباران با پروتون صورت گرفته تبدیل نیتروژن به کربون را نیز می‌توان نام برد.^۱



شکل ۲۰

از برخورد هسته‌های لیتیوم و نیدروژن بایکدیگر، دو هسته هلیوم (یادو ذره α) به دست می‌آید.



۱. عددی که در قسمت چپ و پایین هر علامت شیمیایی عنصر در فرمول‌های بالا دیده می‌شود نماینده عدد اتمی (Z) آن عنصر است و عددی که در طرف راست و بالای آن دیده می‌شود نماینده وزن اتمی (A) است. توجه داشته باشید که مجموع ارقام نماینده A و Z در دو طرف «معادلات» بایکدیگر برابر است. در فرمول اول هم‌جای سبک کربون به دست آمده و باید دانست که کربون معمولی ${}^{12}\text{C}^6$ است.

پیدایش و مرگ خورشید

و همچنین حالت جالب توجه بور (صفحه تصویر III-ب- پایان کتاب) است که در تحت اثر بمباران با پروتون به سه جزء α تبدیل می شود.



در مورد احتمال شکسته شدن هسته به وسیله پروتون باید گفت که گرچه این عمل بیشتر از حالت بمباران با ذرات صورت می گیرد (و این امری است که با پیشگوییهای نظری تطابق دارد)، باز همان قوانین کلی سابق برقرار است، یعنی هرچه انرژی پروتونهای تابنده کمتر و وزن اتمی عناصر بمباران شده بیشتر باشد، عمل شکسته شدن هم کمتر صورت می گیرد. با وجود این باید دانست که برای پروتونهایی با انرژی در حدود 10^{-8} ارگ نیز تبدیل هسته عناصر سبک امکان پیدا کرده است.

کار مهمی که نخستین بار به دست **کاکرافت** با تولید مصنوعی دسته پروتونهایی با سرعت زیاد صورت گرفت، راه را برای استفاده از برق با فشار قوی در مسائل مربوط به هسته باز کرد. در زمان حاضر آزمایشگاههای فیزیک چهار گوشه جهان مجهز به ماشین آلات غولپیکری از این قبیل هستند که به نامهای گوناگون و شکفت انگیز **ولت افزا** (از نوعی که کاکرافت به کار برد) و **مولدهای برق ساکن و سیکلوترون** نامیده می شوند.

اتومشکافهای با برق ساکن

دکتر **مرل تیوو** ۱ سر خود را از دریچه کره فولادی به ارتفاع شصت پا که در اراضی **بنگاه کارنگی** در واشینگتون برپا شده بود داخل کرد و فریاد زد: « **آقای لاری** کسی شمارا پای تلفون می خواهد. »
دکتر ل . هفستید ۲ در میان هوا برکنار بندی که از سقف آن گنبد آویخته بود نشسته و با جاروی برقی داخل کره را پاک می کرد.

1. Merle Tuve

2. L. Hafstad

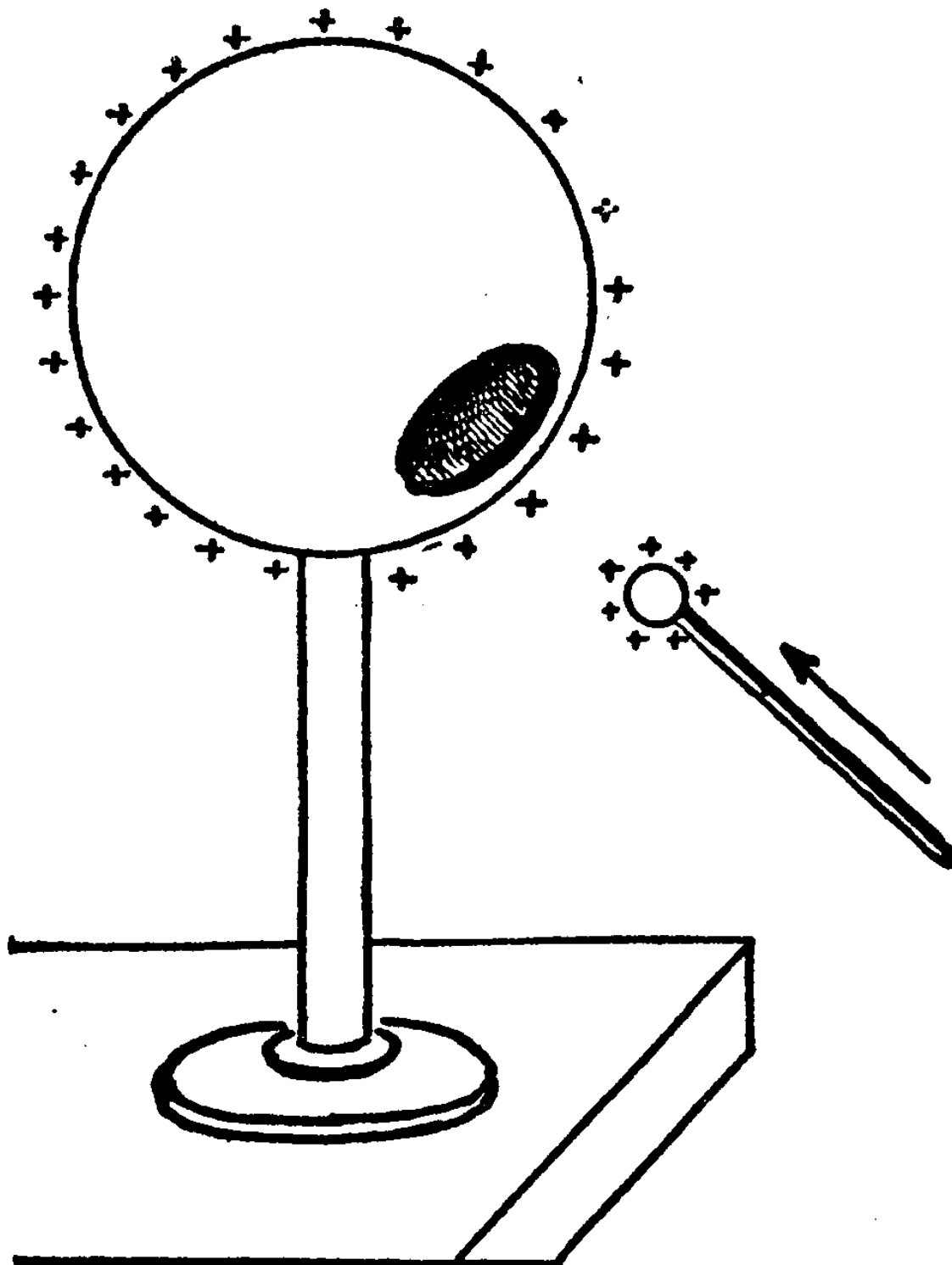
لازم بود که داخل این کره کاملاً پاک و صاف باشد، چه اگر کوچکترین ناهمواری در آن موجود باشد سبب آن می شود که برخلاف میل ماتخلیه برقی در آن صورت گیرد. همه این مطالب سبب آن بود تا دکتر **وان دو گراف** نخستین سازنده چنین مولد برقی مجبور شود چندین کبوتر را که در زیر شیروانی اطای که دستگاه وی در آن قرار گرفته (صفحه تصویر شماره IV پایان کتاب) آمد و شد می کردند با تیر بزنند و از شر کثافتکاری آنها آسوده شود.

اکنون که دکتر **هفستید** مشغول مکالمه با تلفون است، بهتر آن است که با دقت بیشتری دستگاه اتومشکاف وی را مورد مطالعه قرار دهیم. شاید خواننده را از آنچه در کلاسهای متوسطه خوانده در یاد باشد که چون به جسم هادی بار برقی داده شود این بار به سطح خارجی آن می آید. این کیفیت را در کلاسهای درس با این تجربه نشان می دهند که کره کوچک بارشده از برق را که دسته بلوری دارد به کره مجوف بزرگ سوراخداری نزدیک می کنند و آن را به سطح داخلی این کره مجوف اتصال می دهند (شکل ۲۱). در این صورت بار برقی کره کوچک به تمامی به سطح خارجی کره بزرگتر انتقال می یابد. چون این عمل را چندین بار مکرر سازند می توانند کره بزرگتر را به هر سطح برقی که بخواهند برسانند و به وسیله نزدیک کردن جسم هادی به آن جرقه های برقی بلندی تولید کنند.

اختلاف اساسی مولدهای با برق ساکن با این دستگاه آزمایشی تنها در بزرگی آن است، ولی البته در جزئیات ساختمان اختلافات دیگری هست. مثلاً انتقال بار برقی به داخل جسم هادی به وسیله داخل کردن جسم کوچک بارشده صورت نمی گیرد، بلکه به جای آن دستگاه انتقال باری در کار است که به شکل مداوم بار برقی را به کره بزرگ می دهد: یک کمر بند که با جسم هادی اتصال ندارد میان ترانسفورماتوری واقع در پایین ساختمان و قرقره ای که به قسمت فوقانی کره متصل است دوران می کند، و پیوسته بار برقی را از ترانسفورماتور می گیرد

1. Van de Graff

پیدایش و مرگ خورشید



شکل ۲۱

اساس کار ماشین اتمشکاف با برق ساکن. چون ازسوراخ کره بزرگی کره کوچکی را که بار برقی دارد در آن داخل کنند و به آن بچسبانند، بار خود را به کره بزرگ می‌دهد.

جورج گاموف

و به کره می‌رساند و به این ترتیب پوتانسیل یا سطح برقی کره بسیار بالا می‌رود. در مولدی که شکل آن را بر روی صفحه تصویر شماره (۷ پایان کتاب) می‌بینید، چند دقیقه پس از آنکه کمر بند به کار افتاد پوتانسیل برقی به ۵ میلیون ولت می‌رسد. اگرچه از لحاظ اصول برای پوتانسیلی که به این ترتیب به دست می‌آید حدی نیست، ولی عملاً حدی پیدا می‌شود و آن از این جهت است که چون سطح برقی به اندازه معینی رسید میان کره و گنبد فولادی دیگری که بر روی آن ساخته شده جرقه می‌زند و پوتانسیل پایین می‌آید.^۱

با کره‌ای که به این وسیله بار فراوان پیدا کرده باشد، ممکن است دسته‌هایی از ذرات سریع‌الحرکت مختلف - از قبیل پروتون و ذرات آلفا و هسته لیتیوم و نظایر آنها ایجاد کرد، و این بدان گونه است که سرعت یونهای متناظر را در لوله شیشه‌ای که یک کنار آن از پایین وارد کره بار شده می‌شود و کنار دیگر آن به قسمت تحتانی ساختمان اتصال دارد زیاد کنند. چون یونها با سرعت بسیار عظیمی که دارند به قاعده این لوله شیشه‌ای می‌رسند از پنجره نازک می‌گذرند و وارد آزمایشگاه زیرزمینی می‌شوند، و در آنجا است که این ذرات را بر روی اجسامی که مورد مطالعه و تحقیق قرار گرفته متوجه می‌سازند. در این آزمایشگاه زیرزمینی انواع و اشکال اسبابها و آلات عجیب و غریب و پیچ در پیچی قرار دارد که به وسیله آنها نتایج تجزیه‌های هسته‌ای ثبت و ضبط می‌شود.

سیکلو ترون

چنانکه دیدیم اساس مولد برق ساکن برای تجزیه هسته اتم

۱. این کره خارجی نه تنها از لحاظ محافظت از باد و باران ضرورت دارد، بلکه ازان جهت نیز لازم است که هوارا خشک نگاه - دارد و تخلیه‌های برقی نامطلوب را کمتر کند. در مولدی که در صفحه تصویر شماره (IV) نمایش داده شده کره محافظ در تحت فشار چند جو قرار دارد و این خود فاصله جرقه زدن را کمتر می‌کند و بنابراین حد پوتانسیل نهایی را بالا می‌برد.

پیدایش و مرگ خورشید

بر روی اطلاعاتی بنا شده که در آغاز آشنایی با برق به آنها رسیده ایم ، ولی دستگاه سیکلوترون که نخستین بار در کالیفورنیا به وسیله دکتر ارنست لاورنس ساخته شد بر روی شالوده و اساس دیگری است. به جای آنکه ذرات را با ریزش از پوتانسیل چند ملیون ولت سریعتر کنند، لاورنس اساس کار خود را بر این قرارداد که ذرات را به حرکت دورانی در آورد و در نقطه معینی از مدار ضمن هر يك دور که می زنند با دادن پوتانسیل جدیدی انرژی آنها را افزایش دهد.

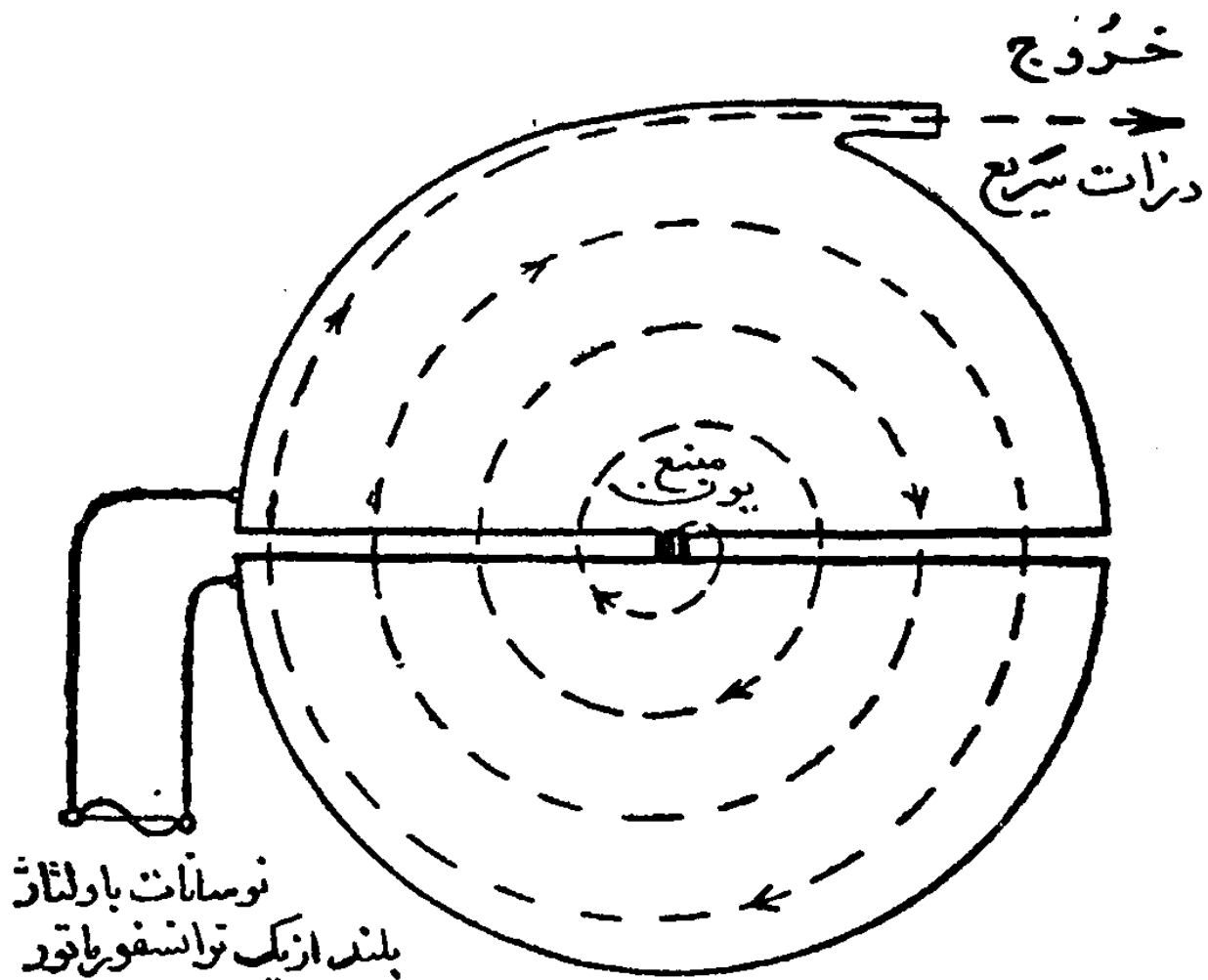
برای آنکه يك ذره بار شده را در مدار دایره شکلی به دوران وادارند، لازم است که آنرا در میدان مغناطیسی یکنواختی قرار دهند، چه بنابراین از فیزیک مقدماتی می دانیم میدان مغناطیسی که جهتش عمود بر جهت حرکت ذره بار شده باشد مسیر آنرا خم می کند و وادارش می سازد تا بر روی دایره ای حرکت کند. چون ذرات در هر دور با « ضربه های برقی » که بر آنها وارد می آید مقداری انرژی اضافی کسب می کنند، مقدار خمیدگی مسیر که از میدان مغناطیسی نتیجه می شود رفته رفته کوچکتر و بنابراین شعاع مدار دایره شکل به تدریج بزرگتر خواهد شد. از خوشبختی لاورنس ازدیاد طول مدار درست با سرعت حرکت جبران می شود، به قسمی که ذره متحرك پیوسته در فواصل زمان متساوی از محلی که در هر دور فشار برقی به آن داده می شود خواهد گذشت. به همین جهت است که می توان برای تولید فشار برقی از پوتانسیلی استفاده کرد که از يك مولد عادی با بسامد زیاد به دست می آید (شکل ۲۲).

در سیکلوترونی که به وسیله لاورنس در دانشگاه کالیفورنیا ساخته شده و تصویر آنرا در صفحه تصویر شماره (VI پایان کتاب) آورده ایم، پیش از آنکه ذره پروتون از دستگاه خارج شود چندین دور می زند. پس از هر دور گردش که در کسر غیر قابل ملاحظه ای از ثانیه صورت می گیرد، يك ضربه برقی می بیند، به طوری که هنگام خروج از دستگاه فشار برقی در حدود چند ملیون ولت دارد. این ذرات که انرژی بسیار زیاد دارند از

1. Ernest O. Lawrence

جورج گاموف

میان پنجره نازک میکا که در پایان مسیر مارپیچی آنها قرار گرفته خارج می‌شوند و از آنها می‌توان برای هر نوع بمباران اتمی استفاده کرد. آزمایش با دسته‌های مصنوعی ذرات که در آنها می‌توان نوع و سرعت ذرات را مطابق دلخواه انتخاب کرد، سبب پیدایش تشریقات فراوانی در علم و معرفت ما نسبت به فعل و انفعالات مربوط به هسته شده است. علاوه بر آنچه پیش از این آوردیم ده‌ها تبدیل هسته جالب توجه‌تر انجام شده و با این وسائل در معرض تحقیق و پژوهش قرار گرفته است.



شکل ۲۲

اساس کار سیکلوترون. ذرات برمدار مارپیچی حرکت می‌کنند و پیوسته سرعتشان زیادتر می‌شود.

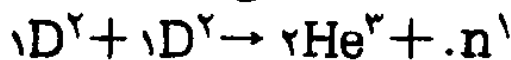
پیدایش و مرگ خورشید

گلوله های « نافذ » جدید

پیشرفت فیزیک هسته در ده سال گذشته تا حد زیادی در نتیجه اکتشاف نوع جدیدی از گلوله های هسته ای است که گرچه از بسیاری جهات با پروتونهای عادی شباهت دارند، هیچ بار برقی همراه آنها نیست. این پروتونهای بیبار، یا بنابر اصطلاحی که بیشتر رواج دارد این نوترونها، برای بمباران هسته عنوان گلوله کمال مطلوب را دارند، چه از آن جهت که هیچ بار برقی همراه آنها نیست هیچ نیروی دافعه ای از طرف هسته های پربار بر آنها وارد نمی شود و می توانند به سهولت به ساختمان درونی هسته اتوم نفوذ کنند.

گرچه فرضیه مربوط به امکان وجود چنین ذراتی در سال ۱۹۲۵ به وسیله رادرفورد بیان شده، ولی دلیل وجود آنها را در سال ۱۹۳۲ همکار وی یعنی دکتر جیمز چدویک^۱ به دست داده است. این شخص ثابت کرد که تشعشع مخصوصی که بر اثر بمباران با ذرات از بریلیوم صادر می شود عبارت است از ذراتی خنثی که جرم آنها در حدود جرم پروتون است. هسته ای که در نتیجه فعل و انفعال به دست می آید همان هسته کربون متعارفی است.

در زمان حاضر نوترونها را معمولا از راه تصادم دو دوترون یعنی دو هسته اتومهای ئیدروژن سنگین به دست می آورند.^۲ پس از آنکه یونهای ئیدروژن سنگین را در یکی از مولدهای جدید با پوتانسلی بلند به حرکت سریع در آورند آنها را بر روی ماده ای مانند آب سنگین می اندازند که در آن اتومهای ئیدروژن سنگین در داخل مولکولها به یکدیگر اتصال پیدا کرده اند. در نتیجه تصادمهایی که دست می دهد عدد زیادی نوترونهای سریع مطابق معادله زیر تشکیل می دهد.



چنانکه می بینیم محصول دیگری از این فعل و انفعال همجای

۱. James Chadwick

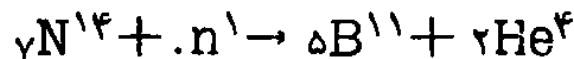
۲. ئیدروژن سنگین را معمولا به نام دوتریوم می خوانند و علامت اختصاری آن در نامگذاری هسته ای 2_1D است (بار، ۱؛ جرم، ۲).

سبکی است از هلیوم باجرم ۳ که هلیوم متعارفی باجرم ۴ معمولاً مقدار کمی از آن را همراه دارد.

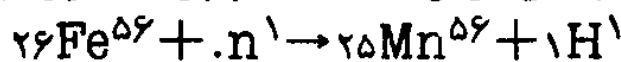
به این نکته باید اشاره شود که چون نوترونها بار برقی ندارند در ضمن عبور هوا عمل یونش را صورت نمی‌دهند، و به همین جهت در ضمن عبور از اطاق ابر اثر مرئی از آنها برجای نمی‌ماند. مشاهده آنها معمولاً از راه اثری است که از تصادم با ذرات هوایی که مستقیماً در راه آنها قرار گرفته حاصل می‌شود.

نتایج بمباران بانوترون

همان‌گونه که پیش از این گفتیم نوترونها به آسانی می‌توانند حتی در پربارترین هسته‌ها نفوذ کنند و اثر تخریبی در داخل آنها داشته باشند. این آثار بیش از همه به وسیله فیزیکدان ایتالیایی **انریکو فرمی** و همکاران او مورد پژوهش و مطالعه قرار گرفته است. در آن صورت که سر و کار ما با عناصر سبکتر است نفوذ یک نوترون غالباً با خارج شدن یک ذره α یا یک پروتون همراه است مانند این فعل و انفعال:



که نماینده تبدیل یافتن نیتروژن است به بور و هلیوم یا:



که تبدیل آهن را به منیزیم و نیتروژن نشان می‌دهد. در عناصر سنگینتر حصار پوتانسیل که هسته اتم را احاطه کرده بلندتر است، و اگرچه این حصار مانع آن نیست که نوترون بتواند به درون هسته نفوذ کند، ولی از خارج شدن اجزای باردار هسته جلوگیری به عمل می‌آورد. در این حالت نوترونهایی که داخل هسته می‌شوند، بایستی از انرژی موجود در خود به صورت تشعشعات مغناطیسی که تولید می‌شود خلاص شوند و به این ترتیب است که اشعه سخت γ (گاما) خارج می‌شود مانند این فعل و انفعال:



که در آن همجای سنگینتری از طلا ساخته می‌شود. این طرز ساخته شدن

1. Enrico Fermi

همجاهای سنگینتر از عنصری که بمباران شده ممکن است با تعدیل بار برقی از طریق صدور يك الکترون صورت گیرد (صفحه ۷۹ دیده شود).

منفجر ساختن هسته

در فعل و انفعالات هسته‌ای که تاکنون مورد بحث قرار گرفت، اساس تبدل عبارت ازان بود که جزء نسبتاً بسیار کوچکی از ساختمان هسته (مانند ذره α یا پروتون یا نوترون) ازان خارج شود؛ تا اینجا به این مثال برنخورديم که هستهٔ يك اتم سنگین منفجر شود و دو یا بیشتر پاره‌های تقریباً متساوی ازان به دست آید. ولی به تازگی (زمستان ۱۹۳۹) این نوع «شکسته شدن» به وسیلهٔ دو فیزیکدان آلمانی به نامهای هان^۱ و مایتنر^۲ مشاهده شد و دریافتند که اتمهای اورانیوم که ناپایدارند، ممکن است بر اثر بمباران با يك دسته نوترون به دو پاره منقسم شوند. یکی از دو پاره نمایندهٔ هستهٔ باریوم است و دیگری به احتمال قوی کریپتون. این شکل شکافته شدن هسته با آزاد شدن مقداری انرژی همراه است که صدها برابر انرژی آزاد شده در سایر فعل و انفعالات شناخته شدهٔ هسته‌ای است.

همان گونه که در فصل آینده خواهیم دید، این نوع کاملاً تازهٔ تبدل هسته برای نخستین بار ما را امیدوار ساخت که ممکن است بتوانیم عملاً انرژی زیر اتمی را مورد استفاده قرار دهیم.

1. O. Hahn
2. Lise Meitner

فصل چهارم

آیا انرژی زیر اتمی را می‌توان مهار کرد؟

انرژی به‌جای طلا



در فصل اخیر دیدیم که ترقیات علم فیزیک در قرن حاضر دوباره آرزوهای طلایی کیمیاگران قرون وسطی را بیدار کرد و مسئله جالب توجه امکان تبدیل عناصر را به یکدیگر بر روی پایه محکمتری قرارداد. ولی این را باید بدانیم که کیمیاگران در صدد آن بودند که راهی پیدا کنند تا فلزات پست را به فلزات گرانبها تبدیل کنند، در صورتی که ما امروز به‌جای پیدا کردن سیم و زر مصنوعی آرزو مند آن هستیم که از این تبدیل عناصر انرژی به‌دست بیاوریم. حقیقت آن است که اگر به‌دست آمدن چنین انرژی عظیم درون اتم میسر باشد، این کار بسیار ارزنده‌تر از آن است که بتوانند مثلاً مس یا آهن را به طلا مبدل کنند. به‌عنوان مثال باید بگوییم که در شکافته شدن یک اتم لیتیم در نتیجه تصادم با پروتون (شکل ۲۰)، مقداری انرژی برابر با $10^{-5} \times 8$ ارگ آزاد می‌شود. به این ترتیب هرگاه

تمام یک گرم لیتیوم به وسیله بمباران با پروتون به هلیوم تبدیل شود، مقدار عظیم انرژی $10^{18} \times 5$ رگ ازان به دست می آید که بانرخ جاری انرژی ارزش آن ۶۰۰،۰۰۰ ریال خواهد بود. اگر تصادفاً درعین آزاد شدن انرژی یک گرم لیتیوم هم تبدیل به یک گرم طلا می شد که ارزش آن از ۸۰ ریال بیشتر نیست، به خوبی معلوم می شد که ساختن طلا در برابر به دست آوردن انرژی هیچ قدر و منزلتی ندارد. از طرف دیگر باید دانست که اگر بتوانیم انرژی نهفته در داخل اتم را استخراج کنیم و چنانکه می خواهیم به مصرف برسانیم، تغییرات شگرفی در زندگی و در صنعت حاصل خواهد شد.

انرژی زیر اتمی به نسبت خیلی ناچیز آزاد می شود

هنوز درست نمی توان پیشبینی کرد که اگر دست یافتن به منابع انرژی زیر اتمی ماده امکانپذیر باشد، چه نتایجی ازان به دست خواهد آمد. البته شك نیست که درانجا انرژی موجود است، ولی همان گونه که در فصلهای گذشته دیدیم آزاد شدن این انرژی چه به صورت خود به خودی و چه به صورت مصنوعی به اندازه ای کم و ناچیز است که حتی برای اکتشاف این انرژی آلات بسیار دقیق فیزیکی ضرورت دارد. از این لحاظ می توان مخزن انرژی درون اتم را به دریاچه عظیمی تشبیه کرد که بر جای بسیار بلندی قرار گرفته ولی راهی که آب آن را خارج می کند به اندازه ای باریک است که مثلاً در عرض مدت یک هفته تنها یک قطره آب ازان می گذرد. بدیهی است که اگر توربین آبی بسیار نیرومندی در انتهای این راه خروج آب قرار دهیم و بخواهیم انرژی آب را به این وسیله به برق تبدیل کنیم، عمل بسیار لغوی انجام داده ایم. این کار وقتی درست است که زیراب را به آن اندازه گشاد کرده باشیم که جریان نیرومندی از آب عبور کند و توربین آبی را به کار اندازد.

برای آنکه بفهمیم آیا در مورد انرژی زیر اتمی گشاد کردن مجرای خروج تا این اندازه ممکن است یا نه، لازم است که بیش از این درباره عواملی که در نسبت تبدیل داخل هسته حکومت دارند بحث کنیم.

حد احتمال اصابت گلوله بارداری به یک هسته

فرض کنید که گلوله‌ای از نوع گلوله‌های هسته‌ای مثلاً پروتون یا ذره آلفایی را که سرعت و انرژی بسیار زیاد دارد، رها کرده و چنان خواسته باشیم که به وسیله آن هسته‌ای را بمباران کنیم. آیا چه حد احتمال و امید آن هست که این گلوله بایکی از هسته‌های ماده‌ای که در آن رها شده برخورد کند و سبب شکافتن آن هسته شود؟ می‌دانیم که قطر هر اتم تقریباً ۱۰،۰۰۰ برابر قطر هسته است، به طوری که سطح هدف هسته در ضمن پرتاب تیر ۱۰۰ میلیون مرتبه (مربع نسبت قطرهای) کوچکتر از سطح هدف خود اتم خواهد شد. چون هیچ وسیله‌ای در اختیار نداریم که هسته را هدفگیری و مستقیماً گلوله را به آن پرتاب کنیم، چنان نتیجه می‌شود که گلوله پرتاب شده به طور متوسط بایستی پیش از آنکه بتواند به هسته‌ای برسد ۱۰۰ میلیون اتم را سوراخ کند. ولی چون گلوله از میان جسم این همه اتم بگذرد، سرعت خود را از دست می‌دهد، و انرژی آن در نتیجه تأثیرات متقابل الکترونیهای مداری اتم کم می‌شود،^۱ و به همین جهت غالب اوقات پیش از آنکه فرصت اصابت به هسته‌ای را پیدا کند کاملاً متوقف و بی‌اثر می‌شود.

واقعاً چنین است که ذره α که در تجربه‌های اتم‌شکنی رسمی به کار می‌رود، یا ذرات پروتونی که در مولدهای پرفشار جدید به دست می‌آید، پس از آنکه ۱۰۰،۰۰۰ اتم را سوراخ کردند، کاملاً متوقف می‌شوند و از حرکت باز می‌مانند. بنابراین احتمال اینکه گلوله‌ای بتواند پیش از آنکه انرژی خود را از دست داده باشد به هسته‌ای برسد، فقط یک در هزار است ($\frac{100,000}{100,000,000}$)؛ بنابراین از هر هزار گلوله‌ای که به داخل ماده‌ای شلیک شود، تنها امید آن است که یکی به هدف اصابت کند. بمباران کردن هسته‌های اتم که در پناه پوشش ضخیم الکترونیها قرار

۱. همین تأثیرات متقابل که باعث یونش اتمها در مسیر حرکت گلوله است، چنانکه دیدیم (صفحه ۸۱) سبب آن بود که اثر عبور گلوله را در اطاق ابر قابل رؤیت می‌ساخت.

دارند بیشباهت به آن نیست که دانه‌های گردویی در میان کیسه‌های شنی پنهان باشد و ما بخواهیم باریختن رگبار گلوله به آن کیسه‌های شنی دانه‌های گردو را هدف گلوله قرار دهیم.

واضح است که گرچه گلوله‌ای که به‌هسته برخورد کند مقداری انرژی معادل چندین برابر انرژی تصادم آزاد خواهد کرد، ولی مجموع انرژیهای آزاد شده چنان نیست که بتواند انرژی تمام گلوله‌هایی را که به هدف اصابت نکرده جبران کند. درست است که با افزودن انرژی گلوله‌های شلیک شده می‌توانیم عده‌اتومهایی را که به وسیلهٔ هر یک از آنها سوراخ می‌شود زیادتر کنیم، ولی باید دانست که حتی با انرژی شگرف بلیونها ولت که بابعضی از شعاعهای کیهانی همراه است هنوز ترازنامهٔ انرژی مصرف شده و انرژی که به دست آمده به هیچ وجه مطابق دلخواه نیست.

این نکته را هم باید افزود که هر کوششی برای «برهنه کردن هسته از غلاف الکترونی آن» و بمباران کردن «هستهٔ لخت» چیزی جز خوب و خیال نیست. حقیقت آن است که چون هسته‌ای از غلاف الکترونی که بار برقی آنرا خنثی می‌کند بیرون بیاید، با چنان نیرویی به وسیلهٔ هسته‌های دیگر مشابه با آن رانده می‌شود که برای ثابت نگاه داشتن یک سانتیمتر مکعب از چنین هسته‌های خلع الکترون شده فشاری در حدود یک بلیون جو ضرورت پیدا می‌کند. این فشار تقریباً معادل است با فشاری که از قرار دادن کرهٔ ماه بر سطح زمین حاصل خواهد شد، و پر واضح است که تهیهٔ چنین فشاری با هیچ وسیله امکانپذیر نیست.

رخنه کردن در دژ هسته

اکنون وضع آن گلولهٔ «خوشبختی» را مطالعه می‌کنیم که توانسته باشد پیش از گم کردن انرژی خود در اثر «تماسهای درون‌اتومی» که پیش از این شرح آن گذشت، با هسته‌ای تصادم کند. آیا چنین گلوله‌ای همیشه می‌تواند به داخل هسته رخنه کند و تبدیل لازم را ایجاد کند؟ جواب این پرسش منفی است، چه هسته‌های اتومی در برابر تجاوزی که از ذرات باردار خارجی صورت می‌گیرد کاملاً مجهز هستند، و مثل

آن است که در داخل دژی قرار گرفته باشند. هرچه گلوله به هسته نزدیکتر آید، نیروی دافعه موجود میان بار برقی هسته و بار برقی گلوله‌ای که به آن نزدیک می‌شود زیادتر می‌گردد، و همین نیروی دافعه است که می‌تواند گلوله نزدیک شده را به عقب بازگرداند. به این ترتیب است که، از میان ذراتی که مستقیماً به طرف هدف نزدیک می‌شوند، تنها تعداد ناچیزی می‌تواند از سنگر نیروی دافعه بگذرد و به درون هسته اتم داخل شود.

فهم کامل کیفیت رخنه کردن ذرات در سنگری که هسته اتم را احاطه کرده، از لحاظ مکانیک رسمی با اشکالات جدی مواجه می‌شود. همان‌گونه که در مورد «ترشح» ذرات α که در فصل پیش (صفحه ۷۷) دیدیم چنین اشکالی وجود داشت. وحل این اشکالات تنها با تطبیق نظریه جدید کوانتوم امکانپذیر است. از محاسباتی که در سال ۱۹۲۸ با در نظر گرفتن مکانیک کوانتومی توسط مؤلف این کتاب صورت گرفت، فرمولهای ساده‌تری به دست آمد که از روی آنها می‌توانند نسبت گلوله‌هایی را که احتمال رخنه کردن در هسته را دارند، از روی بار هسته‌ای که در معرض بمباران است و بادر نظر گرفتن باروانرژی و جرم گلوله‌ای که به کار رفته تخمین بزنند.

از روی آن فرمولها مخصوصاً این قضیه ثابت می‌شود که احتمال نفوذ به سرعت با ازدیاد عدد اتمی (یعنی بار) هسته‌ای که در معرض بمباران است تنزل می‌کند. از اینجا معلوم می‌شود که چرا فقط عناصر سبک ممکن است در اثر بمباران با ذرات α و پروتونها متلاشی شوند. از طرف دیگر موفقیت در بمباران به سرعت با ازدیاد انرژی گلوله‌ها افزایش پیدا می‌کند، و در صورتی که انرژی به اندازه کافی زیاد باشد (۲۵ میلیون ولت برای لیتیوم و ۵۰ میلیون ولت برای آهن و ۱۰۰ میلیون ولت برای سرب)، هر اصابته مستقیمی به تلاشی هسته می‌انجامد.

تلاشی به وسیله همنوایی

این مطلب باید گفته شود که پاره‌ای از اوقات ممکن است با ذرات بمباران کننده‌ای که انرژی کمتری دارند همان صد درصد نفوذی

پیدایش و مرگ خورشید

که با انرژی بیشتری صورت می‌گرفت حادث شود. این کیفیت آنگاه اتفاق می‌افتد که سنگر اطراف دژ هسته «نقطهٔ ضعفی» داشته باشد، و این نقاط ضعف را معمولاً به نام **سوراخهای همنوایی**^۱ می‌نامند. گرنی ثابت کرده است که چون انرژی ذره‌ای که در حال بمباران کردن است بانوساناتی که در داخل خود هسته صورت می‌گیرد هم‌نوا باشد، نفوذ در سنگر هسته تسهیل خواهد شد. این نوسانات هم‌نوا هسته‌ای که به آن ضربه وارد می‌شود از همان نوع نوسانات کاسهٔ زنگ یا دیپازونی است که چکشی به آن خورده باشد، و از لحاظ شباهتی که با هم‌نوایی مورد بحث در مکانیک رسمی دارد آن را هم‌نوایی هسته‌ای^۲ می‌نامند. در این گونه نوسانات اگر جسم در تحت تأثیر ضربه‌هایی قرار گیرد که در فواصل ثابت زمانی به آن وارد می‌شود، دامنهٔ نوسان با کمال سرعت بزرگ خواهد شد. تحقیق در فعل و انفعالات مختلف هسته این مطلب را واضح کرده است که بسیاری از هسته‌ها عمل‌دارای چنین «سوراخ‌همنوایی» هستند، و به همین جهت اگر گلوله‌های بمباران با انرژی مناسب انتخاب شود، عمل تلاشی هسته با سهولت بیشتری صورت‌پذیر خواهد شد. در پاره‌ای از حالات استفاده از «بمباران با هم‌نوایی» ممکن است احتمال تلاشی را چندصد یا چندهزار برابر کند، ولی نباید فراموش کرد که همهٔ این ازدیاد کارآمدی برای تلاشی هسته که از استعمال انرژیهای زیاد یا استفاده از «مقادیر متناسب با هم‌نوایی» نتیجه می‌شود، فقط متعلق به احتمال نفوذی است که پس از تصادم گلوله با هسته پیش خواهد آمد. بنابراین همان نسبت نامساعد یک به هزار چنین تصادفی برجای خود باقی می‌ماند، و همین است که سبب آن می‌شود تا درهمه حال کامیابی کلی بی‌اندازه کوچک و ناچیز^۳ باشد.

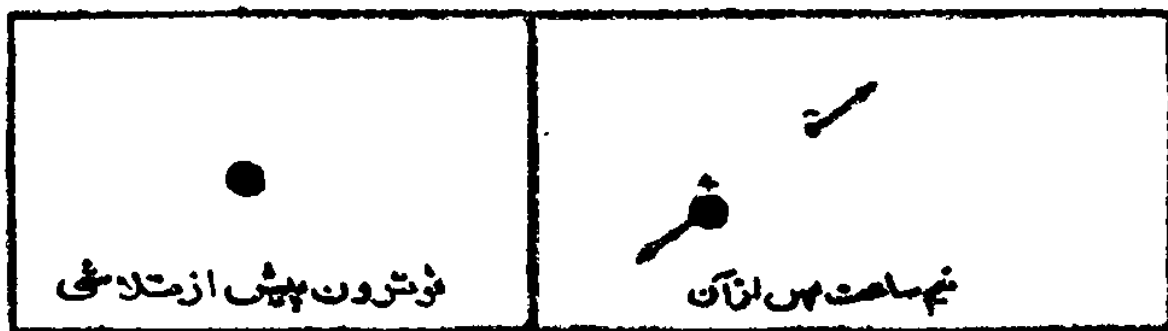
چون همهٔ این ملاحظات را با هم در نظر بگیریم، نتیجه آن می‌شود که: **تغییرات در هسته که به وسیلهٔ بمباران با ذرات بسیار سریع باردار اتفاق می‌افتد بسیار کم و کوچک باشد**، به این معنی

- 1 . resonance channels
- 2 . nuclear resonance

که گرچه این تغییرات از لحاظ علمی محض بسیار جالب توجه است، نمی‌توان از لحاظ عمل برای آنها اهمیت فراوانی قائل شد.

بمباران کردن بانوترونها

در برابر گلوله‌های هسته‌ای باردار باید گفت که: **نوترونها** برای **بمباران کردن هسته‌عالیترین ذره به‌شمار می‌روند**. یک دلیل این امر آن است که چون نوترونها فاقد بار برقی هستند، بدون آنکه هیچ قسمتی از انرژی خود را از کف بدهند می‌توانند غلاف الکترونی اتمها را سوراخ کنند (باید به‌خاطر داشت که نوترونها هیچ اثری از عبور خود در اطاق ابر برجای نمی‌گذارند)؛ دیگر اینکه در آن هنگام که نوترونها در پایان کار به یک هسته تصادم پیدا می‌کنند، هیچ نیروی دافعه‌ای سبب توقف آنها نمی‌شود؛ نتیجه آن خواهد بود که عملاً هر نوترونی که در قشر ضخیمی از ماده شلیک شده باشد، زود یا دیر هسته‌ای را در سر راه خود خواهد یافت و بدون آن نفوذ خواهد کرد.



شکل ۲۳

تجزیه خود به‌خودی یک نوترون و به‌دست آمدن یک پروتون و یک الکترون.

ولی باید گفت که درست به علت همین قابلیت نفوذ نوترونها که سبب سهولت اسیر شدن آنها می‌شود، نوترون آزاد در طبیعت

۱. همان‌گونه که در فصل گذشته دیدیم (صفحه ۹۵) نوترون پس از دخول در هسته معمولاً در آن باقی می‌ماند، و به‌جای خود یک پروتون یا یک ذره α بیرون می‌دهد یا اینکه در پایان کار انرژی اضافی خود را به صورت اشعه γ خارج می‌کند.

بسیار نادر است و عنصری به نام « نوتریوم » وجود ندارد. و این نکته را نیز باید دانست که یک نوترون آزاد نمی‌تواند بیش از نیم ساعت وجود داشته باشد، چه از لحاظ عدم ثباتی که دارد به زودی یک بار منفی (یا یک الکترون متعارفی) از خود صادر می‌کند و به صورت یک پروتون در می‌آید (شکل ۲۳).

بنابراین برای به دست آوردن یک دسته نوترون که به کار بمباران کردن بخورد، ناچار ابتدا باید آنها را از داخل یک هسته عادی که معمولاً در آن وجود دارند استخراج کنیم، و این عمل تنها با بمباران کردن آن هسته به وسیله یک پروتون یا یک ذره α امکانپذیر است. ولی برای بیرون راندن یک نوترون از هسته، خواه به وسیله بمباران با پروتون باشد یا به وسیله بمباران با ذره α ، چندین هزار ذره باردار ضرورت پیدا می‌کند، و به این ترتیب دوباره به همان اشکال نخستین بر می‌خوریم.

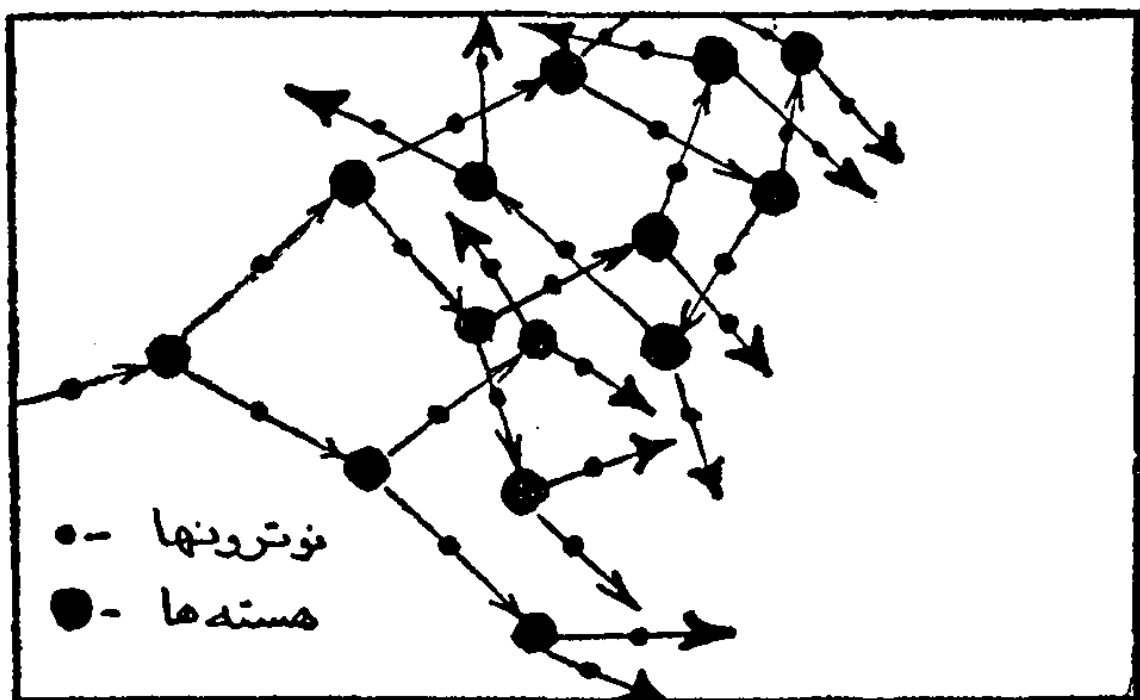
فعل و انفعالات تصاعدی هسته

از بحثی که گذشت، نیک آشکار می‌شود که چرا تنها امید ما برای دست یافتن به نتایج عملی بمبارانهای با نوترون این است که فعل و انفعالات هسته‌ای خاصی را پیدا کنیم که در آنها **نوترونها در واقع خود به خود بتوانند زیاد شوند**. اگر چنان باشد که هر نوترونی که به هسته‌ای می‌رسد دویا بیشتر نوترون «تازه» ازان بکند و هر یک از اینها به نوبه خود همین کار را با هسته‌های دیگر انجام دهند، به سرعت عده نوترونهای کارگر به صورت یک تصاعد هندسی زیاد می‌شود (شکل ۲۴) و راه حلی برای مسئله به دست می‌آید. وضعی که در اینجا پیش می‌آید تا حدی قابل تشبیه با وضع ازدیاد نسل آدمی است. درست همان گونه که ازدیاد عده جمعیت بسته به این است که هر خانواده به طور متوسط کمتر از دو فرزند نیاورد، برای ازدیاد نوترونها نیز لازم است که از هر هسته‌ای که با تالاقی نوترونی از نسل سابق « بارور شده » است کمتر از دو نوترون صادر نشود.

تا ۱۹۳۹ چنین تصور می‌شد که تکثیری بدین طریق در

جورج گاموف

نوترونها صورت نمی‌گیرد، و فعل و انفعالات درون هسته يك به يك است، یعنی هر ذره‌ای که در هسته وارد شود بیش از يك ذره ازان بیرون نمی‌فرستد. همان‌گونه که در فصل سابق یادآور شدیم، آزمایشهای تازه هان و مایتنر که با بمباران اورانیوم و توریوم به وسیله نوترون صورت گرفت، ثابت کرد که هسته‌های این عناصر بسیار شکننده‌تر از هسته‌های عناصر دیگر است. در آن هنگام که این هسته‌ها با نوترون تصادم کنند، قابل آن هستند که به دو جزء بزرگ تقسیم شوند، و این شکافته شدن همراه است با خارج شدن قسمتهای کوچکتری از هسته که معمولاً دو یا سه و گاهی چهار نوترون است. این درست همان حالت ازدیاد تصاعدی است که ما به جستجوی آن بودیم و می‌بینیم که در عمل واقع می‌شود. اگر این فعل و انفعالات هسته‌ای مناسب مورد استعمال قرار



شکل ۲۴

تلاشی تصاعدی که در پاره‌ای از حالات هنگام بمباران ماده با نوترون امکانپذیر است.

گیرد، ممکن است ما را به کشف طریقه‌ای برای آزاد نمودن انرژی زیر اتمی به مقدار زیاد راهنمایی کند.

بلافاصله پس از بحثی که گذشت دو سؤال پیش می‌آید. نخستین

سؤال این است که چرا تکه اورانیومی که در آزمایشگاه با نوترون بمباران می‌شود یکباره منفجر نمی‌شود، و کسانی را که در آن آزمایشگاه به سر می‌برند و همچنین مردمی را که صدها میل ازان فاصله دارند نمی‌سوزاند. به صورت نظری این مطلب مسلم است که چنین فعل و انفعال تصاعدی همین که آغاز شد، تمام انرژی موجود در يك اتم اورانیوم (^{238}U) ارگ برای هر گرم که معادل است با انرژی انفجار يك تون دینامیت!) در کسر کوچکی از ثانیه آزاد می‌شود، به صورت يك انفجار مدهش در خواهد آمد.

نخستین پاسخ این سؤال مهم آن است که اورانیوم متعارفی که در آزمایشگاهها به اختیار ما است تر است، و این تری البته به معنای عادی کلمه تری نیست، بلکه مقصود آن است که قسمت فعال آن با مقدار عظیمی از ماده غیر فعال مخلوط است (آنرا می‌توان به چوبی تشبیه کرد که از آب اشباع شده باشد)، و همین امر سبب می‌شود که آن تری قسمت عمده نوترونهای تازه تولید شده را جذب کند و از میدان فعالیت مفید خارج سازد. می‌دانیم که اورانیوم متعارفی مخلوطی است از دو همجای U^{I} و U^{II} (به شکل ۱۶ رجوع شود) که اوزان اتمی آنها به ترتیب ۲۳۸ و ۲۳۵ است. همجای سبکتر U^{II} در مخلوط تنها بر نسبت ۷٪ درصد وجود دارد، و قطعی است که آنچه باعث شکافته شدن هسته‌ها و خارج شدن نوترونها می‌شود همین همجای سبک است. همجای سنگینتر آن که ۹۹٫۳ درصد مخلوط را می‌سازد نیز نوترونهای تابنده را می‌گیرد، ولی عوض اینکه اتمهای آن تجزیه شود و انرژی عظیم بیرون بفرستد، این نوترونها را در خود نگاه می‌دارد و مازاد انرژی را به شکل اشعه γ خارج می‌کند. به این ترتیب است که تنها عده کمی از نوترونهای تولید شده می‌تواند در عمل ازدیاد تصاعدی نوترونها شرکت کند، و برای آنکه این ازدیاد تصاعدی صورت پذیر شود، لازم است که همجای سبک را از همجای سنگین جدا کنیم، و این کاری است که با وسایل آزمایشگاهی موجود اگر ممکن نباشد لااقل بسیار دشوار است. روش تازه‌ای که برای جدا کردن همجاها

به کار می رود، عبارت از این است که بگذارند همجای سبکتر از جدار متخلخلی نفوذ و تراوش کند و بانفوذهای متوالی غلظت آن در مخلوط زیادتر شود. ۱ کار جدا کردن همجای اورانیوم اکنون در آزمایشگاههای متعدد مورد آزمایش است و ممکن است به زودی نتایج جالب توجهی از آن به دست آید. ۲ با وجود این باید گفت که هیچ جای ترس آن نیست که آزمایشگاهی که یک روز از عهده به دست آوردن U^{III} بسیار غلیظ برآمده باشد، با شهری که در آن قرار گرفته یکباره در نتیجه انفجار زیر-وروشود و از بین برود. و این بدان جهت است که به احتمال کلی به موازات زیاد شدن منظم غلظت همجای سبکتر اورانیوم، به آهستگی بر سرعت آزاد شدن انرژی زیر اتمی افزوده خواهد شد، و پیش از آنکه حرارت حاصل شده به حدی برسد که ایجاد خطر کند، عمل جدا شدن همجاها از یکدیگر متوقف می شود و خطر انفجار از بین می رود. ۳ لااقل می -

۱. نسبت تراوش از میان دیوارهای متخلخل اساساً بسته به اختلاف وزن اتمی است، و هرچه همجا سبکتر باشد آسانتر از جدار عبور می کند. ولی کمی اختلاف اوزان اتمی این دو همجا (که کمتر از یک درصد است) سبب آن می شود که جدا شدن دو همجا از یکدیگر بسیار به کندی صورت گیرد. ۲ در پانزدهم مارس ۱۹۴۰ خبر این جدا شدن به وسیله آقایان نیر O. Nier و بوث E. T. Booth و دنینگ J. R. Dunning و گروس A. V. Grosse انتشار یافت، ولی مقدار جدا شده بسیار ناچیز بود (۰۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰ گرم). ۳ این عمل خود به خود اتفاق می افتد، چه حرارتی که از فعل و انفعالات نتیجه می شود تمام ظرفی را که عمل جدا شدن همجاها در آنها صورت می گیرد آب خواهد کرد. این مطلب را باید به خاطر سپرد که عمل انفجار هسته مستلزم آن نیست که منبع نوترونی در اختیار باشد تا آغاز کار به وسیله آن صورت گیرد. واقع امر آن است که نوترونهايي بر حسب تصادف از نزدیکی اورانیوم می گذرد (مانند آنچه در ضمن اشعه کیهانی به زمین رسد) و به همین جهت هر آن ممکن است جرقه شروع عمل بزند و جدا شدن همجاها را آغاز کند.

توانیم آرزومند باشیم که آن حادثه به این صورت اتفاق بیفتد.

دومین نکته مهم که از لحاظ امکان ادامه خودبه خودی عمل ازدیاد تصاعدی نوترونهاى اورانیوم پیش می آید، مربوط است به مقدار اورانیومی که برای این کار ضرورت دارد. اگر قطعه اورانیوم کوچک باشد، بیشتر نوترونهاىی که در اندرون آن تولید می شود، پیش از آنکه امکان برخورد با هسته‌ای پیدا کنند از سطح آن تکه اورانیوم خارج می شوند و از میدان عمل می‌گریزند. در چنین صورتی پیشرفت عمل ازدیاد تصاعدی نوترونها به همان دلیلی متوقف می‌شود که اگر در قبيله‌ای هر چه نوزاد به دنیا بیاید در جنگل مجاورگم شود، ازدیاد نفری افراد این قبيله غير ممکن می شود. چون هیچ دیواری وجود ندارد که از گریختن نوترونها در فضای مجاور جلوگیری به عمل آورد، ناچار بایستی تکه اورانیوم آن اندازه بزرگ باشد که نوترونی که در جوف آن ایجاد شده مطمئناً بتواند پیش از آنکه به سطح اورانیوم برسد با هسته‌ی تلافی‌کند. و این خود مستلزم آن است که چند صد کیلو اورانیوم خالص ۲۳۵ در اختیار باشد که به دست آوردن آن بالخاصه به صورت همجاهای جداگانه کار آسانی نیست.

بهای انرژی اورانیوم

فرض کنیم که این دو اشکال - یعنی جدا کردن همجاها به مقدار زیاد و نگاهداری نوترونهاى مؤثر - که در راه استفاده عملی از انرژی زیر اتمی اورانیوم (و خواهر آن تورنیوم) وجود دارد، با ابتکارات فنی از میان برداشته شود، و بتوانیم موتوری را با «سوخت اورانیوم» به راه بیندازیم؛ باید دید انرژی که از این راه به دست می آید به چه قیمت تمام می‌شود؟

اورانیوم ماده ارزانی نیست؛ بنابراین نرخ فعلی بازار جهان بهای یک رطل (۴۵۴ گرم) اکسید اورانیوم که ۹۵ درصد اورانیوم دارد دو دلار است، و این قیمت معادل قیمت یک تون زغال در سر معدن است. و چون تنها ۷ درصد از اورانیوم از لحاظ تولید تصاعدی نوترون فعال است، انرژی زیر اتمی کلی که از یک رطل اکسید اورانیوم به دست

می آید $10^{18} \times 3$ ارگ خواهد شد. از طرف دیگر یک تون زغال (۹۰۰،۰۰۰) گرم که همان قیمت یک رطل اکسید اورانیوم را دارد، می تواند $10^{17} \times 3$ ارگ انرژی تولید کند، بدان سان که انرژی زیر اتمی که ممکن است از اورانیوم به دست آید در حدود ۱۰ بار ارزانتر از انرژی زغال خواهد بود.

این نکته را باید افزود که اگر اورانیوم از لحاظ تولید انرژی جانشین زغال شود و مقدار مصرف به حال حاضر باقی بماند، تمام ذخایر اورانیوم موجود بر روی زمین در مدتی کمتر از یک قرن به مصرف خواهد رسید.

تجدید نظر درباره آنچه گذشت: ساختمان اتم

بگذارید بار دیگر، برای آخرین مرتبه، نظری به ژرفنای ماده بیندازیم و به اختصار نتایج عمده ای را که در ضمن سه فصل گذشته به آنها رسیدیم دوباره از نظر بگذرانیم. ماده که در اولین نظریات توجه به تجربیات روزانه آن اندازه یکنواخت به نظر می رسد، در واقع از دانه های بسیار بسیار ریزی ساخته شده که دانشمندان به آنها نام مولکول داده اند. هیچ میکروسکوپ قوی هم نمی تواند این دانه ها را به صورتی در آورد که ما بتوانیم آنها را ببینیم، و برای اثبات وجود و امکان مطالعه در خواص آنها روشهای عالمانه و بسیار دقیق فیزیک جدید ضرورت دارد. مثلا در هر اینچ مکعب آب $600,000,000,000,000,000$

(۲۳ صفر) مولکول H_2O وجود دارد و همه آنها حرکت حرارتی شدید و بینظمی دارند که می توان آن حرکت را به حرکت ماهیهای تازه صید شده ای که در سبد ماهیگیری روی هم ریخته اند تشبیه کرد. این حرکت مولکولی، به تدریج که ماده سردتر می شود، کندتر می گردد، ولی برای آنکه این حرکت کاملا از بین برود لازم است درجه حرارت به 459 درجه فارنهایت زیر صفر برسد. از طرف دیگر چون درجه حرارت زیاد شود سرعت حرکت مولکولها افزایش پیدا می کند، و در آخر کار به جایی می رسد که مولکولها از یکدیگر جدا می شوند. در این حالت می گوییم که مولکولها به صورت گاز یا بخار درآمده اند و با آزادی

کمابیش بیشتری در فضا حرکت دارند، و با ذرات دیگری که در سر راه آنها واقع باشند تصادم فراوان پیدا می‌کنند. به همان اندازه که اجسام شیمیایی گوناگون موجود است، انواع مختلف مولکول نیز وجود دارد (صدها هزار نوع)، ولی چون مولکول را دقیقتر مورد مطالعه قرار دهیم خواهیم دید که هر مولکول همیشه از ترکیب عدّه معدودی اجزاء مرکب‌کننده کوچکتری ساخته شده که آنها را اتم می‌نامند. تنها ۹۲ نوع اتم وجود دارد که هر یک نماینده یکی از ۹۲ عنصر شیمیایی شناخته شده تازمان حاضر است، و با ترکیب این اتمها به اشکال مختلف است که مرکبات بی‌اندازه فراوانی که علمای شیمی آنها را می‌شناسد فراهم می‌شود. جابه‌جاشدن اتمها در میان مولکولهای مختلف چیزی است که فعل و انفعالات شیمیایی را سبب می‌شود و تبدیل مرکبات به یکدیگر نتیجه آن است. ولی با همه کوششهای کیمیاگران قرون وسطی اتمها در برابر خواهش این کیمیاگران که می‌خواستند آنها را به یکدیگر مبدل سازند سخت مقاومت نشان دادند، و همین امر سبب آن شد تا علمای شیمی به این نتیجه غلط برسند که اتم همان گونه که از معنی نام یونانی آن بر می‌آید (یعنی تقسیم‌ناپذیر) حقیقتاً آخرین حد ماده است و تقسیم و تجزیه و شکستن آن امکان ندارد.

ترقیات مهم فیزیک این تصور نادرست را که در طول قرن گذشته مورد قبول بود از میان برداشت، و ما اکنون می‌دانیم که اتم عملاً دستگاه میکانیکی پیچیده‌ای است که از یک هسته مرکزی و عده‌ای از الکترونها که در تحت تأثیر نیروهای برقی برگرد آن هسته در حال چرخیدن هستند تشکیل شده. از آن پس عنوان غیر قابل تقسیم بودن اتم به میراث به هسته آن رسید، ولی این دژ مستحکم نیز که آخرین نماینده فکر دموکریتوسی بود در نتیجه پژوهشهای دامنه‌دار و پیگیر لوردرادرفورد سر تسلیم فرود آورد.

این دانشمند در سال ۱۹۱۹ نخستین هسته نیتروژن را به وسیله بمباران کردن با گلوله‌های بسیار ظریفی به نام ذرات α شکست، و در بیست سال پس از آن تاریخ علمی که اکنون به نام فیزیک هسته نامیده می‌شود ترقیات فراوانی پیدا کرد. چند دو جین فعل و انفعالات هسته‌ای

جورج ساموف

تاکنون تولید شده و با توجه به جزئیات مورد تحقیق قرار گرفته، و اکنون اطلاعاتی که ما درباره هسته داریم بسیار بیش از اطلاعاتی است که سی‌چهل سال پیش درباره خود اتموم داشته‌اند.

دو اختلاف بزرگ میان فعل و انفعالات هسته‌ای و فعل و انفعالات شیمیایی عادی که میان مولکولها صورت می‌گیرد موجود است: یکی اینکه در فعل و انفعالات هسته‌ای انرژی بسیار عظیم و شگرفی آزاد می‌شود، و دیگر آنکه عملی ساختن این فعل و انفعالات هسته‌ای به مقیاس بزرگ دشواریهای فراوانی در بردارد. حقیقت امر این است که چون زره الکترونی محیط بر هسته نسبت به حجم هسته بسیار ضخیم است، از میان گلوله‌هایی که برای ترکاندن هسته مصرف می‌شود عده بسیار ناچیزی می‌توانند از این زره بگذرند و به هدف اصابت کنند؛ در میان هزار گلوله که پرتاب شود تنها احتمال آن هست که یکی به هسته برخورد و تغییر و تبدیلی راد را آن ایجاد کند. درست است که در سالهای اخیر با اکتشاف نوترونها و فعل و انفعالات تصاعدی و زنجیری برای تولید نوترونهای تازه امید دست یافتن به ذخیره غول‌آسای انرژی موجود در هسته زیادتر شده، ولی با همه این احوال باید گفت که این کار هنوز از مرحله آرزو تجاوز نکرده است.

گرچه تحقیق و مطالعه در خواص شکافته شدن هسته اتمهای اورانیوم و توریوم ما را به حل مسئله بسیار نزدیک کرده است، ولی توجه به این نکته نیز لازم است که این دو عنصر از لحاظ ناپایداری حالت استثنایی دارند، و از آن گذشته مقدار آنها در زمین بسیار کم است. مسئله اساسی اینکه چگونه می‌توان انرژی هسته سایر عناصری را که به مقدار زیاد وجود دارند آزاد کرد، هنوز دنبال می‌شود و راه حلی برای آن پیدا نشده.

با وجود این در فصل آینده کتاب که خواننده تنگ حوصله بالاخره به موضوع اصلی بحث یعنی خورشید باز خواهد گشت، خواهیم دید که تبدل عناصر متعارفی با مقیاس بزرگ که حتی با بمبارانهای مصنوعی بسیار شدید در سطح زمین امکانپذیر نیست، در خورشید صورت می‌گیرد و این در نتیجه درجه حرارت شدیدی است که به هیچ وجه در آزمایشگاههای

پیدایش و مرگ خورشید

زمینی به آن درجه حرارت دسترس نداریم. ونیز خواهیم دید که همین تبدلات تنها عامل تولید روشنی و گرمی آفتاب و تولید انرژی تشعشعی است که ازستارگان دیگر درفضا پراکنده می شود. برای اطلاعات بیشتر به قسمت ضمیمه کتاب که تحت عنوان (بومب اتمی) نوشته شده مراجعه شود.

فصل پنجم

گیمبای خورشید

انرژی زیر اتمی و گرمی خورشید



اکتشاف ذخیره بسیار عظیم انرژی که ممکن است با تبدلات هسته به دست آید، همچون مفتاحی است که به کومک آن می‌توانیم راه حل ممکن برای معمای قدیمی مربوط به منبع تمام نشدنی تشعشعات خورشید پیدا کنیم. پیش از این گفتیم که فعل و انفعالات هسته‌ای که سبب تبدیل عناصر به یکدیگر می‌شود، معمولاً با آزاد شدن مقداری انرژی همراه است که چندین میلیون بار بزرگتر از انرژی آزاد شده در فعل و انفعالات شیمیایی انجام شده میان مولکولهاست. به این ترتیب اگر خورشیدی بازغال ساخته شده باشد، در عرض مدت پنج شش قرن می‌سوزد و نابود می‌شود، ولی خورشیدی که انرژی خود را از سرچشمه زیر اتمی می‌گیرد بلیونها سال می‌تواند بماند و پرتو افشانی کند. این رانیز می‌دانیم که عناصر رادیو آکتیو متعارفی مانند اورانیوم

و توریوم آن اندازه فراوان نیستند که بتوان انرژی بی اندازه بزرگی را که در خورشید تولید می شود به حساب آنها گذاشت؛^۱ تنها راهی کمی ماند آن است که قبول کنیم در جرم خورشید عناصر ثابت متعارفی به یکدیگر تبدیل می شوند و منبع انرژی خورشید همین تبدلات است. به این ترتیب باید چنان تخیل کرد که داخل جرم خورشید همچون آزمایشگاه کیمیاگری غول آسایی است که در آن تبدیل عناصر مختلف به همان آسانی صورت می گیرد که در آزمایشگاه های زمینی مافعل و انفعالات متعارفی میان مولکولها صورت پذیر است. آیا چه چیز سبب تسهیل شکفت انگیزی در تبدلات عناصر به یکدیگر در خورشید می شود، و باعث آن می گردد که تجزیه هسته اتم در آن به مقیاس بزرگ انجام پذیرد، و این اندازه انرژی زیر اتمی آزاد شود؟ اگر آنچه را در فصل اول درباره شرایط فیزیکی خاص قسمت مرکزی خورشید گفته شد به خاطر داشته باشیم، بیدرنگ متوجه می شویم که مشخصترین خاصیت آن قسمت خورشید درجه حرارت بسیار زیاد آن است که در اوضاع واحوال زمین حتی نزدیک شدن به چنان درجه حرارت امکان ندارد. آیا همین زیادی درجه حرارت نیست که عامل اصلی ایجاد تبدلات هسته ای خورشید به مقدار زیاد می شود؟ می دانیم که در تمام فعل و انفعالات شیمیایی میان مولکولها هر چه درجه حرارت بالاتر رود فعل و انفعال سریعتر و شدیدتر انجام می شود؛ حالا که یک پاره چوب یا زغال چون در کوره های متعارفی چند صد درجه گرم شود می سوزد، چرا نباید توقع آن را داشته باشیم که چون ماده ای در مرکز آفتاب چند ملیون درجه گرم شود «سوختن» به مفهوم هسته ای در آن امکان پذیر باشد؟

فعل و انفعالات حرارتی هسته

نخستین بار دودانشمند جوان به نامهای رابرت اتکینسون^۲ و

۱. با وجود این باید گفت که این عناصر آن اندازه هستند که بتوانیم از لحاظ حرارتی که تولید می کنند آنها را مسبب و مسئول حالت سعیر گداخته مرکزی کره خود بدانیم.

۲. Robert Atkinson

جورج ساموف

فريتزهوترمانس^۱ در سال ۱۹۲۹ برای این سؤال بسیار مهم جوابی پیشنهاد کردند. توضیح این دو دانشمند آن بود که می‌گفتند، در درجه حرارت بسیار زیادی که در درون خورشید وجود دارد، انرژی جنبشی حرکت حرارتی ذرات به قدری شدید می‌شود که در نتیجه آن تصادم میان ذرات ماده که بدون انتظام به این طرف و آن طرف حرکت می‌کنند، به اندازه گلوله‌های اتمی در آزمایشهای بمبارانی متعارفی، اثر تخریبی بر روی هسته پیدامی‌کند. واقع امر آن است که در درجه حرارت ۲۰ میلیون انرژی جنبشی متوسط حرکت حرارتی در حدود 10^{-9} - 5×10^{-9} ارگ می‌شود که از مقدار 10^{-8} - 10^{-9} ارگ که در آزمایشگاههای ماهمراه با تبدلات مصنوعی هسته است چندان دور نیست. ولی در آن حین که روش عادی بمباران را می‌توان به حمله یک ردیف سرباز تشبیه کرد که با سرنیزه به جان عده نسبتاً زیادی از مردم افتاده‌اند، در مورد فعل و انفعالات حرارتی هسته‌ای این حمله تقریباً شبیه است به جنگ تن به تنی که در تمام نقاط میدان نبرد با کمال شدت و حرارت صورت می‌گیرد.

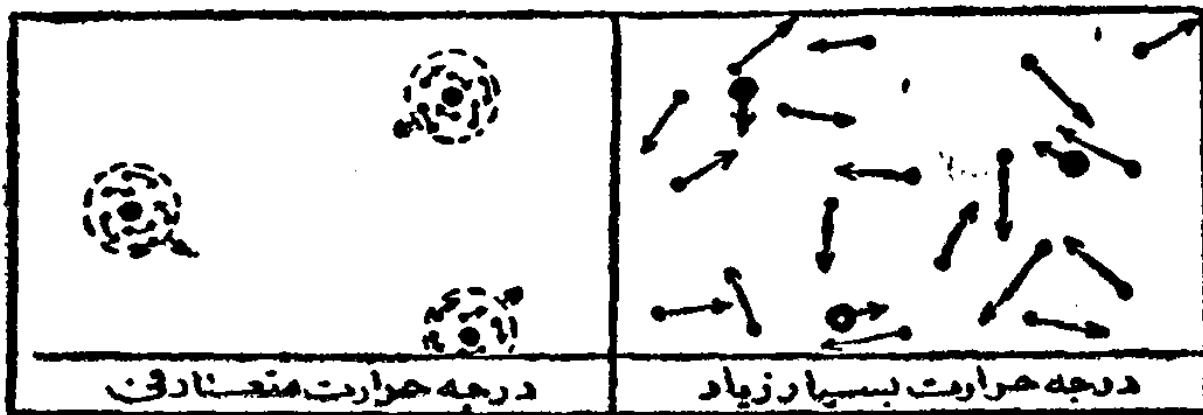
به این نکته نیز باید اشاره شود که در درجه حرارت بسیار زیادی که فعل و انفعالات حرارتی هسته در آن اتفاق می‌افتد، دیگر ماده به صورت اتم و مولکول به معنی حقیقی این کلمات نیست. حتی در درجات پایینتر از این حد هم غلاف الکترونی اتمها در نتیجه تصادمهایی که بر اثر حرارت پیش می‌آید کنده می‌شود، و ازان پس ماده به صورت مخلوطی از هسته‌های برهنه (اتومهای کاملاً یونیده) متحرک به حرکت بدون انتظام و الکترونها بی‌بند و باری می‌شود که در میان هسته‌ها به هر سو حرکت می‌کنند (شکل ۲۵). هسته‌های «برهنه» که زره الکترونی آنها را حمایت نمی‌کند، دیگر مانعی برای تصادم حرارتی ندارد، و ضربه‌های شدیدی که مستقیماً بر آنها وارد می‌شود غالباً نتایج تخریبی به بار می‌آورد.

تصادمهای دائمی و پایدار که در نتیجه زیاد شدن درجه حرارت پیش می‌آید، سبب آن می‌شود که فعل و انفعالات حرارتی

1. Fritz Houtermans

پیدایش و مرگ خورشید

هسته را از بمبارانهای مصنوعی متعارفی بسیار مؤثرتر قرار دهد، زیرا که در مورد بمبارانها انرژی گلوله‌هایی که به صورت مصنوعی شتاب پیدا کرده‌اند پس از آنکه از میان پوشش خارجی یکصد هزار اتم گذشته‌اند از بین می‌رود و دیگر انرژی باقی نمی‌ماند. اگر مثلاً مخلوطی از ایزیدروژن و لیتیوم را به اندازه کافی گرم کنیم، تصادم حرارتی شدید میان ذرات این دو عنصر بدون توقف ادامه پیدا می‌کند تا آنگاه که همه هسته‌های موجود در مخلوط به هلیوم تبدیل شود. انرژی زیراتومی که در این مورد آزاد می‌شود آن اندازه است که می‌تواند مواد را به مقدار کافی گرم نگاه دارد تا عمل ادامه پیدا کند، به طوری که باید گفت تنها چیزی که مورد



شکل ۲۵

یونش گازها بر اثر حرارت

احتیاج است آن است که در ابتدای کار درجه حرارت را به اندازه کافی بالا ببریم تا فاعل و انفعال بتواند آغاز شود و از آن پس خود به خود ادامه خواهد یافت.

درجه حرارتی که برای فعل و انفعالات حرارتی هسته لازم است

برای آنکه مسئله فعل و انفعالات حرارتی هسته را در میان عناصر مختلف خورشید از لحاظ اهمیتی که در زندگی خورشید دارند مورد بحث قرار دهیم. همچنین برای بحث در امکان استفاده عملی از همین عوامل بر روی کره زمین. قبل از هر چیز باید بدانیم در چه درجه حرارتی چنین

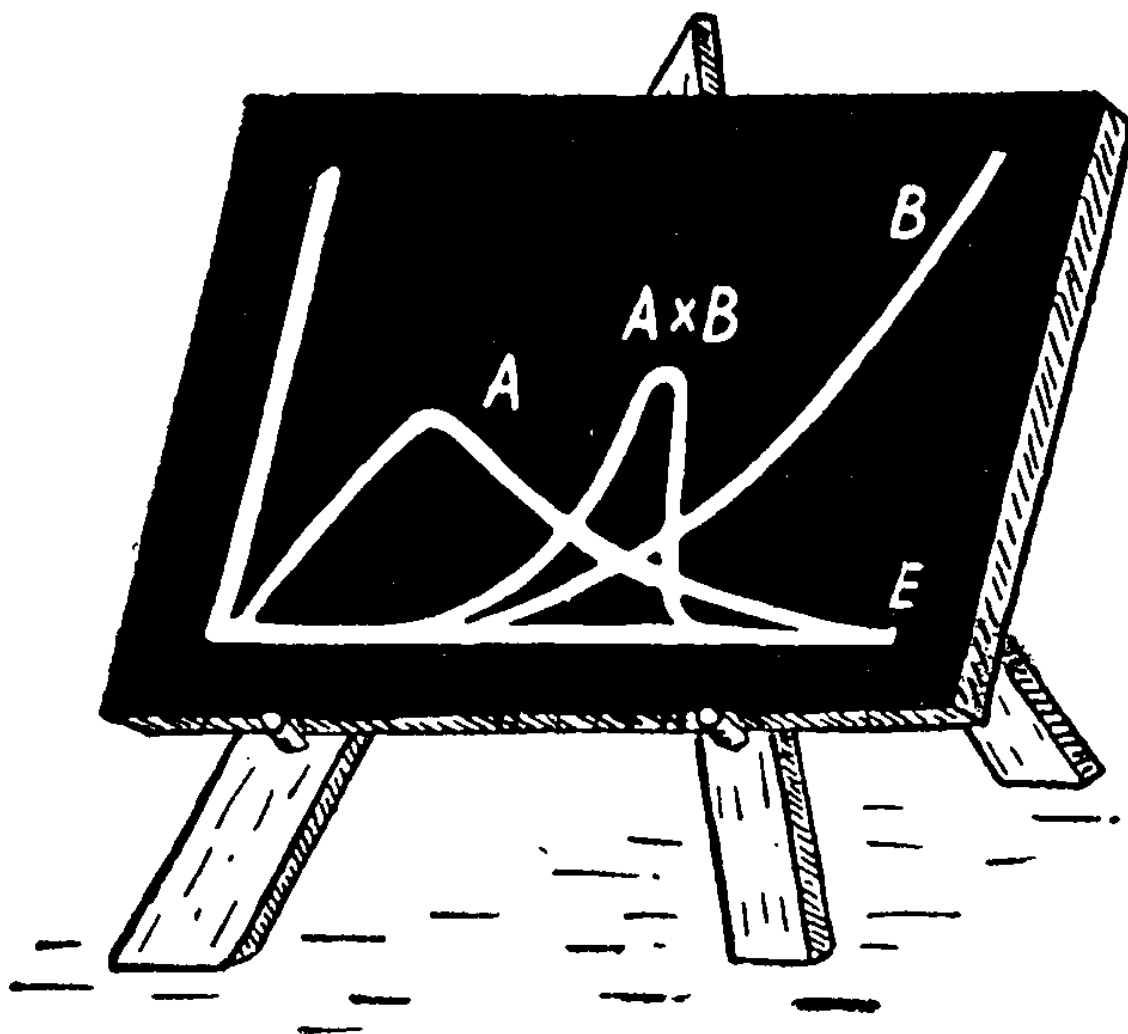
جورج گاموف

تبدلاتی ممکن است به مقدار نسبتاً زیاد و قابل ملاحظه صورت پذیرد. همان گونه که در بمبارانهای عادی هسته که پیش از این به آنها اشاره کردیم بیان شد، در مورد فعل و انفعالات حرارتی هسته نیز اندازه پیشرفت فعل و انفعال و میزان آن بسته به امکان رخنه کردن در سنگرهایی است که در اطراف هسته‌های به هم برخورد کرده وجود دارد. پیش از این اشاره کردیم که بنا بر نظریه مؤلف کتاب دربارهٔ تبدلات هسته‌ای می‌توان میزان احتمال این نفوذ را از روی انرژی حرکتی و بار برقی ذراتی که به یکدیگر تصادم کرده اند اندازه گرفت. و نیز دیدیم که این احتمال به سرعت زیادی در نتیجهٔ ازدیاد انرژی ذرات تصادم دیده (یعنی ازدیاد درجهٔ حرارت مخلوط) ترقی می‌کند؛ ولی در صورتی که بار برقی آنها رشد کند اندازهٔ این احتمال به سرعت پایین می‌آید. بنابراین می‌توان چنین انتظار داشت که در حین گرم کردن مخلوطی از انواع مختلف سبکترین هسته‌ها نخستین فعل و انفعال میان هسته‌هایی سبکتر صورت گیرد که بار برقی کمتری را حمل می‌کنند، فعل و انفعال میان ئیدروژن و لیتیوم که در بالا ذکر شد به این ترتیب یکی از آنها است که در اوایل کار اتفاق می‌افتد. به تدریج که درجهٔ حرارت مخلوط بالاتر می‌رود، می‌توان انتظار داشت که در میان هسته‌های سنگینتر به واسطهٔ پروتونهای حرارتی نفوذهای موثرتری صورت گیرد و فعالیت میان ذرات α و عناصر سبک آغاز شود. در پایان کار که درجهٔ حرارت بسیار بالا می‌رود تصادم میان هسته‌های سنگین نیز حایز اهمیت می‌شود.

پس برای محاسبهٔ میزان بزرگی فعل و انفعال حرارتی در میان هر دو نوع معین از هسته از روی فورمول نفوذ، تنها دانستن انرژی جنبشی ذرات در درجهٔ معین حرارت کفایت نمی‌کند. همان گونه که در فصل دوم دیدیم ذرات یک گاز داغ همه بایک سرعت در حرکت نیستند، بلکه این سرعت پراکندگی دامنه‌داری دارد که از آن پیش از این به نام توزیع ماکسولی (صفحهٔ ۴۳) سخن گفتیم. درست است که عدد ذراتی که به صورت غیر طبیعی انرژی بسیار زیاد دارد نسبتاً کم است، ولی نباید فراموش کنیم که تأثیر و کارآمدی تصادم به سرعت با ازدیاد انرژی این تصادم افزایش پیدا می‌کند. پس اگر چه عدهٔ ذرات حامل انرژی بسیار کم باشد، در

پیدایش و مرگ خورشید

ترازنامه کلی تلاشی هسته اهمیت فراوان دارد. در شکل (۲۶) منحنی A نماینده طرز توزیع ماکسولی انرژی حاصل از حرکت حرارتی است (باشکل ۶ مقایسه کنید) که از روی آن عدد نسبی ذرات گازی که اندازه های متفاوت انرژی (E) دارند معلوم می شود. از طرف دیگر منحنی B قابلیت تجزیه و تلاشی (رخنه پذیری زره های هسته) ذرات را در برابر این انرژیها نشان می دهد. و بالاخره $A \times B$ که حاصل ضرب این دو منحنی است نماینده مجموع اثر تجزیه و



شکل ۲۶

حد اکثر تجزیه و تلاشی ($A \times B$) برای آن انرژی حرارتی صورت می گیرد که در آن قابلیت رخنه کردن ذرات در زره های هسته (B) به اندازه کافی زیاد باشد، و در همان حال عدده آن ذرات (A) بسیار کم نباشد.

جورج گاموف

تلاشی است (عدد ذرات ضرب در کارآمد نسبی آنها). چنانکه از روی شکل دیده می‌شود حدنصاب تأثیر نظیر است بامقداری از انرژی متوسط که برای آن عدد ذرات هنوز خیلی کم نشده است، و ضمناً قابلیت نفوذ آنها از زره‌های هسته به اندازه کافی زیاد است.

اتکینسون و هو ترمنس از ترکیب قانون توزیع ماکسول با - فورمول رخنه‌پذیری مؤلف توانستند ثابت کنند که میزان سرعت تجزیه هسته متناسب است با درجه حرارت مخلوط و عدد اتومی عناصر موجود در مخلوط. ^۱ ما با نوشتن فورمولهای ریاضی اسباب وحشت خواننده را فراهم نمی‌سازیم، بلکه نتایج عددی این فورمولها را که برای فعل و انفعال هسته‌ای خاصی به دست آمده از نظر او می‌گذرانیم. ^۲ برای این منظور فعل و انفعال میان ئیدروژن و لیتیوم را که چندبار از آن سخن گفته شده انتخاب کرده‌ایم، که از طرف دیگر از لحاظ مقدار زیاد انرژی که برای هر هسته پس می‌دهد و همچنین از لحاظ بزرگی نسبت فعل و انفعالی که در آن صورت می‌گیرد، کارآمدترین فعل و انفعال هسته‌ای به‌شمار می‌رود. یک گرم مخلوط که از هفت جزو لیتیوم و یک جزو ئیدروژن ساخته شده باشد، اگر کاملاً به صورت هلیوم درآید، $10^{18} \times 22$ ارگ انرژی زیر اتومی پس می‌دهد. ولی حتی در درجه حرارت چند هزار (که بالاترین درجه‌ای است که در آزمایشگاهها ممکن است به دست آورد)، این فعل و انفعال حرارتی هسته چنان به‌کندی پیش می‌رود که برای تمام شدن آن بلیونها بلیون سال وقت لازم است. با چنین سرعت کم انرژی آزاد شده از یک تون مخلوط در مدت یک قرن از چند ارگ تجاوز نخواهد کرد، و این مقدار

۱. به‌علاوه چون میزان سرعت تولید انرژی با حاصل ضرب چگالی مواد فعل و انفعال‌کننده متناسب است، ناچار چگالی ماده هم در میزان سرعت تولید انرژی مؤثر می‌شود.

۲. مقادیر عددی که در اینجا آورده‌ایم از روی فورمولهای اتکینسون و هو ترمنس حساب نشده، بلکه مبنای محاسبه فورمول جدیدی است که از روی آخرین پیشرفتهای فیزیک جدید به دست آمده است.

انرژی حتی برای بلند کردن یک مگس مرده از کف اطاق تاروی میز کار کفایت نمی‌کند. ولی در درجه حرارت یک میلیون، انرژی حاصل شده از چند کیلوگرم مخلوط ئیدروژن و لیتیوم برای به کار انداختن موتوریک اتومبیل کافی خواهد بود. در درجه حرارت مرکز آفتاب که ۲۰ میلیون درجه است، مخلوط ئیدروژن و لیتیوم در ظرف مدت چند ثانیه به صورت هلیوم درمی‌آید و آزاد شدن انرژی در این حالت به شکل انفجار مدهشی خواهد بود.

اگر همین فورمول را برای تصادم میان پروتونها با هسته‌های عناصر سنگینتر به کار ببریم، به این نتیجه می‌رسیم که حتی در درجه حرارت مرکزی خورشید هم مثلاً فعل و انفعال میان ئیدروژن و کلور مدت ۱۰۲۵ سال وقت می‌خواهد تا نیمی از این مخلوط تبدیل پیدا کند، و زمانی باور نکردنی و معادل ۱۰۲۵۰ سال (۱) لازم است تا پروتونها در هسته‌های سنگین سرب رخنه کنند. این نتیجه نیز به دست می‌آید که در این درجه حرارت توانایی رخنه نمودن ذرات α آن اندازه کم است که حتی برای تصادم با سبکترین هسته‌ها کافی نیست، و تنها هنگامی وجود این ذرات حایز اهمیت می‌شود که حرارت به ۵۰ میلیون درجه برسد.

چگونه می‌توان یک «موتور زیر اتمی» ساخت؟

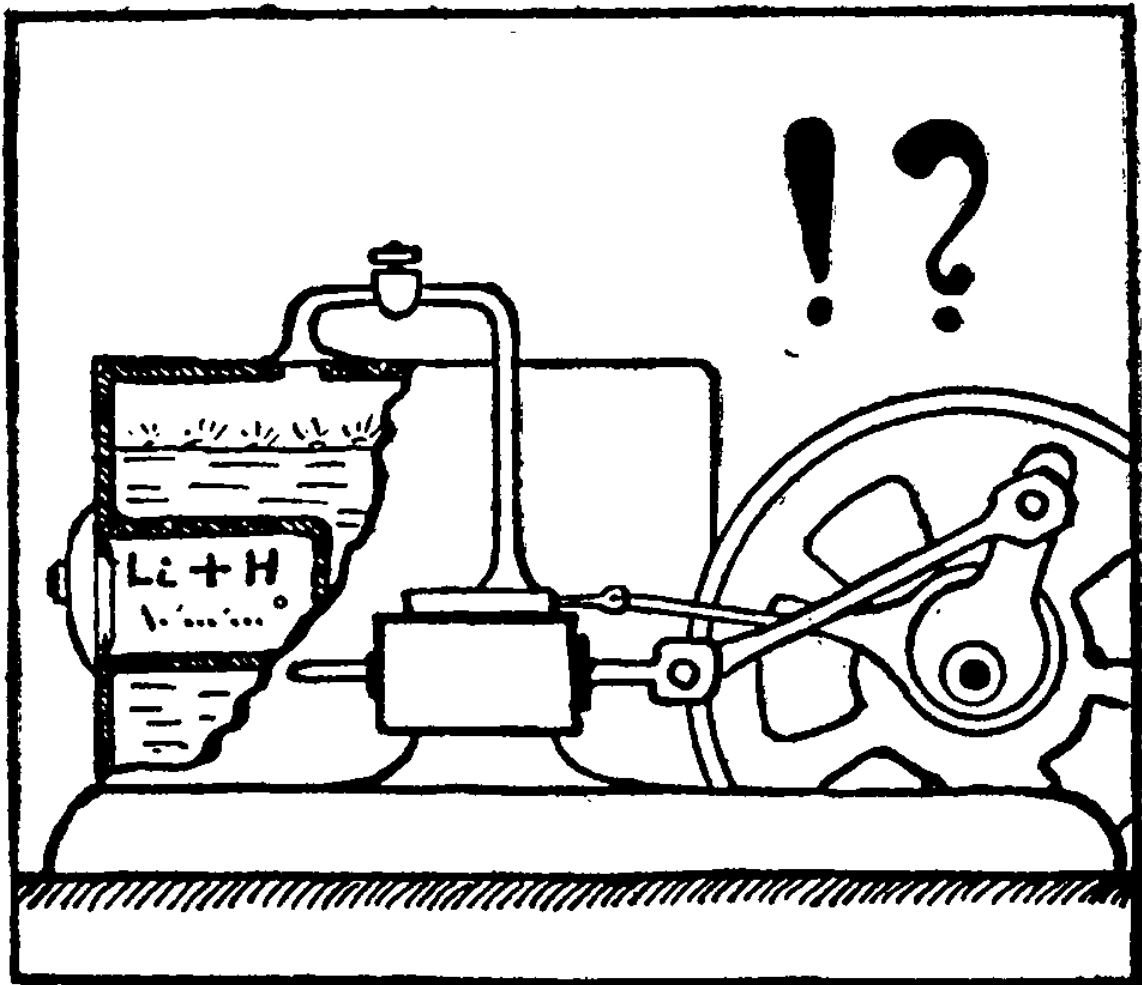
ممکن است خواننده‌ای پیش خود چنین فکر کند که: «بسیار خوب! برای استفاده از این انرژی کافی است که کوره ماشین بخاری را با مخلوطی از ئیدروژن و لیتیوم پر کنیم و درجه حرارت آن را به چند میلیون برسانیم. مگر این کار چه دشواری دارد؟» (شکل ۲۷).

البته تهیه کردن یک ماشین بخار کهنه برای تجربه آسان است، و نیز تهیه سوخت اتمی آن دشواری ندارد، چه ترکیب جامد لیتیوم - ئیدروژن LiOH را می‌توان از بازار خرید. ولی آیا برای به دست آوردن درجه حرارت چند میلیونی چه باید کرد؟ هیچ راه شیمیایی، مثلاً سوختن زغال نمی‌تواند چنین حرارت زیادی را سبب شود، و اگر بخواهیم کوره را با برق گرم کنیم، سیم برق - حتی اگر از سوزترین نوع آن باشد - پیش از آنکه به چند هزار درجه حرارت برسیم ذوب و بخار خواهد شد. برای

جورج تاموف

دیوارهای کوره نیز چنین سرنوشتی درپیش است، و هیچ وسیله‌ای نیست تا بتوانیم گازهای فعل و انفعال را درحجم معینی محفوظ نگاه داریم. باذوب شدن دیوار کوره گازهای داغ انبساط پیدا می‌کند و ناچار درجه حرارت پایین می‌آید.

چون همه این حوادث نامطلوب قبل ازان اتفاق می‌افتد که فرصت بالا رفتن درجه حرارت به اندازه لازم پیش بیاید، به دشواری می‌توان دریافت که چگونه می‌شود فعل و انفعالات حرارتی هسته را در اوضاع واحوال آزمایشگاهها ایجاد کرد، و باید گفت که این معجزه از حدود امکانات فنی جدید خارج است.



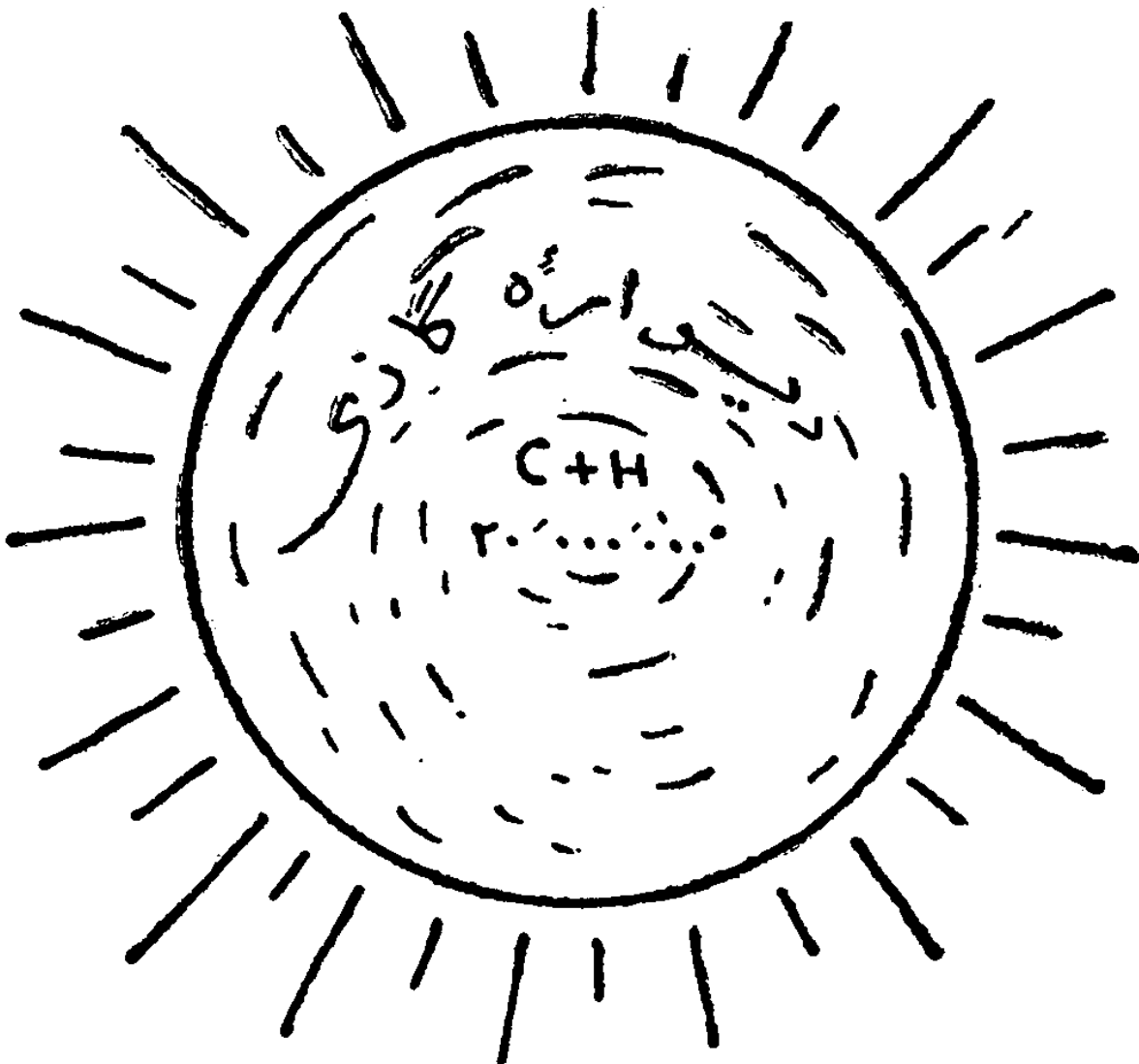
شکل ۲۷

موتور خیالی زیر اتمی. هیچ دیواری نمی‌تواند در برابر چنین درجه حرارتی مقاومت کند.

پیدایش و مرگ خورشید

کوره خورشید

این دشواریهای حل نشدنی که هنگام بحث درباره ساختن کوره-های حرارتی هسته بر روی زمین پیش می آید، در مورد خورشید که خود به منزله یک کوره غولپیکری است وجود ندارد. این کوره فلکی عملاً یک «دیواره گازی» دارد که همان قشرهای خارجی جرم خورشید است که در نتیجه نیروهای جاذبه موجود میان ذرات در مجاورت یکدیگر نگاه داشته شده اند (شکل ۲۸). به علاوه نیروهای جاذبه وسیله آن بوده اند تا درجه حرارت ابتدایی خورشید بدان اندازه فزونی یابد که



شکل ۲۸

مولد زیر اتمی خورشید. دیوارهای گازی به واسطه نیروی جاذبه بر جای خود نگاه داشته می شوند.

جورج کاموف

فعل وانفعالات حرارتی هسته امکانپذیر شود. در فصل اول دیدیم که خورشید در آغاز زندگی توده عظیمی از گاز نسبتاً سرد بوده است که به تدریج بر اثر انقباضات تصاعدی ثقلی پیوسته گرم و گرمتر شده است. به محض آنکه درجه حرارت مرکزی این خورشید در حال انقباض به اندازه‌ای رسید که برای آغاز شدن فعل وانفعالات هسته‌ای کافی بود، آزاد شدن انرژی زیر اتمی از انقباض بیشتر جرم خورشید جلوگیری کرد، و خورشید به حالت پایدار فعلی خود درآمد.

به این نکته نیز باید توجه داشته باشیم که قشرهای خارجی خورشید خود مهمترین وسیله ممکن برای تنظیم انرژی آزاد شده در قسمت مرکزی آن است. اگر به دلیلی از میزان سرعت فعل وانفعالات حرارتی هسته در قسمت‌های مرکزی خورشید کاسته شود، بلافاصله در قشرهای خارجی خورشید انقباض و تراکمی دست می‌دهد، و بر اثر آن درجه حرارت بالا می‌رود، و در نتیجه اندازه تولید انرژی به حال اول خود باز می‌گردد. و اگر برخلاف تولید انرژی داخلی از حد متعارف تجاوز کند، جرم خورشید منبسط می‌شود و در نتیجه درجه حرارت مرکزی پایین می‌آید و باز به حال عادی باز می‌گردد.

به این ترتیب باید گفت که خورشید تنها نمونه «ماشین هسته‌ای» است که ممکن است وجود داشته باشد و به بهترین وجهی کار خود را انجام می‌دهد.

فعل وانفعالی که در خورشید صورت می‌گیرد

اینک می‌دانیم که با حرارتی که در مرکز خورشید وجود دارد، فعل وانفعالات حرارتی هسته در میان پروتون‌ها و هسته‌های عناصر سبک به اندازه کافی سرعت دارد که بتواند انرژی لازم از آن به دست آید. بنا بر آنچه از نظریه ادینگتون درباره ساختمان خورشید می‌دانیم، معلوم است که قسمت عمده‌ای از جرم خورشید (در حدود ۳۵ درصد آن) هیدروژن است، و اینک باید دید که عامل دیگر فعل وانفعال چیست. برای یافتن پاسخ این سؤال بایستی میزان سرعت تولید انرژی را از طرق مختلف فعل وانفعال‌های ممکن حساب کنیم و نتیجه را با آنچه عملاً

از روی مقدار تشعشعات خارج شده از خورشید به دست می آید در معرض مقایسه قرار دهیم.

مثلاً واضح است که فعل و انفعال ئیدروژن - لیتیوم ، از آن لحاظ که خیلی به سرعت انجام می شود، نمی تواند منبع تولید انرژی خورشید باشد ، چه همان گونه که دیدیم در ۲۰ میلیون درجه حرارت تبدیل لیتیوم به ئیدروژن در چند ثانیه تمام می شود، بدان سان که اگر در قسمت مرکزی خورشید مقدار قابل ملاحظه ای از عنصر لیتیوم موجود باشد تمام انرژی زیر اتمی آن به صورت انفجار وحشتناکی آزاد خواهد شد و خورشید را پاره پاره خواهد کرد. بنابراین معلوم می شود که خورشید ما نمی تواند در داخل خود مقدار زیادی لیتیوم داشته باشد، و این درست به آن می ماند که اگر چلیکی به آهستگی مشغول سوختن باشد یقین حاصل می کنیم که در آن باروت وجود ندارد.^۱

از طرف دیگر آزاد شدن انرژی حرارتی هسته، مثلاً در فعل و انفعال میان پروتونها و هسته اکسیژن، آن اندازه به کندی صورت می گیرد که نمی توان اکسیژن را به عنوان منبع انرژی زیر اتمی خورشید به حساب آورد.

دکتر هانس بته^۲ که در سال ۱۹۳۸ پس از شرکت در کنفره فیزیک نظری واشنگتون که در آن به اهمیت فعل و انفعال هسته در تولید انرژی خورشید کاملاً توجه پیدا کرده بود به خانه خود باز می گشت، در قطار با خود چنین می اندیشید که: «بالاخره نباید یافتن نوع فعل و انفعالی که با خورشید تطبیق کند چندان دشوار باشد. قطعاً من تا پیش از آنکه شام خود را صرف کنم مسئله را حل خواهم کرد.» پس از آنکه چنین تصمیم گرفت، تکه کاغذی برداشت و بر روی آن مشغول نوشتن

۱. با وجود این مدارك طیفی نشان می دهد که در قسمت های نسبتاً سردتر جو خورشید لیتیوم وجود دارد، و چون این عنصر نمی تواند در مرکز خورشید موجود باشد، باید چنان نتیجه گرفت که تنها در قشر های خارجی یافت می شود (به فصل هفتم مراجعه شود).

Hans Bethe .۲

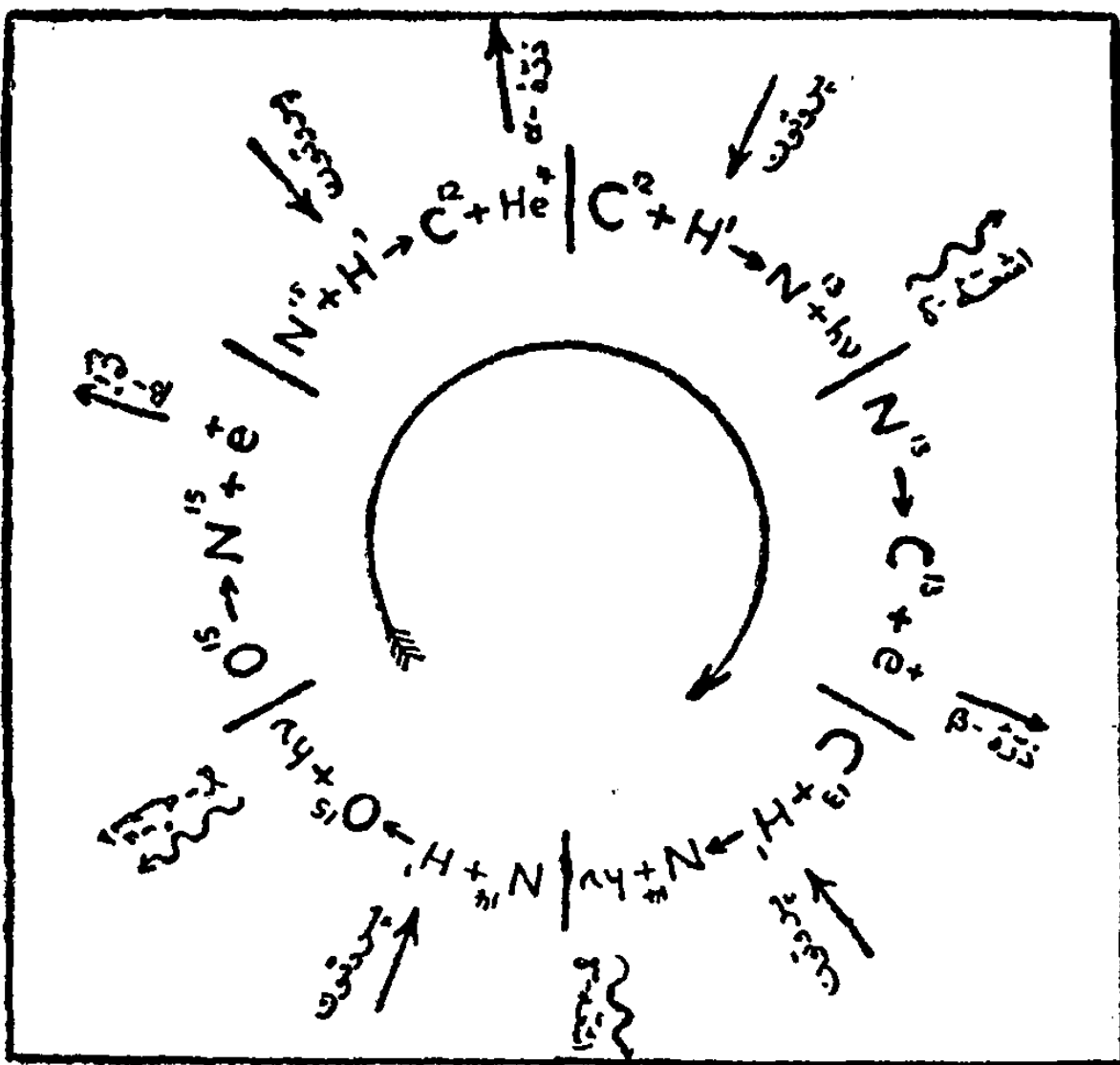
فورمولها وارقامی شد و البته این کار او مایهٔ تعجب کسانی بود که در قطار با وی همسفر بودند. یکی پس از دیگری فعل و انفعالات ممکن را از فهرستی که نوشته بود خط می زد، و در آن هنگام که خورشید بیخبر از دردسری که برای این دانشمند فراهم ساخته بود به نقطهٔ فرورفتن در زیر افق نزدیک می شد، وی هنوز به حل مسئله موفق نشده بود. ولی هانس بت کسی نبود که به خاطر چند اشکال مربوط به خورشید از غذای مطبوعی چشم بپوشد. کوشش خود را دوچندان کرد، و درست در همان حین که پیشخدمت قطار مسافران را به واگون غذاخوری دعوت می کرد مسئله هم حل شده بود. مصادف با همین زمان یک دانشمند آلمانی به نام دکتر **کارل فون وایتسزگر** نیز همان فعل و انفعال حرارتی هسته‌ای را که بت فکر کرده بود پیشنهاد کرد، و این دانشمند آلمانی نخستین کسی است که به اهمیت فعل و انفعالات حلقه‌ای در مسئله تولید انرژی خورشید توجه پیدا کرده است.

اساس این اکتشاف عبارت از آن است که فعل و انفعال حرارتی هسته‌ای که مسئول تولید انرژی خورشید به شمار می رود تنها یک تبدیل هسته‌ای نیست، بلکه عبارت است از یک رشته پیوسته تبدلاتی که همه آنها را روی هم **فعل و انفعال زنجیری** می نامند. یکی از مهمترین مظاهر این رشته فعل و انفعالات آن است که یک زنجیر بسته **مدور** تشکیل می دهد، و در آن پس از طی شش مرحله دوباره به نقطهٔ عزیمت می رسیم. از روی شکل (۲۹) که نمایندهٔ این فعل و انفعال زنجیری خورشید است، به خوبی آشکار می شود که **مهمترین عوامل شرکت کننده در این رشته هسته‌های کربون و نیتروژن است که با پروتونهای حرارتی تصادم پیدا می کنند.**

مثلا چون از کربون متعارفی (C^{12}) آغاز کنیم می بینیم که در نتیجه تصادم آن با یک پروتون همجای سبکتر نیتروژن (N^{13}) تشکیل می شود و در ضمن این فعل و انفعال مقداری انرژی زیر اتمی به صورت اشعه γ آزاد می شود. این فعل و انفعال خاص را علمای فیزیک

1. Carl von Weizsäcker

پیدایش و مرگ خورشید



شکل ۲۹

زنجیر حلقوی فعل و انفعالاتی که مسئول تولید انرژی خورشید شناخته شده .

هسته خوب می‌شناسند و در آزمایشگاهها با استعمال پروتونهایی که مصنوعاً شتاب و انرژی آنها را زیاد کرده اند توانسته‌اند چنین فعل و انفعالی را تولید کنند. چون هسته (N^{13}) ناپایدار است، از خود يك الکترون مثبت یا ذره مثبت β صادر می‌کند و به صورت هسته پایدار همجای سنگینتر کربون (C^{13}) درمی‌آید که چنانکه می‌دانیم به نسبت بسیار کم همراه کربون متعارفی موجود است. این کربون به نوبه

خود چون با پروتون حرارتی دیگری تصادم پیدا کند به صورت نیتروژن متعارفی (N^{14}) در می آید و اضافه بر آن تشعشع شدید حاصل می شود. اکنون هسته N^{14} (که از آن هم می توانستیم به سهولت توصیف دوره زنجیری را آغاز کنیم) ، با پروتون حرارتی دیگری (پروتون سومی) تصادم پیدا می کند و ازان میان همجای ناپایدار اکسیژن (O^{15}) به دست می آید که به سرعت با خارج کردن يك الکترون مثبت به صورت ثابت (N^{15}) مبدل می شود. و بالاخره این (N^{15}) با گرفتن پروتون چهارمی به دو قسمت نامساوی منقسم می شود که یکی از آنها (C^{12}) همان است که توصیف رشته زنجیر را ازان آغاز کردیم، و جزو دیگر هسته هلیوم یا ذره α است.

به این ترتیب می بینیم که هسته های کربون و نیتروژن در این فعل و انفعال زنجیری پس از آنکه از بین می روند دوباره تولید می شوند و در واقع عنوان واسطه، یا چنانکه علمای شیمی می گویند، عنوان کاتالیزوری دارند. نتیجه خالص این فعل و انفعال زنجیری آن است که از چهار پروتون که به تدریج وارد حلقه شده يك هسته هلیوم به دست آمده است. و به این ترتیب می توان تمام حوادث حلقه زنجیر را به صورت تبدیل ئیدروژن به هلیوم در نتیجه حرارت زیاد دانست که به میانجیگری کربون و نیتروژن صورت می گیرد. واضح است که اگر مقدار کافی ئیدروژن در خورشید موجود باشد، میزان سرعت دوره تبدیل اصولاً بسته به مقدار کربون (یا نیتروژنی) است که در جرم خورشید وجود داشته باشد؛ بث، با قبول اینکه نسبت کربون موجود در خورشید به جرم آن يك درصد است و دلایل فیزیکی نجومی مؤید آن است، توانست ثابت کند که انرژی که از فعل و انفعال زنجیری خورشید در درجه حرارت ۲۰ میلیون صورت می گیرد، درست مطابق است با آن مقدار انرژی که عملاً در نتیجه تشعشع از خورشید صادر می شود. و از آنجا که نتایج تمام فعل و انفعالات ممکن دیگر با شواهد فیزیکی نجومی مطابقت ندارد، به طور قطع این مطلب را باید پذیرفت که مهمترین عامل اصلی مولد انرژی خورشید همان دوره گردش کربون - نیتروژن است. این نکته را نیز

در اینجا باید اضافه کنیم که در درجه حرارت درونی خورشید ۵ میلیون سال وقت لازم است تا فعل وانفعال زنجیری که در شکل (۲۹) نمایانده شده بدان سان کامل شود که در پایان این دوره از زمان هر هسته کربون (یا نیتروژن) که وارد فعل وانفعال شده بود درست به همان حالت تازه و دست نخورده ای که با آن آغاز کرده بود بازگردد.

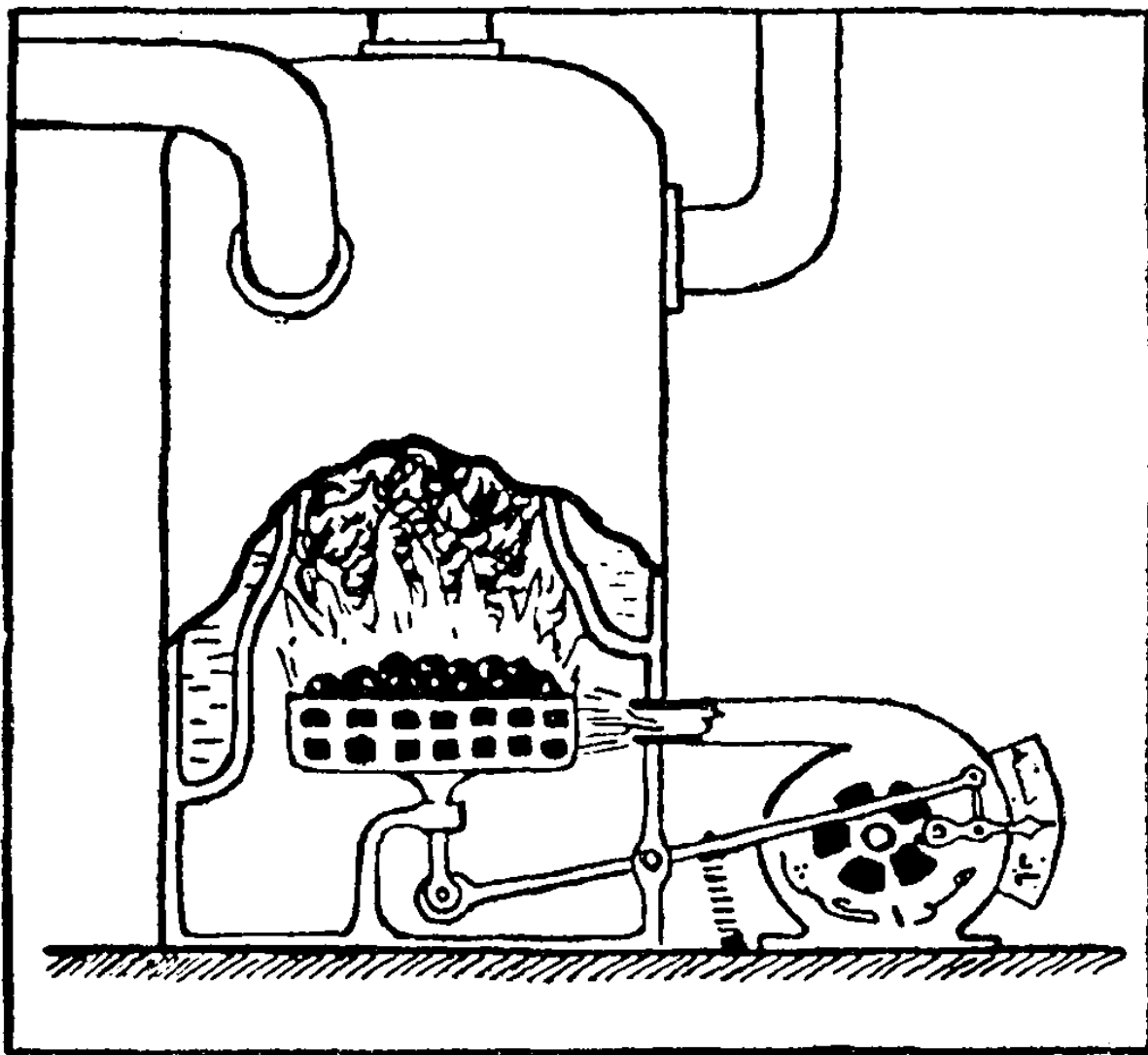
اینک که از نقش اساسی کربون در این جریان آگاه شدیم، می توان گفت که نظر قدیمی مبنی بر اینکه خورشید از زغال است چندان بی پایه نبوده، با این تفاوت که اکنون می دانیم که زغال بیش از آنکه واقعاً کار «سوخت» را انجام دهد نقش مرغ افسانه ای ققنس^۱ را بازی می کند.

تحول خورشید

آیا این مصرف تدریجی «سوخت» ئیدروژنی چه تغییراتی در خورشید به بار خواهد آورد؟ در نظر اول چنان می نماید که ناچار این کیفیت باید منجر به آن شود که تدریجاً از میزان تولید انرژی در خورشید بکاهد، بدان سان که این ستاره هر لحظه به مرگ نزدیکتر و سردتر و بی فروغتر شود. ولی با پژوهشهای مؤلف ثابت شده که چنین نیست، و واقع امر آن است که درخشش خورشید به صورت ثابتی افزایش پیدا می کند.

زیرا میزان سرعت تبدلات حرارتی هسته تنها به مقدار عنصر فعل وانفعال (در اینجا ئیدروژن) بستگی ندارد، بلکه درجه حرارتی که سبب فعل وانفعال می شود نیز در آن مؤثر است. اگر فرض کنیم که کاهش مقدار کلی «سوخت» به علتی سبب افزایش درجه حرارت شود، بازمانده سوخت با شدت بیشتری خواهد سوخت، و درجه حرارتی خواهد

۱. Phœnix پرندۀ افسانه ای مصری که تصور می کرده اند چون ۵۰۰ سال از عمرش می گذرد خود را بر توده ای از هیزم می سوزاند و از خاکستر او مرغ دیگری بر می آید. در ادبیات بتپرستی و مسیحیت این مرغ به عنوان رمز مرگ و رستاخیز مکرر به کار رفته است. (ترجمه از دایرة المعارف کولومبیا). - م.



شکل ۳۰

کوره‌ای که چون زغال آن کمتر باشد بهتر می‌سوزد

داد که از درجهٔ حرارت آغاز کار که « کوره » لبالب آکنده از سوخت بوده بالاتر خواهد رفت. نظری به شکل (۳۰) این حقیقت را بهتر مجسم می‌سازد. درانجا شکل یک کورهٔ زغالی عادی را نمایش داده‌ایم که دستگاه دم و هواکش آن با سنگینی زغالهایی که بر روی سه پایه کوره ریخته شده باز و بسته می‌شود؛ هرچه وزن زغال روی سه پایه کمتر باشد راه هواکش بهتر باز می‌شود و سوخت بهتر می‌سوزد و حرارت بیشتری تولید می‌کند.

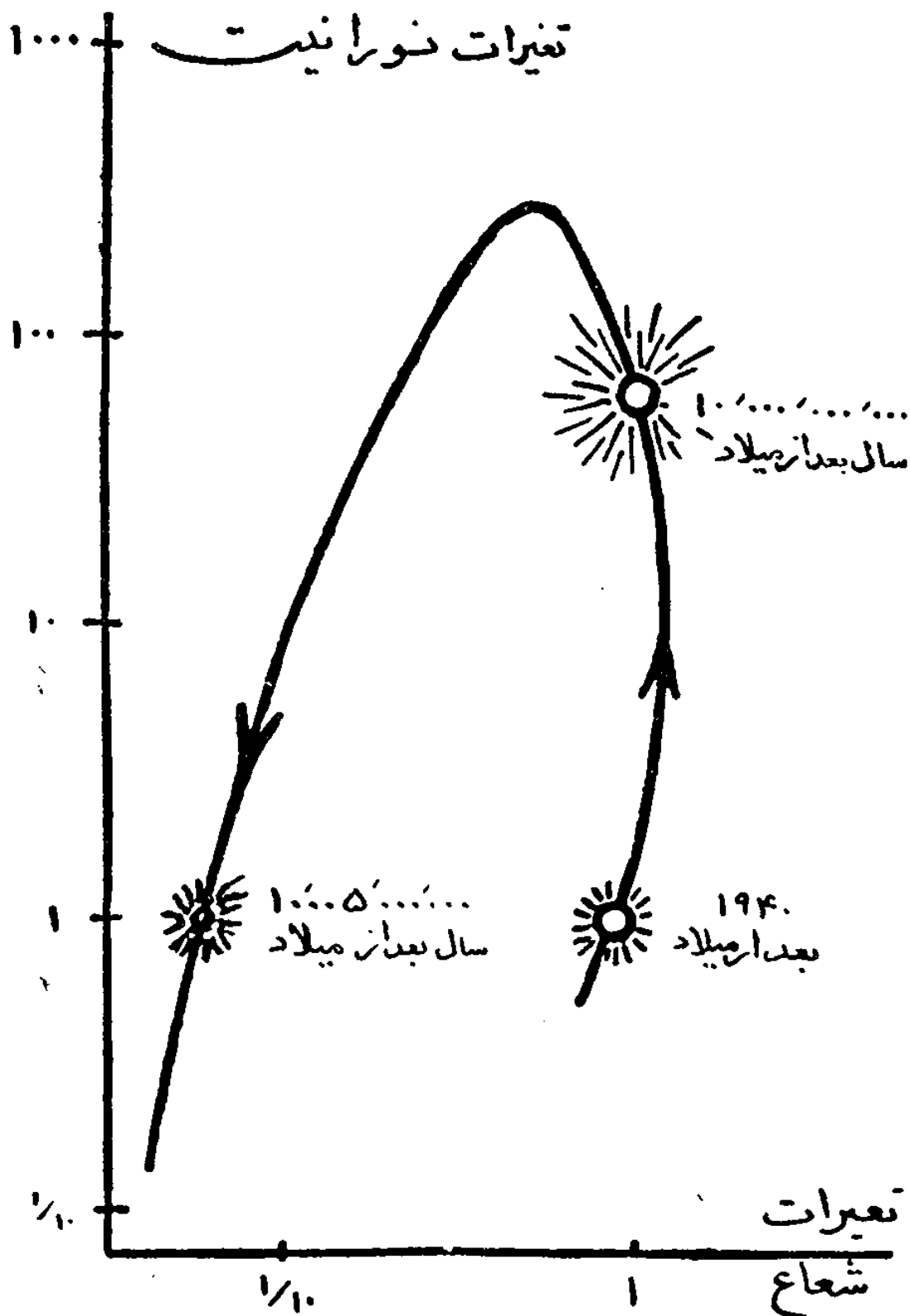
چنین ترتیبی در کورهٔ جهنمی خورشید نیز وجود دارد، با این

تفاوت که وسیله تنظیم، تغییر درجه شفافیت ماده‌ای است که جسم خورشید از آن تشکیل شده. هلیومی که در داخل خورشید در نتیجه مصرف شدن ئیدروژن تشکیل می‌شود، از ئیدروژنی که در آغاز کار وجود داشت شفافیت کمتری دارد،^۱ و انرژی آزاد شده در فعل و انفعالات حرارتی هسته در راه رسیدن به سطح خورشید با دشواریهای بیشتری روبه‌رو می‌شود. هرچه بیشتر ئیدروژن به هلیوم مبدل شود پوشش قسمت مرکزی خورشید تیره‌تر می‌گردد و در نتیجه انرژی بیشتری در قسمت مرکزی جمع می‌آید و این امر سبب می‌شود که به همین نسبت بر میزان سرعت تولید انرژی افزوده گردد.

محاسبه‌ای که به وسیله مؤلف بر اساس نظریه مورد قبول درباره ساختمان درونی خورشید صورت گرفته، به این نتیجه رسیده است که: **تشعشع خورشید با گذشت زمان زیادتر می‌شود، و در آن هنگام که مقدار ئیدروژن جرم خورشید نزدیک به اتمام است این انرژی تشعشعی تقریباً صد برابر خواهد شد.** و نیز از همین محاسبات معلوم شده است که چون مقدار ئیدروژن خورشید کمتر شود، شعاع خورشید در ابتدای کار چند درصدی افزایش پیدا می‌کند و پس از آن به کندی طول این شعاع روبه تنزل خواهد رفت.

این نتایج را بر روی شکل (۳۱) نمایش داده‌ایم و بر روی این شکل درخشندگی و شعاع حالات آینده خورشید با مقیاس لوگاریتمی ترسیم شده است. از اینجا معلوم می‌شود که تحقیق در مسئله تولید انرژی در خورشید ما را به نتایجی رسانده است که کاملاً با آنچه از نظریه رسمی کلاسی به دست می‌آید مخالف است. به جای آنکه بگوییم به علت کاهش فعل و انفعالات خورشید روزگاری همه چیز یخ خواهد زد، باید گفت که، به علت شدت حرارت خورشید در آخرین مرحله تحول آن،

۱. در اوضاع و احوال موجود بر روی زمین هلیوم و ئیدروژن هر دو شفافیت دارند، ولی با چگالی و درجه حرارت بسیار زیاد خورشید قشر ضخیم این گازها به شکل مؤثری تشعشعات را به خود جذب می‌کند و در آنجا کدبری هلیوم چندین برابر کدبری ئیدروژن می‌شود.



شکل ۳۱

تحول خورشید. خورشید پس از گذشتن از مرحله نورانیت شدید وارد مرحله انقباض سریع می شود و همراه با این انقباض نورافشانی آن تنزل پیدا می کند.

حیات محکوم به فنا است.

به این ترتیب تشعشع خورشید صدبرابر می شود، و درجه حرارت سطح زمین از درجه حرارت جوش آمدن آب بالاتر می رود، و اگر چه در چنان حرارتی سنگها و قشر جامد زمین به احتمال قوی ذوب نخواهد شد، ولی قطعاً آب دریاها و اقیانوسها به حالت غلیان در خواهد آمد. تصور این که در چنان اوضاع و احوال موجود زنده ای بتواند بر سطح زمین زنده بماند مشکل است، ولی احتمال نزدیک به یقین است که در مدت چند بلیون سال آینده علم و فن آن اندازه ترقی خواهد کرد که بتوانند زیر زمینهای مناسبی تهیه کنند تا انسان در آن زیر زمینها به زندگی طبیعی خود ادامه دهد، یا اینکه نوع بشر بتواند به یکی از سیارات دور دست که حرارت کمتری دارد مهاجرت کند و زندگی را در آن سیاره ادامه دهد. این نکته را نیز باید در نظر داشت که تغییرات در تشعشع خورشید ناگهانی صورت نمی گیرد، بلکه این تغییرات بسیار کند و آهسته پیش می آید. بنابراین آنچه از محاسبه به دست می آید، در تمام دوران معرفت الارضی که خورشید به اندازه یک صدم از ذخیره ئیدروژنی خود را از دست می دهد، بالا رفتن درجه حرارت سطح زمین از چند درجه تجاوز نخواهد کرد. بنابراین نتیجه فعل و انفعالات حرارتی هسته که در خورشید حادث می شود چنان نیست که سبب پیدایش یک فاجعه آسمانی شود (فصل ۹ دیده شود)، بلکه اوضاعی که پیش می آید قابل پیشبینی است و محتمل است که با استعمار سیاره ای مانند نپتون از پیش آمدن روزگار سیاهی برای فرزندان آدمی جلوگیری به عمل آورند.

همین کندی در زیاد شدن درجه حرارت زمین به احتمال قوی با چنان تغییرات تدریجی در جهان موجودات زنده همراه خواهد بود که زندگی بر سطح زمین هر روز بیش از پیش با ازدیاد درجه حرارت سازگاری پیدا خواهد کرد. ولی چون هیچ موجود زنده ای که از لحاظ تکامل در درجات بالا قرار گرفته باشد نمی تواند در آب جوش زیست کند، بنابراین هر چه درجه حرارت بالاتر رود انواع زنده بیشتر دچار انحطاط و تنزل خواهند شد. پس احتمال کلی دارد که پیش از رسیدن

حرارت به درجات غیر قابل تحمل انواع عالی جانوران از بین رفته باشند و تنها موجودات ذره بینی که ساده تر و پایدارترند بتوانند « شاهد » آخرین مراحل پرتوافکنی خورشید باشند.

پس ازان چه ؟

همان گونه که پیش از این گفتیم، ممکن است ماشینی حرارتی ساخت که هر چه سوخت آن کمتر باشد گرمای بیشتری پس بدهد، ولی در این امر شك نیست که هیچ ماشینی نمی تواند بدون آنکه سوختی به آن برسد تولید حرارت کند؛ بنابراین به محض آنکه خورشید آخرین ذره ئیدروژنی را که دارد مصرف کرد، دیگر منبع انرژی زیر اتمی در اختیار نخواهد داشت. و چون ازان منبع انرژی که مدت ده بلیون سال آنرا به راه می انداخت محروم بماند، ناچار است از همان راه قدیمی تولید انرژی که در تمام این مدت ازان دست برداشته بود به تولید انرژی بپردازد. در آن هنگام جرم خورشید دوباره به انقباض آغاز می کند، ولی چون همان گونه که دیدیم انرژی ثقلی در مقایسه با انرژی عظیمی که از راه فعل و انفعالهای هسته ای به دست می آید تقریباً هیچ است، به همین جهت انقباض تدریجی آفتاب در این دوره نسبت به انقباضی که در دوره درخشان اتمی داشت بسیار سریعتر خواهد بود. ازان لحظه به بعد جمع شدن و کوچک شدن حجم خورشید آغاز می شود، و پس از مدتی فروغ آن نیز رو به انحطاط می گذارد. به سرعت روشنایی آن به اندازه فعلی می رسد - و سرعت در اینجا البته به معنی چندین میلیون سال است - و هر چه خورشید به آخرین مرحله مرگ حرارتی خود نزدیکتر می شود بی فروغتر می گردد. از این مراحل مختلف پیشروی آفتاب به سوی سرنوشت خویش در یکی از فصلهای آینده به تفصیل سخن خواهیم گفت.

۱. چنانکه بر روی شکل (۳۱) می توان دید، شعاع جرم خورشید در شاخه نزولی خط سیر خود به طرف سرنوشت نهایی کمتر از شعاع فعلی آن است.

فصل ششم

خورشید در میان ستارگان

درخشندگی ستارگان چه اندازه است؟



در روزهای دور افتادهٔ کودکی شاید بیشتر ما چنان می‌پنداشتیم که ستارگان فانوسهای كوچك سیمینی هستند که برگنبد نیلگون فلك بالای سرما آویخته‌اند. در اوقاتی که مؤلف کتاب به کار تحقیق دربارهٔ منبع تشعشعات ستارگان مشغول بود، دشواریهای فراوانی که ظاهر آذیر پا گذاشتن آنها ناممکن می‌نمود، او را غالباً به عقب باز می‌گرداند و به یاد این نظریهٔ کودکانه می‌انداخت. ولی بدبختانه هیچ‌گاه در آنکه این فرضیهٔ زیبای کودکانه صحیح نیست شکی نمی‌توان کرد و پیوسته معلوم بوده است که ستارگان توده‌های غول‌آسایی هستند که از گازهای بسیار داغ فراهم آمده و با خورشید ماشباهت فراوان دارند. فاصلهٔ بسیار بسیار عظیمی که ما را از ستارگان دور نگاه می‌دارد سبب آن است تا چنان پنداریم که این اجرام فلکی كوچك و ناچیزند. ولی مشاهدات نجومی

جورج گاموف

بهما اجازه می‌دهد که این فاصله‌های عظیم بین کواکب را اندازه بگیریم و روشنایی فعلی (یا مطلق) ستارگان گوناگون را با روشنایی خورشید خودمان مقایسه کنیم.

مثلاً چشم درخشان صورت فلکی کلب اکبر را در نظر می‌گیریم. کلب اکبر یکی از صور فلکی است که منجمان باستانی از تصویر چند ستاره به صورت سگی این نام را بر روی آن گذاشته‌اند، همان‌گونه که دسته‌های دیگر ستارگان را با جانوران یا موجودات افسانه‌ای دیگری شبیه دانسته نامهای دیگری از این قبیل به آنها داده‌اند. گرچه چشمی که نظر غیر شاعرانه به صورتهای فلکی داشته باشد هرگز چند ستاره کلب اکبر را به شکل سگی نخواهد دید (شکل ۳۲)، ولی چاره نیست



شکل ۳۲
صورت فلکی کلب اکبر

و باید احترام گذشتگان را نگاه داشت و همین نامها را پذیرفت. چشم این سگ آسمانی درخشنده ترین ستاره ثابتی است که در آسمان دیده می شود و آن را به نام شعری (شعرای یمانی) می شناسند. علمای نجوم به ما خبر می دهند که این ستاره نسبت به زمین ۵۰۰،۰۰۰ بار از خورشید دورتر است - یعنی تا زمین ۵۲،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰ میل فاصله دارد - و اگر در فاصله خورشید قرار می داشت ستاره شعری ۴۰ مرتبه بیش از خورشید به زمین گرمی و روشنی می فرستاد.

ستارگان نورانیتر دیگری نیز مانند ستاره γ صورت دجاجة در آسمان هست که این یکی ۳۰،۰۰۰ بار از خورشید ما درخشنده تر است، ولی از لحاظ فاصله شگرفی که با زمین دارد روشنی ظاهری آن جلب توجه نمی کند. از طرف دیگر ستارگانی که روشنایی مطلق (یا تشعشع کلی آنها) کمتر از آفتاب باشد در آسمان کم نیست، و از آن جمله است ستاره ای به نام «کروگر ۶۰ ب»^۱ (همه ستارگان نام زیبای شعری را ندارند) که روشنایی مطلق آن ۱۰۰۰ بار از خورشید کمتر است. چون روشنایی خورشید خودمان را با روشنایی سایر ستارگان شناخته مقایسه کنیم، به این نتیجه می رسیم که خورشید در میان آنها عنوان ستاره متوسط نمونه را دارد.

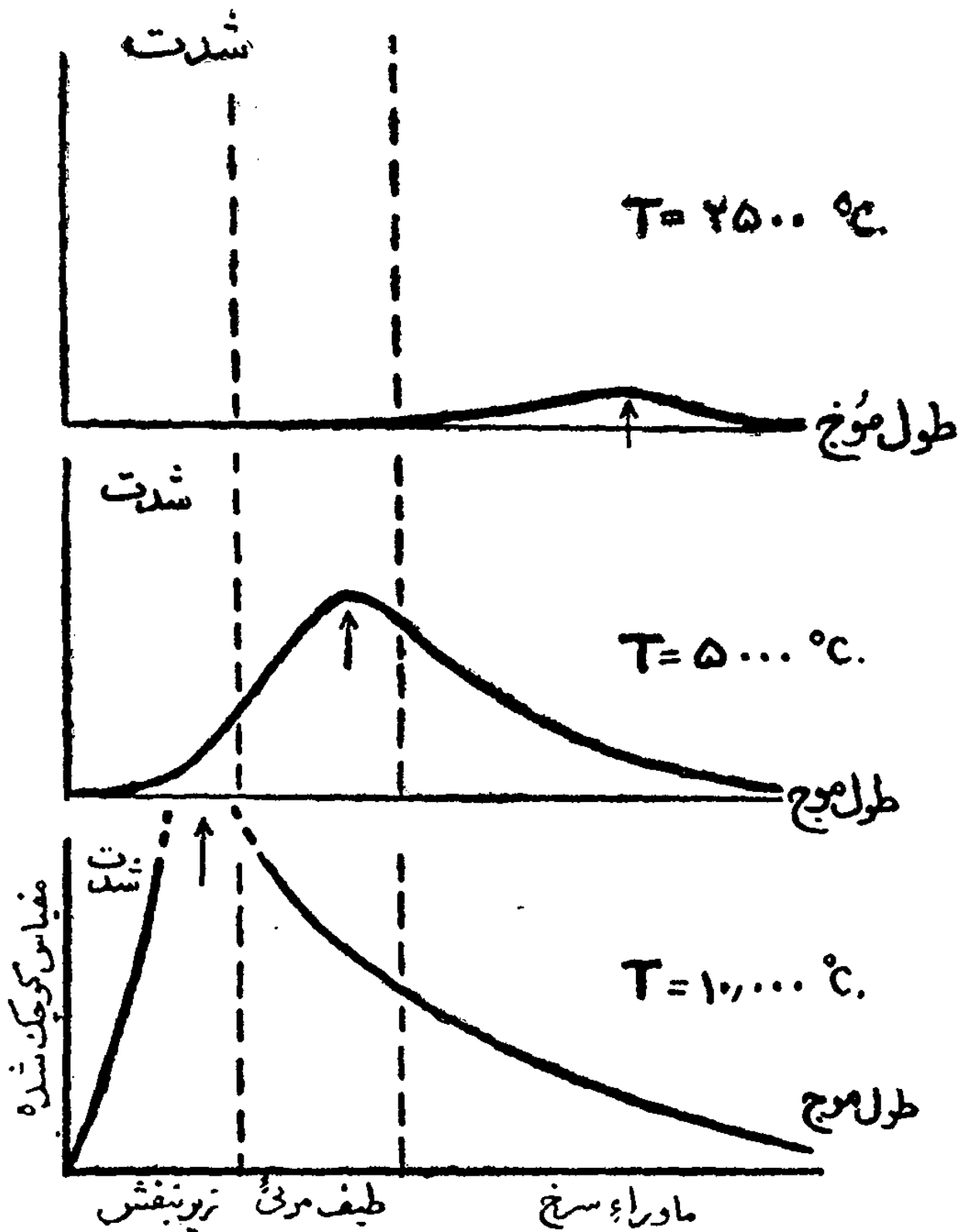
رنگ ستارگان و طبقه بندی طیفی آنها

هنگام تحقیق و مطالعه در خواص فیزیکی ستارگان، نه تنها دانستن نورانیت مطلق آنها حایز اهمیت است، بلکه ترکیب طیفی نوری که از آنها صادر می شود و از آن رو می توان درجه حرارت سطحی این اجرام فلکی بی اندازه دور را اندازه گرفت، کمال اهمیت را دارد. در فصل اول دیدیم که درجه حرارت سطح خورشید را می توان به آسانی از مقدار تشعشعی که از هر واحد سطح آن صادر می شود تخمین زد. ولی باید دانست که در بسیاری از ستارگان دور نمی توانیم مستقیماً وسعت سطح آنها را اندازه

۱. krueger60B یعنی جزء ب از شصتمین ستاره ثبت شده

در فهرست کروگر.

بگیریم، چه از لحاظ فاصله بسیار زیادی که دارند، حتی در دوربینهای بسیار



شکل ۳۳

تغییرات پیوسته طیف صدوری با درجه حرارت (T)

نیرومند نیز فقط چون نقطه‌ای نورانی دیده می‌شوند.^۱ خوشبختانه از روی خواص دیگر تشعشعاتی که از اجرام گرم صادر می‌شود، حتی در آن صورت هم که درخشندگی سطحی ستارگان را ندانیم، می‌توانیم درجه حرارت آنها را اندازه بگیریم. می‌دانیم که همه اجسام چون در تحت تأثیر حرارتی که پیوسته رو به ازدیاد است قرار گیرند، در ابتدا تشعشعات سرخ از خود صادر می‌کنند، و پس از آن رنگ تغییر می‌کند و به صورت زرد و پس از آن سفید درمی‌آید، و چون درجه حرارت بالاتر رود رنگ اشعه صادر شده به طرف آبی میل می‌کند. این تغییر رنگی که در نور صادر شده حاصل می‌شود نتیجه تغییراتی است که در شدت نسبی قسمت‌های مختلف طیف صدوری بنابر تغییر درجه حرارت پیش می‌آید. همان‌گونه که از شکل (۳۳) آشکار می‌شود، حد اعلا صدور نور با ازدیاد درجه حرارت از ناحیه سرخ طیف به ناحیه بنفش آن انتقال پیدا می‌کند. بنابراین با مقایسه رنگ نوری که از ستارگان مختلف صادر می‌شود می‌توانیم اندیشه نسبتاً کاملی درباره درجه حرارت سطحی نسبی آنها پیدا کنیم و بگوییم که ستارگان سرخ به طور نسبی سرد هستند و ستارگان آبی بسیار گرم.

وسیله حساستر دیگری برای تخمین درجه حرارت ستارگان مطالعه در خطوط تیره‌ای است (به نام خطوط فران هوفر) که در طیف پیوسته ستارگان مختلف و از جمله خورشید ما دیده می‌شود. این خطوط تاریک در نتیجه آن است که بعضی از تشعشعات نورانی به وسیله جو اطراف ستاره جذب می‌شود و جای آن در طیف تاریک می‌ماند. و چون نیروی جذبی اتم‌های مختلف تا اندازه زیادی به درجه حرارت بستگی دارد، شکل خطوط جذبی طیف از یک ستاره به ستاره دیگر تغییر می‌کند، و از آن رومی‌توانیم با نظر کردن به شکل طیف درجه حرارت سطحی ستاره

۱. تنها در مورد معدودی از ستارگان نزدیک و بزرگ است که به وسیله روش هوشمندانه مایکلسن که بنیان آن بر «تداخل» قرار دارد می‌توان مستقیماً قطر ستارگان را اندازه گرفت.

را تخمین کنیم.^۱

در کار تحقیقات نجومی رسم این است که درجات حرارت رصد شده در ستارگان را به دهه گروه تقسیم کنند که به نام طبقات طیفی «هاروارد»^۲ نامیده می شود، و آنها را در صفحه تصویر VII پایان کتاب آورده ایم. این طبقات ده گانه را با حروف الفبا نمایش می دهند، و البته ترتیب آنها مطابق ترتیب متعارفی حروف الفبایی است، و برای آنکه این ترتیب به خاطر بماند جمله لطیفی با آنها ساخته اند که علمای نجوم انگلیسی زبان ازبر دارند و آن جمله چنین است:

«Oh, Be A Fine Girl, Kiss Me Right Now ...»
 و در اینکه آیا حرف S آخرین حرف نماینده این طبقات به جای کلمه «محبوب Sweetheart» است و یا به جای کلمه «ماچ Smack»، مدتهاست که میان علمای نجوم دو رصدخانه هاروارد و یرکز^۳ اختلافی وجود دارد و نتیجه قطعی هنوز معلوم نشده است.^۴

اگر طیف ستاره ای بنا بر خواصی که دارد، میان دو تا از طبقات ده گانه فوق قرار گیرد، برای نمایاندن آن علامت اعشاری به کار می برند، مثلاً A_۴ نماینده دودهم فاصله میان A و F است، و K_۵ نماینده پنج دهم فاصله K و M (به صفحه تصویر شماره VII پایان کتاب رجوع شود). در طبقه بندی هاروارد خورشید ما در طبقه G (۶۰۰۰ درجه) واقع است و شعری در طبقه A (۱۱،۲۰۰ درجه) و ستاره ضعیف کروگر ۶۰ ب در طبقه سرد M (۳۳۰۰ درجه).

۱. نظریه ای که بنا بر این ارتباط صحیح میان درجه حرارت گاز جذب کننده و خواص طیف جذبی به دست می آید، نخستین بار به وسیله دانشمندی هندی به نام مه - ناد - ساها Meh - Nad - Saha با اتکای بر نظریه کوانتومی ساختمان اتم بیان شده است.

۲. Harvard spectral classes

۳. Yerkes

۴. در صفحه تصویر شماره VII طبقات طیفی O و S دیده

نمی شود.

چون از روی طبقه طیفی ستاره درجه حرارت سطح آنرا بدانیم، می‌توانیم با مقایسه درخشندگی سطحی مربوط به این درجه حرارت با نورانیت مطلق ستاره، ابعاد آنرا اندازه بگیریم. از این راه معلوم شده است که ستاره شعری ۱۸ برابر و ستاره دجاجه ۹ برابر خورشید ما هستند، در صورتی که ستاره کروگر ۶۰ ب قطر مساوی نصف قطر خورشید دارد.

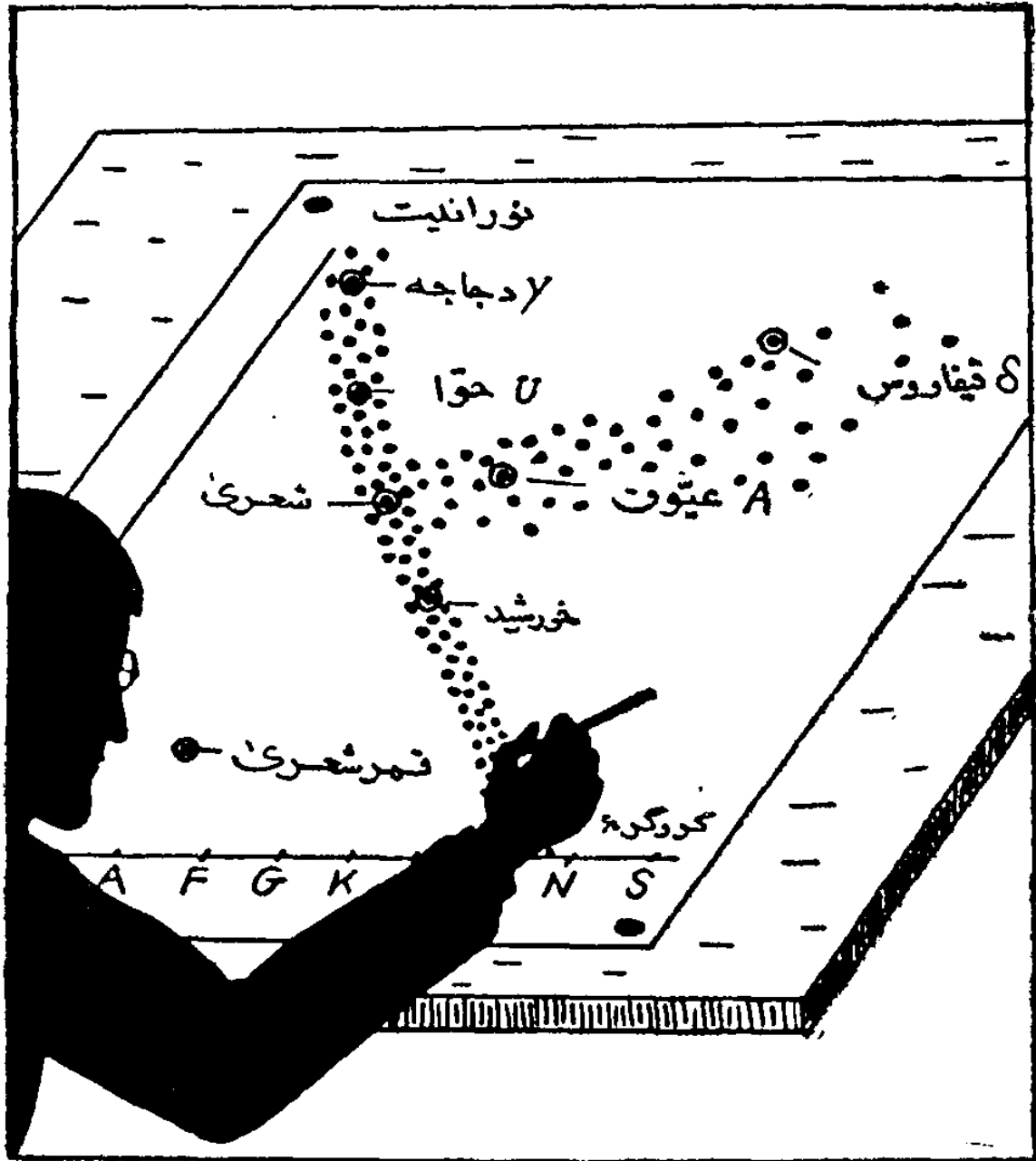
نمودار راسل

چون این چهار کوكب (یعنی آن سه ستاره و خورشید) را بایکدیگر مقایسه کنیم، به آسانی این مطلب دستگیر ما می‌شود که نظم جالب توجهی وجود دارد، و ستارگان نورانیتر معمولاً درجه حرارت سطحی زیادتر و شعاع بزرگتر دارند. تحقیق مفصلتر درباره این ارتباط سبب شد که بتوانند ستارگان را به صورت قابل توجهی طبقه‌بندی کنند، و این خود در زمان حاضر مهمترین شالوده را برای نظریه‌های مربوط به خواص و تکامل ستارگان می‌سازد.

نخستین هفته ماه مارس ۱۹۱۳ برای ارساد نجومی در دانشگاه پرینستون هفته بسیار نامساعدی بود. در آن هفته بیشتر اوقات باران می‌بارید و آسمان پوشیده از ابر هیچ فعالیت رصدی را اجازه نمی‌داد. ولی آن حادثه به هیچ وجه مایه ناراحتی پرفسور ه. ن. راسل مدیر رصد خانه نشد، بلکه برعکس این بیکاری برای او يك توفیق اجباری بود تا با آن وسیله بتواند رصدهای سابق خود را منظم کند و فکری را که از چندماه پیش به خاطر وی رسیده بود در معرض آزمایش قرار دهد.

راسل بر روی يك ورق کاغذ شطرنجی يك میلیمتری نموداری رسم کرد تا ارتباط میان نورانیت مطلق و طبقه طیفی تمام ستارگانی را که این دو معلوم را درباره آنها به دست داشت آشکار سازد. چون در اینجا سر و کار وی با چند صد ستاره بود، البته کاری که می‌کرد خسته‌کننده به نظر می‌رسید، ولی در آن هنگام که رسم نمودار نزدیک به تمام شدن بود

رفته رفته شکل خاص و جالب توجهی پیدا می‌کرد. شکل (۳۴).
 در این نمودار نوار باریکی از طرف راست و پایین شکل آغاز
 می‌شود و به طرف راست و بالای آن پیش می‌رود، و اغلب نقاطی که برای
 رسم کردن نمودار به کار رفته در آن قرار می‌گیرد، که از آن جمله است
 نقطه‌ای که خورشید ما را نمایش می‌دهد. تمام ستارگانی که به این رشته



شکل ۳۴

... شکلی که از اجتماع نقاط به دست می‌آید رفته رفته صورت خاص
 و جالب توجهی پیدا می‌کند (نمودار راسل).

اصلی^۱ تعلق دارند، چنانکه ظاهر است باینکه دیگر ارتباط نزدیکی دارند، و تنها يك عامل سبب تفاوت آنها باهم می‌شود، که باید همان جرمشان باشد. این «ستارگان به‌هنجار و متعارفی» به‌ردیف پیوسته‌ای میان ستارگان نسبتاً سرد و کم نور موسوم به «**کوتوله‌های سرخ**»^۲ و ستارگان آبی و درخشنده موسوم به «**غولهای آبی**»^۳ قرار می‌گیرند.

ولی این نظم قابل توجه را چند حالت استثنایی به صورت برجسته‌ای در نمودار راسل شکسته بود. دران نمودار دو نوع مشخص ستارگان دیده می‌شد که خیلی دور از رشته اصلی قرار گرفته بودند. يك دسته نقاط به صورت پراکنده در گوشه طرف راست و بالای کاغذ شطرنجی دیده می‌شد، و این نقاط نماینده ستارگانی بود که با وجود پستی نسبی درجه حرارت سطح خود نورانیت مطلق بسیار زیادی دارند. از آنجا که درجه حرارت سطحی پست نماینده شدت روشنی کمتری برای واحد سطح است، باید گفت که نورانیت کلی زیاد علامت آن است که بایستی قاعدتاً این‌گونه ستارگان حجمهای بزرگی داشته باشند. این دسته ستارگان را به نام «**غولهای سرخ**» می‌نامند و در میان آنها کواکب معروفی همچون عیوق و ستاره‌های متغیر قیفاووس وجود دارد (فصل ۷ دیده شود).

گوشه طرف چپ و پایین نمودار راسل را گروه دیگری از ستارگان غیر متعارفی اشغال می‌کند موسوم به «**کوتوله‌های سفید**»^۴. درجه حرارت سطحی زیاد این ستارگان که با نورانیت کلی ضعیف آنها توأم است، دلیل آن است که حجم نسبی کوچکی دارند و چنانکه پس از این خواهیم دید این ستارگان تنها چند مرتبه از زمین ما بزرگترند.

بحث درباره این دو طبقه «نابه‌هنجار» ستارگان را به دو فصل آینده بازمی‌گذاریم، و اینک تمام توجه خود را تنها به ستارگان هنجاری رشته اصلی نمودار راسل معطوف می‌داریم.

1. main sequence
2. red dwarfs
3. blue giants
4. white dwarfs

جرم ستارگان

اطلاعات مربوط به جرم ستارگان از مسائل بسیار مهم به شمار می‌رود، ولی درعین حال این قسمت از معلومات نجومی ضعیفترین نقطه نجوم مشاهده‌ای محسوب می‌شود. تنها راهی که برای تخمین جرم يك ستاره در دست داریم آن است که حرکت جسم دیگری را که برگرد آن دوران می‌کند مورد مطالعه قرار دهیم. مثلاً با تحقیق در گردش زمین به دور خورشید می‌توانیم جرم جسمی را که در مرکز منظومه ما قرار دارد اندازه بگیریم. اگرچه امکان آن هست که اغلب منظومه‌های کوكبی دیگر نیز مانند منظومه شمسی ما باشند، ولی فاصله عظیمی که ما را از ستارگان جدا می‌کنند مانع آن است که بتوانیم سیارات متعلق به همه آنها را ببینیم و حرکت آنها را در معرض مطالعه قرار دهیم.

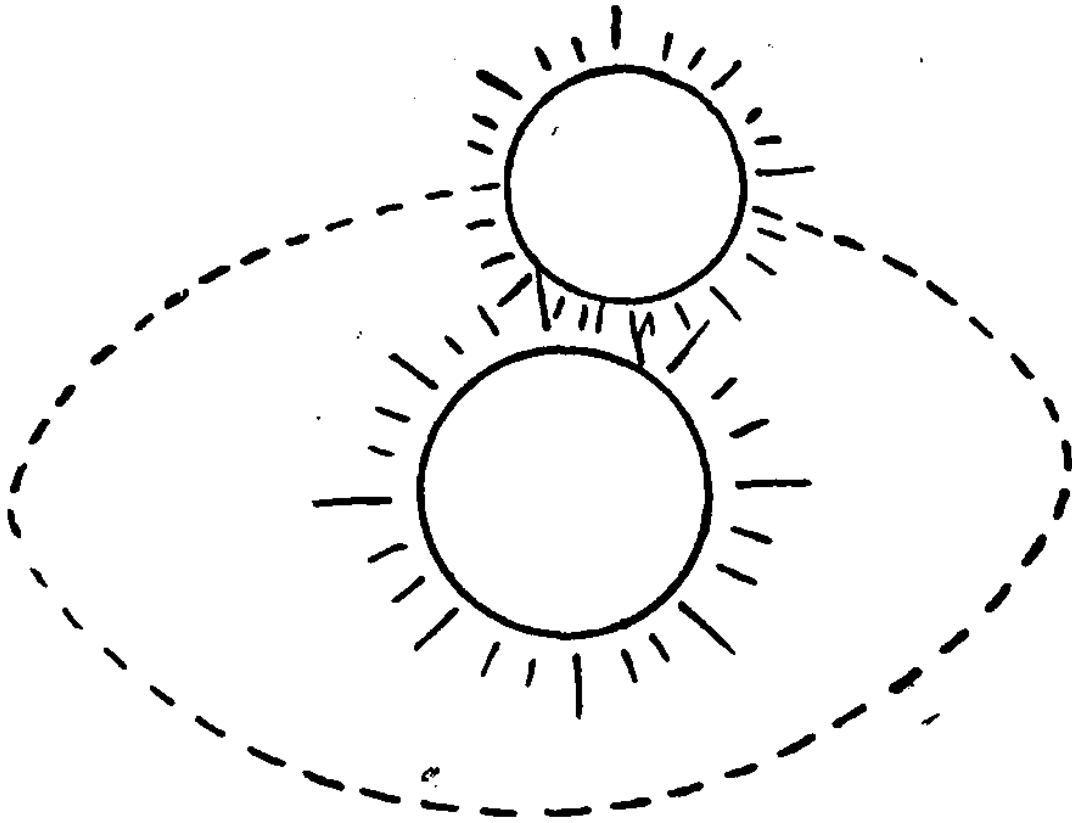
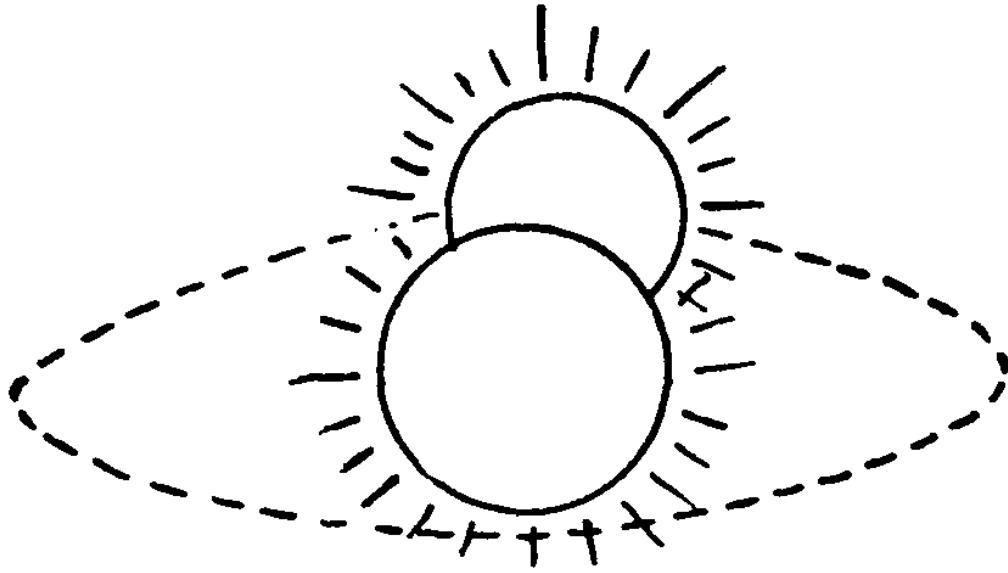
خوشبختانه عدد زیادی ستاره موجود است که جفت جفت زندگی می‌کنند و آنها را منظومه‌های مزدوج یا دو ستاره‌ای می‌نامند (شکل ۳۵). در چنین حالات بایستی حرکت نسبی هریک از دو ستاره مزدوج مستقیماً مطالعه شود، تا از روی دوره گردش آنها جرم نسبی هریک به دست آید،^۱ ولی از آنجا که تخمین جرم مستلزم آن است که اطلاع کاملی درباره تمام عوامل حرکت داشته باشیم، در حال حاضر تنها جرم چند دوجین ستاره با قطعیت کافی معلوم شده است. با وجود این همین معلومات محدود به ما اجازه می‌دهد که در خصوص ارتباط میان جرم و نورانیت ستارگان نتایج جالب توجهی به دست آوریم.

نخستین بار این مطلب به وسیله سر آرثر ادینگتون^۲ اظهار شد که نورانیت ستاره‌ها تابع معینی از جرم آنهاست، و این نورانیت

۱. از لحاظ قابل مشاهده بودن ستارگان مزدوج آنها را به دو طبقه تقسیم می‌کنند: یکی مزدوجهای بصری که در دوربین آسمانی جدا از یکدیگر دیده می‌شوند، و دیگر مزدوجهای طیفی که با دوربین دو تا دیده نمی‌شوند و تنها در نتیجه اثر دوپلر که از این گونه ستارگان بر روی طیف آنها ظاهر می‌شود به وجود آنها پی می‌برند.

۲. Sir Arthur Eddington

ستاره‌های مزدوج کسوف دار



ستاره‌های مزدوج بی کسوف

شکل ۳۵

ستارگان مزدوج. اگر سطح مدار دو ستاره به اندازه کافی مایل باشد، این مجموعه با کسوفی که پیدا می‌کند متغیر می‌شود.

با زیاد شدن جرم به سرعت ترقی می کند. مثلاً اگر ستاره‌هایی را که پیش از این نام بردیم مورد بحث قرار دهیم، معلوم می شود که γ دجاچه (که نورانیته $30,000$ برابر خورشید دارد) 17 مرتبه بزرگتر از خورشید است، و ستاره شغری (بانورانیته 40 برابر خورشید) تنها 24 مرتبه سنگینتر از خورشید است، و ستاره ضعیف کروگر 60 ب (بانورانیته معادل 0.01 ر نورانیت خورشید) جرمی معادل يك دهم جرم خورشید دارد.

چون تشعشع کلی ستارگان سریعتر از جرم آنها زیاد می شود، بنابراین انرژی که از هر گرم جرم به دست می آید در ستارگان سنگین بیشتر از ستارگان سبک خواهد بود. از ارقامی که در بالا ذکر شد به خوبی واضح می شود که تولید انرژی با واحد جرم در ستاره γ دجاچه و ستاره شغری و ستاره کروگر 60 ب به ترتیب در مقایسه با انرژی واحد جرم خورشید برابر خواهد بود با 1800 و 15 و 0.05 ر. ولی اگر منبع انرژی در همه ستارگان فعل و انفعالات حرارتی هسته باشد که در خورشید دیدیم، اختلافی که در اندازه آزاد شدن انرژی در آنها دیده می شود ناچار نتیجه اختلاف اوضاع فیزیکی موجود در داخل آنها و مخصوصاً اختلاف درجه حرارت مرکزی آنها خواهد بود.

فعل و انفعالات هسته‌ای در ستارگان

در فصل اول دیدیم که تجزیه و تحلیل هوشمندانه ادینگتون درباره شرایط تعادل کره‌های گازی غولپیکر راهی در پیش پای ما گذاشت و از آن رو توانستیم خواص فیزیکی مختلف ماده سازنده خورشید را در عمقهای مختلفی از سطح آن فهم کنیم، و نسبت به درجه حرارت و چگالی قسمت مرکزی مولد انرژی آن به نتایج معینی برسیم. همین روش را که آن اندازه در مورد خورشید سودمند افتاد، در مورد اوضاع و احوال داخلی ستارگان دیگر نیز می توان به کار داشت. حقیقت امر آن است که اگر جرم و شعاع (یا درجه حرارت سطحی) و تشعشع کلی يك ستاره را درست داشته باشیم، می توانیم از راه محاسباتی که البته طول و تفصیلی دارد چگالی و درجه حرارت قسمت مرکزی آن را حساب کنیم. از همین

راه است که برای ستارگانی که نامشان را پیش از این بردیم جدول ذیل

انرژی تولید شده با واحد جرم آرگ (گرم \cdot ثانیه)	درجه حرارت مرکزی (صدبخشی)	چگالی مرکزی (نسبت به آب)	جرم (نسبت به خورشید)	ستاره
۰٫۰۱	۱۴×۱۰^۶	۱۴۰	۰٫۱	کروگر ۶۰
۲	۲۰×۱۰^۶	۷۵	۱٫۰	خورشید
۳۰	۲۵×۱۰^۶	۴۱	۲٫۴	شعری
۳۶۰۰	۳۲×۱۰^۶	۶٫۵	۱۷٫۰	۷ دجاجه

تهیه شده، و در این جدول مقدار انرژی به دست آمده از هر گرم ماده ستاره نیز که از روی نورانیت مطلق و جرم آن حساب شده به نظر می رسد.

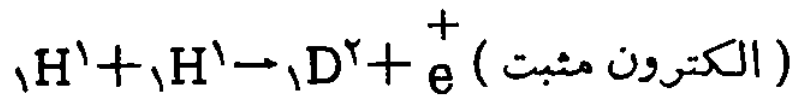
از دو ستون آخر این جدول اثرشکرف درجه حرارت بر تولید انرژی به خوبی آشکار می شود. چون درجه حرارت در داخل کوب فقط از ۲۰ میلیون به ۳۲ میلیون ترقی کند، انرژی حاصل شده به وسیله واحد جرم در ۱۸۰۰ ضرب می شود. ولی این همان چیزی است که در مورد فعل و انفعالات حرارتی هسته انتظار آن را داریم، چه همان گونه که پیش از این دیدیم اندازه این انرژی باقوه بسیار بزرگی از تغییر درجه حرارت بالا می رود.

در فصل گذشته دیدیم که تولید انرژی در خورشید کاملاً نتیجه فعل و انفعال دوری کربون - نیتروژن است که در آن به صورت پیوسته ای نیدروژن موجود در جرم خورشید به هلیوم مبدل می شود. بنابراین طبیعی است که فرض کنیم که فعل و انفعال دوری مشابهی برای تولید انرژی در ستاره های دیگر رشته اصلی نمودار راسل نیز صورت می گیرد. محاسبه نشان می دهد که مقدار انرژی که با فعل و انفعال دوری

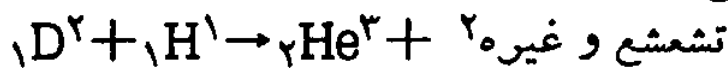
حرارتی هسته با درجه حرارت و چگالی ثبت شده در جدول فوق به دست می آید، بانورانیتهی که از این ستاره ها مشاهده می شود بسیار متناسب است، بنابراین سیاره های هنجاری نیز مانند خورشید با انرژی زیر اتمی آزاد شده در تبدیل ئیدروژن به هلیوم زنده می مانند.

فعل و انفعال رقیبی در ستارگان سبکتر

با وجود این باید دانست که گرچه دوره کربون - نیتروژن برای اغلب ستارگان در رشته اصلی حایز درجه اول اهمیت است، در مورد کواکب نسبتاً سبکتر مانند کروگر ۶۰ ب فعل و انفعال دیگری با آن رقابت می کند. درجه حرارت مرکزی این ستارگان «سرد» به طور نسبی پایین است و پروتونهای حرارتی کند به سختی می توانند در هسته های سنگین موادی چون کربون و نیتروژن نفوذ کنند. در چنین وضعی لازم است امکان وجود فعل و انفعال دیگری در نظر گرفته شود، و آن فعل و انفعالی است که میان خود پروتونها صورت می گیرد و به اثر میانجی هیچ عنصر سنگینی احتیاج ندارد. این فعل و انفعال که نخستین بار به وسیله عالم فیزیک جوان امریکایی به نام چارلز کریچفیلد^۱ مورد مطالعه قرار گرفت، عبارت است از ساخته شدن یک مولکول ئیدروژن سنگین یا دوترون (فصلهای ۲ و ۳ دیده شود) در نتیجه برخورد دو پروتون حرارتی بایکدیگر، که آن را چنین میتوان نوشت:



که معمولاً پس از آن هسته دوتریوم تازه تولید شده به هسته سنگینتر هلیوم مبدل می شود:



۱. Charles Critchfield

۲. مقصود از «غیره» در اینجا اشاره به این نکته است که در دنبال این فعل و انفعال یک رشته فعل و انفعالات دیگر اتفاق می افتد و در نتیجه آنها هلیوم متعارفی ${}^4_2\text{He}$ به دست می آید.

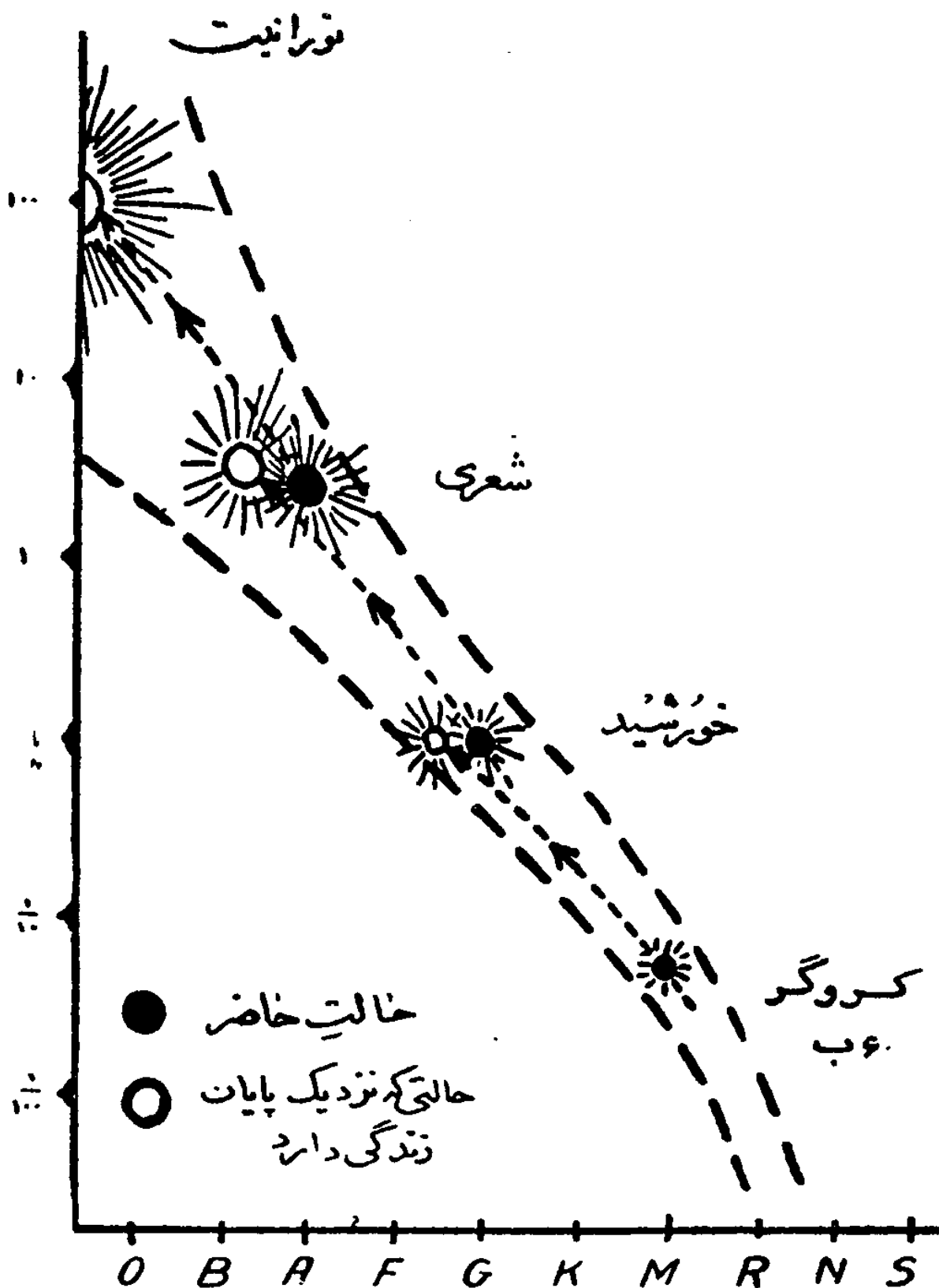
محاسبه صحیح نشان می‌دهد که در درجه حرارتی که تا ۱۵ میلیون درجه تنزل کرده باشد، این فعل و انفعال به اندازه دوره نیتروژن-کربون حایز اهمیت است، و در درجات حرارت کمتر از آن این فعل و انفعال اهمیت درجه اول را پیدا می‌کند. بنابراین برای هر ستاره سبک و ضعیف موجود در رشته اصلی که درجه حرارتی مساوی با ۱۵ میلیون درجه یا کمتر از آن دارد، کیفیت تولید انرژی با آنچه در ستاره های روشنتر مانند خورشید یا شعری اتفاق می‌افتد، کمی تفاوت دارد.

نشو و نما و دوره زندگی ستارگان

در فصل گذشته به این مطلب اشاره کردیم که بنا بر تحقیقات مؤلف در تحولات آینده خورشید این نتیجه شکفت انگیز به دست می‌آید که در آن هنگام که مقدار ئیدروژن خورشید رو به تنزل است درجه حرارت و تشعشع کلی آن رو به ازدیاد می‌گذارد. این مطلب در نمودار راسل چنان مجسم می‌شود که نقطه نماینده خورشید به کندی به طرف بالا و چپ در حرکت باشد و از وضع حاضر خود به تدریج به وضع ستاره داغتر و روشنتری درآید.

نتایج چنین محاسبات را در شکل (۳۶) نمایش داده‌ایم که در آن خط سیر تحول تدریجی خورشید خودمان و دو ستاره دیگر رشته اصلی (یعنی شعری و کروگر ۶۰ ب) دیده می‌شود. چنانکه می‌بینیم خط سیر پیشرفت عمر ستارگان کمابیش بر روی نوار نماینده رشته اصلی ستارگان به طرف بالا می‌رود، و پس از آنکه تشعشع اصلی بر نسبت ۱۰۰ افزایش یافت، منحنی مسیر به خم شدن به طرف نورانیتهای کمتر آغاز می‌کند. به این ترتیب پس از ۱۰ بلیون سال خورشید ما به اندازه درخشندگی فعلی ستاره شعری روشنی پیدا می‌کند، و در آن زمان نورانیت خود شعری به اندازه نورانیت کنونی ستاره U حواء خواهد شد.

ولی معنی این بیان آن نیست که آسمان سال ۹۶۸،۰۰۰،۰۰۱ میلادی خواهد شد، چه در عین آنکه بر نورانیت پاره‌ای از ستاره‌ها افزوده می‌شود، از نورانیت آنها که اکنون در مراحل پیری به سر می‌برند و ئیدروژن خود را تمام و کمال



شکل ۳۶

تغییرات آینده نورانیست و طبقه طیفی سه ستاره بنا بر نظریه نشوونما و تکامل ستارگان.

به مصرف رسانده‌اند کاسته خواهد شد، و چنین ستارگان به صورت مرده و تاریک درخواهند آمد. از این لحاظ مهاجرت ستارگان بر روی نمودار راسل بیشتر شبیه به تغییرات سنی است که در اجتماعات بشری پیش می‌آید، و چنان است که پیوسته جوانان و بالندگان جای پیران و کسانانی را که در شرف مردن هستند می‌گیرند. ولی درست همان‌گونه که در مورد اجتماع بشری ممکن است بر اثر پایین آمدن نسبت موالید تغییرات نسلی یا قرنی در جمعیت ایجاد شود، اجتماع ستارگان نیز ممکن است از اثر عواملی که در تشکیل ستاره‌های نوکارگر می‌شود متأثر گردد. اگر همان‌گونه که بسیار محتمل است (فصل ۱۲ دیده شود) «نسبت تولد ستارگان» با ازدیاد عمر جهان تنزل یابد، می‌توان تصور کرد که شکل کلی آسمان به تدریج که جهان پیرتر می‌شود تغییر پیدا کند.

باید گفت که ستارگانی که جرم‌های مختلف دارند بر روی خط سیر تحول زندگی خویش با سرعت‌های مختلف حرکت می‌کنند. آنها که سنگینتر و بنا بر آن نورانیترند، ئیدروژن خود را سریعتر از ستاره‌های سبکتر مصرف می‌کنند. بنابراین اگر دو ستاره با جرم‌های مختلف در یک زمان آغاز زندگی کرده و مقادیر متساوی ئیدروژن داشته باشند، در آن هنگام که ستاره سنگینتر می‌میرد ستاره سبکتر بر شاخه صعودی زندگی خویش روبه بالا در حرکت است. مثلاً ستاره شعری که سوخت خود را ۱۵ بار سریعتر از خورشید می‌سوزاند ۱۵ بار زودتر از خورشید به پایان زندگی خود نزدیک خواهد شد، و به دشواری می‌توان انتظار داشت که در خشنده‌ترین ستارگان رشته اصلی (یعنی غولهای آبی) عمری بیش از چند میلیون سال پیدا کنند.

تحول ستارگان و ارتباط میان جرم و نورانیت

خواننده‌ای که به دقت آنچه را در این فصل آمده خوانده است، شاید چنین اعتراض کند که: «همان‌گونه که پیش از این اشاره کرده‌اید میان جرم و نورانیت ستارگان مختلف ارتباطی موجود است. ولی اگر در طول مدت نشو و نما ستاره بنا باشد که نورانیت آن در ضریب ۱۰۰ ضرب شود، بایستی ستارگانی بتوان یافت که از حیث جرم برابر ولی

از لحاظ نورانیت مختلف باشند، یا برعکس ستارگان دیگری از حیث جرم مخالف و از لحاظ نورانیت یکسان باشند. آیا به این ترتیب نمی-توان مدعی شد که ارتباط کشف شده از روی تجربه میان جرم و نورانیت که ادینگتون آنرا تقریر کرده، بانظری که درباره تحول ستارگان ابراز شده تناقض دارد؟»

برای فرار از این تصور که ظاهراً جنبه تناقضی در آن مشاهده می شود، بایستی نخست متوجه سرعتی باشیم که هر ستاره با آن از مراحل مختلف پیشرفت و تکامل خویش عبور می کند، چه اگر نتیجه چنان به دست آید که اغلب ستارگان در مرحله مشابهی از تکامل به سر برند، مسئله به آسانی حل خواهد شد. پیش از این دیدیم که ماشین مولد انرژی در داخل ستارگان دارای این خاصیت است که هر وقت سوخت کمتر باشد تندتر می سوزد. پس در عین آن که ستاره در مراحل پایین تکامل حیاتی خود ئیدروژن را کم می سوزاند، چون به مراحل نهایی نزدیک شود مصرف شدن به درجه بیشتری صورت می گیرد. نورانیت عالی که مشخص این مراحل نهایی است طبیعتاً مستلزم آن است که انرژی زیراتومی به مقدار بیشتری آزاد شود و بنابر آن ئیدروژن زیادتری به مصرف برسد. از اینجا نتیجه می شود که هر ستاره مدت زمان درازتری در مراحل ابتدائی به سر می برد و در مراحل نهایی با سرعت نسبتاً بیشتری پیش می رود.

مثلاً محاسبه نشان می دهد که خورشید ما ۹۰ درصد از عمر خود را برای پیمودن قسمت اول مسیر زندگی خود به مصرف خواهد رساند (و در این مدت نورانیت با ضریب ۱۰ بزرگ می شود) و فقط ۱۰ درصد دیگر برای پیمودن باقی مانده مسیر است (که دران نورانیت از ۱۰ به ۱۰۰ می رسد). نتیجه ای که به دست می آید آن است که احتمال یافتن ستاره ای در نخستین مراحل عمر آن بسیار زیادتر از احتمال یافتن آن در مراحل آخر عمر می شود. همین طور در اجتماع نادر و عجیبی که ایام کودکی ۹۰ درصد تمام دوران زندگی را اشغال کند، آنچه می توان انتظار داشت این است که هر چه ببینیم کودک باشد و اجتماع را اجتماعی از کودکان بدانیم. بنابراین تنها عده کمی از ستارگان که برای ساختن منحنی ارتباط میان جرم و نورانیت مورد استفاده قرار می گیرند ممکن

است از مسیر کلی انحراف پیدا کنند، و آنچه واقعاً وجود دارد این است که چنین انحرافی (درجهت نورانیتهای خیلی زیاد) عملاً مشاهده شده است.

دلیل دوم بر این که اغلب ستارگانی که مورد تحقیق قرار گرفته‌اند در مرحله‌ی مشابهی از رشد خود قرار دارند این است که **جهان ستارگان هنوز بسیار جوان است**. خورشید ما ۱۰ بلیون سال دیگر می‌خواهد تا تمام سوخت خود را بسوزاند و به پایان دوره‌ی تکامل ئیدروژنی خود برسد. از طرف دیگر علایم مشخصی در دست است (فصلهای ۱۱ و ۱۲ دیده‌شود) که تمام جهان ستاره‌ای بیش از ۲ بلیون سال نیست که ساخته شده. واضح است که در طول این دوره «کوتاه» ستارگانی که از حیث شدت قابل مقایسه با خورشید ما هستند نمی‌توانسته‌اند به درجه‌ی زیادی از سیر تکاملی خود رسیده باشند. تنها ستارگان درخشنده‌تر که به‌النتیجه زندگی خود را سریع‌تر ادامه می‌دهند و در قسمت فوقانی رشته‌ی اصلی نمودار **راسل** قرار دارند، از زمان تشکیل خود تغییرات عظیمی پیدا کرده‌اند، و فقط در همین ناحیه است که می‌توان انحرافات قابل توجهی در رابطه‌ی میان جرم و نورانیت را عملاً مشاهده کرد.

جوانی و پیری ستارگان

ما تاکنون تنها آن قسمت از سیر تکاملی حیات ستارگان را مورد مطالعه قرار دادیم که در نتیجه‌ی مصرف شدن ئیدروژن در فعل و انفعال هسته‌ای به واسطه‌ی درجات حرارت زیاد صورت می‌گیرد، ولی آیا پیش از آنکه درجه‌ی حرارت داخلی ستاره به ۲۰ میلیون برسد تا فعل و انفعال دوری نیتروژن - کربون بتواند حادث شود، حالت حیاتی ستاره از چه قرار است؟ و آیا پس از آنکه تمام ئیدروژن اصلی آن به مصرف رسید و دیگر انرژی زیر اتمی در آن باقی نماند چه حادثه‌ای پیش خواهد آمد؟ آیا کسی می‌تواند در آسمان ستاره‌هایی را پیدا کند که یادر مراحل کودکی خویش باشند و یا تمام عمر را پشت سر گذاشته و در مراحل کهولت سیر کنند؟

این سؤالات وجود دودسته ستارگان «نابه‌هنجار و غیر متعارفی»

را بیاد می آورد که دستگاه تکامل ئیدروژنی با آنها مناسب در نمی آید،
و چنانکه دیدیم آنها را به نام غولهای سرخ و کوتوله های سفید نامیده اند.
اکنون بهتر است که توجه خود را به این دو دسته که محتمل است نمایندگان
خردسالی و سالخوردگی ستارگان بوده باشند معطوف داریم.

فصل هفتم

غولهای سرخ و جوانی خورشید

بعضی از غولهای سرخ برجسته



دیدیم که ستاره‌های معروف به « غول سرخ » حجم بسیار بزرگ دارند و درجه حرارت سطح آنها کم است. نمونه برجسته‌ای از این طبقه خاص ستارگان را می‌توان در ستاره عیوق (یا α ممسک الاعنة) مشاهده کرد، و به احتمال قوی خوانندگانی که به تماشای آسمان در شب علاقه دارند این ستاره را می‌شناسند. مشاهدات تلسکوپی نشان می‌دهد که عیوق مجموعه مزدوجی است که دو ستاره سازنده آن برگرد یکدیگر دوران می‌کنند.

ستاره ضعیفتر این مجموعه (موسوم به عیوق B) ^۱ یکی از ستاره‌های متعارفی است که در رشته اصلی نمودار راسل جای دارد، ولی ستاره

1. Capella B

درخشانتر و بزرگتر (یا عیوق A) ^۱ در مقایسه با ستارگان دیگر دارای خواصی غیر عادی است. قطر این غول ۱۰ برابر قطر خورشید و تشعشع آن بیش از ۱۰۰ برابر تشعشع خورشید است. در مورد ستاره هنجاری واقع در رشته اصلی که دارای این اندازه نورانیت باشد انتظار ماچنان است که درجه حرارت سطحی بلندی نیز داشته باشد، ولی مشاهدات آسمانی نشان می‌دهد که عیوق A تقریباً در طبقه طیفی خورشید ماقرار دارد، یعنی سرختر از آن اندازه‌ای است که باید باشد.

در شکل (۳۷) که نماینده گوشه طرف راست و بالای نمودار راسل است، مشاهده می‌شود که این ستاره دور از رشته اصلی واقع شده و آن را می‌توان نمونه برجسته‌ای از غولهای سرخ دانست. ^۲ با تخمین جرم آن (از روی حرکت نسبی دو ستاره‌ای که این مجموعه را می‌سازد) معلوم شده است که این جرم تنها ۴ برابر جرم خورشید است، بدانسان که چگالی متوسط ستاره عیوق A به اندازه ۲۵۰ مرتبه کمتر از چگالی خورشید یا ۰.۰۰۵ ر. چگالی آب می‌شود. این چگالیهای پست مشخص غولهای سرخ است و نشان می‌دهد که در این دسته از ستارگان ماده سازنده کوكب بسیار رقیقتر از ماده سازنده ستارگان رشته اصلی است.

يك نمونه برجسته‌تر از غولهای سرخ ستاره دیگری است که آن نیز در همان صورت فلکی که عیوق در آن واقع است قرار دارد. نام این ستاره ۳ ممسك الاعنة K^۳ است که جرمی ۱۵ برابر خورشید دارد ولی قطر آن ۱۶۰ برابر خورشید و بنا بر این چگالی متوسط آن فقط به اندازه ۰.۰۰۰،۰۰۵ ر. چگالی آب است. ^۴ گرچه این ستاره ۵۶

۱. Capella A

۲. ستاره عیوق A کاملاً سرخ نیست بلکه رنگ آن به زردی مایل است. با وجود این باید گفت که این ستاره سرختر از ستاره متعارفی است که همین اندازه نورانیت داشته باشد.

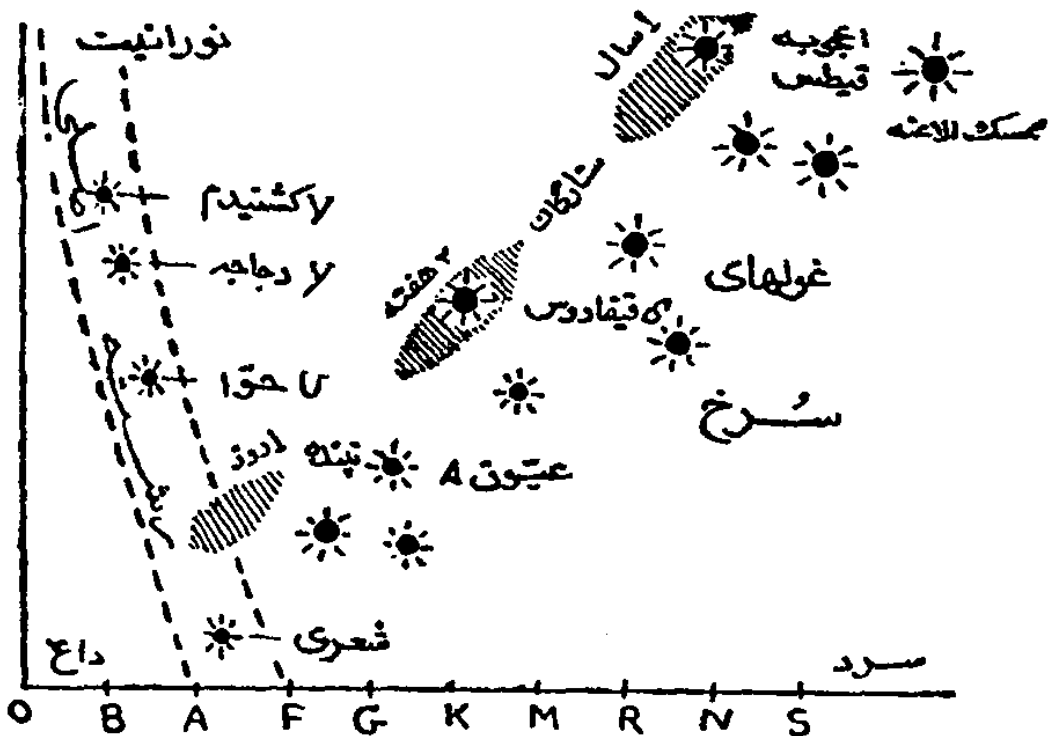
۳. 3Aurigæ K

۴. در قسمت مرکزی این ستاره چگالی به ۰.۰۰۰، ۱۴ ر.

می‌رسد.

پیدایش و مرگ خورشید

بار نورانیتر از عیوق A است، با وجود این متعلق به طبقه طیفی سرد M است و در مقایسه با سایر ستارگان کاملاً سرخ به نظر می‌رسد. ولی جالبترین حالت ستارگان غول سرد به تازگی با رصدی که به وسیله رصدخانه یرکز از ستاره ε ممسک‌الاعنة شده به دست آمده است (باید در نظر داشت که صورت فلکی ممسک‌الاعنة امتیاز خاصی برای غولهای سرخ ندارد، و مؤلف در انتخاب مثالهای خود از این صورت نظر خاصی نداشته است، و این بر حسب تصادف است که نام چند غول سرخ از این صورت فلکی در این کتاب آمده). از این رصد معلوم شده است که این ستاره مجموعه مزدوجی است که یکی از سازنده‌های آن (ε ممسک‌الاعنة I) به اندازه‌ای بزرگ و سرد است که قسمت عمده تشعشعاتی که از آن صادر می‌شود اشعه ماوراء سرخ است و به همین جهت آن را با علامت I که حرف اول کلمه Infrared به معنی ماوراء سرخ است نمایش می‌دهند. در طبقه‌بندی طیفی هاروارد برای ستارگانی که این اندازه



شکل ۳۷

قسمت فوقانی نمودار راسل که در آن وضع غولهای سرخ و ناحیه ستارگان تپنده نموده شده.

ولی باید در نظر داشت که ما تنها از چگالی متوسط سخن می‌گوییم. در هر جرم گازی بانزدیک شدن به مرکز آن چگالی افزایش پیدا می‌کند، و مخصوصاً در مورد غولهای سرخ ثابت شده است که این افزایش چگالی بسیار زیاد است.

درون غولهای سرخ

برای اطلاع یافتن از اوضاع و احوال فیزیکی موجود در داخل غولهای سرخ همان روشی را می‌توانیم به کار ببریم که در مورد خورشید و ستارگان دیگر رشته اصلی به کار می‌بردیم. چون از رصدهای مستقیمی که نسبت به اوضاع سطحی می‌توان به دست آورد قدم به قدم به نواحی عمیقتر ستاره پیش رویم، در پایان کار می‌توانیم درجه حرارت و چگالی و فشار در نواحی مرکزی ستاره را به دست آوریم.

از تحقیقاتی که شده این مطلب به اثبات رسیده است که اگر چه درجه حرارت مرکزی غولهای سرخ از درجه حرارت سطحی آنها بیشتر است، ولی این درجه حرارت از درجه حرارت مرکزی خورشید و ستارگان هنجاری دیگر کمتر است. مثلاً در مورد ستاره ϵ عیوق A درجه حرارت مرکزی ۵ میلیون (در مقابل ۲۰ میلیون خورشید) به دست می‌آید، و برای ζ ممسک الاعنة I این درجه فقط ۱۲ میلیون است. درجه حرارت مرکزی ستاره ζ ممسک الاعنة I به احتمال قوی از یک میلیون هم کمتر است.

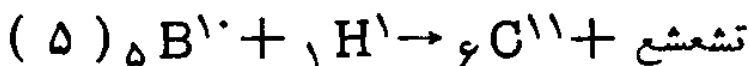
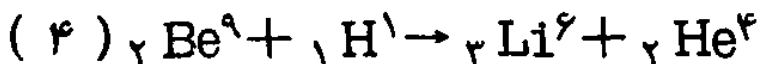
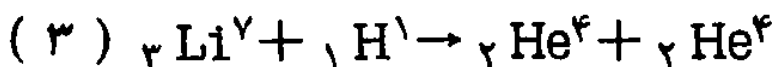
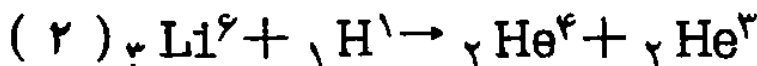
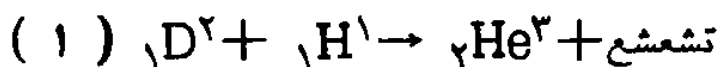
البته با مقایسه به درجات حرارت زمینی درون این ستاره‌ها بسیار داغ و سوزان است، ولی با چنین درجاتی فعل و انفعالاتی حرارتی معدودی در هسته‌ها صورت پذیر است. مخصوصاً فعل و انفعال دوری کربون- نیتروژن **بث** که سرچشمه انرژی خورشید ما و دیگر ستارگان هنجاری است، عملاً در چنین «یخبندان هسته‌ای» متوقف می‌شود و هیچ انرژی از این راه آزاد نخواهد شد. در مورد فعل و انفعال دوترونی **گریچفلد** نیز چنین است.

برای یافتن منابع زیراتومی انرژی که متناسب با چنین ستارگان نسبتاً سرد باشد، باید متوجه تبدلاتی از هسته‌شویم که در درجات حرارت

پستتر ازدو درجه‌ای که در بالا ذکر کردیم می‌تواند صورت بگیرد. این مسئله در سال ۱۹۳۹ به وسیله مؤلف کتاب و همکار وی دکتر ادوارد تلر^۱ در معرض تحقیق قرار گرفت و نتیجه‌ای که به آن رسیدیم برای بیان کیفیت تولید انرژی در غولهای سرخ رضایتبخش است.

فعل و انفعالی‌های عناصر سبک

همان‌گونه که دیدیم فعل و انفعالاتی که به آسانی آغاز می‌شود همانهاست که میان پروتونها و هسته‌های عناصر سبک در سلسله دوری عناصر اتفاق می‌افتد.^۲ شش فعل و انفعالی که پس از این آورده‌ایم فهرست کاملی است از تمام تبدلات هسته‌ای که امکان دارد در عناصر سبکتر از کربون و نیتروژن حادث شود.



با معلوماتی که از فیزیک هسته در اختیار داریم می‌توانیم اندازه و میزان آزاد شدن انرژی را برای هر یک از این فعل و انفعالات حساب کنیم و به این نتیجه برسیم که این فعل و انفعالات سه نوع کاملاً متمایز از یکدیگرند.

نوع اول فعل و انفعال بی‌اندازه سریع است که میان دوترونها و پروتونها صورت می‌گیرد (۱). چون هر دو قسم ذراتی که به کار می‌افتند

۱. Dr. Edward Teller.

۲. البته این فعل و انفعالات شامل فعل و انفعال پروتون-پروتون که مولد دوترون است و از لحاظ کمی احتمال صدور الکترون بالنسبه‌کند صورت می‌گیرد، نمی‌شود.

پیدایش و مرگ خورشید

بار برقی کوچک دارند، در این نوع فعل و انفعال حتی در درجات حرارت پایین مانند یک میلیون درجه انرژی به نسبت زیادی آزاد می‌شود.

نوع دوم شامل فعل و انفعالات کندتر دو همجای هلیوم (۲ و ۳) و فعل و انفعال بریلیوم (۴) و فعل و انفعال همجای سنگینتر بور (۶) می‌شود. درجه حرارتی که برای این نوع فعل و انفعالات لازم است میان ۳ و ۷ میلیون درجه است.

نوع سوم شامل فعل و انفعال کندتر همجای سبک بور است (۵) که درجه حرارتی کمی خفیفتر از درجه حرارت مرکزی ستارگان رشته اصلی لازم دارد. میزان و نسبت ایجاد انرژی در این حالت ازان جهت کم است که در این نوع فعل و انفعال اشعه γ خارج می‌شود، و این خود از احتمال تولید انرژی می‌کاهد. این مسئله به خوبی شناخته شده که احتمال صادر شدن اشعه γ میلیونها بار کمتر از پرتاب شدن یک پاره هسته‌ای است، به طوری که اگر بخواهند در این نوع فعل و انفعال میزان و اندازه تولید انرژی را به صورت قابل ملاحظه‌ای در آورند لازم است که عمل بمباران را با افزودن درجه حرارت شدیدتر کنند.^۱

موجود نبودن عناصر سبک در خورشید

از آنجا که آزاد شدن انرژی به وسیله سه نوع فعل و انفعالی که ذکر کردیم در درجات حرارت نسبتاً کم آغاز می‌شود، ممکن است چنین توقع داشته باشیم که در درجه حرارت مرکزی خورشید (۲۰ میلیون درجه) انرژی به میزان و نسبت شگرفی خارج شود. البته با

۱. خواننده ممکن است به این نکته توجه کرده باشد که در نخستین فعل و انفعال فهرست ما (D-H) نیز اشعه γ حاصل می‌شود و با وجود این از همه فعل و انفعالات دیگر سریعتر است. علت آن است که در این حالت رخنه پذیری فراوان حصار هسته که نتیجه کمی بارهای برقی است، این صادر شدن اشعه γ را جبران می‌کند. اگر فعل و انفعال D-H می‌توانست بدون تولید تشعشع صورت بگیرد احتمال وقوع آن میلیونها بار بیش از آن چیزی می‌شد که فعلاً وجود دارد.

جورج ساموف

چنین درجه حرارتی در قسمت مرکزی خورشید، اگر مقادیر قابل ملاحظه‌ای از این گونه عناصر سبک وجود می‌داشت، آزاد شدن انرژی ناچار سبب انفجار جرم خورشید می‌شد. بنابراین باید چنین نتیجه گرفت که این عناصر «خطرناک» در داخل خورشید وجود ندارد، و اگر در دوره‌های نخستین تکامل آن چنین عناصری در خورشید وجود داشته در همان زمانهای بی‌اندازه دور که درجه حرارت مرکزی خورشید از درجه حرارت فعلی بسیار کمتر بوده، این عناصر به مصرف رسیده است.

با وجود این تجزیه و تحلیل طیف خورشید ظاهراً چنان نشان می‌دهد که مقدار کمی لیتیوم و بریلیوم و حتی بور هنوز در جو خورشید وجود دارد. وجود این عناصر در زمین خود دلیل آن است که در آن هنگام که سیاره ما از جرم اصلی خود جدا شده لاقط در قشر خارجی خورشید چنین عناصری وجود داشته‌است. ولی حتی بر روی زمین هم این عناصر بسیار کمیاب است (همان‌گونه که در شکل ۳۹ می‌توان دید)، و این خود مؤید آن است که این عناصر در اوایل تاریخ پیدایش جهان از میان رفته‌اند.

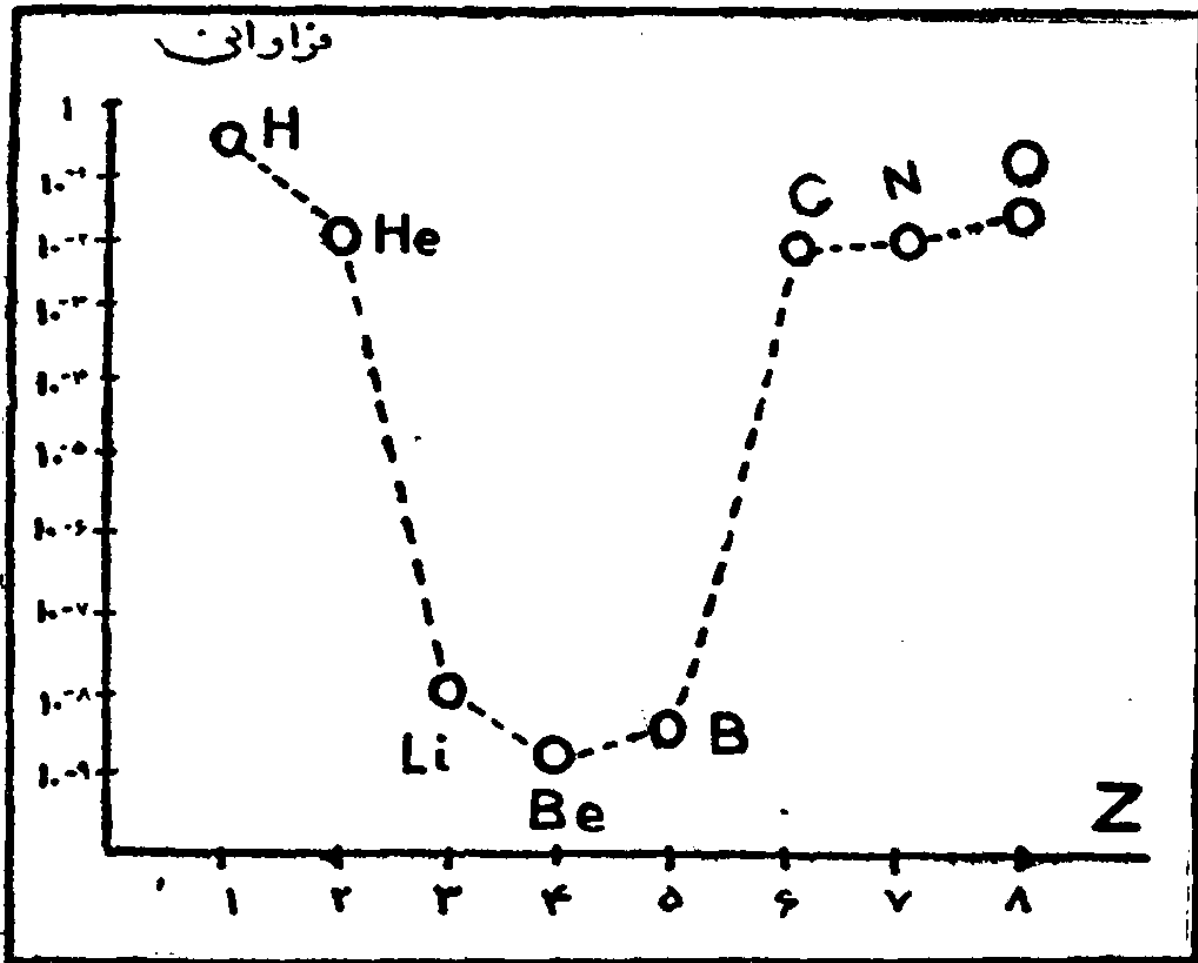
اختلافی که میان ترکیب شیمیایی قسمت داخلی و قشر خارجی خورشید ما و سایر ستارگان وجود دارد، برای بحث و تحقیق در منشأ عناصر شیمیایی و همچنین در مورد رسیدگی به مسائل مربوط به مراحل ابتدایی نشو و نماي جهان بسیار سودمند واقع می‌شود.

فعل و انفعالات عناصر سبک در غولهای سرخ

اکنون به مسئله اصلی مورد بحث خود یعنی منشأ انرژی‌غولهای سرخ باز می‌گردیم. پیش از این دیدیم که فعل و انفعالات میان‌ثیدروژن و عناصر سبک دیگر در درجات حرارت میان یک میلیون و ۲۰ میلیون صورت می‌گیرد، و این حدود حرارت همان حدود درجات حرارت مرکزی ستارگان مختلفی است که به نام غول سرخ نامیده می‌شوند.

بنابراین طبیعتاً چنین نتیجه می‌گیریم که این ستارگان هنوز در حال «سوزاندن» ذخیره خود از عناصر سبکی هستند که در خورشید

پیدایش و مرگ خورشید



شکل ۳۹

تصویر نماینده فراوانی نسبی عناصر سبک در عالم که ازان رو معلوم می‌شود لیتیوم و بریلیوم و بور به مقدار کم وجود دارد. از تحقیقی که نسبت به احجار آسمانی و جو اطراف ستارگان به عمل آمده نیز چنین منحنی پیدا شده است.

ما مدت‌ها پیش تمام شده است. محاسبه نشان می‌دهد که اگر کسر چند درصد کوچکی ازان عناصر در قسمت مرکزی غولهای سرخ موجود باشد، برای تولید انرژی که از راه تشعشع آنها ظاهر می‌شود کفایت می‌کند.

و چون درجات حرارت مرکزی این ستارگان حدود وسیعی دارد، بایستی برای هر حالت خاص فعل و انفعال مخصوصی را مسئول تولید انرژی دانست. مثلاً سردترین غولهای سرخ مانند ε ممسک الاعنة

جورج ساموف

I و همسایگان آن در نمودار راسل منحصراً از دولت سر فعل وانفعال دوتریوم - نیتروژن زندگی می‌کنند، و ذخیره لیتیوم و بریلیوم و بور آنها هنوز دست نخورده است. از طرف دیگر ستارگانی مانند عیوق A و E ممسك الاعنة ظاهراً ذخیره دوتریوم خود را تمام کرده‌اند و اکنون مشغول مصرف کردن باقی عناصر سبکی که ذکر شد می‌باشند؛ و بالاخره آن دسته از غولهای سرخ که در نزدیکی رشته اصلی ستارگان در نمودار راسل واقعند، برای تولید انرژی همجای بور B^{10} را مصرف می‌کنند و آماده آن هستند که به محض آنکه سوخت هسته‌ای سبک آنها تمام شود به جرگه ستاره‌های هنجاری در آیند.

در شکل (۴۰) به صورت نظری قسمتهای مختلف نمودار راسل را بر حسب نوع خاصی از فعل وانفعال هسته‌ای که در آنها بیشتر اهمیت دارد نمایش داده‌ایم. چنانکه می‌بینیم در عین آنکه در رشته اصلی به استثنای قسمت تحتانی آن تنها یک نوع معین از تولید انرژی در کار است (دوره کربون - نیتروژن)، ناحیه غولهای سرخ مشتمل است بر انواع گوناگون ستارگانی که سوخته‌های متفاوتی در دوره‌های خود می‌سوزانند. قسمتهایی که نماینده فعل وانفعالات مختلف مربوط به عناصر سبک است ممکن است غالباً یکدیگر را بیوشانند، به طوری که در بعضی از ستارگان دو یا چند نوع عنصر به طور متساوی در تولید انرژی حایز اهمیت باشد.

تکامل غولهای سرخ

فعل و انفعالات عناصر سبک که سبب تولید انرژی در غولهای سرخ می‌شود، از یک لحاظ با فعل و انفعالی که در خورشید صورت می‌گیرد اختلاف اساسی دارد. عوامل این فعل وانفعالات دارای آن خاصیت « ققنسوشی » دوره کربون - نیتروژن نیستند که دوباره زنده شوند و دور خود را از سرگیرند، بلکه هسته‌ای که در اینجا وارد کار می‌شود هرگز به صورت اول خود باز نخواهد گشت. در آنجا هسته‌های کربون و

در رشته اصلی صرف می‌کند، و تمام مدتی که در مراحل مختلف «کودکی ستاره» می‌گذرد تنها کسر کوچکی از دوران عمر آن است.

اکنون می‌توانیم تصویری کلی در باره مراحل نخستین تکامل ستارگان پیدا کنیم، که نشو و نماي گذشته خورشید نیز عنوان حالت خاصی از این صورت کلی را دارد. مطابق این تصور، هر ستاره در آغاز زندگی خود به صورت کره غول آسای گازی رقیق و سردی است که از مخلوطی از عناصر مختلف شیمیایی تشکیل شده است. جاذبه ثقلی موجود میان قسمت‌های مختلف این کره گازی سبب آن می‌شود که رفته رفته منقبض شود و درجه حرارت مرکزی آن بالا رود. به محض آنکه درجه حرارت مرکزی به حدود یک ملیون برسد، نخستین فعل و انفعال هسته‌ای - یعنی فعل و انفعال میان دوتریوم و ئیدروژن - در قسمت درونی ستاره آغاز می‌شود. انرژی زیر اتمی آزاد شده از انقباض جدید کره جلو می‌گیرد، و تا مدتی که آن اندازه دوتریوم موجود باشد که این فعل و انفعال بتواند ادامه پیدا کند، ستاره حالت کمابیش ثابت و پایداری پیدا می‌کند.

ولی به محض آنکه دوتریوم به قدری کم شود که نتواند انرژی کافی برای تشعشع ایجاد کند، دوباره عمل انقباض ستاره آغاز می‌گردد. پس از این، عمل انقباض کوکب پیش می‌رود تا به حدی که حرارت حاصل شده از آن برای به راه افتادن فعل و انفعال میان ئیدروژن و لیتیوم کفایت کند؛ و چون چنین شد عمل انقباض بار دیگر متوقف می‌گردد.

به این ترتیب با انتقال از فعل و انفعالی به فعل و انفعال دیگر درجه حرارت مرکزی ستاره و نورانیت آن پیوسته افزایش می‌یابد، و از حالت غول سرخی به حالت رشته اصلی نزدیک می‌شود، و در این حالت اخیر است که عمل میانجی کربون و نیتروژن در فعل و انفعال

۱. ازان جهت که حالت مربوط به رشته اصلی آن اندازه طول می‌کشد که ئیدروژن وجود دارد، و چنانکه معلوم است ئیدروژن قسمت مهمی (۳۵ درصد) از جرم ستارگان را می‌سازد.

صورت می‌گیرد. و چون مقدار اصلی عناصر سبک در جسم ستاره‌ها بیش از کسر يك درصد جرم هر ستاره نیست، بامصرف شدن و « سوختن » کامل این عناصر در تمام دوران غول سرخی تنها مقدار مختصری از ئیدروژن کوکب کم می‌شود. در آن هنگام که ستاره وارد رشته اصلی شد و حرارت مرکزی آن به حدی رسید که دوره کربون- نیتروژن به راه افتاد، مصرف شدن ئیدروژن به صورت مداوم آن اندازه ادامه پیدا می‌کند تا آخرین اتوم ئیدروژن نابود شود. از این به بعد انقباض آخری پیش می‌آید و به این ترتیب ستاره می‌میرد.

این سه مرحله مختلف سیر تکاملی توسط مؤلف برای دو ستاره حساب شده و آنها را بر روی شکل (۴۰) نمایش داده‌ایم. منحنی فوقانی مربوط است به ستاره عیوق A که در زمان حاضر در حالت غول سرخی به سر می‌برد. چنانکه در آن شکل دیده می‌شود هنگامی که این ستاره وارد رشته اصلی شود، نورانیت آن چندین برابر نورانیت کنونی خواهد شد، و پس از آن به صورت یکی از ستاره‌های بسیار روشن آسمان در خواهد آمد. منحنی زیرین متعلق به خورشید خود ما است، و نشان می‌دهد که این ستاره بایستی در دوران گذشته خود به صورت غول سرخ کوچکی بسیار کم نور تر از آنچه اکنون هست بوده باشد. ستارگانی که در مراحل نخستین زندگی خود از مرحله نخستین خورشید کوچکتر باشند، به اندازه‌ای نورانیت و درجه حرارت سطحی آنها کم است که عملاً غیر قابل رؤیت خواهند بود.

ستاره‌های تپنده^۱

از روی رصدهای قدیمی معلوم شده است که نورانیت پاره‌ای از ستارگان ثابت نیست، بلکه در فواصل منظم زمانی کم و زیاد می‌شود. در بسیاری از حالات توضیح علت این تغییر نورانیت به این ترتیب می‌شود که این ستاره‌ها عملاً مزدوج هستند و دو کوکب سازنده این مجموعه در سطحی متوازی با امتداد رؤیت ما قرار دارند. واضح است که در چنین

1 . Pulsating Stars

جورج گاموف

حالتی یکی از دو کوکب مجموعه گاه به گاه در مقابل دیگری واقع می-شود و این کسوفهای مکرر جزئی کوکبی که پنهان می شود سبب کاهش شدت نور می گردد.

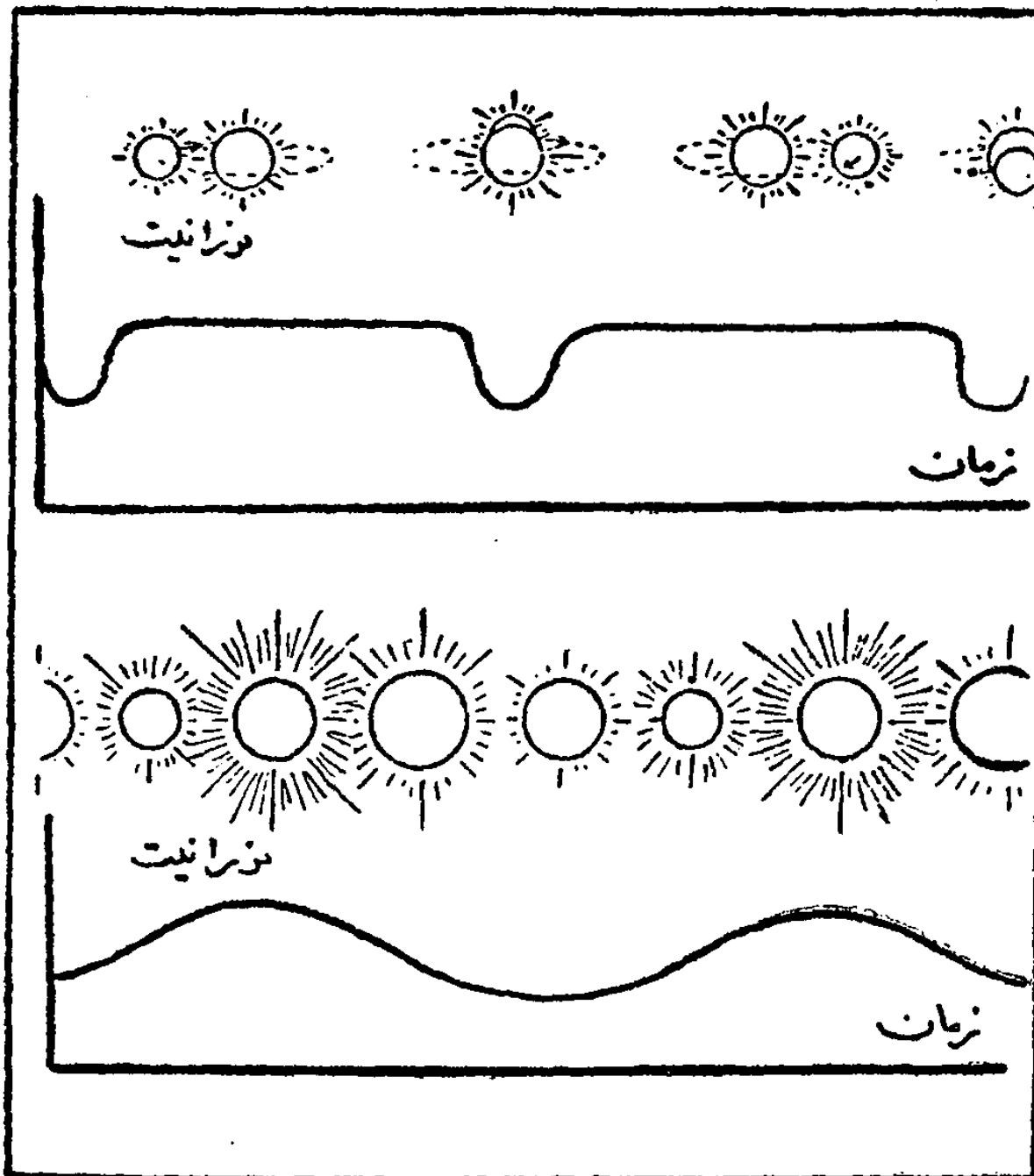
در قسمت فوقانی شکل (۴۱) تصویر نظری این متغیر کسوفی و همچنین تغییرات نوری را که از روی هم افتادن دو کوکب مشهود می-شود رسم کرده ایم. منحنی تغییر نورانیت بر حسب زمان شکل مشخصی دارد و نشان می دهد که چگونه نورانیت ثابت به صورت متناوب با یک حداقل کمابیش برجسته قطع می شود.

ولی مشاهده دقیق آسمان نشان می دهد که ستاره های متغیر دیگری نیز موجود است که با این فرض ساده نمی توان علت تغییر نورانیت آنها را بیان کرد. در این دسته ستارگان که معمولاً به نام « متغیرهای قیفاووسی » نامیده می شوند (از آن جهت که اولین نمونه تحقیق شده آنها کوکبی در صورت فلکی قیفاووس بوده است)، تغییر نورانیت بسیار ملایم و منظم صورت می گیرد، بدان سان که این تغییر را می توان با یک منحنی جیبی معمولی به خوبی نمایش داد (نیمه زیرین شکل ۴۱). خصوصیت شبه آونگی و آهنگدار نوسانات نور در این دسته از ستارگان این فکر را ایجاد کرده است که بایستی قطر چنین کواکب میان حداًلی و حداًسغلی حالت ضربان و تپش منظمی داشته باشد و کم و زیاد شود. مشاهده اثر دوپلر^۱ در خطوط طیفی متغیرهای قیفاووسی عملاً ثابت کرده است که این ستارگان به اصطلاح «نفس می زنند» یعنی قشرهای

۱. اثر دوپلر که پیش از این هم به آن اشاره شد، مربوط است به این که رنگ نوری که از منبع روشنی صادر می شود بر حسب اینکه آن منبع نسبت به شخص بیننده در حرکت باشد تغییر پیدا می کند. در منبع نوری که از بیننده دور شود تمام خطوط طیف به طرف ناحیه قرمز منتقل می شود، و در منبعی که به شخص بیننده نزدیک می شود انتقال خطوط به طرف ناحیه بنفش است. به این ترتیب با مقایسه طیف سطح کوکبی با طیف منبع نورانی زمین می توان انتقال متناوب خطوط طیف ستاره را در صورتی که به ما نزدیک و یا از ما دور شود کشف کرد.

پیدایش و مرگ خورشید

سطحی آنها به شکل منظم و متناوب بالا و پایین می‌رود.
توجه به این مطلب کمال اهمیت را دارد که در مجموعه‌های متغیر
کسوفی غالباً کواکب سازنده مجموعه از دسته ستارگان متعلق به رشته



شکل ۴۱

ستاره‌های متغیر کسوفی و تپنده و منحنیهای تغییر نورانیّت مربوط
به هر یک.

جورج گاموف

اصلی هستند، در صورتی که نمود ضربان انحصاراً در میان غولهای سرخ قابل مشاهده است. ستاره‌های تپنده (یا ضرباندار) گروه مشخصی را می‌سازند و در نمودار **راسل** نوار باریکی را (شکل ۳۷ دیده‌شود) در قسمت فوقانی ناحیه‌ای که معمولاً محل قرار گرفتن ستاره‌های سرد و رقیق است اشغال می‌کنند.

نظریهٔ مربوط به ستاره‌های تپنده

نظریهٔ ریاضی مربوط به ضربان کرهٔ گازی نخستین بار به وسیلهٔ **ادینگتون** بیان شده است، و به وسیلهٔ این نظریه ارتباط میان دورهٔ ضربان متغیر قیفاووسی از یک طرف و بزرگی هندسی و جرم ستاره از طرف دیگر آشکار می‌شود. قانون تپش ستاره‌ها کاملاً با قانونی که بر نوسانات آهنکدار پیانو یا ویولون حکومت می‌کند شباهت دارد. در این آلات موسیقی ارتفاع صوت (یا عدهٔ نوسانات) اصولاً وابسته به درازی و همچنین جرم (کلفتی و نازکی) تار است که مرتعش می‌شود. تار درازتر صوتی می‌دهد که از صوت تار کوتاه‌تر بم‌تر است، و اگر دو تار دارای یک طول باشند آنکه سنگین‌تر (کلفت‌تر) است صوت بم‌تری خواهد داشت. دورهٔ ضربان و تپش ستاره‌های گازی نیز به وجه مشابهی با ازدیاد حجم و جرم آنها کوتاه‌تر می‌شود.

از نظریهٔ ادینگتون چنان برمی‌آید که دورهٔ ضربان درست باریشهٔ دوم چکالی متوسط نسبت معکوس دارد، بدانسان که هر چه جرم ستاره رقیق‌تر باشد ضربان آن کندتر می‌شود. و چون معلوم شده است که در خانوادهٔ غولهای سرخ چکالی متوسط باز یاد شدن جرم و نورانیت تنزل می‌کند، چنان نتیجه می‌گیریم که **ستاره‌های سنگین‌تر و درخشان‌تر باید دورهٔ ضربان طولانی‌تری داشته باشند**. این رابطه که نخستین بار به وسیلهٔ **ه. شاپلی** منجم هاروارد بنا بر معلومات رصدی مقرر گردید، در علم نجوم اهمیت فراوان دارد. در شکل (۳۷) دورهٔ ضربان وابسته به قسمت‌های مختلف ناحیهٔ غولهای سرخ در نمودار **راسل** را نشان داده‌ایم؛ این مدت ضربان از چند ساعت تا چند سال بر حسب ستارگان

1. H. Shapley

مختلف تغییر می‌کند.

سه گروه ستارهٔ تپنده

تحقیق مفصلتر دربارهٔ عدهٔ زیادی از ستاره‌های زننده به این نتیجه رسیده است که همهٔ اندازه‌های مختلف دورهٔ ضربان به یک نسبت و فراوانی دیده نمی‌شود، و این‌گونه ستاره‌ها را از روی دورهٔ ضربانشان می‌توان به سه گروه تقسیم کرد. گروه اول را به نام **متغیرهای کوتاه مدت** می‌نامند که دورهٔ نوسان نورانیت در آنها میان شش ساعت و یک روز است. ستارگان معدودی نیز هستند که دورهٔ ضربانشان میان یک روز و یک هفته است، ولی عدهٔ بیشتر آنها است که برای یک ضربان کامل مدتی وقت میان یک تا سه هفته صرف می‌کنند. این گروه دوم مشتمل است بر خود ستارهٔ معروف δ قیفاووس، و ستارگانی که در این گروه قرار می‌گیرند و معمولاً به نام **قیفاووسیهای متعارفی** (یا هنجاری) نامیده می‌شوند. گروه سوم عدهٔ کثیری از ستاره‌های زننده را شامل می‌شود که دورهٔ ضربان آنها در حوالی یکسال است. این متغیرهای دراز مدت را به نام متغیرهای **عجوبهٔ قیطسی** یا **میراستی**^۱ می‌نامند و این به مناسبت اسم ستارهٔ **میراستی** (میرا یعنی شکفت انگیز) است که در صورت فلکی قیطس قرار دارد و نمایندهٔ این گروه به شمار می‌رود.

در شکل (۳۷) وضع این سه گروه را بر نمودار راسل با خطوط سایه‌دار نمایش داده‌ایم. توضیح دربارهٔ این گروه‌بندی ستارگان تپنده به سه گروه متمایز از یکدیگر برشالودهٔ نظریهٔ مربوط به تولید انرژی در غولهای سرخ است که در فصل گذشته به اطلاع خواننده رساندیم. در آنجا دیدیم که سه نوح مشخص فعل و انفعال هسته‌ای مسئول تولید انرژی در این دسته از ستارگان است، و بنابراین طبیعی است که این سه گروه را **متناظر با سه شکل مختلف تولید انرژی فرض کنیم**.

اگر ناحیه‌ای را که در شکل (۳۷) با این سه گروه ستارگان تپنده اشغال شده باشد شکل (۴۰) مقایسه کنیم که در آن وضع ستاره‌ها را در مراحل

1. Mira Ceti

مختلف زندگی و فعل و انفعالات هسته‌ای نشان داده‌ایم، بیدرنگ متوجه خواهیم شد که ارتباطی که بین دو کیفیت در اینجا پیشنهاد شده کاملاً درست است. در واقع دوره تغییر دراز مدت مخصوص ستارگانی است که انرژی خود را از فعل و انفعال دو ترون-پروتون به دست می‌آورند، و متغیرهای قیفاووسی لیتیوم و بریلیوم و بورسنگین «می‌سوزانند» و متغیرهای کوتاه مدت انحصاراً با هم‌جای سبکتر بور زندگی می‌کنند.

به این ترتیب است که ضربان مشاهده شده در غولهای فلکی را می‌توان با توالی عناصر در دستگاه تناوبی عناصر دارای ارتباطی مستقیم و ساده دانست.

علت تپش

چرا ستاره‌ها می‌تپند و مخصوصاً چرا این خاصیت تپش و ضربان تنها در ناحیه باریکی از نمودار راسل دیده می‌شود؛ البته علل زیادی می‌تواند سبب شود که ستاره گازی از حالت تعادل خارج شود. گذشتن دو ستاره از نزدیک یکدیگر یا انفجار تصادفی کوچکی در داخل کوکب ممکن است به آسانی سبب چنین امری بشود. ولی اگر علت این باشد در آن صورت باید ضربان یک نمود تصادفی شود و به یک طبقه خاص از ستارگان در نمودار راسل منحصر نماند. کوچکی ناحیه‌ای که ستارگان زنده را شامل می‌شود دلیل بر آن است که در اینجا سر و کار ما با شرایط خاصی است که تنها یک بار در تمام دوران تکامل حیاتی هر کوکب حادث می‌شود.

هنوز خصوصیات و شرح شرایطی که با وجود آنها ناپایداری این اجسام غول‌آسای فلکی حاصل می‌شود معلوم نیست، ولی بنا به فرضیه‌ای که به وسیله مؤلف طرح شده ضربان ستاره نتیجه تصادمی است که میان نیروهای مولد انرژی هسته‌ای و نیروهای مولد انرژی ثقلی در مرکز آن ستاره صورت می‌گیرد. این مطلب را می‌توان اثبات کرد که آن ناحیه از نمودار راسل که به وسیله ستارگان تپنده اشغال شده، دارای این خصوصیت است که مقدار انرژی آزاد شده در فعل و انفعالات حرارتی هسته و مقدار انرژی آزاد شده در نتیجه انقباض ثقلی

پیدایش و مرگ خورشید

جرم کوکب تقریباً از لحاظ اندازه بایکدیگر برابر است . بنابراین می‌توان گفت که در این حالت ستارگان «نمی‌دانند از دو راه تولید انرژی انتخاب کدام يك بهتر است و میان این دوامکان حالت نوسانی دارند.» ولی این نظریه جالب توجه هنوز محتاج آن است که از راههای دیگری تأیید شود ، و پیش از آنکه محاسبات دراز و ملالآوری صورت گرفته باشد نمی‌تواند به‌عنوان نظریه قطعی مورد قبول واقع شود.

فصل هشتم

گو توله‌های سفید و احتضار خورشید

پایان سیر تکاملی ستارگان



در فصل‌های گذشته دیدیم که در آینده بسیار دور و در آن هنگام که همه منابع انرژی زیر اتمی خورشید به مصرف رسیده باشد، این نیر فلکی به آخرین انقباض خود شروع خواهد کرد. انرژی ثقیلی که در ضمن این عمل تولید خواهد شد تا مدتی خورشید را گرم و درخشان نگاه خواهد داشت، ولی به تدریج که کار انقباض به پایان خود می‌رسد شدت تشعشعات خورشید نیز رو به کاهش خواهد رفت، و پس از یک مدت طولانی دیگری خورشید ما به صورت یک پارچه ماده بیجانی در خواهد آمد که یخهای ابدی آن را می‌پوشاند و منظومه یخ‌بسته سیارات گرداگرد آن قرار دارند.

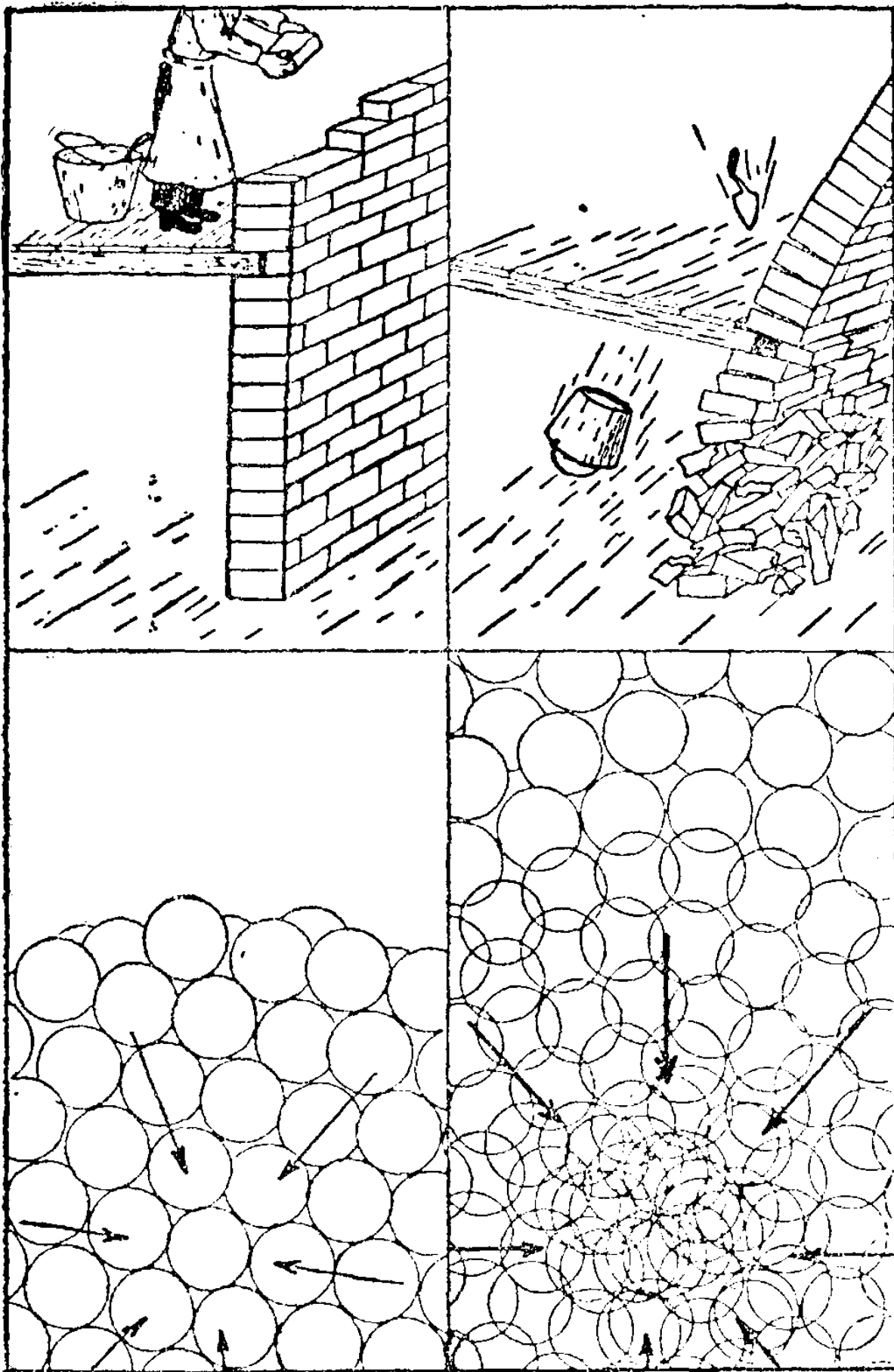
هنگامی که از «خورشید مرده» سخن به میان می‌آوریم، به قیاس چنان می‌پنداریم که خورشید در آن زمان به صورت یک کره سنگی شبیه

سیاره خود ما خواهد شد، منتهی حجم آن بسیار بیشتر از زمین خواهد بود. و بازچنان تخیل می‌کنیم که قشر سنگی خارجی خورشید از سنگهای خارا و بازالتی است که علمای زمینشناسی خوب آنها را می‌شناسند، و سمت مرکزی آن حالت گداخته‌ای دارد که تامت‌ها پس از تشکیل قشر جامد خارجی خورشید این هسته گداخته مرکزی به همان حال باقی خواهد ماند. ولی درست به همان علت چندین بار بزرگتر بودن خورشید از زمین باید گفت که این مقایسه و تشبیه درست نیست، چه اطلاعاتی که هم اکنون از خواص ماده داریم نشان می‌دهد که قسمت مرکزی خورشید در حالی خواهد بود که با قسمت مرکزی زمین و سیارات دیگر تفاوت فراوان دارد.

فروریختن ماده

برای آنکه بفهمیم چه علت‌های فیزیکی مانع آن است که چنین «خورشید خارایی» تشکیل شود بهتر آن است که مثالی بزنیم. فرض کنید مهندس دیوانه‌ای مشغول ساختن خانه‌ای باشد که عده طبقات آن نامحدود است. به تدریج که ساختمان بالاتر می‌رود، این مهندس مصالح بنایی تازه‌ای به بالای آن می‌فرستد و طبقه تازه‌ای روی طبقات فوقانی می‌سازد. حتی بر کسانی هم که با اصول مهندسی ساختمان آشنایی ندارند این حقیقت مسلم است که چنین ساختمانی دیر یا زود سبب فاجعه‌ای خواهد شد. دیوارهای زیرین در تحت فشار طبقه‌های فوقانی در خواهد رفت و همه ساختمان به صورت توده‌ای فرو می‌ریزد که ارتفاع آن حتی از ارتفاع نخستین طبقه عمارت هم کمتر خواهد بود. اگر مهندس ما حدی را برای مقاومت مصالح ساختمانی در نظر نگیرد و به ساختمان خود ادامه دهد، به محض آنکه فشار بر دیوارهای عمارت از این حد تجاوز کند ساختمان فرو می‌ریزد و منهدم می‌شود.

در مورد اجرام غولپیکر فلکی که از ماده جامد ساخته شده باشند نیز چنین اشکالاتی پیش می‌آید. وزن قشرهای خارجی چنین اجرام فلکی فشار شکر فی را در نواحی مرکزی آنها ایجاد می‌کند و باید امکان این امر را در نظر بگیریم که اگر فشار از حدی تجاوز کند مقاومت ماده درهم



شکل ۴۲

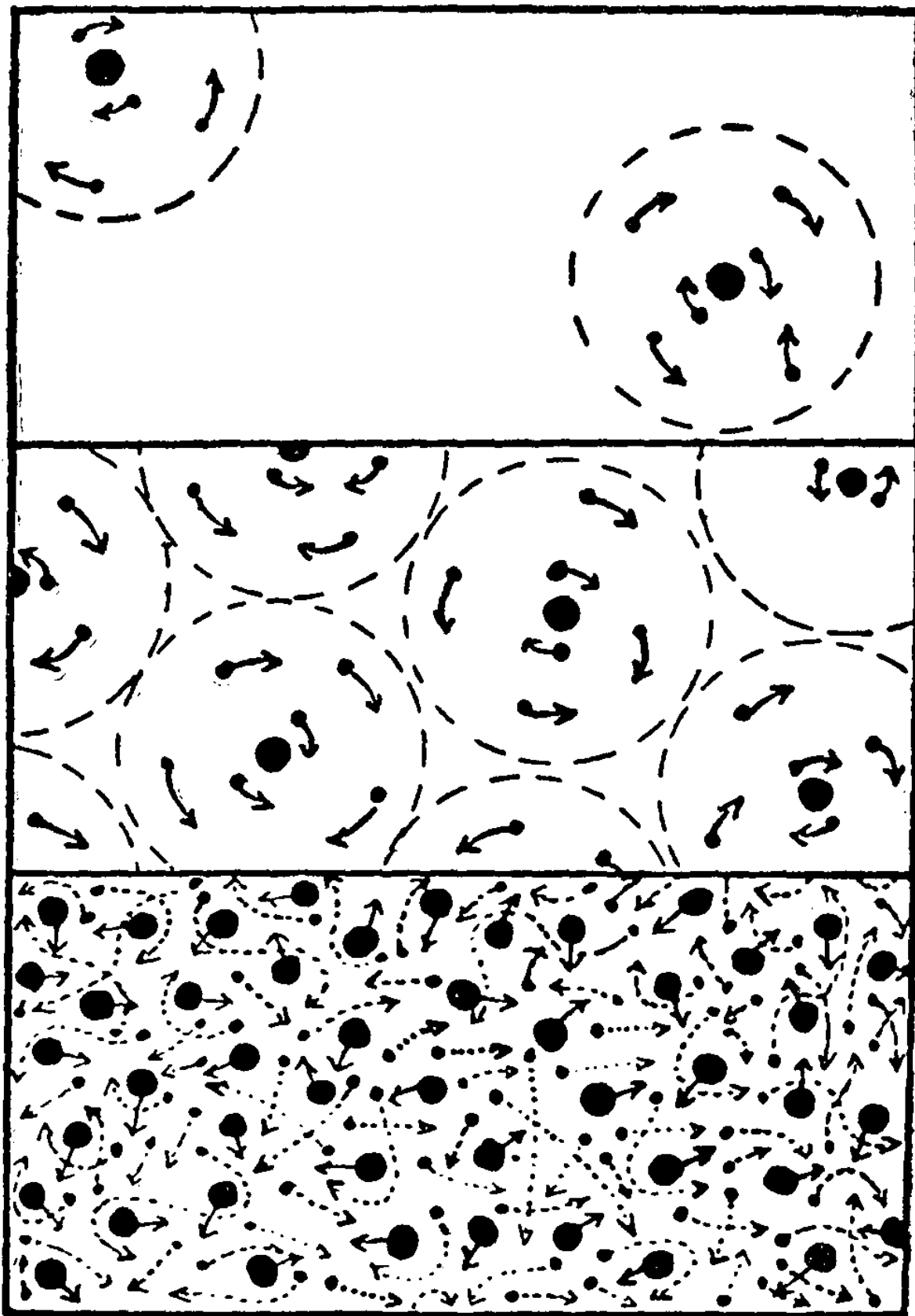
فروریختن آجرها و اتومها در تحت تأثیر فشارهای بسیار زیاد.

خواهد شکست. همین مسئله است که ابعاد هندسی ستاره‌های سرد را محدود به حدودی می‌سازد که چون ازان حد تجاوز شود فرو ریختنی شبیه فرو ریختن يك ساختمان صورت خواهد گرفت (شکل ۴۲).

ممکن است خواننده‌ای چنین بگوید که: «این دو حالت با یکدیگر شباهتی ندارد. در مورد ساختمان که فشار از فوق به تحت زیاد می‌شود دیوارها به اطراف خود می‌ریزند ولی در مورد کرات فلکی ماده‌ای که در قسمت مرکزی قرار گرفته از همه سو فشار می‌بیند و چنانکه آشکار است طرفی وجود ندارد که ویرانی و فرو ریختن از آن طرف صورت پذیر شود.»

این مطلب کاملاً درست است، ولی باید گفت که يك جهت برای فرو ریختن وجود دارد که از نظر خواننده پوشیده مانده است. نباید فراموش کنیم که ماده از عده زیادی اتومهای مجزی از یکدیگر ساخته شده، و حالت جامد ماده نماینده صورتی است که با آن صورت اتومها نزدیکتر به یکدیگر بسته بندی شده‌اند. ولی این را نیز می‌دانیم که اتومها کره‌های صلبی بدان گونه که **دمو گریتوس** آنها را تصور می‌کرده نیستند، بلکه منظومه‌هایی هستند که از قشرهای الکترونی محیط بر هسته تشکیل شده. در تحت اثر فشارهای متعارفی نیروهایی که میان قسمت‌های مختلف سازنده اتوم وجود دارد با کمال سرسختی مانع آن است که اتومی بتواند در اتوم همسایه خود فرو رود و به همین جهت است که تفاوت فشار نمی‌تواند عملاً تغییری در چگالی جسم جامد ایجاد کند. ولی هر مقاومت حدی دارد، و اگر فشار از حدودی تجاوز کند که البته این حد با اتومهای مختلف تفاوت مختصری پیدا می‌کند. زره‌های الکترونی هسته پاره و **اتوم کو بیده می‌شود**، و درست حال تخم مرغهایی را پیدا می‌کند که در ته زنبیلی قرار دارند و سنگینی آن زنبیل از حدود متعارفی خارج است.

در این صورت الکترونهای متعلق به يك اتوم وارد الکترونهای اتوم دیگر می‌شود و دیگر سخن از منظومه الکترونی اتومها مفهومی نخواهد داشت. به جای آنکه قشرهای الکترونی منظم بر محیط هسته وجود داشته باشد، «اتوم کوفته» ما مخلوط عجیبی از هسته‌های برهنه و



شکل ۴۳
حالت‌های گازی و جامد (یامایع) و کوفته ماده.

الکترونهاى بی‌بندوبار خواهد بود که با کمال بینظمی به این طرف و آن طرف فضا حمله می‌کنند (شکل ۴۳).

صلابت حالت جامد ماده که نتیجه نفوذ ناپذیری قشرهای مجزای الکترونهاى اتوم است از میان می‌رود و ازدیاد فشار خارجی سبب آن می‌شود که چگالی ماده نیز افزایش پیدا کند، بنابراین در تحت فشاری که به اندازه کافی زیاد باشد، حالت جامد (ومایع) ماده به مفهوم معمولی این کلمات دیگر وجود نخواهد داشت، و ماده دوباره خاصیت تراکم‌پذیری خود را به دست می‌آورد.

خواص ماده در حالت به هم کوفتگی

حالتی از ماده که در آن چون فشار زیاد شود ماده تراکم پیدا می‌کند، و اگر فشار از میان برود ماده می‌تواند به شکل نامحدودی انبساط پیدا کند، در فیزیک به نام «حالت گازی» نامیده می‌شود، و به این ترتیب می‌توان ماده را در حالت کوفتگی که پیش از این شرح دادیم به صورت نوعی از گاز تصور کرد.

البته باید در نظر داشت که این گاز شباهتی با گاز فیزیک رسمی ندارد و از تراکم‌پذیری گذشته باید آن را با فلز سنگین گداخته شبیه دانست. از لحاظ ساختمان داخلی نیز این حالت تازه ماده با گاز متعارفی تفاوت دارد، بدین معنی که مجموعه‌ای از اتمها یا مولکولهای جدا از یکدیگر نیست، بلکه مخلوط نامنظمی است که از پاره‌های سریع حرکت اتمی ساخته شده.

به این نکته نیز باید توجه کرد که درست همان‌گونه که صلابت اجسام جامد متعارفی نتیجه حرکت الکترونهاى اتوم در طول مدار کوانتومی آنهاست، همان‌گونه خواص ارتجاعی ماده کوفته اصولاً مربوط به قسمت الکترونی مخلوط است و پاره هسته‌ای مخلوط را در آن تأثیری نیست. چون الکترونها (در نتیجه فقدان فضا برای حرکت) ناچار شوند که از مسیر عادی خود خارج شوند، انرژی حرکتی نقطه صفر خود را (صفحه ۱۸۰) که مسئول فشار این نوع جدید از گاز است نگاه می‌دارند. بدین ترتیب همان حرکت نقطه صفر که مانع سقوط الکترونها بر روی

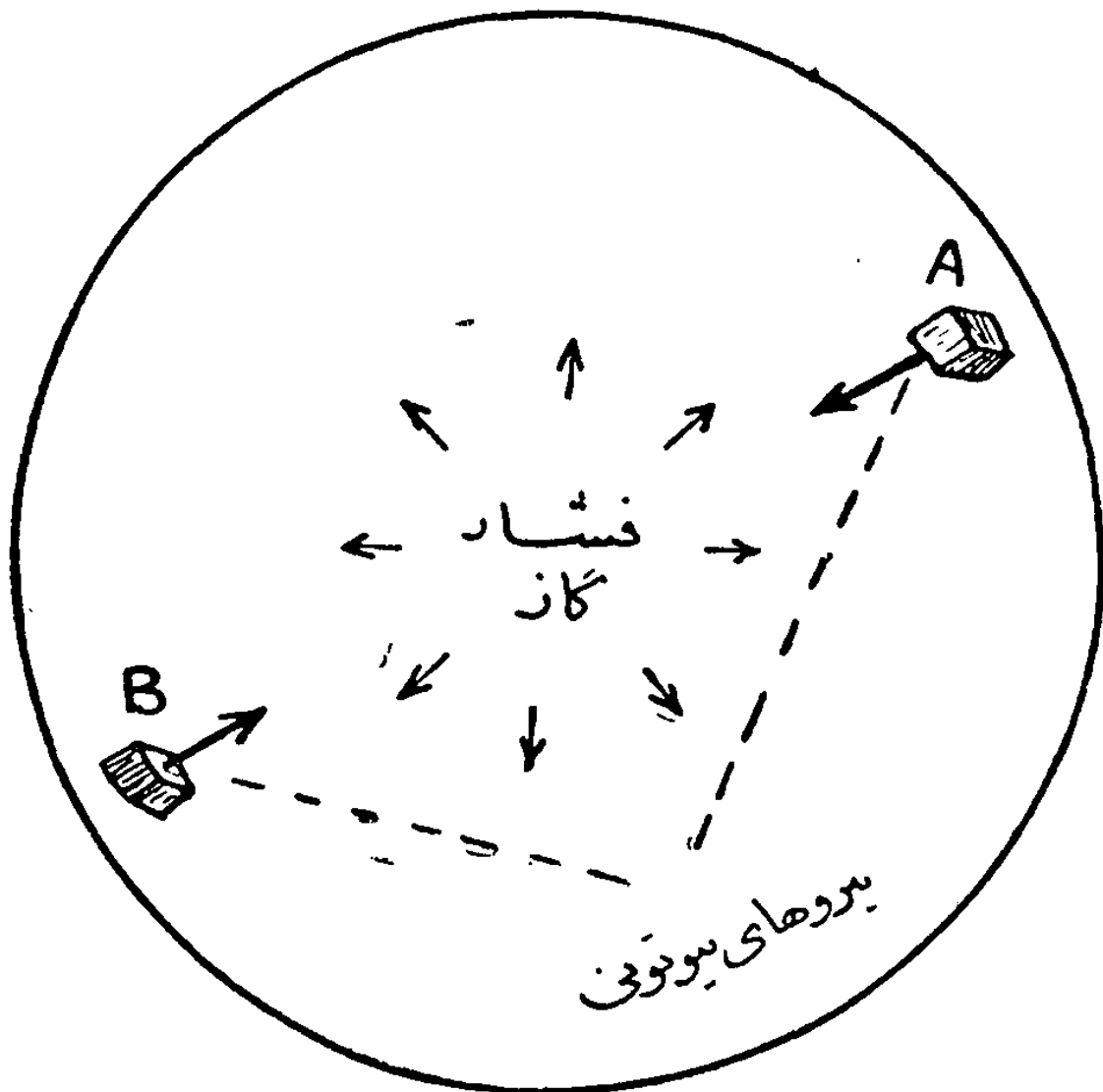
هستهٔ اتوم می‌شود و بالنتیجه وجود اتوم را محفوظ نگاه می‌دارد، سبب ایجاد فشار زیاد حالت مادهٔ کوفته (حتی در درجات حرارت پایین) می‌شود.

خواص این گاز الکترونی را نخستین بار فیزیکدان ایتالیایی انریکو فرمی مورد مطالعه قرار داد و به همین جهت غالباً این گاز را گاز فرمی می‌نامند. فرمی مخصوصاً این مسئله را اثبات کرد که فشار یک گاز الکترونی و بنابراین فشار مادهٔ کوفته با سرعتی کمتر از ازدیاد چگالی آن زیاد می‌شود و بالعکس قوهٔ $5/3$ حجمی که گاز اشغال می‌کند متناسب است.

بزرگترین تخته سنگ چه اندازه می‌تواند باشد؟

از بحثی که پیش از این گذشت آشکار می‌شود که چرا اجسام سردی را که به آن اندازه بزرگ باشند که فشار مرکزی را از حد کوفتگی اتوم تجاوز دهند نمی‌توان به صورت تخته سنگهای غولپیکر تصور کرد، چه در این صورت مادهٔ موجود در داخل آنها خاصیت جامدی را از کف می‌دهد و از این لحاظ خواصی مانند خواص گازها پیدا می‌کند. بنا بر این برای جواب گفتن به پرسشهای مربوط به حجم چنین جرم فلکی فرو ریخته بایستی در شرایط تعادل میان فشار الکترونیهای گاز فرمی که داخل آن جرم را پر می‌کند، بانیره‌های جاذبهٔ ثقلی موجود میان اجزاء مختلف این جرم که می‌خواهند شعاع آن را به تدریج کوچکتر کنند، به تفصیل بیشتری سخن گفته شود.

فرض کنیم کرهٔ غولاسایی از مادهٔ کوفته با جرم و شعاع معین موجود باشد که در آن فشار گاز بانیره‌های ثقلی به حال تعادل باشد. آیا اگر بدون دست زدن به شعاع این کره جرم آن را دو برابر کنند چه حادثه‌ای پیش خواهد آمد؟ نیروی کلی ثقل که می‌خواهد کره را متراکم کند ترکیبی است از نیروهای جاذبه‌ای که میان قسمت‌های مختلف این جسم مثلاً میان دو قسمت حجمی A و B وجود دارد (شکل ۴۴). در آن هنگام که جرم کره دو برابر شود، مقدار جرمی که در هر یک از دو حجم A و B موجود است نیز دو برابر می‌شود. بنا بر قانون جاذبهٔ نیوتون نیروی جاذبه



شکل ۴۴

تبادل میان فشار گاز و نیروهای ثقلی در کره بزرگی از گاز.

با حاصل ضرب جرمهایی که در یکدیگر تأثیر می‌کنند متناسب است. به این ترتیب با دوبرابر شدن جرم نیرویی که سبب فشردن و انقباض کره است چهار برابر خواهد شد. از طرف دیگر بنا به قانون فرمی (صفحه ۱۸۰) فشار گاز الکترونی که داخل کره را پر کرده با ضریبی کمتر از $۳/۲۵ = ۱۷/۳$ ترقی می‌کند. در نتیجه تعادل به نفع نیروهای ثقلی گسیخته می‌شود و کره آنقدر انقباض پیدامی‌کند تا با شعاع جدیدی که دارا می‌شود دوباره تعادل برقرار گردد.

از اینجا معلوم می‌شود که ماده کوفته ماده مناسبی نیست که با آن

جورج گاموف

بتوانیم اجسامی به ابعاد بزرگ بسازیم، و هرچه ماده بیشتر باشد ابعاد نهایی کمتر خواهد بود. به این ترتیب مقاومت محدود اتمها در مقابل فشارهای زیاد، حدی در برابر حجم سنگهای غول آساقرار می‌دهد؛ اجسامی را که جرمشان از حد معین تجاوز کرده باشد نمی‌توان اصولاً به عنوان اجسام جامد تصور کرد، و هرچه جرم آنها زیادتر شود ابعاد هندسی آنها کمتر خواهد شد.

مشتری به عنوان بزرگترین پاره سنگ

برای یافتن بزرگترین جرمی که یک جسم با داشتن چنان جرم هنوز می‌تواند به حالت جامد به معنی عادی این کلمه بماند، قبل از هر چیز باید اندازه عددی فشاری را که برای کوفتن اتم لازم است حساب کنیم، و این عمل از روی نظریه کنونی در باب ساختمان ماده امکانپذیر است. بنا بر محاسباتی که به وسیله عالم فیزیک نجومی هندی **کوتھاری** صورت گرفته، فشار بحرانی اتمکوب در حدود ۱۵۰ میلیون رطل بر اینچ مربع است.

اگر این رقم را با اندازه ۲۲ میلیون رطل بر اینچ مربع که فشار نواحی مرکزی زمین است مقایسه کنیم، به این نتیجه می‌رسیم که کره‌ما آن اندازه سنگین نیست که بتواند با وزن خود سبب کوفتن اتمها شود. تنها برای ستاره مشتری بزرگترین سیاره منظومه ما (۳۱۷ مرتبه سنگینتر از زمین) است که فشار درونی به حد فرو ریختن ماده نزدیک می‌شود، و باید چنان توقع داشت که اتمهای ناحیه درونی این جرم غولپیکر اگر هنوز هم کوفته نشده، در شرف آن باشد که بر اثر وزن شگرف قشرهای خارجی به این حالت درآید.

تمام اجسام جامدی که جرم بیشتری از مشتری داشته باشند ناچار سرنوشتشان آن است که ویرانی و فرو ریختگی کامل درونی پیدا کنند، و باید چنان انتظار داشت که حجم نهایی آنها از حجم مشتری کمتر شود. به این قرار مشتری از لحاظ هندسی نماینده بزرگترین پاره ماده

سردشده‌ای است که اصولاً می‌تواند در جهان وجود داشته باشد، «خورشید مرده» علی‌رغم جرم بزرگی که دارد (یادداشت به علت همین بزرگی جرم) قطری بسیار کوچکتر از مشتری و در حدود قطر زمین خواهد داشت (شکل ۴۵ دیده شود).

ارتباط میان جرم و شعاع اجرام ویران شده

برای یافتن اندازه صحیح شعاع ستارگان فروریخته از روی جرمی که دارند، البته محاسبات ریاضی مفصلی لازم می‌شود. در این محاسبات نه تنها جرم در نظر گرفته می‌شود، بلکه ساختمان شیمیایی جرمی که مورد بحث است نیز باید منظور شود؛ چه همان‌گونه که پیش از این دیدیم فشار حالت کوفته ماده از روی عدد الکترونیهای آزادی به دست می‌آید که نتیجه شکستن اتمها می‌باشند، و از طرف دیگر وزن طبقات خارجی که می‌خواهد جرم ستاره را منقبض کند از روی جرم هسته‌های برهنه اتمی که در ضمن همین عمل شکسته شدن تولید می‌شود تعیین می‌گردد. به این ترتیب تعادل میان این دو نیروی متقابل اساساً بسته به جرمی است که باید به وسیله فشار هر الکترون آزاد تحمل شود، و این عامل البته به عناصر شیمیایی مختلف تفاوت پیدا می‌کند.

مثلاً در مورد ئیدروژن در مقابل هر الکترونی که از اتم کوفته شده آزاد می‌شود یک جرم پروتونی به دست می‌آید، در صورتی که برای هلیوم دو الکترون بایستی هسته‌ای را به جرم ۴ تحمل کنند، بدانسان که جرم برای هر الکترون در حالت هلیوم دو بار بزرگتر از جرم برای الکترون در حالت ئیدروژن می‌شود. به این ترتیب واضح می‌شود که ستاره ویران شده‌ای که از هلیوم خالص ساخته شده باشد، برای آنکه به حال تعادل درآید، باید آن اندازه منقبض شود که شعاع آن از شعاع ستاره ئیدروژنی کمتر شود.

تفاوت بزرگ ضریب دو که میان ئیدروژن کوفته و هلیوم کوفته دیده می‌شود، تقریباً به همان اندازه بزرگ است که اگر در سلسله تناوبی عناصر پیش رویم همیشه چنین ضریبی را خواهیم یافت. چه در تمام عناصر سلسله تناوبی نسبت وزن اتمی (جرم) به عدد اتمی (عدد الکترونها)

جورج گاموف

همیشه یا همان نسبت هلیوم یا کمی بیشتر از آن است (مثلاً برای کربون

$$\frac{A}{Z} = \frac{12}{6} = 2 \text{ است؛ برای اکسیژن } \frac{A}{Z} = \frac{16}{8} = 2 \text{؛ برای آهن}$$

۱۵ر۲). از اینجا نتیجه می‌گیریم که اجرام ویران شده

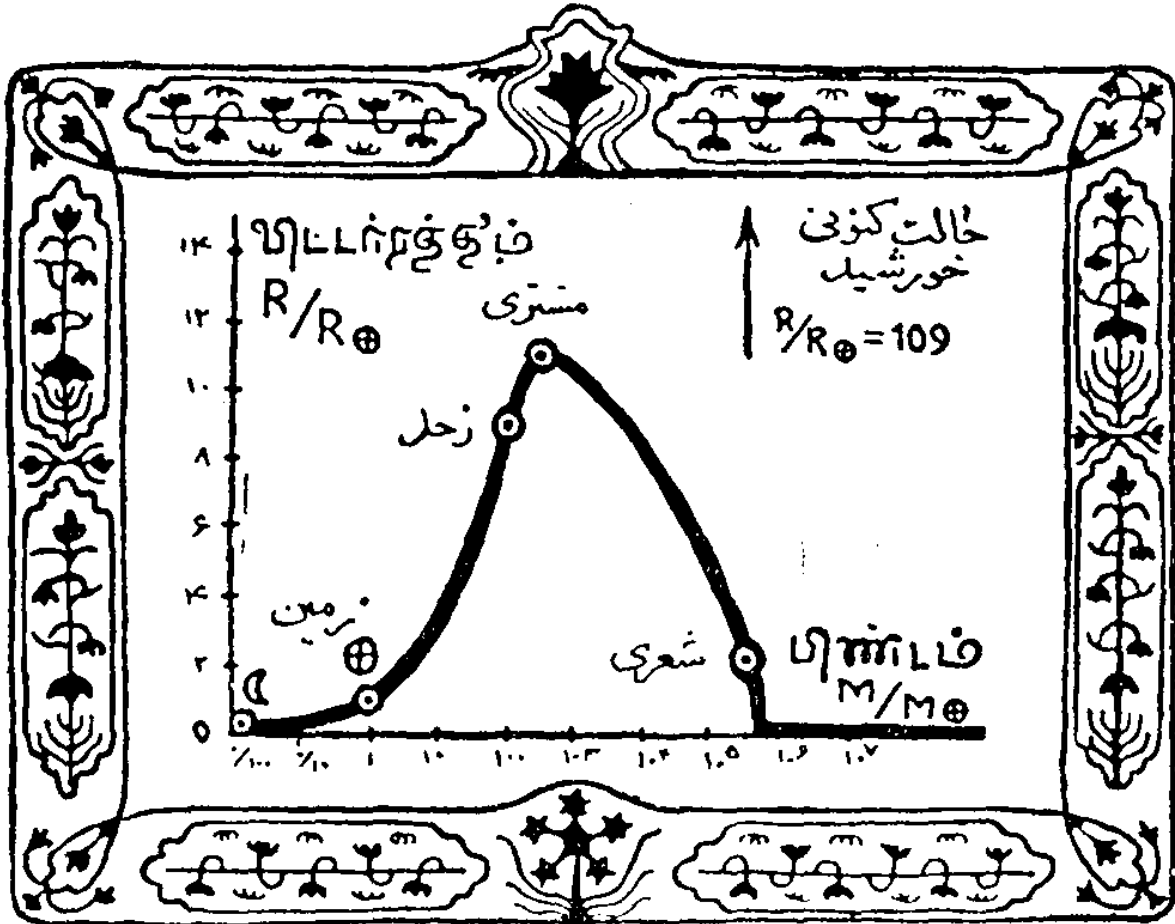
فلکی اگر از چیزی جز هلیوم خالص هم ساخته شده باشند، تقریباً همان شعاع مربوط به حالت هلیومی را خواهند داشت.

از فصول گذشته چنین به دست آمد که حالت ویران شده ستاره بایستی نماینده آخرین مرحله زندگی و تکامل آن باشد، و از همین جا نتیجه می‌شود که نیدروژن موجود در قسمت مرکزی آن بسیار ناچیز و در حدود صفر خواهد بود، و این به نوبه خود چنین معنی می‌دهد که

۱. در مسئله خاص مربوط به محتوی نیدروژنی ستاره‌های ویران شده عقیده غالب منجمان بانظر مؤلف که در بالا به آن اشاره شد اختلاف دارد. آنچه ظاهر است این است که تجزیه طیفی وجود مقادیر قابل ملاحظه‌ای از نیدروژن را در جو ستارگان معروف به «کوتوله‌های سفید» نشان می‌دهد، و چنانکه پس از این خواهیم دید این دسته از ستارگان یا ویران شده‌اند و یا در شرف ویرانی هستند. از روی همین واقعیت مشاهده‌ای است که تصور می‌کنند در قسمت مرکزی این ستارگان نیز بایستی مقدار فراوانی نیدروژن موجود باشد. با وجود این، گذشته از آنکه به دشواری می‌توان دریافت که چگونه ستاره‌ای که مقدار کافی نیدروژن دارد و می‌تواند فعل و انفعال حرارتی هسته خود را ادامه دهد عمل انقباض خود را آغاز می‌کند، فرض وجود مقدار زیادی نیدروژن در قسمت مرکزی کوتوله‌های سفید با اطلاعاتی که درباره تبدلات هسته داریم متناقض می‌شود. به آسانی می‌توان حساب کرد که اگر مقدار قابل ملاحظه‌ای نیدروژن در مرکز کوتوله‌های سفید باشد، عمل تشکیل دوترون از دو اتوم نیدروژن (همان‌گونه که در فصل ۵ دیدیم) بایستی سبب آزاد شدن انرژی شود یک میلیون برابر تشعشی که فعلاً از چنین ستاره‌ها مشهود است. بنا بر این باید گفت که وجود نیدروژن—

نبایستی به نوع اتومهایی که در ستاره است توجه داشته باشیم، و شعاع يك ستاره ویران شده تنها تابع جرم آن می شود و بس.

در شکل (۴۵) نموداری از چنین محاسبات را (در مورد ستارگانی که محتوی نیدروژنی آنها صفر است) نشان داده ایم. این محاسبات به



شکل ۴۵

ارتباط میان شعاع و جرم اجرام سرد فلکی بنا بر محاسباتی که به وسیله دانشمندان فیزیک نجومی هندی چاندراسکهار و کوتھاری صورت گرفته. توجه داشته باشید که برای جرمهای بزرگتر از ۴۶۰،۰۰۰ برابر جرم زمین شعاع صفر می شود!

→ در جو ستارگان ویران شده تنها امری است که به سطح آنها بستگی دارد، و اگر این مشاهده را دلیل آن بگیریم که در مرکز این ستاره ها نیز نیدروژنی وجود دارد همان اندازه اشتباه کرده ایم که اگر بادی بن نقشه جهانمانچنان تصور کنیم که دوسوم تمام کره زمین از آب ساخته شده است.

وسیلهٔ عالم فیزیک نجومی هندی **چاندراسکهار** صورت گرفته و تحقیق کامل دربارهٔ حالت ویرانی ستارگان از کارهای مشخص او است. چنانکه می-بینیم در ستارگانی که جرمی کمتر از مشتری دارند، حجم بر نسبت مستقیم جرم افزایش پیدا می‌کند، و این چیزی است که در حالت اجسام غیر ویران شده بایستی انتظار داشت. ولی برای جرمهای بزرگتر وضع اساساً تغییر پیدا می‌کند، و در نتیجهٔ ویران شدن ماده در قسمت داخلی حجم جسم با زیاد شدن جرم بنای کاهش را می‌گذارد. آنچه مخصوصاً از روی این منحنی به دست می‌آید آن است که شعاع «خورشید مرده» ده مرتبه کوچکتر از شعاع مشتری می‌شود و در حدود شعاع زمین در می‌آید. **چگالی متوسط خورشید در بازپسین مرحلهٔ تکامل ۳ میلیون برابر چگالی آب خواهد بود.**

به علت تراکم پذیری عظیم حالت کوفتهٔ ماده، چگالی این جسم بی‌اندازه فشرده یکنواخت نخواهد بود (همانگونه که مثلاً در کرهٔ زمین ماهست) و هر چه به طرف مرکز نزدیک شویم این چگالی به سرعت افزایش پیدا خواهد کرد. مطابق محاسبات **چاندراسکهار** چگالی مرکزی در این حالت در حدود ۱۰ برابر چگالی متوسط خواهد بود، بدان سان که **هر سانتیمتر مکعب ماده در قسمت مرکزی خورشید مرده در حدود ۳۰ تون وزن خواهد داشت.** در آن هنگام که خورشید به پایان زندگی خود رسیده باشد، در زیر قشر ضخیم یخ ابدی که سطح خورشید ما را می‌پوشاند، اوضاع واحوال به قراری خواهد بود که شرح آن گذشت.

کو توله‌های سفید

ممکن است خواننده بالهجهٔ شکالودی چنین بگوید: «این صورتی که شرح آن را بیان داشتید بسیار جالب توجه است، ولی گواه صحت این نظریه چیست؟ بجز ماشین زمان آقای ه. ج. ولز؟ هیچ کس نمی-تواند بلیونها سال زیست کند و شاهد صحت این پیشگویی باشد. ولی اگر

1. Chandrasekhar
2. H. G. Wells

خود بتوانیم خورشید مرده یا در حال احتضاری را به چشم ببینیم بهتر این گفته‌ها را باور خواهیم کرد. »

ما البته به هیچ وجه نمی‌توانیم حالت مرگ فعلی خورشید خودمان را به خواننده نشان دهیم، و نیز امید آن نداریم که دیدن ستارگان مرده امکانپذیر باشد، زیرا چنین ستارگان هیچ نوری از خود خارج نمی‌کنند؛ ولی می‌توانیم به اطراف خود نگاه کنیم و در میان ستارگانی که تمام ئیدروژن خود را به مصرف رسانیده‌اند دنبال ستاره‌ای بگردیم که خرده خرده دارد به حال سكرات مرگ نزدیک می‌شود. به این ترتیب شواهد زیادی برای وجود ستارگانی ویران شده خواهیم یافت که هنوز به آخرین مرحله زندگی خود نرسیده و از راه انقباض تدریجی با انرژی ثقلی که آزاد می‌شود به زندگی خود ادامه می‌دهند. وسیله تشخیص چنین ستاره‌ها از ستارگان دیگر که هنوز زنده هستند در این است که نورانیت نسبتاً ضعیف دارند و شعاع آنها از حدود متعارف بسیار کوچکتر است، و این خود نماینده چگالی زیاد آنها است.

نخستین و برجسته‌ترین نمونه این حالت مرگالوده ستارگان ستاره «مصاحب شعری» است. پیش از این دیدیم که ستاره شعری یکی از ستارگان هنجاری است که در رشته اصلی جای دارد و در تمام خواص خود با خورشید ما شبیه است. اکنون خود ستاره شعری مورد توجه ما نیست بلکه از ستاره دیگری ۱۳،۰۰۰ بار ضعیفتر از آن که همچون خاشاکی در چشم کلب اکبر است و در نزدیک شعری جای دارد و برگرد آن می‌چرخد، بحث می‌کنیم. همین کمی نور و نزدیکی ستاره شعری سبب آن بوده که این ستاره را تا سال ۱۸۶۲ که کلارک آنرا کشف کرد کسی نشناخته باشد. نخستین دلیل وجود این ستاره از راه مشاهده مسیر حرکت شعری به دست آمد، چه به جای آنکه این مسیر در میان ستاره‌های ثابت به شکل خط مستقیمی باشد - البته هر کس نسبت به جرم آزادی که در حال حرکت باشد چنین انتظاری را دارد - این مسیر به

صورت خط پیچ و تاب‌داری دیده می‌شود، و این خود علامت آن بود که جرم دیگری در حرکت آن مؤثر است و انحرافات در آن ایجاد می‌کند. آنچه مایه شگفتی منجمان شد این بود که نوری که از این مصاحب تازه کشف شده شعری خارج می‌شد، به جای این که رنگ سرخ داشته باشد که متناسب با نورانیتهای ضعیف است، به شکل بسیار درخشانی سفید است، و این خود نشان می‌دهد که درجه حرارت سطحی این ستاره در حدود ۱۰،۰۰۰ درجه است. همین خاصیت تشعشعی که با نورانیت کلی ضعیف ستاره مصاحب شعری ترکیب شده بود سبب شد که این ستاره و ستاره‌های مشابه دیگری را که پس از آن کشف شده به نام **گوتوله‌های سفید** بنامند.

به آسانی می‌توان دریافت که خصوصیات ستاره مصاحب شعری با مطالب نظری که پیش از این در باره ستاره‌های در حال مرگ ذکر کردیم موافقت دارد. اگر یک جرم فلکی با چنین درجه حرارت سطحی زیاد (و بنابراین خروج انرژی شدیدی از واحد سطح آن) نورانیت مطلق بسیار کوچکی داشته باشد، باید چنین نتیجه بگیریم که ابعاد هندسی آن در مقایسه با ستارگان متعارفی بسیار کوچک است. از روی نورانیت کلی و درجه حرارت سطحی مصاحب شعری به آسانی می‌توان تخمین کرد که وسعت سطح آن ۲۵۰۰ بار و شعاع آن ۵۰ بار کوچکتر از وسعت سطح و شعاع خورشید ما است.^۱

۱. اندازه حقیقی شعاع گوتوله‌های سفید را عملاً از روی درجه حرارت سطحی آنها به دست نمی‌آورند، بلکه این کار با اندازه‌گیری چیزی که به نام **انتقال به طرف ناحیه سرخ خطهای طیف** نامیده می‌شود و با نظریه نسبت **اینشتاین** در مورد پوتانسیل‌های ثقلی بلند پیشبینی شده به دست می‌آید. چون گوتوله‌های سفید جرم بزرگ و شعاع کوچک دارند، انتقال خطهای طیفشان قابل ملاحظه است و به آسانی اندازه گرفته می‌شود، و اگر جرم معلوم باشد از این راه به راحتی شعاع کوکب را حساب می‌کنند. اندازه‌هایی که در این کتاب آمده منحصرأ از همین راه حساب شده است.

پیدایش و مرگ خورشید

از طرف دیگر جرم مصاحب شعری که از روی زمان دوران آن برگرد شعری تخمین می‌شود، تقریباً معادل جرم خورشید به دست می‌آید (۹۵ درصد آن) و به این ترتیب چگالی متوسط این ستاره به مقدار شگرف ۲۰۰،۰۰۰ برابر چگالی آب بالغ می‌شود. از این قرار همان گونه که نخستین بار به وسیله فولر^۱ به آن اشاره شده، کوتوله‌های سفید در واقع حالت ویران شده ستارگان را نشان می‌دهند، و این همان چیزی است که ما پیش از این تنها با توجه به نکات نظری صرف پیشبینی کرده بودیم.

اگر جرم و شعاع مصاحب شعری را بر روی منحنی نظری اجرام کوکبی ویران شده نقل کنیم (شکل ۴۵)، خواهیم دید که شعاع فعلی آن هنوز ۲٫۵ مرتبه از شعاعی که در حالت نهایی خواهد داشت بزرگتر است. این واقعیت نشان می‌دهد که این کوتوله سفید خاص هنوز به آخرین مرحله انقباض خود نرسیده، یا در اندازه گیری و تخمین فعلی شعاع آن لااقل به اندازه یک ضریب دو اشتباه و خطا وجود دارد.

هنگام احتضار خورشید ما

شك نیست که پس از چند بلیون سال که خورشید مراحل انحطاط خود را طی خواهد کرد، به همان صورتی دیده خواهد شد که اکنون مصاحب شعری به آن صورت دیده می‌شود. در آن زمان بسیار دور قطر ظاهری خورشید از زمین تقریباً به اندازه قطر ظاهری فعلی مشتری خواهد شد، بدان سان که شخص ناظر نادانی در آن زمان خورشید را همچون ستاره دور درخشانی تصور خواهد کرد.

با وجود این قطر ظاهری کوچک « ستاره خورشید » نور آن هنوز به صورت قابل ملاحظه‌ای از هر ستاره دیگر آسمان بیشتر خواهد بود. نوری که در هنگام نیمروز از چنان خورشیدی به زمین می‌رسد ۱۰۰۰ بار بزرگتر از نوری خواهد بود که با ماه تمام به زمین می‌تابد، ولی خود ماه به اندازه‌ای کم نور می‌شود که شاید دیدن آن امکانپذیر

نباشد. درجه حرارت زمین تا ۲۰۰ درجه زیر نقطه یخ بستن آب
تنزل خواهدکرد (۳۲۸ - فارنهایت) و هر نوع زندگی بر سطح زمین
غیر ممکن خواهدشد. ولی از این سردی و تاریکی هیچ باکی نیست، چه
همانگونه که در فصل ۵ دیدیم مدتها پیش از آنکه چنین روزی پیش
بیاید و مدتها پیش از آنکه آخرین انقباض خورشید آغاز شود، در نتیجه
افزایش فعالیت خورشید هر چه بر روی زمین بوده سوخته و از بین
رفته است.

فصل نهم

آیا ممکن است خورشید منفجر شود

نواختران



تمام تغییرات تکاملی که در تاریخ ستارگان پیش می‌آید و تا اینجا درباره آنها بحث کردیم ، از لحاظ مقایسه با زندگی آدمی به اندازه‌ای کند پیش می‌رود که لاقلاً چند میلیون سال لازم است تا چنین تغییرات به صورتی درآید که قابل ملاحظه شود. بنابراین حتی در مورد خورشید خود ما - و گرم شدن تدریجی و انقباض بعدی آن که سبب نهایت درجه نورانیت می‌شود - این تغییرات طوری است که برای ساکنان زمین تنها از جنبه نظری محض جلب توجه می‌کند. ولی مشاهده آسمان حوادثی را نشان می‌دهد که جنبه فاجعه‌ای و ناگهانی دارد، و تغییر کامل اوضاع واحوال يك ستاره را در مدت کوتاه چند روز و حتی چند ساعت نشان می‌دهد .

بدون دلیل و علامت قبلی ممکن است ستاره‌ای ناگهان چنان

جورج گاموف

درخشندگی پیدا کند که روشنی آن چند صد هزار و گاهی چند بلیون برابر روشنی عادی آن شود. ستاره‌ای که پیش از این انفجار بسیار ضعیف و غیر قابل ملاحظه است، ناگهان یکی از درخشنده‌ترین ستارگان آسمان می‌شود و توجه منجمان و موهوم پرستان را به خود جلب می‌کند. ولی این شدت نورانیت زمان درازی درنگ نمی‌کند، و پس از آنکه ستاره منفجر شده به سرعت به بزرگترین درخشندگی خود رسید، به تدریج رو به خاموش شدن می‌رود و در ظرف مدت یک سال به حال عادی خود باز می‌گردد.

پیش از آنکه تلسکوپ اختراع شود، از لحاظ آنکه نور چنین ستارگانی به اندازه‌ای ضعیف است که با چشم تنها دیده نمی‌شوند، وضع چنان نبود که حالت ابتدایی این گونه ستارگان بتواند مورد مطالعه قرار گیرد، و به همین جهت بوده است که این گونه ستارگان را به نام **نواختر**^۱ که تا حدی گمراه کننده است نامیده‌اند. در تاریخ از چند نمونه از نواختران بسیار درخشنده ذکری به میان آمده است و بسیار احتمال دارد که « ستاره بیت اللحم » نماینده یکی از این فاجعه‌های جهانی بوده باشد.

در زمان نزدیکتر به ما انفجار درخشانی در ماه نوامبر ۱۵۷۲ به وسیله منجم معروف دانمارکی **توکوبرا**^۲ مشاهده شده است، و این ستاره را در مرحله نهایت درخشندگی آن حتی به روز هم می‌توانستند ببینند. کمی پس از آن نواختر درخشان دیگری در سال ۱۶۰۴ مشاهده شد که نام آن همراه با نام **یوهان کپلر**^۳ مکتشف قانون حرکت سیارات است. پس از این دو انفجار درخشان آسمانی که نام دو نفر از مردان را در تاریخ نجوم به خاطر می‌آورد، آسمان به صورت نسبی آرام و بی انفجار ماند تا آنکه به سال ۱۹۱۸ نواختری با درخشندگی فراوان مشاهده شد که روشنی آن حتی از روشنی ستاره شعرای یمانی هم بیشتر بود؛

- 1 . Novae
- 2 . Tycho Brahe
- 3 . Johann Kepler

پیدایش و مرگ خورشید

این نواختر در صورت فلکی عقاب جای داشت و نخستین کوكبی از این قسم است که با جدیدترین وسایل رصدی زمان حاضر درباره آن تحقیق شده (صفحه تصویر VIII - الف پایان کتاب) .

واضح است که از این نواختران قابل مشاهده گذشته ناچار عدّه زیادی انفجارهای آسمانی صورت می‌گیرد که به علت دوری زیادی که از ما دارند نور ضعیف آنها چنان نیست که با چشم دیده شود. تحقیقات منظمی که در زمان حاضر به وسیلهٔ عکسبرداری از آسمان صورت می‌گیرد نشان می‌دهد که سالانه در میان ستارگان منظومهٔ کواکب خود ما لاقلاً بیست انفجار از این قبیل صورت می‌گیرد.

طبقه بندی انفجارهای کوكبی

پیش از این دیدیم که نواختران از لحاظ درخشندگی ظاهری با یکدیگر تفاوت فراوان دارند، و بعضی از آنها به اندازه‌ای هستند که روز روشن هم در آسمان دیده می‌شوند، در صورتی که بعضی دیگر را تنها با دوربینهای آسمانی می‌توان دید. قسمت عمدهٔ این اختلاف نتیجهٔ اختلاف فاصله‌ای است که میان ما و این ستارگان منفجر شونده وجود دارد، و چون تصحیحی را که از لحاظ فاصله لازم است در نظر بگیریم، تقریباً نورانیت آنها نزدیک به یکدیگر می‌شود و این نورانیت به طور متوسط در حدود ۲۰۰،۰۰۰ برابر نورانیت خورشید است.

با وجود این باید دانست که حالت‌های استثنایی مانند ستارگان بیت‌الحم یا **توکوبرائه** از این حدود بیرون است و آنها نورانیت بسیار عظیمتری داشته‌اند. مطالعه تمام حالات استثنایی تاریخی نواختران بسیار درخشنده سبب آن شده است که دونفر منجم به نامهای **باده** و **تسویکی**^۱ به این نتیجه برسند که در مورد این دسته از ستارگان سروکار ما با نوع خاص و متفاوتی از انفجارهای کوكبی است، و این طبقه از ستارگان را به نام **فوق نواختر**^۲ نامیده‌اند. حداعلاّی نورانیت فوق

1. W . Baade; F. Zwicky

2. Supernovae

جورج تاموف

نواختران به طور متوسط ۱۰،۰۰۰ برابر نورانیت نواختران عادی و این نورانیت چند بلیون برابر نورانیت خورشید ما است. به احتمال قوی بیشتر نواختران تاریخی در ضمن همین طبقه جای دارند، و ستارهٔ کپلر سال ۱۶۰۴ ظاهراً آخرین انفجار از این نوع است که در منظومهٔ کوکبی ما صورت گرفته.^۱

تسویکی و باده همچنین از روی اطلاعات تاریخی چنین نتیجه گرفتند که احتمال ظهور فوق نواختر در منظومهٔ کوکبی ما در حدود یک ستاره برای هر سه قرن از زمان است. در طول مدت ۳۶۰ سال که ما را از آخرین «فوق انفجار» جدا می‌کند، دیگر فاجعهٔ انفجاری مشابهی در منظومه کوکبی ما مشاهده نشده، و باید به خود وعده بدهیم که نجوم جدید بتواند در سالهای آینده شاهد نمود آسمانی دیگری شبیه ظهور ستارهٔ بیت‌الحم یا ستارهٔ توکو برائه یا ستارهٔ کپلر باشد.

ممکن است خواننده پیش خود بگوید که: «روزگار چه شوخی بدی با منجمان می‌کند که فوق نواختران این اندازه به قدرت ظاهر می‌شوند، و شخص باید قرن‌ها انتظار بکشد تا چنین نمودی را در آسمان تماشا کند. لابد باید دو هزار سال بگذرد تا از مشاهداتی که از این انفجارات صورت می‌گیرد بتوانند چیز قابل توجهی به دست آورند!»

ولی خواننده باید بداند که وضع به این بدی که خیال می‌کند نیست. همان‌گونه که در فصلهای آینده خواهیم دید منظومهٔ کوکبی ما که در حدود ۴۰ بلیون ستاره دارد تنها منظومهٔ این جهان بینهایت نیست. در فواصل بسیار دورتر از فاصله‌ای که ما را از دورترین ستاره‌های منظومهٔ کوکبی خود ما جدا می‌کند، رصدهای نجومی وجود مجموعه‌هایی از ستارگان را نشان داده است که در فضای وسیع جهان آزادانه حرکت می‌کنند. این منظومه‌های کوکبی دور از زمین تنها به صورت ابرهای کم‌نوری به شکل کره یا بیضی دیده می‌شود، و منجمان آنها را به نام

۱. نواختر عقاب ۱۹۱۸ نواختری هنجاری و نورانیت مرئی زیاد آن نتیجهٔ آن بوده که در فاصلهٔ نسبتاً کوتاهی از زمین قرار گرفته است.

سحابیهای خارج کهکشان^۱ نامیده‌اند، و نویسندگانی که برای توده مردم کتاب می‌نویسند نام شایسته‌تر «جهانهای جزیره‌ای» را به آنها داده‌اند. از چند هزار از این منظومه‌های کوکبی بسیار دور که شبیه به منظومه کوکبی کهکشان خود ما هستند تاکنون فهرست برداری کرده‌اند و دوربینهای بسیار قوی هنوز هم عده زیادتری از این «جهانهای جزیره‌ای» را در گوشه‌های دورتر جهان آشکار می‌سازند. **تسویکی** در ضمن بازرسی فهرست سحابیهای خارج کهکشان پیش خود چنین اندیشید که اگر این مجموعه‌های اختری واقعاً با منظومه اختری خود ما شباهت دارند، ناچار باید نمود فوق نواختری نیز در آنها قابل مشاهده باشد، و اگر در ظرف مدت هر ۳۰۰ سال يك انفجار نو اختری صورت گیرد، ناچار پیش از آنکه تعطیلات تابستانی شروع شود فرصت آن را خواهیم داشت که يك چنین انفجاری را در آسمان تماشا کنیم.

دکتر تسویکی در ضمن بازرسی فهرست سحابیهای خارج کهکشان چند صدتای آنها را که در محل‌های مناسبتری جای داشتند انتخاب کرد و هر شب از آنها عکس برداشت و به مطالعه آنها اشتغال ورزید. در ظرف مدت دو ماه برای سحابیهایی که مورد مطالعه وی بود هیچ تغییری پیش نیامد، ولی شب ۱۶ فوریه ۱۹۳۷ درخشندگی شدیدی در یکی از آنها مشاهده شد. درست معلوم نیست - مگر آنکه اثبات شود - که آیا دکتر تسویکی پس از مشاهده اولین فوق نو اختر خود به شیوه مردم هم‌شهری خویش مشغول خواندن آوازه‌های محلی شده است یا نه!

این درست يك فوق نو اختر و نماینده انفجاری بود که در سحابی به

۱. استعمال نام «سحابی» یا «ابری» برای این اجرام فلکی مربوط به روزگاری است که آنها را شبیه سحابیهای حقیقی تصور می‌کردند و چنان می‌پنداشتند که عبارت از گازهای نورانی حقیقی است که فضای میان ستارگان منظومه اختری خود ما را اشغال می‌کند (صفحه تصویر XI پایان کتاب دیده شود). اکنون بدون شك این نکته معین است که سحابیهای خارج کهکشان مجموعه‌ای از بلیونها ستاره است که از دور به این صورت دیده می‌شود.

نام N.G.C. 4157 به فاصله ۴۰،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰ کیلومتر از زمین صورت گرفته است. اگر حق مطلب را بخواهیم باید گفت که این انفجار در زمانی بسیار پیش از آنکه تسویکی به تحقیقات خود آغاز کند و حتی پیش از آنکه فرزند آدم بر روی کره زمین ظاهر شود واقع شده بود. نور برای پیمودن فاصله میان آن سحابی و زمین ۴ میلیون سال وقت می‌خواهد، و در تمام این مدت نوری که از انفجار حاصل می‌شود در فضا راه پیمایی می‌کرده است تا بتواند وارد دور بین تسویکی شود و اثری بر صفحه عکسی که برداشته بود بگذارد و کلیشه آن در نشریه **انجمن منجمان اقیانوس آرام** منتشر شود.

از زمان آن اولین کامیابی تاکنون در حدود بیست حالت فوق نو اختری در سحابیهای خارج کهکشان و در فواصل کمابیش دور مشاهده و وجود آنها اثبات شده است (صفحه تصویر VIII - ب پایان کتاب دیده شود).

اندازه احتمال منفجر شدن خورشید

هنگامی که می‌بینیم ستاره‌ای که کاملاً آرام و غیر قابل توجه است و به هیچ وجه تمایزی بابلیونها ستاره دیگر ندارد، ناگهان در ظرف مدت چند ساعت دچار انفجار وحشتناکی می‌شود، ناچار این فکر ناراحت کننده به خاطر ما می‌رسد که: آیا ممکن است خورشید ما امروز یا فردا یا سال دیگر چنین بلایی به سر ما بیاورد؟ اگر يك روز شومی را خورشید برای نو اختر شدن انتخاب کند، در آن روز زمین (و نیز همه سیارات دیگر) یکباره به صورت گاز رقیقی در خواهند آمد، و این حادثه با چنان سرعتی پیش خواهد آمد که هیچ کس حتی فرصت آنرا نخواهد کرد تا بفهمد که چه پیشامدی رخ داده است. تنها اگر بر منظومه سیاره‌ای وابسته به ستاره دوردستی منجمی وجود داشته باشد، ممکن است به وسیله‌ای از ظهور نواختر جدیدی آگاه شود، و شاید به مطالعه طیف این نواختر بپردازد. ولی پیش از آنکه چنین تجربه دردناکی پیش آید، بهتر آن است که در باره درجه احتمال وقوع آن بحث کنیم و ببینیم که آیا

پیدایش و مرگ خورشید

می‌شود از پیش تاریخ حدوث چنین فاجعه‌ای را پیشگویی کرد یانه.^۱ در آغاز کار باید چنان بپذیریم که احتمال اینکه خورشید ما روزی حالت نواختر عادی پیدا کند بسیار کم است. چه همان‌گونه که دیدیم سالانه بیست ستاره از منظومهٔ اخترى ما منفجر می‌شود، و چون جهان ما در حدود دو بلیون سال عمر دارد (فصل ۱۲) چنان نتیجه می‌شود که در این مدت ۴۰ بلیون ستاره منفجر شده است (مگر آنکه چنان فرض کنیم که انفجار در زمان حاضر بیشتر صورت می‌گیرد و این خود احتمالی است که بعید به نظر می‌رسد.) از طرف دیگر همان‌گونه که در فصلهای آینده خواهیم دید، منظومهٔ اخترى ما بیش از ۴۰ بلیون ستاره ندارد. از این مقدمه چنین نتیجه می‌گیریم که هر کوبی عملاً لااقل یک بار در طول حیات خود انفجار پیدا می‌کند. ولی شانس انفجار خورشید در ظرف مدت چندسال آینده بر نسبت یک به چند بلیون است، بدانسان که احتمال چنین انفجاری مانند هر حادثهٔ نامطبوع دیگری که امکان پیش آمدن آن برای بشریت باشد بسیار کم خواهد شد نیز هر ستاره در طول عمر خود تنها یک بار شانس منفجر شدن را دارد. از کجا که خورشید ما در گذشته بسیار دور دچار چنین انفجاری نشده باشد؟ جواب این پرسش را نمی‌توان داد مگر آنکه قبلاً اطلاعات روشنتری دربارهٔ ماهیت فیزیکی چنین فاجعه داشته باشیم.

یک ضرب‌المثل روسی می‌گوید که: «اگر باید بمیری باشکوه بمیر» و به همین جهت باید آرزومند باشیم که اگر خورشید ما بناست منفجر شود این انفجار به صورت نواختر نباشد بلکه حالت فوق نواختری پیدا کند. البته این امر برای ما تفاوتی ندارد، ولی برای کسانی که از خارج منظومهٔ شمسی ناظر این حادثه هستند منظرهٔ زیباتری خواهد داشت. با وجود این باید دانست که انتظار حالت فوق نواختری برای خورشید داشتن انتظار زیادی است. نمود فوق نواختری بسیار

۱. البته چنین پیشگویی هیچ‌گونه‌ای فایده ندارد، مگر اینکه راهی پیدا شود و بتوانند مدتها پیش از حدوث چنین پیشامدی زمین را از منظومهٔ شمسی جدا سازند و به نقطهٔ دیگری از جهان روانه کنند.

نادر است و تنها ستارگان برگزیده‌ای دارای آن مزیت هستند که چنین آتش‌بازی باشکوه فلکی بر آنها صورت بگیرد. همان‌گونه که پس از این خواهیم دید فوق‌انفجار به احتمال قوی در مورد ستارگان بزرگتر و سنگینتر از خورشید ما قابل وقوع است، بدانسان که ما باید تنها به این خشنودباشیم که پایان کار ما به صورت نواختر نسبتاً غیر قابل توجهی به جهان اعلام شود.

حالت پیش از نواختری ستارگان

یکی از روشهای بسیار مستقیم برای اکتشاف اینکه آیا خورشید ما در زمان حاضر **حالت پیش از انفجار** را دارد، این است که خصوصیات آنرا با خصوصیات ستارگان دیگری که نزدیک نواختر شدن هستند مقایسه کنیم. با چنین مقایسه‌ای ممکن است حتی پاره‌ای از ظواهر ستارگانی که در حال آمادگی برای ترکیدن هستند آشکار شود، و فقدان چنین ظواهری در خورشید ضامن آن خواهد بود که این نیر فلکی برای مدت نسبتاً طولانی حالت پایداری خود را حفظ خواهد کرد.

متأسفانه باید گفت که در حال حاضر اطلاعات ما دربارهٔ مراحل پیش از نواختری ستارگانی که منفجر می‌شوند بسیار کم است. در مورد پاره‌ای از نواختران که درخشندگی بیشتری داشته‌اند مطالعهٔ عکسهای قدیمی که از ناحیهٔ مربوط به آن نواختر در آسمان پیش از ظهور نواختر برداشته شده، درست در همان محلی که بعدها نواختر ظاهر گردیده ستارهٔ کم‌نوری را نشان داده است. و نیز با تخمین فاصله توانسته‌اند نتیجه بگیرند که در بعضی از حالات این مرحلهٔ پیش از نواختری نورانیتی در حدود نورانیت خورشید ما داشته، و در حالات دیگر این نورانیت بیشتر یا کمتر بوده است، ولی چون کسی نمی‌دانسته است که فلان ستاره در شرف آن است که به مرحلهٔ نواختری برسد و منفجر شود، هرگز طیف و سایر خواص چنین ستارگان به تفصیل مورد مطالعه قرار نگرفته است. تنها در نواختر صورت فلکی عقاب که به سال ۱۹۱۸ در آسمان شمالی منفجر شد، بر حسب تصادف طیف آن پیش از انفجار برداشته شده بود. از روی همان طیف معلوم شد که آن ستاره در حالت پیش از انفجار اختلاف مهمی با دیگر ستارگان رشتهٔ اصلی نداشته، و حقیقت

پیدایش و مرگ خورشید

امر چنان است که نورانیت مطلق و خصوصیات طیفی آن ستاره بسیار با خورشید شبیه بوده است. آیا از اینجا می‌توان چنین نتیجه گرفت که خورشید ما نیز در آینده‌ای که چندان دور نیست منفجر خواهد شد؟ در جواب باید گفت که البته چنین مطلبی ضروری نیست. قبل از هر چیز باید متوجه این امر بود که «آینده‌ای که چندان دور نیست» بامقیاس زمان نجومی خود به معنی میلیون‌ها سال است، و از طرف دیگر میلیون‌ها ستاره هست که همین خصوصیات را داشته‌اند و دارند و منفجر نشده‌اند. آنچه ظاهر است اینکه آمادگی برای انفجار چندان تغییراتی در خواص سطحی ستارگان ایجاد نمی‌کند، و اگر دگرگونی‌های دقیقی وجود داشته باشد چنان است که از میدان ملاحظه و تشخیص ما برکنار است. مثال نواختر عقاب ۱۹۱۸ تنها این مطلب را به ما می‌گوید که ستاره نبایستی حتماً مشخصات خارجی غیر متعارفی داشته باشد تا قابلیت انفجار پیدا کند. ستارگانی که ظاهر بسیار هنجاری و متعارفی دارند، ممکن است در صورتی که سر نوشت نواختر شدن داشته باشند در معرض انفجار مدهش و شگرفی قرار گیرند.

به این مطلب باید اشاره کنیم که ملاحظه مرحله پیش از انفجار ستارگانی که به حالت فوق نواختری درمی‌آیند دشواری فراوانتری دارد. در واقع از چند انفجار تاریخی گذشته باقی ستارگانی که از این قبیل هستند به اندازه‌ای از ما دورند که در محل آنها تشخیص يك ستاره به تنهایی امکان ندارد. فقط چون ستاره‌ای که به حالت فوق نواختری درآمده به منتهای روشنی خود برسد، ممکن است در آن جهان دور قابل رؤیت شود، و این ازان جهت است که پرتوی که از چنان انفجاری حاصل می‌شود در بعضی از حالات از پرتو کلی که از بلیونها ستاره برمی‌خیزد که منظومه‌ای را می‌سازند (و فوق نواختر ملاحظه شده هم یکی از آنهاست) بیشتر است.^۱

۱. در واقع چون فوق نواخترها بلیونها بار نورانیتر از ستارگان متعارفی هستند، و از طرف دیگر سحابیهای خارج کهکشانی بلیونها ستاره در خود دارند، ناچار ظهور فوق نواختر در این کهکشانها سبب آن خواهد شد که نور کلی سحابی دوبرابر شود.

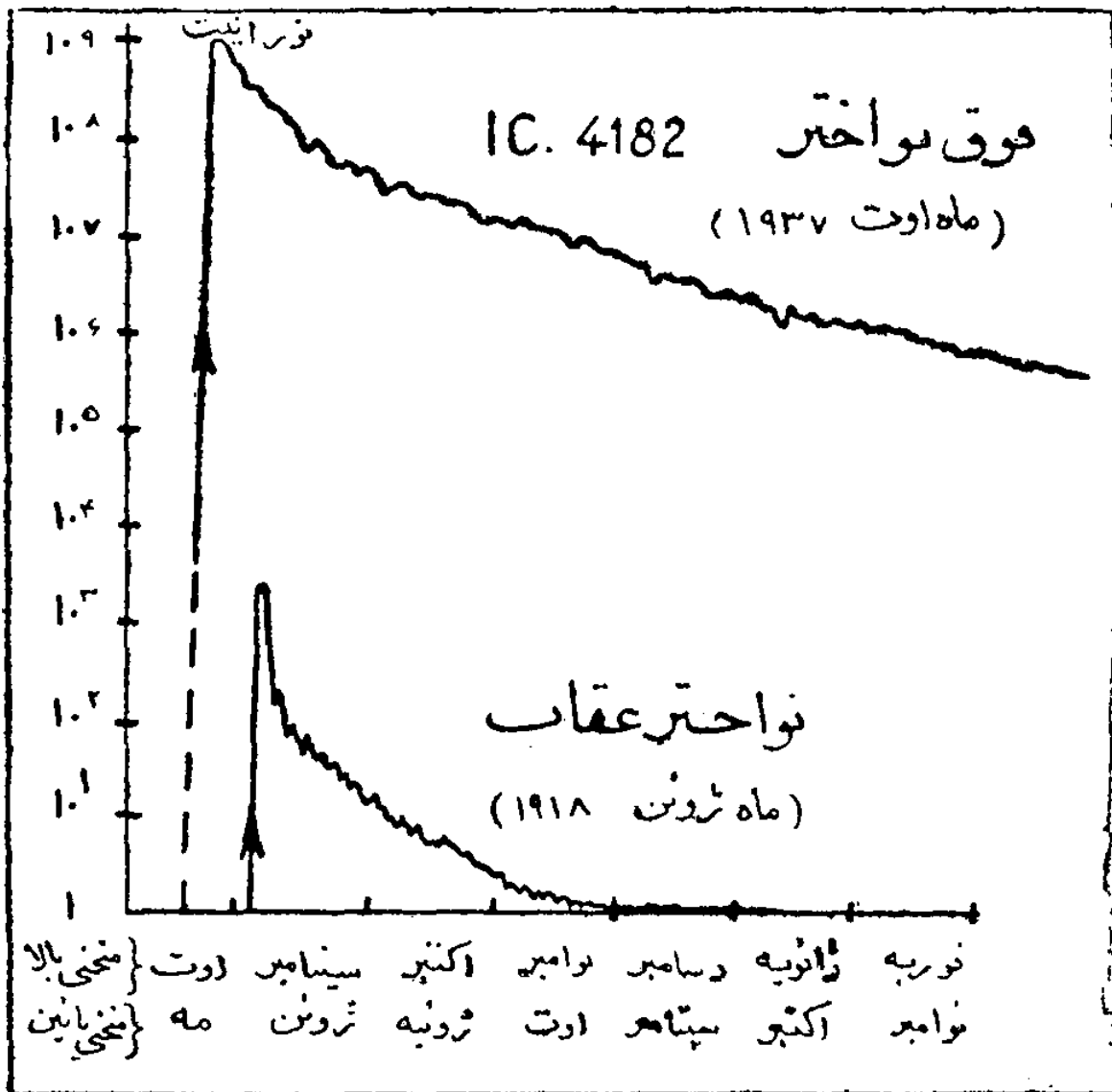
کیفیت انفجار

همان‌گونه که پیش از این ذکر شد، مهمترین تجلی خارجی انفجار نواختری در این است که نورانیت آن به صورت شگرفی در مدت کوتاهی زیاد می‌شود، و پس از آن رفته رفته این نورانیت تنزل پیدا می‌کند تا به مقدار اصلی خود باز گردد. در شکل (۴۶) منحنی تغییرات نورانیت نواختر عقاب ۱۹۱۸ را که پیش از این درباره آن سخن گفتیم، و همچنین منحنی تغییرات نورانیت فوق نواختری را که در سحابی خارج از کهکشان به نام I.C. 4182 قرار دارد ترسیم کرده‌ایم (تصویر این سحابی اخیراً در صفحه تصویر VIII - ب پایان کتاب آورده‌ایم.) چنان که دیده می‌شود این دو منحنی از دامنه تغییرات گذشته بسیار شبیه به یکدیگرند، یعنی نورانیت هر دو آنها بشکل سریعی بالا می‌رود و تنزل آن صورت‌کند و نامنظمی دارد.

خصوصیات مهم دیگری که هنگام انفجار تغییر پیدا می‌کند عبارت است از درجه حرارت سطحی و طیف ستاره. در آن صورت که همه ستارگان ظاهراً پیش از حالت نواختری طیفی هنجاری دارند که در یکی از طبقات طیفی هاروارد قرار می‌گیرد، در حین انفجار این طیف کاملاً تغییر پیدا می‌کند و اگر درجه حرارتی در حدود میلیون‌ها را نشان ندهد، لااقل صدها هزار را نشان خواهد داد. ولی تحقیق در طیف انفجاری يك کیفیت جالب توجه دیگر را نیز آشکار می‌سازد. خطهای درخشانی که در طیف نواختراست نشان می‌دهد که این خطها به شکل خصوصی به طرف ناحیه بنفش انتقال پیدا کرده، و این خود علامت آن است که يك قشرگازی که در ضمن عمل انفجار تشکیل شده در اطراف نواختر به صورت سریعی به حالت انبساط درآمده است.

در مورد نواختر عقاب ۱۹۱۸ که بهتر از همه مطالعه و تحقیق شده، سرعت انبساط این قشرگازی را در حدود ۲,۰۰۰ کیلومتر در ساعت تخمین زده‌اند و شش ماه پس از انفجار توانستند که آن را در تلسکوپ مستقیماً مشاهده کنند. قطر جسم ابرمانند کم نور سبزرنگی که ستاره را احاطه کرده اکنون به میزان دوثانیه زاویه‌ای در هر سال رو

پیدایش و مرگ خورشید



شکل ۴۶

تغییرات نورانیت يك نواختر و يك فوق نواختر. نورانیتها را با مقیاس نورانیت خورشید [1 =] رسم کرده ایم.

به ازدیاد است، و اگر سرعت به حال خود باقی بماند و قشر گازی با طول زمان خاموش نشود، در حدود يك هزار سال دیگر قطر ظاهری آن به اندازه قطر ظاهری ماه خواهد شد.

گاهگاهی رصدهای نجومی وجود عده زیادی از ستارگان داغ و درخشنده را نشان داده که اطراف آنها را غلاف گازی ضخیمی احاطه کرده است. این مسئله که آیا آن چه اکنون به نام سحابیهای سیاره ای می نامند (و این نیز خود نام بیمناسبتی است) در واقع آخرین مراحل

جورج تاموف

تکامل یک نواختر است، مسئله‌ای است که هنوز جواب آن را نتوانسته‌اند پیدا کنند (صفحه تصویر IX پایان کتاب دیده شود).

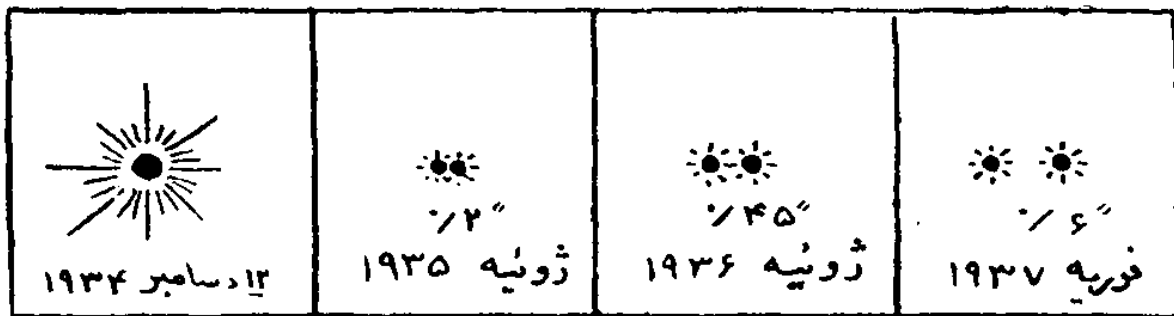
پیش از آن که به حالت سحابی گازی^۱ موجود در صورت فلکی ثور که به علت شکل ظاهری آن به نام «سحابی خرچنگی» نامیده می‌شود اشاره کنیم، نباید از این مرحله از بحث خود پیشتر رویم. این سحابی هم اکنون با سرعت ۰٫۱۸ ثانیه زاویه‌ای در هر سال بزرگ می‌شود، و از اینجا می‌توانیم نتیجه بگیریم که انبساط آن از ۸ تا ۹ قرن پیش از این آغاز شده است. آیا این جرم گازی که سحابی خرچنگی صورت ثور را نشان می‌دهد از انفجار نواختری حاصل شده، یا بنا بر آنچه شدت حادثه نشان می‌دهد از فوق نواختری است که در همان زمان ظهور کرده است؛ مطالعه در کتابهای خطی چینی قرن یازدهم نشان می‌دهد که در آن زمان انفجار درخشانی تقریباً در همان محلی که ما اکنون سحابی عجیب را می‌بینیم به سال ۱۰۵۴ میلادی دیده شده است. به این ترتیب تقریباً شکی نمی‌ماند که سحابی خرچنگی نتیجه انفجار فوق نواختری است که ۹۱۰ سال پیش از این در آسمان مشاهده شده.

نمونه جالب توجه دیگری با مشاهده آنچه به نام «سحابی رشته‌ای» نامیده شده و در صورت فلکی دجاجة (صفحه تصویر X پایان کتاب) وجود دارد به دست می‌آید. این سحابی به شکل قوسی از دایره است و با بعضی از سحابیهای هم شکل دیگر تقریباً حلقه منظمی را می‌سازد که قطر ظاهری آن ۲ درجه است (چهار برابر قطر ظاهری ماه). سحابیهایی که این حلقه را می‌سازند از مرکز مشترک خود با سرعت زاویه‌ای ۰٫۵ ر. ثانیه در سال دور می‌شوند، به طوری که باید گفت این انبساط از ۱۰۰،۰۰۰ سال پیش آغاز شده است. به احتمال قوی این نیز باید نتیجه انفجار یک فوق نواختری بوده باشد، ولی متأسفانه در سال ۱۰۰،۰۰۰ پیش از میلاد هیچ منجم حتی

۱. یک بار دیگر به خاطر خواننده می‌آوریم که «سحابیهای خارج کهکشانی» از ستارگان ساخته شده و «سحابیهای گازی» بسیار کوچکتری که در منظومه اختری مشاهده می‌شود علی‌رغم شباهت اسمی که با آن سحابیها دارند، کاملاً چیز دیگری هستند.

درچین هم نبوده است تا ظهور چنین ستاره جدیدی را در تاریخ ثبت کند.

رصد‌های جدید گویپرا در رصدخانه یرکز نشان داده است که «ساختن حلقه‌های دود» نتیجه منحصر به انفجار ستارگان نیست. دران هنگام که به سال ۱۹۳۴ نواختر صورت فلکی الجائی علی رکبتیه چند سال پس از ظهور آن در تلسکوپ مشاهده شد، معلوم گردید که این ستاره به احتمال قوی در نتیجه شدت انفجار به دو نیمه تقسیم شده است. این دو نیمه اکنون با سرعت ۰٫۲۵ ر ثانیه در سال از یکدیگر دور می‌شوند و در سال



شکل ۴۷

جدا شدن تدریجی دو پاره‌ای که از انفجار نواختر جائی در ۱۲ دسامبر ۱۹۳۴ تولید شده.

۹۱۳۰ میلادی فاصله آنها به اندازه قطر ظاهری ماه (۰٫۵ درجه) خواهد شد. بر روی شکل (۴۷) فاصله نسبی دو پاره این انفجار اختری را نشان داده‌ایم.

چه چیز سبب انفجار ستارگان می‌شود

آیا چه کیفیت فیزیکی سبب آن می‌شود تا ستارگانی که ظاهراً عادی و هنجاری به نظر می‌رسند منفجر شوند؟ باید اعتراف کنیم که در زمان حاضر چیزی از این بابت نمی‌دانیم، و تنهایی توانیم شرایط مختلفی را که ممکن است مسئول این حوادث فاجعه‌آمیز باشد مورد تحقیق و مطالعه قرار دهیم.

کهنه‌ترین و شاید ساده‌ترین فرض آن باشد که این حادثه را نتیجه **علتی خارجی** بدانیم، از قبیل اینکه ستاره در ضمن راه خود در فضا بامانعی برخورد کند و این انفجار حادث شود. با وجود این باید دانست که چون ستارگان در فضا بی‌اندازه حالت پراکندگی دارند، احتمال تصادم میان آنها بسیار کم است، و در واقع از روی محاسباتی که شده چنین به دست آمده است که در ظرف مدت ۲ بلیون سال گذشته تنها دو یا سه برخورد در منظومهٔ اختری ما اتفاق افتاده است.

ولی می‌دانیم که فضای میان ستارگان محتوی مواد فراوان رقیقی است که پس از ساخته شدن افراد ستارگان بر جای مانده است. این ابر-های بین ستارگان که به نام **سحابیهای گازی و غباری** شناخته شده‌اند، غالباً به وسیلهٔ نور ستارگان مجاور روشن می‌شوند و به شکل ابرهای غولپیکر روشنی‌درمی‌آیند که شکل نامنظم و شکفت‌انگیز دارند (صفحهٔ تصویر XI پایان کتاب دیده شود). در حالات دیگر این سحابیها تاریک هستند (صفحهٔ تصویر XII پایان کتاب) و تنها از راه اینکه ستاره‌هایی را که پشت سر آنها قرار دارند تاریک می‌کنند به وجود آنها پی می‌برند. دو سوراخ تاریکی که در کهکشان دیده می‌شود و در میان نوردانی که ذوق نجومی دارند آنها را به نام «جوال زغال» نامیده‌اند، نمونه‌هایی از همین سحابیهای تاریک به شمار می‌رود.

چون ستاره‌ای که با سرعت فراوان از فضا عبور می‌کند وارد چنین ابری از مواد رقیق شود، بانور زیادی منفجر خواهد شد، همان‌گونه که احجار آسمانی چون وارد جو زمین شود نورانیت شدید پیدا می‌کند. در واقع انرژی جنبشی حرکت ستارگان چون به حرارت مبدل شود به آسانی می‌تواند سبب تابش شدیدی باشد که مشخص نواختران در دورهٔ نورانیت زیاد آنهاست. مثلاً اگر حرکت خورشید ما (که سرعت فعلی آن ۱۹ کیلومتر در ثانیه است) در نتیجهٔ مالش با ابری گازی سرعتش نصف شود، انرژی جنبشی آزاد شده آن اندازه خواهد بود که می‌تواند نورانیت آن را برای مدت چند هفته یک میلیون مرتبه بزرگ کند.

این فرضیه با وجود سادگی که دارد از لحاظ توجیه شباهت قابل توجهی که در انفجار همهٔ نواختران دیده می‌شود، مارا بادشواریهای جدی

پیدایش و مرگ خورشید

روبه‌رو می‌کند. چه از لحاظ آنکه سحابیه‌های گازی که ممکن است ستارگان مختلف با آنها برخورد کنند، به اندازه‌ای از حیث بزرگی و شکل بایکدیگر تفاوت دارند که نمی‌توان گفت چرا نتیجهٔ برخورد با همهٔ آنها به یک صورت جلوه‌گر می‌شود. و نیز باید به این نکته توجه داشت که گرچه فرضیهٔ حرکتی برای تولید انرژی نواختران عادی کفایت می‌کند، مطلقاً برای فوق نواختران که انرژی بسیار زیادی از خود خارج می‌کنند کافی به نظر نمی‌رسد.

اگر خواسته باشیم مسئلهٔ انفجار ستارگان را از راه تبدلات هسته‌ای که در زندگی عادی آنها اهمیت فراوان دارد حل کنیم، بایستی در اندیشهٔ آن فعل و انفعالات حرارتی هسته‌ای باشیم که چون درجهٔ حرارت مرکزی ستاره در ضمن تکامل آن از حد بحرانی تجاوز کند، چنین فعل و انفعالاتی حادث می‌شود. مقدار مختصری از چنین «عنصر قابل انفجار» ممکن است برای آزاد کردن انرژی که جهت یک نواختر عادی و حتی یک فوق نواختر لازم است کفایت کند؛ ولی باید گفت که فعل و انفعال ممکن از این قبیل را هنوز پیدا نکرده‌اند.

به این ترتیب بایستی اعتراف کنیم که از علت انفجار ستارگان چیزی نمی‌دانیم، و نمی‌توانیم از روی یقین بگوییم که آیا خورشید ما در آیندهٔ نزدیک یا دور مانند نواختر صورت جاثی دچار انفجار خواهد شد یا نه. امیدواریم که چنین حادثه‌ای پیش نیاید.

فوق نواختران و «حالت آهسته‌ای» ماده

در مورد حالت خاص فوق نواختران فرضیهٔ جدیدی برای کیفیت انفجار توسط تسویکی پیشنهاد شده است. برای آنکه این فرضیه را نیکوتر فهم کنیم لازم است به آنچه دربارهٔ چگالی بیش از اندازه ستارگان در فصل هشتم گفتیم مراجعه کنیم. در آنجا دیدیم که پس از مصرف شدن تمام ئیدروژنی که برای فعل و انفعالات حرارتی هسته لازم است، هر ستاره ناچار از آن است که انقباض عظیم پیدا کند و به این ترتیب چگالی آن بی‌اندازه زیاد شود.

در شکل (۴۵) همان فصل این مطلب را نمایش دادیم که شعاع

ستارگان ویران تابعی از جرم آن است، و نشان دادیم که شعاع انتهایی ستاره هر اندازه جرم آن زیادتر باشد کمتر خواهد بود. خواننده دقیق ممکن است با دیدن منحنی آن شکل به این نکته برخورد کرده باشد که منحنی نماینده ارتباط میان شعاع و جرم به صورت نامحدود در جهت جرمهای بزرگ پیش نمی‌رود، بلکه برای جرمی مساوی 1.4 برابر جرم خورشید شعاع صفر خواهد شد. به این معنی که **حد اقل شعاع برای ستارگان سنگینتر از 1.4 برابر خورشید صفر است** و به عبارت دیگر همه ستارگانی که به اندازه کافی بزرگ هستند به صورت نامحدودی انقباض پیدامی‌کنند. وزن قشرهای خارجی این ستارگان آن اندازه زیاد است که فشار گاز الکترونی فرمی در داخل آنها هرگز نمی‌تواند با آن تعادل پیدا کند، و با هیچ اندازه معینی از شعاع تعادل پایداری برقرار نخواهد شد.^۱

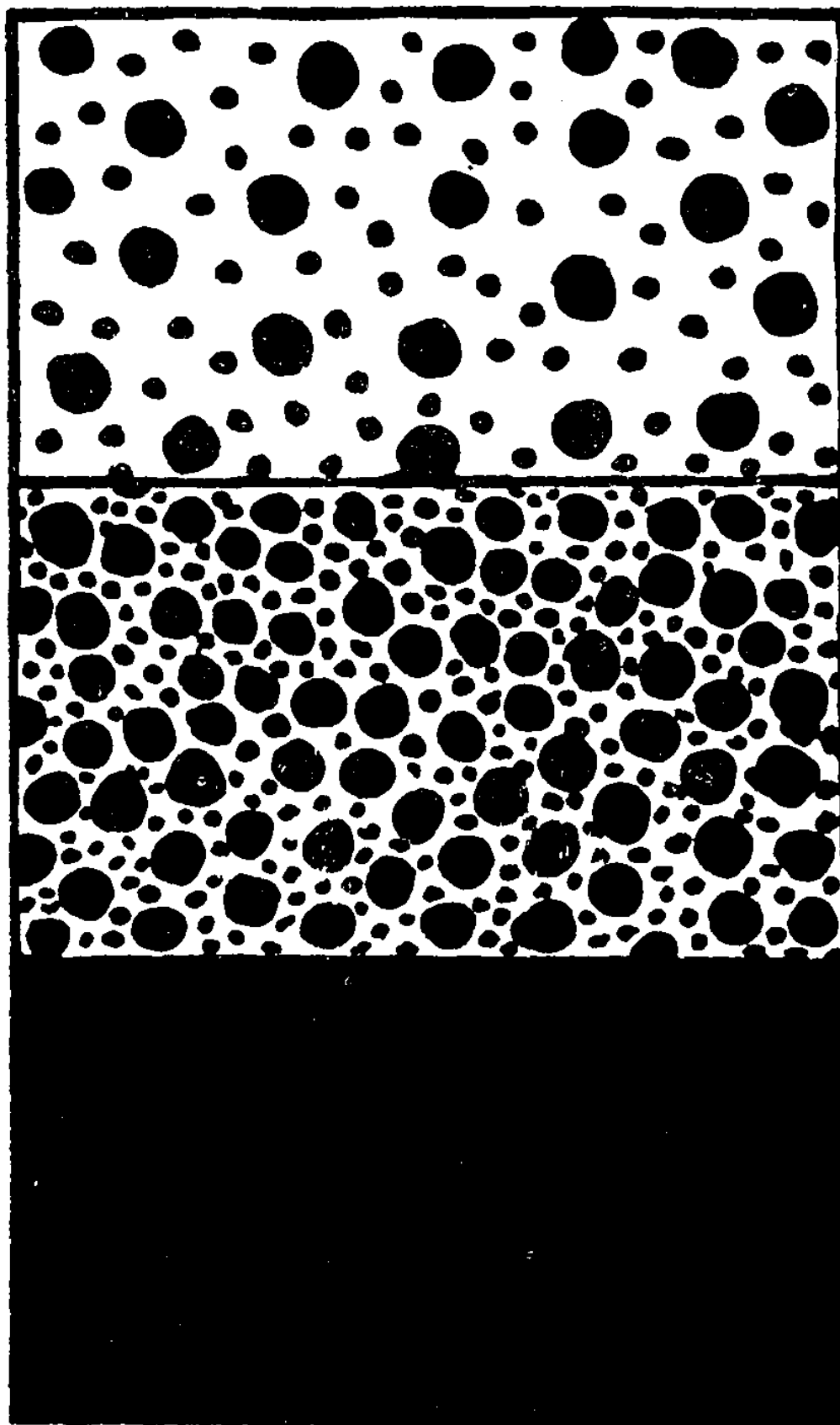
آیا برای ستاره سنگینی که در حال انقباض است، و به تعبیر ریاضی می‌خواهد به شکل نقطه هندسی درآید، چه پیش خواهد آمد؟ پاسخ این پرسش را نخستین بار فیزیکدان جوان روسی **لاندو**^۲ داده است. بنا به نظر وی به محض آنکه فاصله میان الکترونها مجزی و هسته‌هایی که ماده ستاره را می‌سازند، مساوی قطر آنها شود، انقباض متوقف می‌گردد. در این مرحله از فشار که هسته‌ها و الکترونها در مجاورت مستقیم یکدیگر قرار می‌گیرند، مانند قطرات جیوه‌ای که نزدیک یکدیگر باشند بهم می‌چسبند و در مرکز ستاره «**ماده هسته‌ای**» پیوسته‌ای می‌سازند (شکل ۴۸).

«**صلب بودن**» شدید فرضی این شکل از ماده بالاخره از انقباض

۱. البته خواننده فراموش نکرده است که همه اینها مربوط به ستارگانی است که ئیدروژن ندارند و از انرژی ثقلی انقباض زندگی می‌کنند. در تمام ستارگان جوان ئیدروژن‌دار، فعل و انفعالات حرارتی هسته آن اندازه انرژی تولید می‌کند که می‌تواند در مرکز ستاره حرارت و فشار کافی‌گاز را برای برقراری تعادل به وجود آورد.

۲. L. D. Landau

پیداایش و مرکب خورشید



شکل ۴۸

تشکیل « حالت هسته‌ای » ماده در نتیجه فشار زیاد (با شکل ۴۳ مقایسه شود) .

جورج کاموف

تدریجی ستارگان سنگین جلو می‌گیرد، و در حالت تعادل مرکز ستاره را هسته غول آسایی اشغال خواهد کرد که کاملاً با هسته معمولی اتوم شبیه است ولی چند صد کیلومتر قطر دارد، و چون این هسته از هسته‌ها و الکترونها بی ساخته شده که در نتیجه ویران شدن اتومهای خنثای اولیه از یکدیگر جدا شده‌اند، بنابراین هسته ستاره به صورت کلی خنثی است و چگالی آن چند هزار بلیون برابر چگالی آب خواهد بود. ۱.

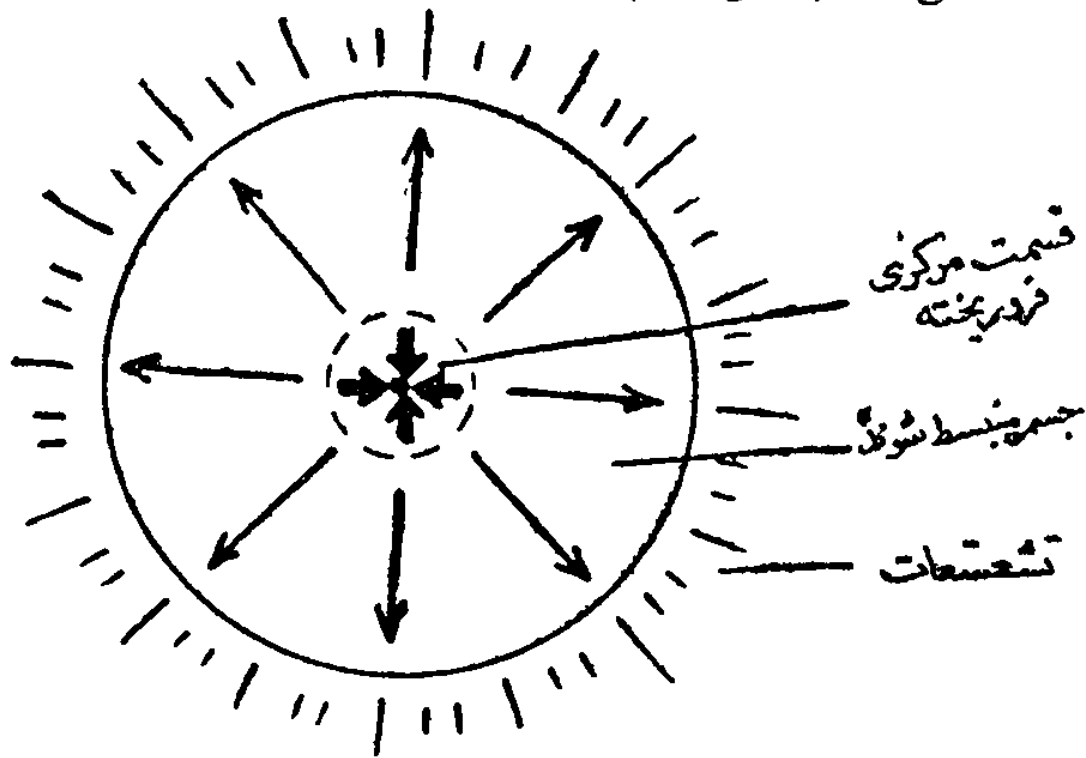
ذره غبارمانندی که از چنین ماده چکال ساخته شده باشد، چندین تون وزن خواهد داشت! ولی واضح است که ماده با چنین «حالت هسته‌ای» تنها در زیر فشار شکر فی می‌تواند موجود بماند که در مرکز ستارگان سنگین در حال انقباض وجود دارد. چون ماده را از این ناحیه خارج کنند، بلافاصله انبساط پیدا می‌کند و به صورت هسته‌ها و الکترونها مجزای از یکدیگر در می‌آید و عناصر شیمیایی ثابت گوناگون از آن ساخته می‌شود.

اکنون به فرضیه دکتر تسویکی درباره حوادث فاجعه آمیز مربوط به انفجار فوق نواختران باز می‌گردیم؛ کیفیتی که در اینجا ناظر آن هستیم نتیجه ویرانی و فروریختن سریع و شگرف ستارگان سنگین است که بر اثر تشکیل چنین «حالت هسته‌ای» ماده در درون آنها ایجاد می‌شود. شاید آغاز این کیفیت از آنجا باشد که هسته‌های برهنه اتوم در داخل ستاره به واسطه جذب کردن الکترونها آزادی که با فشار خارجی به آنها نزدیک شده‌اند حالت خنثی پیدا می‌کنند. پس از آن ذرات خنثایی که بدین صورت تشکیل می‌شود به یکدیگر می‌چسبند و یک تکه صلب از ماده هسته‌ای را می‌سازند. به این ترتیب ممکن است شعاع ستاره‌ای در

۱. در آب هسته‌های اتوم به فاصله 10^{-8} سانتیمتر از یکدیگر قرار دارند، در صورتی که در حالت هسته‌ای ماده این فاصله مساوی قطر هسته‌ها یعنی 10^{-12} سانتیمتر می‌شود. این انقباض طولی که ضریب ۱۰،۰۰۰ دارد برای ازدیاد چگالی ضریب 10^{12} یعنی ۱۰،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰ را می‌دهد.

پیدایش و مرگ خورشید

ظرف مدت چند ساعت به يك صدم شعاع اولی آن برسد، و مقدار عظیم انرژی ثقلی که آزاد می شود آن اندازه زیاد است که می تواند جوابگوی نورانیت شدید فوق نواختری باشد. در نتیجه فشار تشعشعاتی که از قسمت مرکزی ستاره سرچشمه می گیرد، ممکن است قشرهای خارجی آن دورتر رود و سبب تولید غلاف منبسط شونده ای شود که ستاره در حال انفجار را احاطه می کند (شکل ۴۹).



شکل ۴۹

فرضیه فروریختن نواحی مرکزی در یک فوق نواختر.

با وجود آن که چنین توضیحی درباره انفجار فوق نواختران جالب توجه به نظر می رسد، نمی تواند از حدود يك فرضیه جالب توجه تجاوز کند، چه هنوز تحقیقات نظری در باره مسائل مربوط به چنین ویرانی داخلی ستاره ها صورت نگرفته، ولی امیدواری حاصل است که در ظرف چند سال آینده راه حل رضایتبخشی درباره این معمای مربوط به تکامل ستارگان پیدا شود.

فصل دهم

تشکیل ثوابت و سیارات

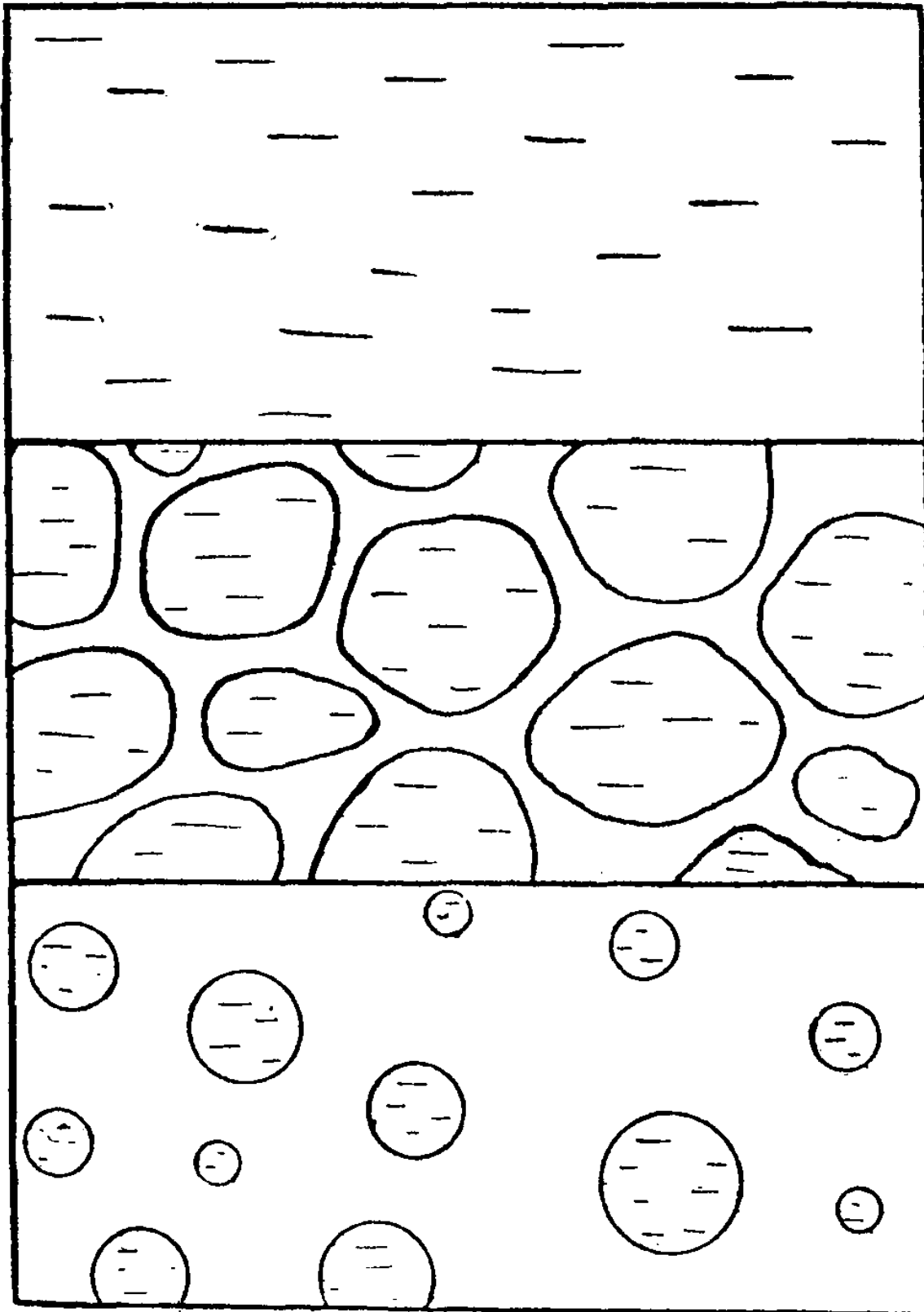
ستارگان همچون « قطره‌های گاز »



تاکنون چندین بار به این مطلب اشاره کردیم که ستارگان در مراحل نخستین پیدایش و تکامل خود همچون کرات گازی رقیق و نسبتاً سردی هستند که در نتیجه انقباض ثقلی رفته رفته گرمتر می‌شوند. در سپیده دم پیدایش جهان بایستی جرم ستارگان چنان رقیق بوده باشد که تمام فضایی را که در برابر آنها وجود داشته پر کند، و به این ترتیب گاز پیوسته خاصی را بسازد. بعدها بر اثر یک نوع عدم تعادل داخلی بایستی این گاز پیوسته به چندین پاره ابر مانندی به نام « قطرات گاز » تقسیم شده باشد، و از انقباض همین قطرات گاز است که ستاره‌هایی که هم‌اکنون به نام می‌شناسیم پدیدار شده است (شکل ۵۰).

آیا در تحت چه شرایط فیزیکی این گاز پیوسته جهانی توانسته

پیدایش و مرگ خورشید



شکل ۵۰

پیدایش ستارگان مجزی از یکدیگر از یک گاز پیوسته.

جورج ساموف

است پاره پاره شود، و چرا چنین کیفیتی مثلا برای هوای جو زمین اتفاق نمی افتد؟ بسیار عجیب به نظر می رسد که زمانی هوایی که اتاقی را پر کرده به صورت « قطرات هوا » درآید و در میان این قطره ها فضای خالی ایجاد شود!

اختلاف میان این دو حالت در آن نیست که گازی که ستارگان از آن ساخته شده خواص فیزیکی یا شیمیایی جداگانه ای داشته^۱، بلکه اختلاف در آن است که عظمت فضای میان ستارگان به اندازه ای است که فضای يك اطاق وحتى ضخامت قشر جوی زمین در مقایسه با آن بسیار ناچیز است. اگر در داخل يك اطاق یا در جو آزادی که زمین ما را احاطه کرده، قسمتی از گاز در ناحیه معینی حالت تمرکز و غلظت پیدا کند فشار زیاد شده گاز در آن نقطه بلافاصله این غلظت را از میان می برد و چگالی را به حال عادی باز می گرداند. به این ترتیب است که نطفه «قطرات هوا» هرگز شانس آن را ندارند که با حالت تمرکز و غلظت جدی منعقد شوند.^۲

ولی اگر چنین نطفه ای به اندازه کافی بزرگ باشد در نتیجه نیروی جاذبه ای که میان پاره های مختلف آن موجود است خود را نگاه می دارد، وحتى نیروهای ثقلی ممکن است سبب آن شود که چگالی آن

۱. البته آن گاز اصلی از هوا بسیار داغتر بوده و در آن بخار عناصر مختلف وجود داشته است، ولی این سبب آن نیست که در خواص عمومی گازی تغییر اساسی پیدا شود.

۲. با وجود این باید گفت که حتی چنین نطفه های کوچک در جو زمین نقش مهمی بازی می کنند. انحراف مختصری که در یکنواختی هوا بر اثر نوسان و کم یا زیاد شدن چگالی پیدا می شود، باعث پراکنده شدن نور آفتاب است که از میان هوای جو می گذرد و سبب روشن شدن و آبی رنگ شدن آسمان بالای سر ما می شود. اگر هوای جو کاملا یکنواخت بود، آسمان پیوسته سیاه رنگ به نظر می رسید و ستارگان در هنگام روز نیز دیده می شدند؛ و نیز در چنان صورتی هرگز منظره زیبای غروب آفتاب را کسی نمی توانست به چشم ببیند.

آیا کیفیت پیدایش ستارگان در زمان حاضر نیز ادامه دارد؟

بنا بر بهترین تخمینهایی که شده، عمر جهان اختری دو بلیون سال است، و از این رو تا حدی می توان زمانی را که برای پاره پاره شدن جرم پیوسته گازی ابتدایی لازم بوده است حساب کرد. می خواهیم بدانیم که آیا این کیفیت خلق ستارگان فعلاً خاتمه پذیرفته یا اینکه در زمان حاضر نیز ستارگان تازه ای ساخته می شود.

مطالعه در اشکال گوناگون ستارگانی که متعلق به منظومه اختری ما هستند، کاملاً نشان می دهد که بعضی از این ستارگان به نسبت قابل ملاحظه ای جوانتر از دیگران هستند. مثلاً در فصل هفتم دیدیم که ستارگانی که به نام **غولهای سرخ** نامیده می شوند نخستین مراحل تکامل و پیدایش ستارگان را نشان می دهند. احتمال آن نمی رود که این دسته از ستارگان بیش از چند ملیون سال عمر داشته باشند، و به همین جهت باید گفت که پیدایش آنها در دوره های معرفه الارضی صورت گرفته است. برجسته ترین نمونه از ستاره ای که در ابتدایی ترین مراحل تکامل خود باشد همان ستاره ماوراء سرخ ϵ ممسک الاعنة I است که به احتمال قوی هم اکنون در مرحله انقباض نخستین خود به سر می برد.

از این ستارگان گذشته ستارگان بسیار درخشان رشته اصلی که به نام **غولهای آبی** نامیده می شوند نیز بایستی به طور نسبی ستارگان جوانی باشند. نظر به نورانیت شدیدی که دارند عمر **کلی** که برای آنها حدس زده می شود نسبتاً کوتاه است، و با اطلاعاتی که اکنون داریم می توان گفت که این دسته از ستاره ها تازه به منظومه اختری ما افزوده شده اند. چنین ستارگانی مانند ستاره شماره ۲۹ صورت کلب اکبر یا ستاره AO در صورت فلکی ذات الکرسی برای هر گرم از ماده خود مقداری انرژی معادل ۲۰،۰۰۰ برابر انرژی که خورشید برای هر گرم خود بیرون می فرستد تولید می کنند، و چنان به نظر می رسد که از مرحله مصرف کردن محتوی ئیدروژنی آنها بیش از ۵ ملیون سال نگذشته باشد؛ محققاً در آن زمان که خزندگان غولپیکر بر سطح زمین می زیسته اند

پیدایش و مرگ خورشید

این ستارگان هنوز در آسمان وجود نداشته است. البته اکنون نیز مواد گازی پراکنده (سحابیهای گازی) در فضای میان ستارگان وجود دارد، و باید چنین استنتاج کنیم که عمل ساخته شدن ستارگان هنوز هم ادامه دارد، منتهی احتمال آن هست که این کار در زمان حاضر بامقیاس کوچکتری از آن زمانهای دور که اغلب ستارگان در آن زمان پیدا شده اند صورت بگیرد.

منشأ کوتوله‌های سفید

در آن هنگام که سن ستارگان مختلف را با سن کلی جهان مقایسه می‌کنیم، به‌حالاتی برمی‌خوریم که درست در جهت مقابل حالت غولهای سرخ و آبی قرار دارد، و در آن حالات ستارگان پیرتر از آنچه می‌توانند باشند به‌نظر می‌رسند. در فصل ۸ دیدیم که ستارگانی که به‌نام **کوتوله‌های سفید** نامیده می‌شوند، ستارگانی هستند که پیش از این سرچشمه انرژی هسته‌ای آنها خشکیده و در مرحله‌ای از تکامل خود به‌سر می‌برند که چون خورشید ما تمام محتوی ئیدروژنی خود را تمام کند به آن مرحله خواهد رسید. ولی این مطلب را هم دانستیم که ستارگانی به‌بزرگی خورشید ما چند بلیون سال می‌خواهند تا به این مرحله از تکامل خود برسند، و خورشید ما از زمان تولد خود تاکنون به‌زحمت يك قسمت از ۳۵ درصد محتوی ئیدروژنی خویش را به‌مصرف رسانیده است.

پس چگونه امکان دارد که یکی از چنین ستارگان مثلاً صاحب شعری دیگر هیچ ئیدروژن نداشته باشد و حتی به‌کندی به‌سوی مرگ رهسپار باشد؟ قبول این مطلب که این ستارگان از اصل ئیدروژنی نداشته‌باشد کار دشواری است، زیرا چنان به‌نظر می‌رسد که عناصر در ابتدا خوب بایکدیگر مخلوط شده باشند و ئیدروژن همه‌جا به‌يك شکل موجود بوده باشد. از طرف دیگر نمی‌توان تصور کرد که این‌گونه ستارگان سالخورده تراز خود جهان اختری بوده باشند. به‌طور خلاصه جهان اختری جوانتر از آن به‌نظر می‌رسد که بتواند ستارگان کهنسالی مانند کوتوله‌های سفید را شامل شود، و وجود مصاحب

شعری در خانواده ستارگان همان اندازه عجیب است که آدمی در تختخواب کودکی در پرورشگاه کودکان مردی را باریش سفید خفته ببیند. به نظر مؤلف تنها فرضیه‌ای که می‌تواند وجود کوتوله‌های سفید را در حالت فعلی تکامل جهان توضیح دهد این است که بگوییم این ستارگان هرگز جوان و کودک نبوده‌اند و پاره‌هایی هستند که در نتیجه ویرانی ستارگان سنگینتر که تکامل سریعتری داشته‌اند به وجود آمده‌اند. ستارگان بسیار بزرگ و بسیار روشنی که از آغاز پیدایش جهان اختری درست شده‌اند بایستی ذخیره ئیدروژنی خود را تمام کرده و مدت‌ها پیش از این به آخرین انقباض خود آغاز کرده باشند. در یکی از فصلهای گذشته دیدیم که انقباض چنین ستارگان که بارها بزرگتر از خورشید ما هستند، به احتمال قوی سبب انهدام و فروریختن جسم آنها می‌شود (به توضیح تسویکی در باره فوق نواختران مراجعه شود) و در نتیجه به چند پاره منقسم می‌گردند و تکه‌های کوچکتری از آنها به وجود می‌آید. این پاره‌ها که از انفجار اختری در زمانهای دور گذشته به وجود آمده، ممکن است همان کوتوله‌های سفید باشد که اکنون در منظومه اختری ما به چشم می‌رسد.

منشأ سیارات چه بوده؟

در آن هنگام که برای نخستین بار می‌خواستند از راه علم در باره منشأ جهان فکر کنند، توجه بیشتر مردم به اصل زمین و سایر سیارات منظومه شمسی معطوف بود. و این مایه کمال تعجب است که در زمان حاضر که این همه چیز درباره اصل و منشأ انواع مختلف ستارگان می‌دانیم و با کمال صراحت و جدیت درباره مسائل مربوط به پیدایش کل جهان بحث می‌کنیم، هنوز مسئله تشکیل زمین چنان که باید طرح و حل نشده است.

بیش از يك قرن قبل از این فیلسوف بزرگ آلمانی ایمانوئل کانت^۱ نخستین فرضیه قابل قبول علمی را درباره اصل پیدایش منظومه

1 . Immanuel Kant

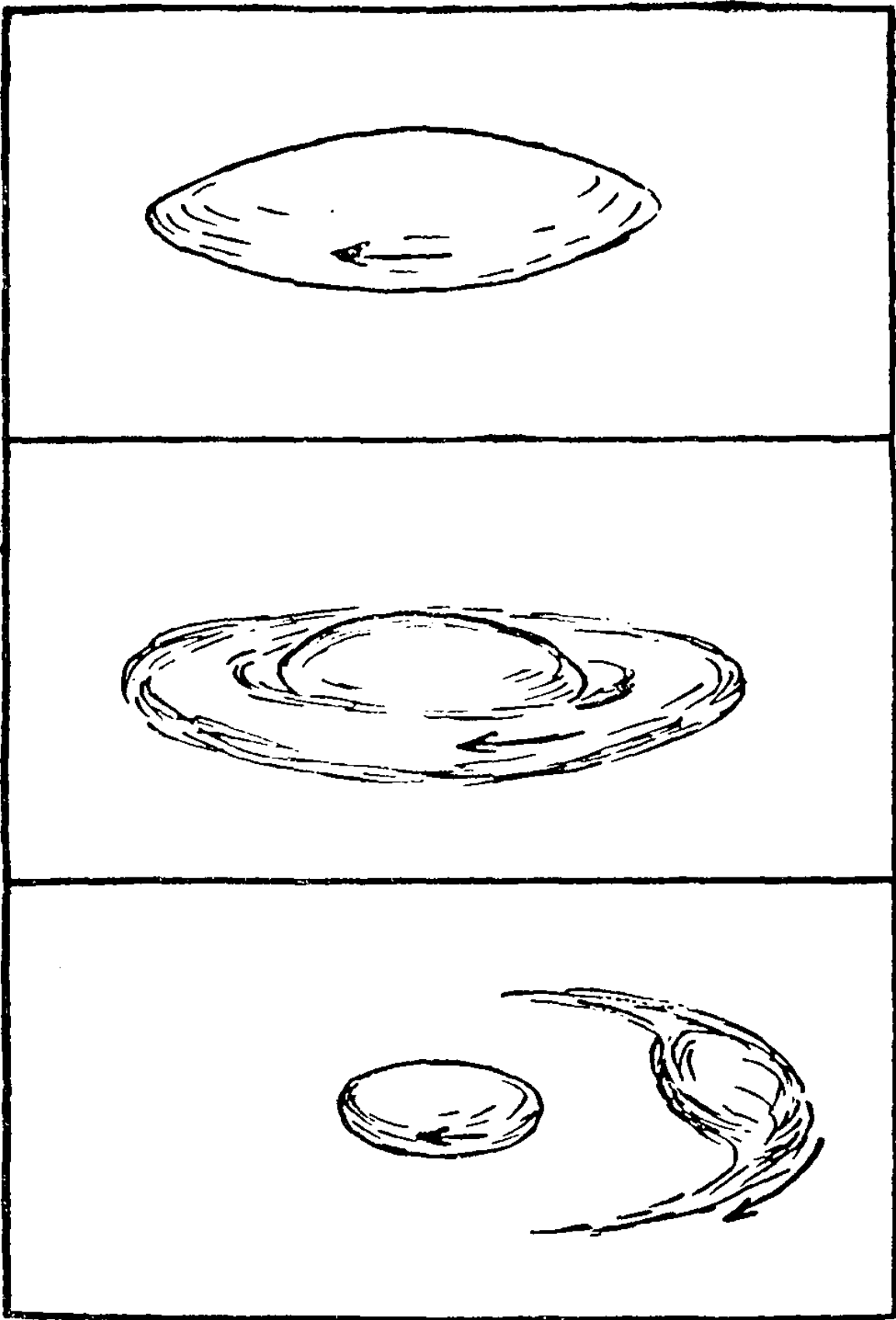
شمسی طرح ریخت، و پس از وی ریاضیدان بزرگ فرانسوی به نام **پیرسیمون دو لاپلاس** آن فرضیه را تکمیل کرد. بنابراین فرضیه ستارگان منظومه شمسی همه از یک حلقه گازی به وجود آمده‌اند که در نتیجه نیروی گرینز انمرکز از جرم مرکزی اصلی این منظومه، یعنی خورشید، در ابتدای انقباض آن جدا شده است (شکل ۵۱). به اندازه علم و معرفتی که اکنون در اختیار داریم، باید بگوییم که این فرضیه ساده و فریبنده دیگر نمی‌تواند در مقابل موشکافیها و نقادیهای جدی استوار بماند.

نخستین اشکال در این است که با تحلیل ریاضی معلوم شده است که هر حلقه گازی که احتمال تشکیل شدن آن برگرد خورشید گردنده و در حال انقباض می‌رود، هرگز به صورت سیاره ساده‌ای در نخواهد آمد، بلکه از آن عده زیادتری اجسام کوچکتر شبیه به حلقه‌های زحل تولید می‌شود.

دشواری دیگر و مهمتری که در برابر فرض **لاپلاس - کانت** وجود دارد در این واقعیت است که ۹۸ درصد از گشتاور دورانی منظومه شمسی همراه با حرکت سیارات است و فقط ۲ درصد آن به دوران خود خورشید مربوط می‌شود، و محال است که بتوان گفت چرا چنین چند در صد بزرگ از گشتاور دورانی در حلقه‌های جدا شده مانده و عملاً چیزی برای جرم گردنده اولی باقی نمانده است. بنابراین چنین به نظر می‌رسد که بایستی ناچار فرض کنیم (و این فرضی است که نخستین بار به وسیله **چمبرلین و مولتون** آمده) که گشتاور دورانی از خارج به منظومه سیارات داده شده، و به این ترتیب تشکیل سیارات را نتیجه تصادم خورشید خودمان با جرم آسمانی دیگری به بزرگی آن تصور کنیم.

باید چنین تخیل کنیم که در آن هنگام که خورشید تنها بوده و خانواده سیاراتی همراه خود نداشته است، با جرم مشابه خود در آسمان

1. Pierre Simon de Laplace
2. Chamberlin and Moulton

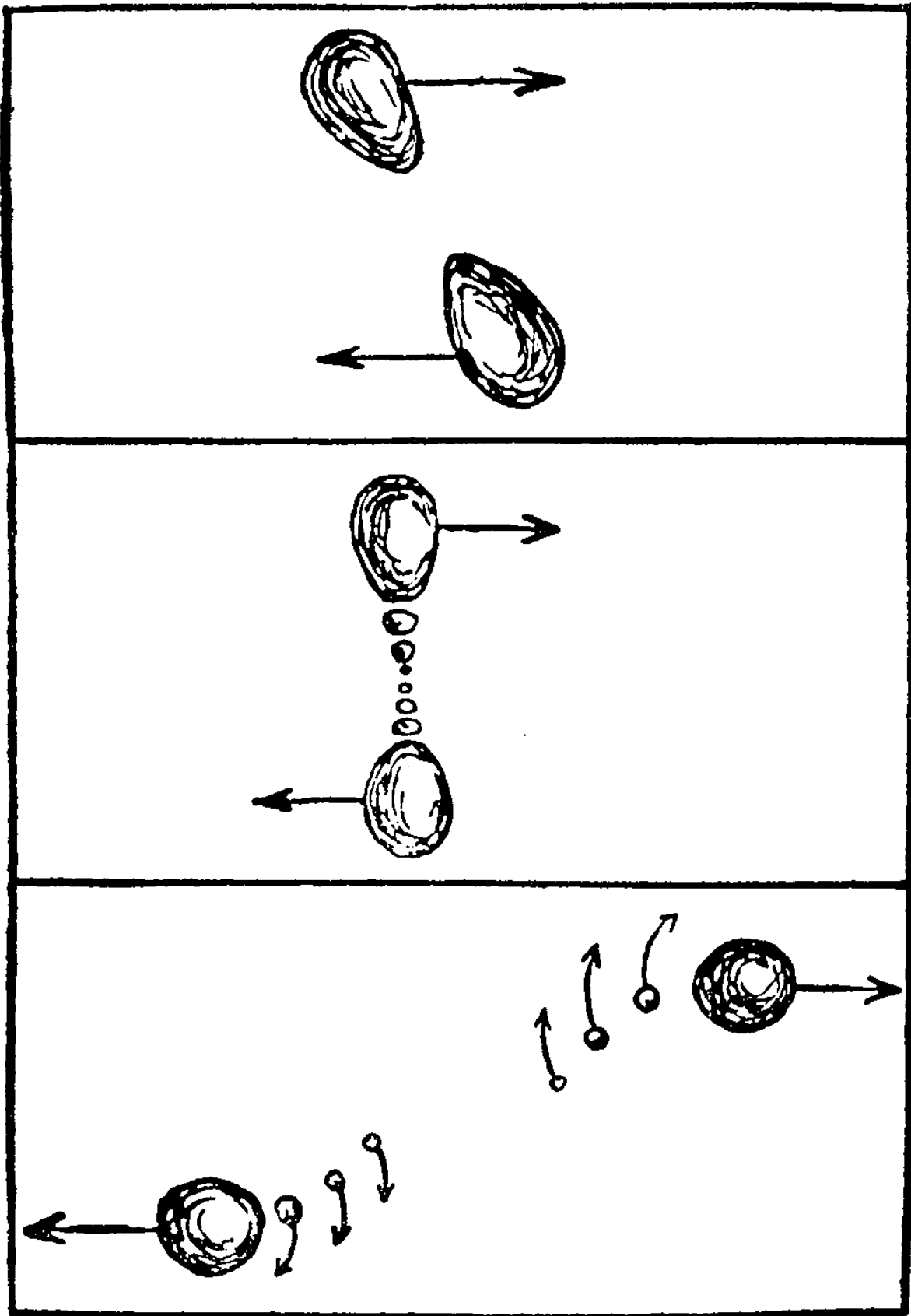


شکل ۵۱

فرضیه (فادرست) کانت - لاپلاس درباره تشکیل منظومه شمسی.

تلاقی کرده است. برای تولد سیارات برخورد و تلاقی فیزیکی ضرورت نداشته است، چه نیروی طرفینی جاذبه از فاصله دور هم می‌توانسته است بر هر دو ستاره برجستگیهای عظیمی ایجاد کند که به طرف یکدیگر متوجه باشند (شکل ۵۲). هنگامی که این برآمدگیها که عملاً مدهای غولپیکری بوده از ارتفاع معین حدی تجاوز کرده‌اند، ناچار در امتداد خطی که مرکز دو ستاره را به یکدیگر متصل می‌کرده بریدگی پیدا کرده و از آنها «قطرات» چند جدا از یکدیگر به وجود آمده است. حرکت نسبی این دو پدر و مادر سیارات نسبت به هم بایستی به این سیارات گازی ابتدائی دوران شدیدی داده باشد، و در آن هنگام که دو ستاره از یکدیگر دور می‌شدند با هر یک دسته‌ای از سیارات که دوران سریع داشته‌اند همراه شده است. امواج مدی سطح آن دو ستاره همچنین سبب آن شده است که خود آنها نیز ناچار از این باشند که به‌کندی در همان جهت سیاراتشان حرکت دورانی پیدا کنند، و این خود نشان می‌دهد که چرامحور دوران خورشید ما این اندازه بامحور مدارهای سیارات انطباق نزدیک دارد. این خود مطلب دلفریبی است که آدمی فکر کند در فضای میان ستارگان ستاره خاصی مسئول تشکیل منظومه شمسی ما باشد و با خود اجرامی را که نیمی خواهر و نیمی برادر زمین ما هستند همراه ببرد. ولی چون ولادت منظومه ما چند بلیون سال پیش از این صورت گرفته، خورشید ما اکنون از آن ستاره بسیار دور است، و تقریباً هر یک از ستارگانی که در آسمان دیده می‌شود ممکن است همان ستاره بوده باشد.

ولی این «نظریه زدن و در رفتن» درباره تشکیل منظومه شمسی، در صورتی که شانس چنین برخورد نزدیک میان دو ستاره را به حساب بیاوریم، اشکالاتی پیش می‌آورد. بادر نظر گرفتن فاصله عظیم موجود میان ستارگان و شعاع نسبی کوچک آنها، به آسانی می‌توان حساب کرد که در طول مدت چند بلیون سالی که از تشکیل آنها گذشته احتمال چنین برخوردی برای هر یک از ستارگان تنها یک چند بلیونم است. به این ترتیب ناچار باید چنین نتیجه بگیریم که منظومه‌های سیاره‌ای از نمودهای نادر جهان به‌شمار می‌روند، و خورشید ما خوشبخت است که یکی از چنین



شکل ۵۲
فرضیه «زدن و در رفتن» درباره تشکیل سیارات.

پیدایش و مرگ خورشید

منظومه‌ها را همراه خود دارد. به عبارت دیگر از میان بلیونها ستاره که منظومه اختری ما را تشکیل می‌دهند به احتمال قوی تنها خورشید و همسراو دو ستاره‌ای هستند که خانواده‌ای از سیارات باخود دارند! البته هنوز دوربینهای آسمانی آن اندازه قوی نیست که بتواند مستقیماً تعیین کند که آیا ستارگان دیگر و حتی آنها که بسیار نزدیک ماهستند سیاراتی دارند یا نه، ولی اگر منظومه سیاره‌ای خورشید ما از نمودهای بسیار نادر باشد مایه تعجب خواهد بود، به خصوص اگر در نظر بیاوریم که عدد ستارگان دوگانه (و حتی گاهی سه‌گانه) که مشاهده شده کم نیست. فهم این که منشأ پیدایش این ستاره‌های دوگانه از کجا است کمتر از فهم منشأ سیارات و اقمار کوچکتر دشواری ندارد.

ولی با فرض اینکه تشکیل سیارات مربوط به اوایل تکامل جهان و هنگامی باشد که هنوز خود ستاره‌ها ساخته نشده بودند، همه این اشکالات از میان برداشته می‌شود. در دو فصل آینده خواهیم دید که جهان ما پیوسته در حال انبساط و گسترش است و این خود می‌رساند که در زمانهای بسیار دور فاصله میان افراد ستارگان از آنچه اکنون هست خیلی کمتر بوده است. در آن زمان تلاقی میان دو ستاره حادثه‌ای بوده که احتمال وقوع بیشتری برای آن می‌رفته است، و به این ترتیب برای هر ستاره احتمال آن وجود داشته است تا منظومه سیاراتی مخصوص به خود داشته باشد.

بعضی از این برخورد های ستارگان ممکن است (با کومک ستاره سومی) سبب آن شده باشد که دو ستاره مجاور اتصال نزدیکی به یکدیگر پیدا کنند، و دستگامی درست شود که اکنون به نام ستاره مزدوج یادو- گانه می‌خوانیم.

فصل یازدهم

جهانهای جزیره‌ای

کهکشان یا جاده شیری



شبی که هوا صاف باشد، به آسانی می‌توان نوار نورانی کمرنگی را در آسمان مشاهده کرد که از این طرف افق به آن طرف آن کشیده شده است. منجمان به آسانی بانروی تخیل چنین تصور می‌کرده‌اند که این نوار نماینده شیری است که از پستان ماده گاوی آسمانی بیرون ریخته است (گرچه در آسمان صورتی فلکی به نام ماده‌گاو وجود ندارد)، و به همین جهت است که آنرا راه شیری نامیده‌اند.^۱

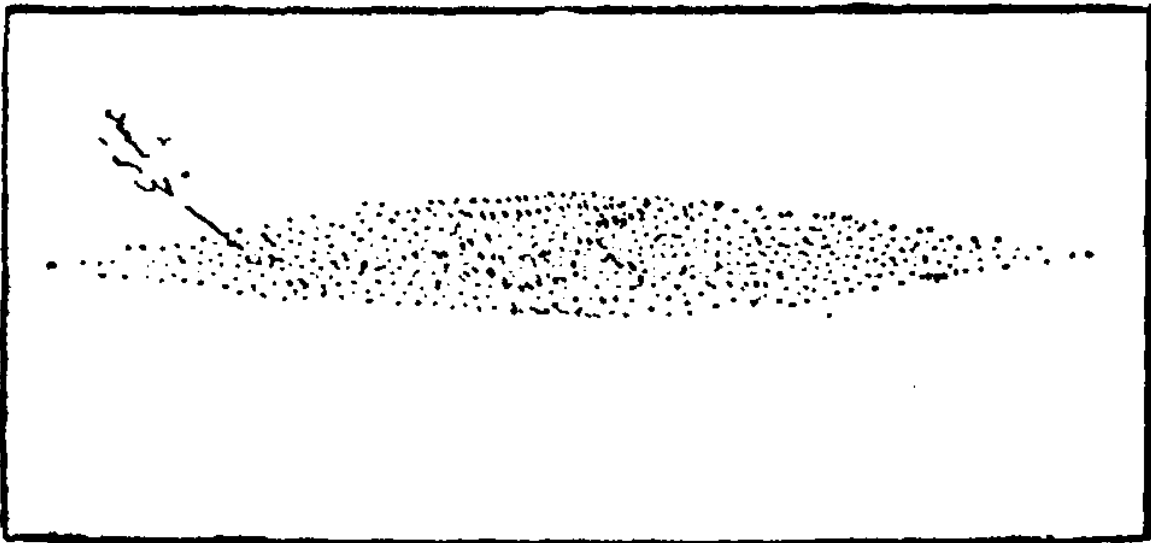
نخستین مشاهدهٔ تلسکوپی کهکشان که بوسیلهٔ **سرویلیام هرشل**^۲

۱. در روایت‌های شرقی چنان تصور می‌شود که بارگاهی در آسمان عبور می‌کرده و این خرده‌های گاه است که افشانده شده و به همین جهت به آن نام کهکشان یا کاهکشان داده‌اند. -م.

۲. Sir William Herschel

پیدایش و مرگ خورشید

صورت گرفت به تعبیر مجازی راه شیری صورت حقیقت بخشید، و معلوم شد همان گونه که در شیردانه‌های چربی در میان ماده کمابیش شفافتری شناور است، در راه شیری آسمان نیز عدهٔ بیشماری از ستاره‌های جدا جدای کم نور وجود دارد که با چشم غیر مسلح نمی‌توان آنها را از یکدیگر تمیز داد (صفحهٔ تصویر شمارهٔ XII پایان کتاب دیده شود). این حقیقت که ستارگانی که کهکشان را می‌سازند همه در داخل کمربند کمابیش منظمی قرار گرفته‌اند که آسمان را احاطه کرده است، هرشل را به این فکر بدیع انداخت که بایستی مجموعهٔ ستارگان کهکشان به صورت قرص پهن شده و چیزی شبیه به یک ساعت بغلی بوده باشد که خورشید ما در گوشه‌ای از فضایی که به وسیلهٔ این قرص اشغال شده جای دارد. همان گونه که از (شکل ۵۳) که نمایندهٔ طرز تخیل هرشل نسبت



شکل ۵۳

شکل نظری منظومهٔ اختری کهکشان که از روی آن وضع خارج از مرکز خورشید به خوبی دیده می‌شود.

به کهکشان است برمی‌آید، عدهٔ ستارگانی که در امتداد عمود بر سطح اصلی کهکشان می‌توان دید بسیار کمتر از آن عده‌ای است که در امتداد خود سطح قابل رؤیت است. اغلب ستارگانی که در امتداد این سطح دیده می‌شوند از ما فاصلهٔ بسیار زیاد دارند، و روشنی ضعیف و شماره زیاد آنها روی هم رفته سبب آن می‌شوند که مجموع آنها را با چشم غیر

جورج گاموف

مسلح به شکل توده روشن شیرینگ پیوسته‌ای ببینیم. تصویری که بیش از یک قرن پیش از این توسط هرشل برای این منظومه آسمانی ساخته شده، همچون شالوده محکمی برای تمام تحقیقات بعدی درباره جهان به مقیاس وسیعتری به کار رفته است.

شماره ستارگان آسمان

برخلاف آنچه شایع است و در مورد عدد بی‌شماره گفته می‌شود «باندازه ستارگان آسمان»، باید گفت که شماره ستارگانی که با چشم می‌توان دید بسیار زیاد نیست. حقیقت امر این است که شماره چنین ستارگان در دونیمکره شمالی و جنوبی کمی از ۶,۰۰۰ بیشتر است، و چون قابلیت رؤیت در نزدیکی افق کمتر است، هیچ‌گاه بیش از ۲,۰۰۰ ستاره را در آسمان نمی‌توان دید. ولی چون برای دیدن آسمان به جای چشم دوربین را به کار بریم وضع عوض می‌شود، و اگر اصطلاح ستاره‌ها در آن گفته که مردم به کار می‌برند به معنی نجومی آن بگیریم، این گفته به حقیقت نزدیکتر می‌شود. شماره ستارگان منظومه کهکشانی ما با اینکه ستارگان بسیار دور و کم نور آن نیز به حساب گرفته شود، به وسیله منجم هلندی کاپتین^۱ که تحقیقات دقیقی در کهکشان دارد، در **حدود ۴۰ بلیون تخمین** شده و این خود شماره کمی نیست.

همه این ستارگان نامهای خاصی مانند شعری یا عیوق ندارند. این بینامی از آن جهت نیست که اگر بخواهیم با کلمات هشت حرفی به افراد این خانواده چهل بلیونی نام بدهیم بیست و چند حرف الفبا کفایت نمی‌کند، بلکه خود این نامگذاری وقت بسیار درازی می‌خواهد، و اگر برای فهرست کردن و نامنویسی هر ستاره تنها یک ثانیه وقت صرف کنیم، تهیه چنین فهرستی ۱۷۰۰ سال وقت لازم دارد.

ابعاد منظومه اختری ما

فاصله ستاره شعری تازمین ۵۲,۰۰۰ بلیون میل است، و نور

1. Kapteyn

پیدایش و مرگ خورشید

که در هر ثانیه به اندازه ۱۸۶،۰۰۰ میل راه پیمایی می‌کند، برای طی کردن این فاصله هشت سال وقت می‌خواهد، ولی شعری از ستارگانی است که به‌طور نسبی نزدیک به زمین قرار گرفته است؛ برای آنکه نور از آخرین فرد ستارگان منظومه کهکشان به زمین برسد، محتاج به زمانی مساوی چند هزار سال است. علمای نجوم برای آنکه در دسر محاسبه و نمایش دادن مسافتهای فلکی زیاد را کمتر کنند، فواصل آسمانی را با **سال نوری** نمایش می‌دهند.^۱

کاپتین پس از اندازه‌گیریهای دقیق به این نتیجه رسیده است که ۴۰ بلیون ستاره منظومه کهکشان در فضایی عدسی شکل پراکنده است که قطر آن مساوی ۱۰۰،۰۰۰ وضخامت آن مساوی ۱۰،۰۰۰ سال نور است. البته چون هر چه به کنار این فضای عدسی شکل نزدیکتر شویم پراکندگی ستاره‌ها بیشتر می‌شود، حدود آن کاملاً مشخص نیست. امکان آن هست که در فاصله‌های چندین برابر فواصلی که در بالا ذکر شد، هنوز ستارگانی وجود داشته باشد.

خورشید ما و منظومه سیارات وابسته به آن در قسمت محیطی این فضای عدسی شکل و نزدیک به سطح استوار و در فاصله ۳۰،۰۰۰ سال نور از مرکز آن جا دارد. مرکز کهکشان که انتظار می‌رود ستارگان بیشتر و بنابر آن نورانیت شدیدتری داشته باشد، در آن قسمت از کهکشان است که از میان صورت فلکی قوس می‌گذرد.

متأسفانه ابرهای تاریک میان ستارگان^۲ که از توده‌های سرد گاز و غبار تشکیل شده، پس از آفرینش ستارگان بر جای مانده و در قسمتی از فضا که میان خورشید و مرکز کهکشان است قرار گرفته و رصد کردن و دیدن این ناحیه بی‌اندازه جالب توجه را غیر ممکن ساخته است.

۱. سال نوری برابر است با ۹،۴۶۳،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰ کیلومتر یا ۵،۹۰۰ بلیون میل.

۲. همان‌که معمولاً به نام سحابیهای تاریک می‌نامند. به صفحات ۲۰۴ و ۲۰۵ و صفحه تصویر شماره XII پایان کتاب مراجعه شود.

حرکت ستارگان در داخل کهکشان

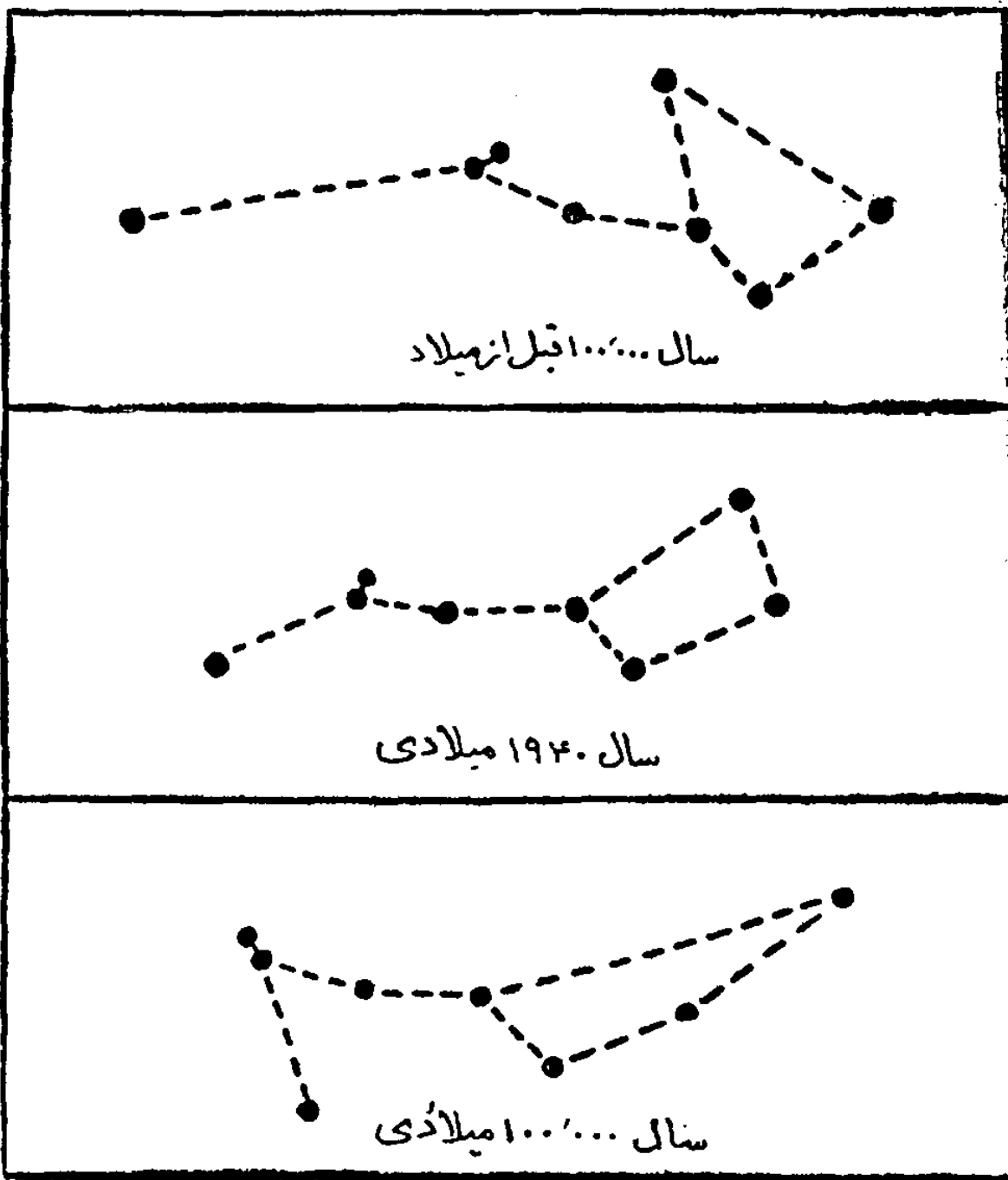
در علم هیئت قدیم ستارگانی را که از ترکیب آنها صور فلکی تشکیل می‌شده به نام «ستارگان ثابت» می‌نامیدند، و این در مقابل نام «ستارگان سرگردان» یا «سیار» بوده که به ستارگان دیگری می‌دادند که در میان آن ستارگان ثابت با سرعت نسبی حرکت می‌کنند. اکنون می‌دانیم که آنچه به نام «ستارگان ثابت» یا «ثوابت» نامیده می‌شود نیز در فضا حرکت می‌کند، و واقع امر آن است که سرعت حرکت این ثوابت بسیار زیادتر از سرعت حرکت سیارات است. ولی از آنجا که ثوابت فاصله‌های عظیمی از ما دارند، سرعت مطلق زیاد آنها تنها سبب تغییر مختصری در زاویه رؤیت موجود میان آنها می‌شود. با عکسهایی که در سالهای فاصله‌دار از یکدیگر از آسمان برداشته شده می‌توانیم این تغییر وضعهای مختصر ستاره‌ها (یعنی ثوابت) را نسبت به یکدیگر درک و از آن رو پیشبینی کنیم که در آینده بسیار دور وضع ظاهری آسمان چگونه خواهد بود.

من باب مثل بر روی شکل (۵۴) تغییراتی را که بایستی در صورت فلکی دب اکبر که همه آن را به خوبی می‌شناسیم حادث شود، نمایش داده‌ایم. دوره کوتاه نجومی چند صد هزار سال کافی است تا تغییر کلی در وضع ظاهری آسمان داده شود. به این ترتیب باید گفت که در آن هنگام که انسان نئاندرتال غارنشین ده‌ها هزار سال پیش از این در جنگلهای اروپا به شکار می‌پرداخت، صورت دب اکبری که در آسمان بالای سر خود می‌دید کاملاً با آنچه ما امروز بر بالای سر خود در آسمان می‌بینیم تفاوت داشت، و این مایه تأسف است که در آن روزها که چنین انسانی آثار هنری خود را بر روی دیوارهای غارها نقاشی می‌کرد و به یادگار می‌گذاشت، هرگز به این فکر نیفتاده است که یکی از صورتهای فلکی را نیز نقاشی کند و برای ما به یادگار باقی‌گذارد؛ اگر چنین حادثه‌ای اتفاق افتاده بود، بسیاری از زحماتی که اکنون منجمان در برابر خود دارند کم می‌شد و از میان می‌رفت.

این نکته را باید بگوییم که با وجود آنکه حرکت ستارگان مختلف در فضا به طور کلی بینظم و بی‌ارتباط به یکدیگر است، در موارد بسیاری

پیدایش و مرگ خورشید

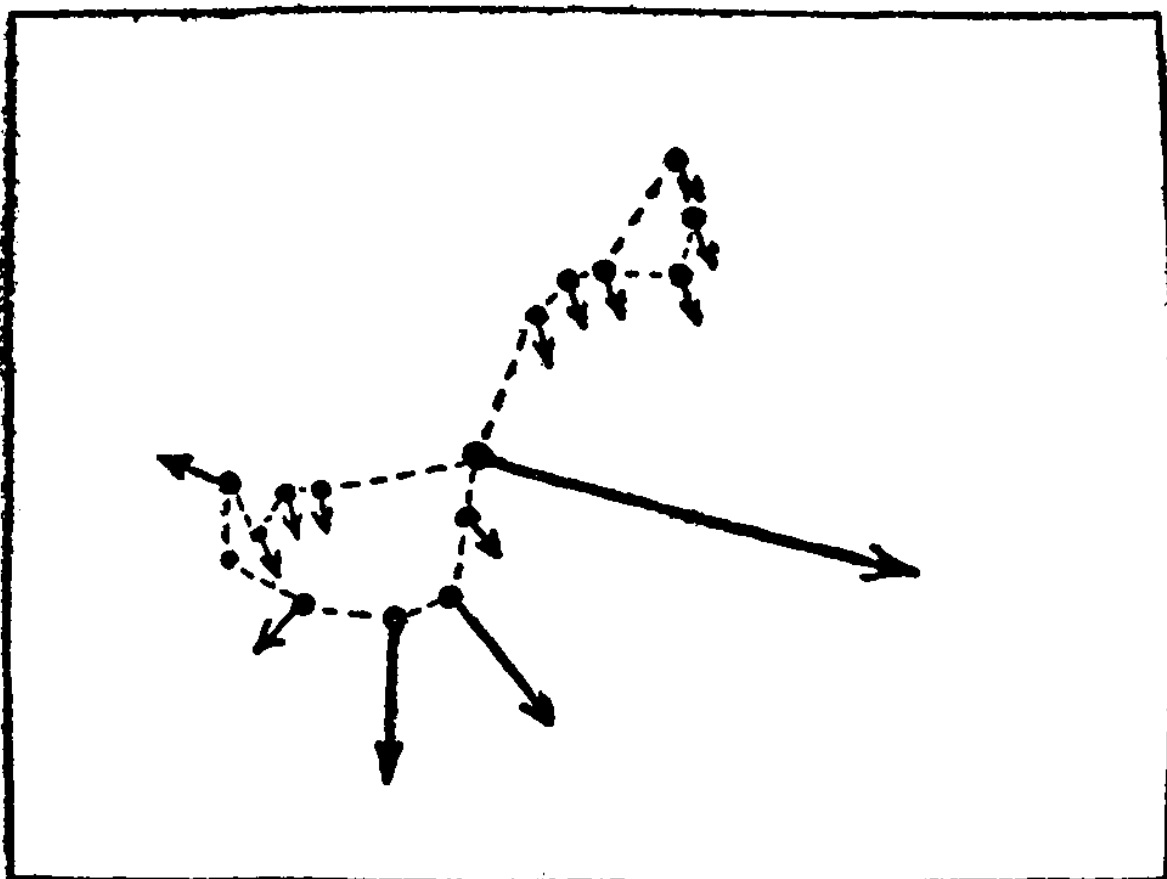
چنان اتفاق می افتد که ستارگانی که باهم يك صورت فلکی را می سازند، ظاهراً چنان به نظر می رسد که باهم حرکت می کنند. مثلاً در مورد صورت دب اکبر شکل (۵۴) پنج ستاره از هفت ستاره آن به صورت آشکاری در جهت واحد حرکت می کنند، و به علاوه تخمین فاصله نسبی آنها ما را به این نتیجه می رساند که این پنج ستاره نزدیک یکدیگر قرار گرفته اند. دو



شکل ۵۴

تغییرات ۲۰۰،۰۰۰ ساله صورت فلکی دب اکبر.

ستاره دیگر که در واقع هیکل خرسی این صورت فلکی وابسته به آنهاست، باکمال وضوح معلوم است که هیچ ارتباطی با این منظومه ندارند. این دو ستاره درجه‌های کاملاً مخالفی حرکت می‌کنند، و شاید در آن دوره‌های پیش از تاریخ اساساً کسی به این فکر نیفتاده باشد که این دو ستاره ارتباطی با سایر افراد این گروه دارد. مثال جالب توجه دیگری درباره این قبیل تغییرات صورت فلکی عقرب است که در شکل (۵۵) آنرا نمایش داده‌ایم.



شکل ۵۵

صورت فلکی عقرب و تغییراتی که انتظار می‌رود در مدت ۱۰۰ هزار سال آینده در آن صورت‌گیرد [درجه‌ت پیکانها].

سرعت ستارگان

بدانستن تغییر مکان زاویه‌ای ستارگان نسبت به یکدیگر که از حرکت آنها نتیجه می‌شود، و در دست داشتن فاصله آنها از زمین، به آسانی

پیدایش و مرگ خورشید

می‌توانیم سرعت خطی آنها را در امتدادی عمود بر جهت دیدن آن ستارگان حساب کنیم. میانگین سرعت خطی ستارگان در حدود ۲۰ کیلومتر در ثانیه به دست آمده، ولی در بعضی حالات اندازه این سرعت از ۱۰۰ کیلومتر بیشتر حساب شده است. خورشید ما با سرعتی مساوی ۱۹ کیلومتر در ثانیه به طرف منطقه‌ای از آسمان در حرکت است و آن منطقه در صورت فلکی الجاثی علی رکتیه قرار دارد.

گرچه سرعت‌های اختری ممکن است از لحاظ انسانی بزرگ به نظر برسد، ولی در مقایسه با فاصله عظیمی که ستارگان در فضا نسبت به یکدیگر دارند، این سرعت بسیار کوچک جلوه‌گر می‌شود اگر خورشید ما به طرف نزدیکترین همسایه خود ستاره α قنطورس که تا آن به اندازه ۴۳ سال نور فاصله دارد حرکت می‌کرد، ۷۰،۰۰۰ سال طول می‌کشید تا با آن تصادم کند. ولی ماهرگز نباید نسبت به وقوع چنین تصادف نامطبوعی بیمناک باشیم، چه ستارگان به اندازه‌ای تک‌تک در فضا پراکنده شده‌اند که احتمال چنین تصادفی بی‌اندازه کوچک و غیر قابل ملاحظه است. آن‌گونه که حساب کرده‌اند، در طول مدت دویلیون سالی که از تأسیس منظومه ستارگان می‌گذرد، احتمال آن است که تنها چندتا از چنین تصادمها رخ داده باشد.

دوران کهکشان

از حرکت بی‌قاعدۀ افراد ستارگان کهکشان گذشته، بنا بر رصد های نجومی معین شده است که تمام این منظومه عدسی شکل به‌کندی برگرد محور مرکزی خود دوران می‌کند. مطابق آخرین تخمین‌ها سرعت این دوران در هر قرن ۷ ثانیه قوسی است، و از این رو می‌توان دریافت که در تمام دوران معرفۀ الارضی کهکشان ما پنج یا شش دور تمام چرخیده است.

ممکن است که این سرعت چندان به نظر نیاید، ولی نباید فراموش کرد که از لحاظ بزرگی شگرف عدسی کهکشان، این سرعت زاویه‌ای کوچک در محیط آن متناظر با سرعت خطی چند صد کیلومتر در ثانیه می‌شود. به احتمال قوی همین دوران سبب آن است که کهکشان شکل

پهن شده و قرصی پیدا کند، همان گونه که دوران زمین سبب فرورفتگی قطبین آن شده است.

عمر کهکشان

اگر در نظر بگیریم که خورشید ما یکی از افراد خانواده کهکشان است، به این نتیجه می‌رسیم که سن کهکشان نمی‌تواند کمتر از سن خورشید باشد، لااقل از عمر آن چند بلیون سال می‌گذرد.

و نیز تحقیق در حرکت ستارگان يك حد اعلايي را برای سن کهکشان ما معین می‌کند. این مسئله را می‌توان ثابت کرد که در تحت تأثیر نیروهای جاذبه طرفینی مجموعه‌ای از ستارگان که در فضای محدودی به حال حرکت باشند، دیر یا زود به حد معینی از توزیع سرعت می‌رسند که کاملاً مشابه با توزیع مولکولهای گازی **ماکسول** است (به فصل ۲ مراجعه شود). محاسبات آماری که درباره ستارگان تشکیل دهنده کهکشان صورت گرفته نشان می‌دهد که در این مورد توزیع ماکسولی سرعت ممکن است در ظرف مدت ۱۰ بلیون سال صورت پذیر باشد. بنابراین مطابق شواهد نجومی، چون چنین توزیعی هنوز تا حد زیادی صورت نگرفته، باید چنان نتیجه بگیریم که **سن فعلی جهان اختری** میان ۱۶ بلیون و ۱۰ بلیون سال است.

«کهکشانهای» دیگر

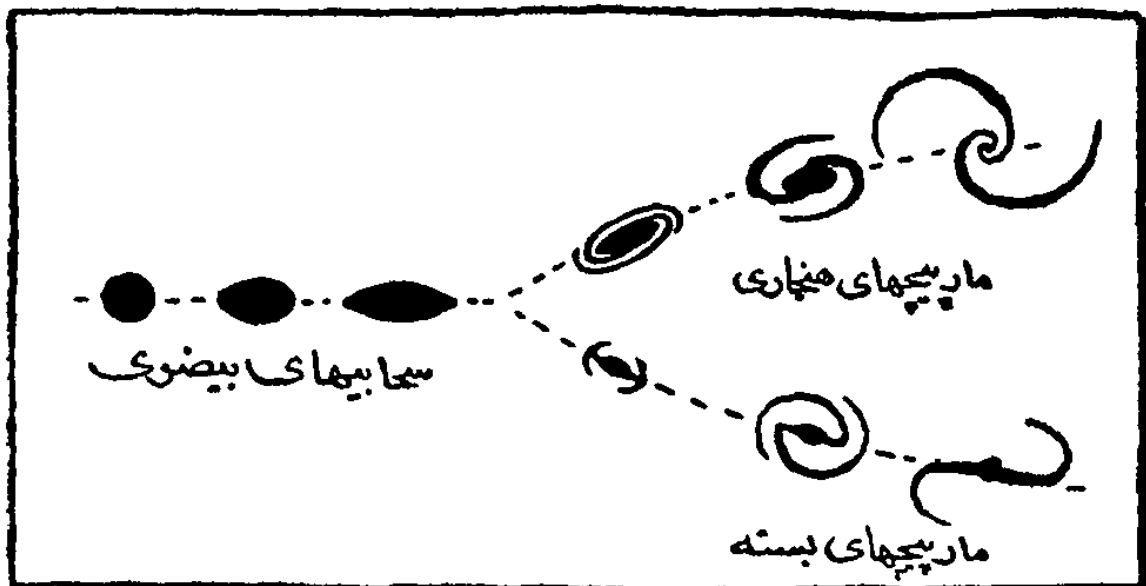
مدت مدیدی بود که با رصدهای نجومی به وجود عده فراوانی اجسام ابری شکل دراز اندام پی برده بودند که به صورت کمابیش یکنواخت در خلال آسمان دیده می‌شد. ولی تنها در زمانهای نسبتاً نزدیک این مطلب را بدون شك دریافتند که آنچه بنام سحابیهای مارپیچی یا بیضوی نامیده می‌شود، به منظومه اختری ما تعلق ندارد، بلکه نماینده منظومه‌های اختری مستقلی است که با منظومه ما شباهت دارند و در فاصله بسیار دوری از آن قرار گرفته‌اند.

شکل رصد شده این منظومه‌های اختری بسیار دور، مطابق نظریه مورد قبول عموم هرشل، درست به همان صورتی است که منظومه ما از

پیدایش و مرگ خورشید

خارج به آن شکل دیده می‌شود. در صفحات تصویر XIII و XIV و XV و XVI عکس چند منظومه اختری از این قبیل را که به وسیله تلسکوپ نیرومند رصدخانه مونت ویلسون برداشته شده آورده‌ایم. از روی این تصاویر شکل عدسی «سحابیهای» خارج کهکشانی آشکار است، و به علاوه بازوهای مارپیچ نامنظمی که برگرد جسم دراز اندام مرکزی وجود دارد، از روی آن عکسها دیده می‌شود. با وجود این باید دانست که همه سحابیهای خارج کهکشانی چنین بازوهایی را ندارند، و بعضی از آنها به صورت اشکال منظم بیضوی کمابیش پهن شده دیده می‌شوند.

در (شکل ۵۶) خواننده تصویر نظری اشکال مختلف این گونه



شکل ۵۶

اشکال مختلف سحابیهای خارج کهکشانی مطابق طبقه‌بندی هبل .

سحابیها را که به وسیله هبل^۱ منجم رصدخانه مونت ویلسون دیده شده مشاهده می‌کند، و ما بیشتر اطلاعات خود را درباره جهانهای جزیره‌ای مدیون این دانشمند هستیم.

چون از پشت تلسکوپهای آسمانی که چندان نیرومند نباشند به این

سحابیها نگاه کنیم، به صورت جرم پیوسته‌گازی نورانی به نظر می‌رسند (و به همین جهت است که نام «سحابی = ابری» به آنها داده‌اند)، ولی تلسکوپ ۱۰۰ اینچی رصدخانه مونت ویلسون آشکار می‌سازد که لااقل بازوهای خارجی عملاً از بلیونها ستاره جدا از یکدیگر تشکیل شده، که با افراد منظومهٔ اخترى ماشباهت فراوان دارند. اما قسمت مرکزی سحابی حتی با این دوربینهای بزرگ‌کننده هم به صورت ستارگان جدا جدا در نمی‌آید، و خاصیت ستاره‌ای آنها از روی وسایل غیر مستقیم دیگری معلوم می‌شود که در یکی از بخشهای آینده از آن سخن خواهیم گفت.

فاصله‌ها و ابعاد سحابیهای خارج کهکشانی

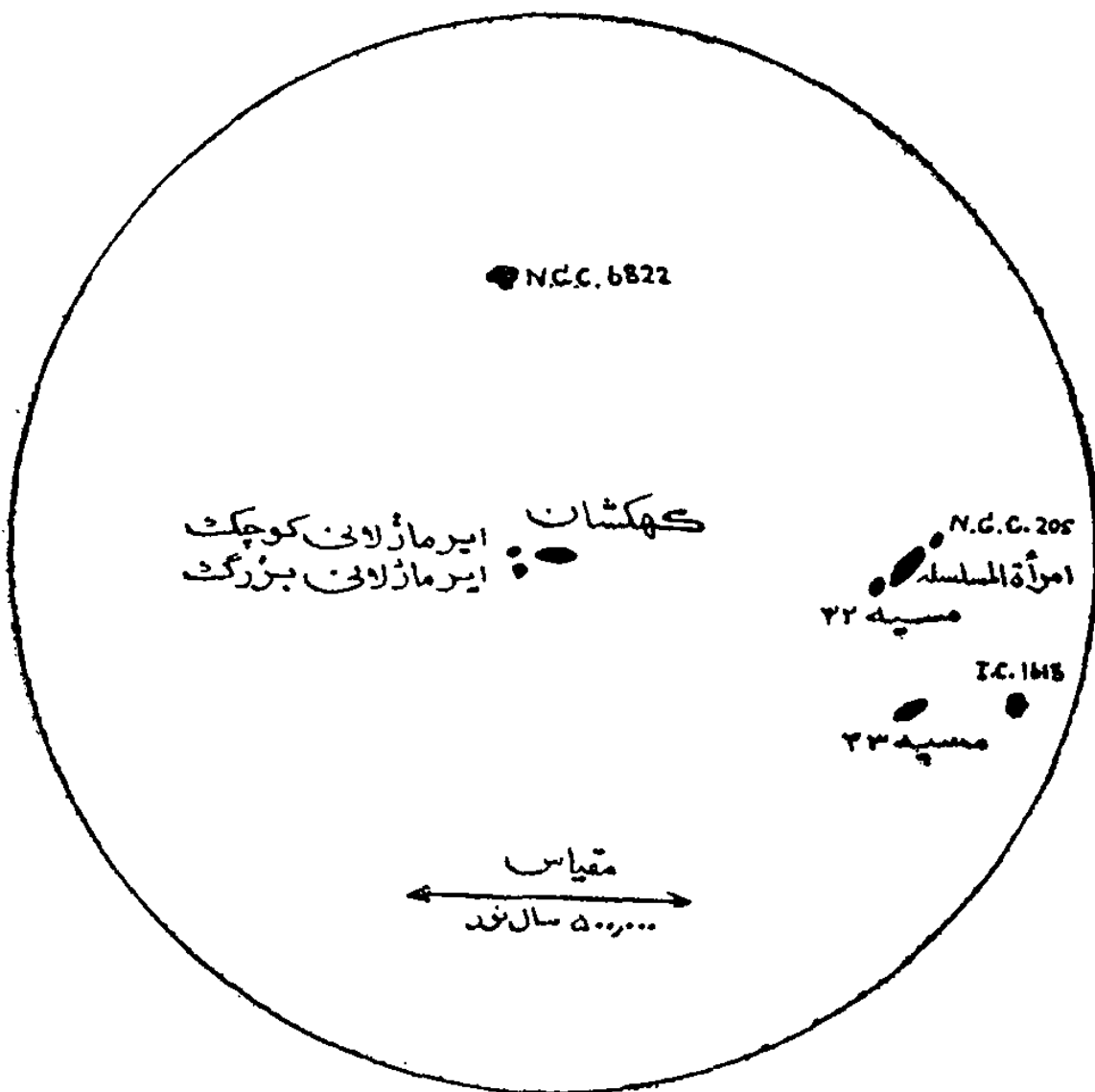
فاصلهٔ میان ما و جهانهای جزیره‌ای به اندازه‌ای زیاد است که از روشهای متعارفی اندازه‌گیری فواصل نجومی (مانند تعیین فاصله با اختلاف منظر) به هیچ وجه نمی‌توان استفاده کرد. به همین جهت است که تا زمانهای نسبتاً نزدیک به خطا چنان می‌پنداشتند که این سحابیها در جاهایی میان ستارگان کهکشان قرار گرفته‌اند.

نخستین بار اندازه‌گیری فاصلهٔ سحابیها یا محاسبهٔ فاصلهٔ سحابی که در صورت فلکی امرأة‌المسلسلة به نظر می‌رسد میسر گردید (صفحهٔ تصویر شمارهٔ XIII پایان کتاب)، و پس از آن بود که ثابت شد مارپیچهای این سحابی از عدهٔ بیشماری ستاره‌های منفرد تشکیل شده و در میان آنها چند متغیر قیفاووسی وجود دارد. پیش از این در فصل (۷) دیدیم که این ستارگان خاص ضربان و تپش منظمی دارند و دورهٔ ضربان مستقیماً با نورانیت آنها ارتباط دارد. بنابراین با اندازه‌گیری دورهٔ ضربان متغیر-های قیفاووسی در بازوهای مارپیچی امرأة‌المسلسلة امکان آن پیدا شده است که بتوانند نورانیت مطلق آنها را اندازه بگیرند. از راه مقایسهٔ این نورانیت مطلق با درخشندگی ظاهری می‌توانند با استفاده از قانون سادهٔ معکوس مجذور فاصله فاصلهٔ این سحابیها را اندازه بگیرند.

از تمام قیفاووسیهایی که در سحابی امرأة‌المسلسلة دیده شده تقریباً به یک نتیجه رسیده‌اند و فاصله‌ای مساوی ۶۸۰،۰۰۰ سال نور به دست آمده است. حجم هندسی این سحابی مختصری کمتر از حجم

پیدایش و مرگ خورشید

کهکشان ونورانیت آن ۱۷ بلیون برابر نورانیت خورشید ما است. سحابی بزرگ صورت امراة المسلسلة یکی از نزدیکترین همسایگان منظومه کهکشانی ماست، وفاصله زیادی که با ما دارد خود نشان می دهد که فضای خالی جهان چه اندازه عظیم و شگرف است. در میان سایر همسایگان، يك سحابی مارپیچی دیگر و دو سحابی بیضوی و دو سحابی باشکل نامنظم دیده می شود. فواصل و وضع نسبی آنها را به صورت نظری در شکل ۵۷ نمایش داده ایم.



شکل ۵۷

کهکشان و همسایگان نزدیک آن در آسمان.

رصد های فلکی در نزدیکی صحابی امرأة المسلسلة، دو «قمر» یا «مصاحب» را برای این جهان اختری دور نشان داده است. این دونیز از اجتماع عده کثیری در حدود صدها ملیون ستاره تشکیل شده اند که مانند اجتماعی از زنبوران عسل بر گرد صحابی امرأة المسلسلة گردش می کنند. اگر بنا بود که کهکشان ما قمری مخصوص خود نداشته باشد عادلانه به نظر نمی رسید، و باید گفت که این کهکشان دو تابع یا دو قمر همراه دارد. چون فاصله این دو تابع نسبتاً کم است (۸۵،۰۰۰ و ۹۵،۰۰۰ سال نور)، به آسانی با چشم غیر مسلح دیده می شوند. نخستین بار کاشف پرتغالی فردیناند ماژلان^۲ به وصف آنها پرداخته، و به همین جهت همان گونه که بر نقشه جغرافیایی زمین تنگه ماژلان موجود است، بر نقشه فلکی نیز دو پاره ابرماژلانی ترسیم شده است.

از این همسایگان نزدیک گذشته، رصدهای تلسکوپی عدد بیشتری از جهانهای جزیره ای مشابهی را آشکار ساخته است. این «جهانهای دیگر اختری» که از لحاظ شکل و اندازه مختصر اختلافهایی با یکدیگر دارند، تا آنجا که رصدهای تلسکوپی آشکار می سازد، در فراخنای فضا پراکنده شده اند. بنابه آنچه هبل اظهار داشته است، تلسکوپ بزرگ رصدخانه مونت ویلسون می تواند مارا به جاهایی از فضا رهبری کند که ۵۰۰ میلیون سال نور تا زمین فاصله دارند، و در آنجا سحابیهایی را به نظر آدمی می رساند که کاملاً با سحابی صورت امرأة المسلسلة یا کهکشان خود ما شباهت دارند. شماره کلی جهانهای جزیره ای که ممکن است در این فاصله رؤیت شود در حدود ۱۰۰ میلیون است، و البته دورتر از این نیز سحابیهایی دیگری هست که با تلسکوپ ۱۰۰ اینچی نمی توان آنها را دید.

«سحابیهایی» خارج کهکشانی سحابی نیستند

در صفحه ۲۱۶ وعده کردیم تا دلیل این مطلب را برای خواننده

۱. برای دیدن نمونه تصویر يك سحابی مارپیچی به صفحه تصویر شماره XVI پایان کتاب مراجعه کنید.

۲. Ferdinand Magellan.

پیدایش و مرگ خورشید

ذکر کنیم که آنچه به نام «سحابیهای» خارج کهکشانی نامیده می-شود توده‌های عظیم و پیوسته‌ی گازی نیست، بلکه مجموعه‌ای است از ستارگان شبیه ستارگان کهکشان. حقیقت امر آن است که این مطلب دلیل بسیار ساده‌ای دارد، و این دلیل مبتنی بر رصدهایی است که نشان می‌دهد خاصیت طیفی نوری که از این «سحابیها» صادر می‌شود، بسیار شبیه است به نوری که از خورشید خود ما خارج می‌گردد. بنابراین از آنچه در فصل ۶ گذشت می‌دانیم که درجه حرارت متناظر با چنین صدور نوری نمی-تواند با درجه حرارت سطحی خورشید اختلاف فراوان داشته باشد، و این درجه حرارت بایستی به چند هزار درجه برسد.

اگر این «سحابیها» واقعاً توده‌های گولپیکر گاز پیوسته‌ای بودند که درجه حرارت سطحی آنها همان درجه حرارت سطحی خورشید بود، ناچار می‌بایستی نوری که از آنها صادر می‌شود با وسعت سطح یعنی با مربع یکی از ابعاد آنها متناسب باشد. و چون قطر متوسط این «سحابیها» بلیون بلیون بار بزرگتر از قطر خورشید ما است، باید چنان انتظار داشته باشیم که نورانیت کلی آنها بلیون بلیون برابر بزرگتر از نورانیت خورشید باشد! ولی این مطلب دستگیر ما شد که نورانیت فعلی سحابی امرأة المسلسلة بسیار کوچکتر از این اندازه است و از ۱۷۱ بلیون برابر نورانیت خورشید تجاوز نمی‌کند. بنا بر این بیتردید باید چنین نتیجه بگیریم که نور از تمام سطح صادر نمی‌شود، بلکه از عده زیادی لکه‌های کوچک روشن بر می‌خیزد (به شکل ۵۳ رجوع کنید) که مجموع کلی سطح آنها به سختی بایک بلیونم تمام سطح سحابی برابری می‌کند. و این همان چیزی است که باید از «سحابیهای» انتظار داشته باشیم که از ستارگان متعارفی جدا جدا از یکدیگر ساخته شده‌اند.

دوران سحابی خارج کهکشانی و منشأ بازوهای مارپیچی

پیش از این اشاره کردیم که بنا بر تحقیق آماری در حرکت ستارگان کهکشان معلوم شده است که منظومه اختری ما به کندی برگرد محور مرکزی خود دوران می‌کند. در مورد منظومه‌های اختری دیگر نیز دوران مشابهی دیده شده است. مشاهده اثر دو پلردرد و طرف متقابل

سحابی خارج کهکشانی که از کنار دیده شود (صفحه تصویر XIV پایان کتاب) همیشه نشان می دهد که يك طرف به مانزديك می شود و طرف ديگر پس می رود . مثلاً سحابی بزرگ امرأة المسلسلة در مدت چند صد مليون سال يك دور تمام می زند، و تقريباً با همان سرعت زاويه ای کهکشانی ما در گردش است.

به آسانی می توان دریافت که همین دوران سبب بیضوی شکل شدن این مجموعه ستارگان است، و به احتمال نزدیک به یقین پیدا شدن بازوهای مارپیچی نیز نتیجه همین دوران است . نظریه رایجی که به وسیله سر جیمز جینز پیشنهاد شده چنین فرض می کند که بازوهای مارپیچی به وسیله موادی که بر اثر سرعت شدید دوران نواحی استوایی سحابی پیدا می شود، از آن جدا می گردد (صفحه تصویر XV پایان کتاب). اگر چه ظاهر آچنان است که نظریه جینز توضیح درستی درباره منشأ این اشکال جالب توجه فلکی می دهد، ولی هنگام بحث در جزئیات امر با این نظریه اشکالاتی پیش می آید، و مخصوصاً وجود دو نوع بازوی مارپیچی، همان گونه که در شکل ۵۶ دیده می شود، هنوز یکی از مسائل لاینحل علم نجوم نظری به شمار می رود.

فصل دوازدهم

تولد جهان

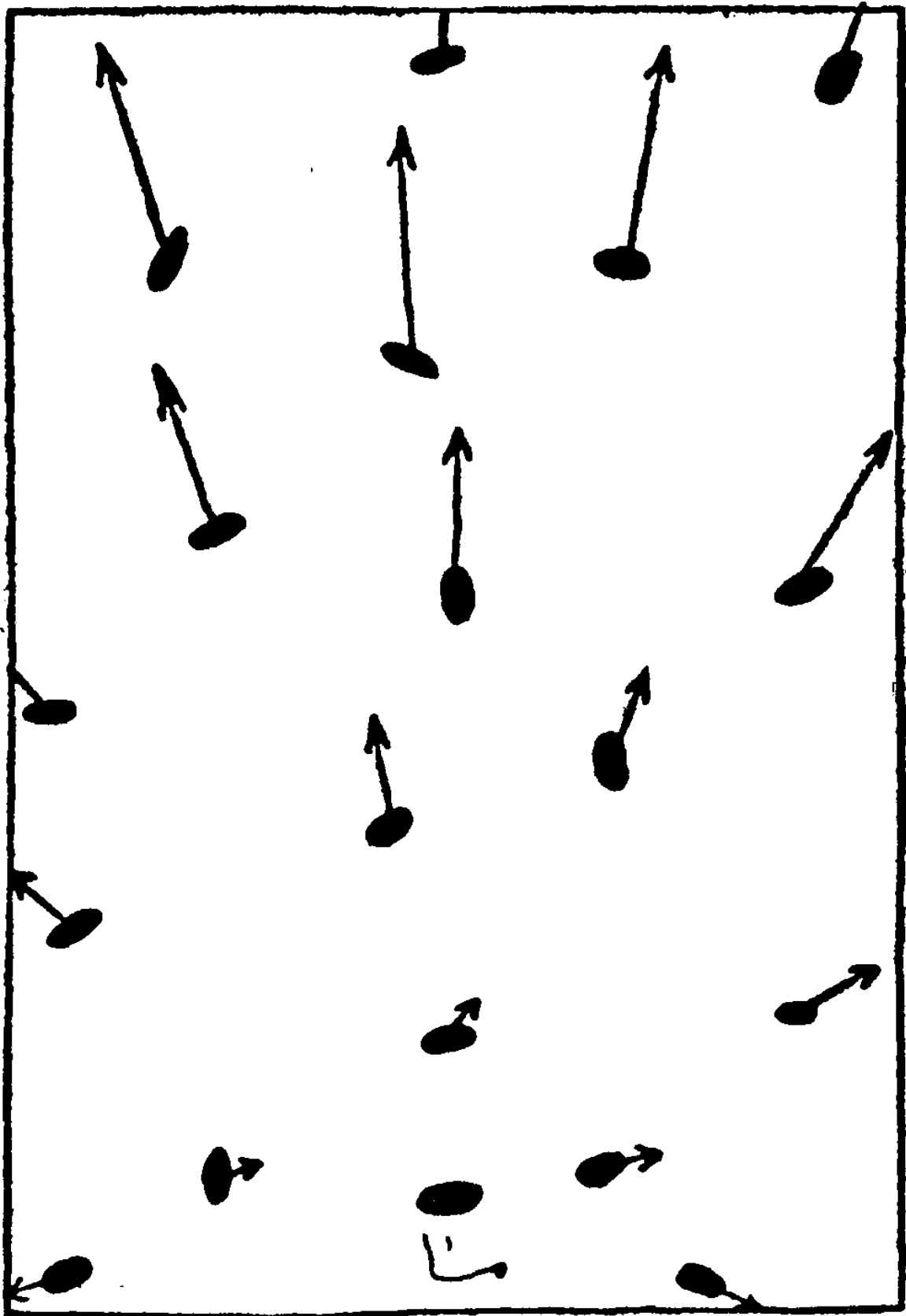
سحابیها می‌گریزند



تحقیق و مطالعه در کهکشانهای بیشماری که در فضای بیکران پراکنده است ، برجسته‌ترین محقق در جهان سحابیها یعنی هبل را به يك نتیجه جالب توجه و معمایی رسانده است. وی از روی اندازه‌گیری سرعت شعاعی این منظومه‌های اخترى دور به این نکته متوجه شد که تقریباً همه آنها به دور شدن از ما بیش از نزدیک شدن به ما علاقه نشان می‌دهند.

۱. سرعت شعاعی این اجسام دور عبارت از سرعتی است که در امتداد خط رؤیت ما دارند و آن را مستقیماً می‌توان از روی انتقال دوپلری خطوط در طیف آنها اندازه گرفت. چون فاصله بسیار زیاد است حرکت خاص سحابیهای خارج کهکشانى را در امتداد عمود بر خط رؤیت نمی‌توان اندازه گرفت.

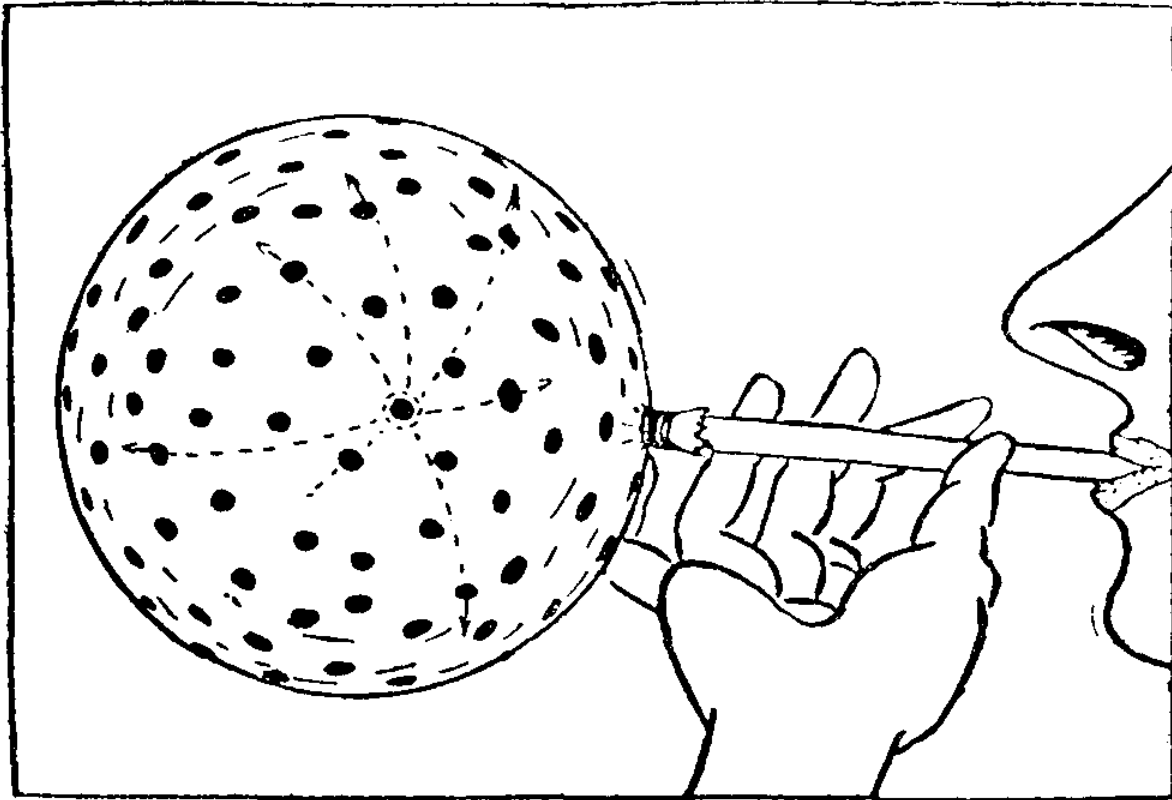
جورج ساموف



شکل ۵۸

سحابیهای خارج کهکشانی از ما می‌گریزند. به جهت و طول این سرعتها توجه داشته باشید.

يك بالون لاستيكي نقاطي كه كمابيش فاصله‌هاي متساوي با يكدیگر دارند بگذاريم، و پس از آن بالون را باد كنيم (شكل ۵۹)، فاصله هر



شكل ۵۹

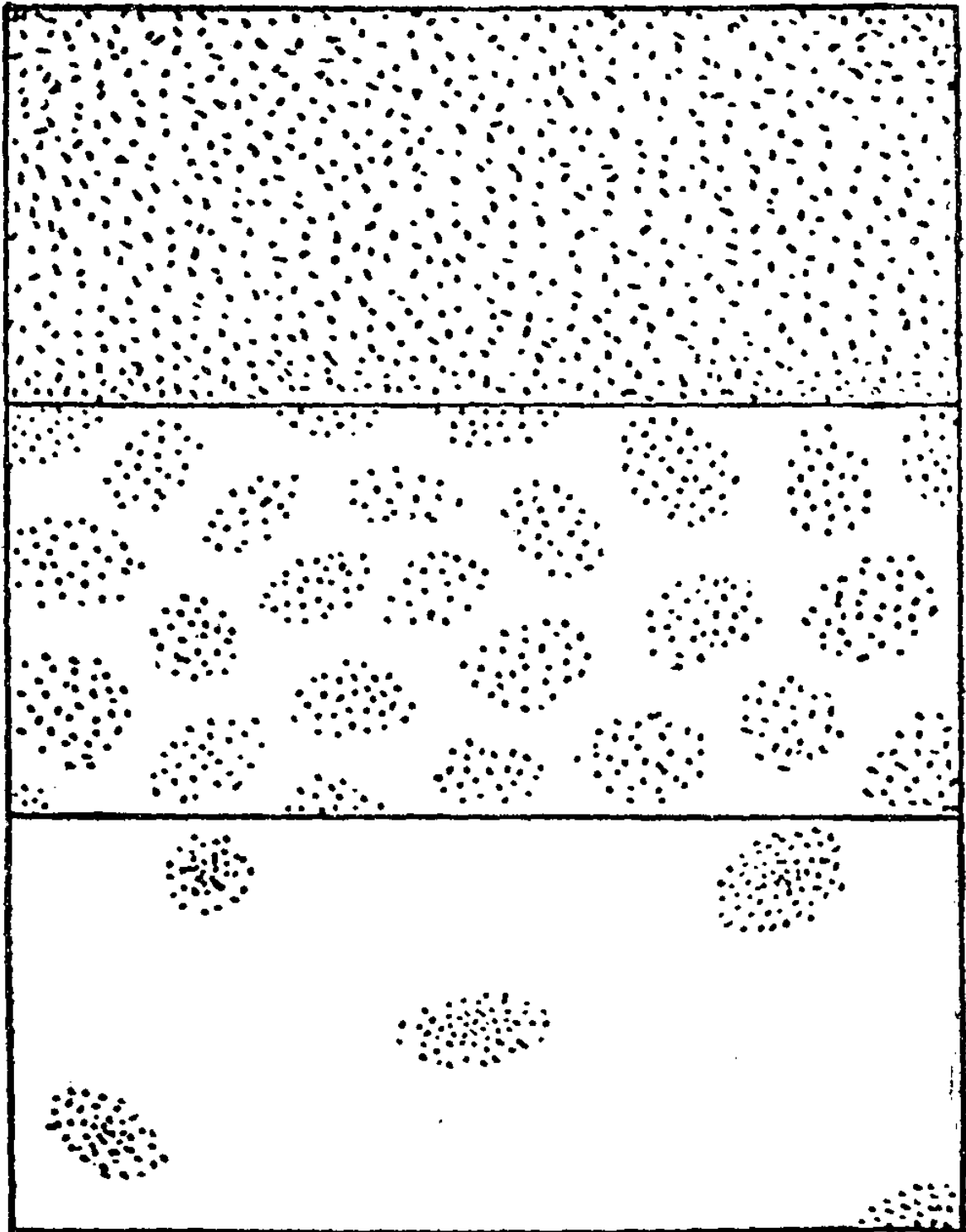
دران هنگام كه بالون را باد كنيم و انبساط پيدا كند، نقطه‌ها از يكدیگر دور مي‌شود.

نقطه تا نقطه‌هاي ديگر به صورت منظمي افزايش مي‌پذيرد، بدان سان كه اگر حشره‌اي بر روي يكي از اين نقطه‌ها نشسته باشد، اين احساس معين را پيدا مي‌كند كه همه نقطه‌هاي ديگر از او « در حال فرار هستند ». به علاوه سرعت پسر رفتن و دور شدن نقاط مختلف روي بالوني كه در حال گسترش است مستقيماً با فاصله آنها تا نقطه مشاهده حشره متناسب است .

اين تصوير ممكن است كاملاً اين مطلب را روشن سازد كه بتوانيم نمودی را كه به وسيله هبل مشاهده شده، به عنوان گسترش يكنواخت و كلي فضايي كه سحابيهاي خارج كهكشاني در آن قرار گرفته‌اند تعبیر كنيم. بايد به اين نكته توجه داشت كه تنها فاصله ميان جزاير

پیدایش و مرگ خورشید

اختری مختلف تغییر می‌کند، ولی ابعاد هندسی خود آنها در این تغییر ثابت می‌ماند. دویون سال پس از این جزایر اختری به همان بزرگی



شکل ۶۰

در نتیجه گسترش فضایی که دران ستارگان به حالت یکنواختی توزیع شده بود، جهانهای جزیره‌ای به وجود آمده است.

خواهند بود که اکنون هستند، ولی فاصلهٔ میان آنها دو برابر فاصلهٔ کنونی خواهد شد. از طرف دیگر بنا به همین اندازه‌گیریها، ۲ بلیون سال پیش از این فاصلهٔ میان جزایر اختری می‌بایستی آن اندازه کم بوده باشد که سحابیها عملاً مجموعهٔ جدانشده‌ای از ستارگان باشند که در جهان به صورت یکنواختی توزیع شده بوده‌اند (شکل ۶۰).

به این ترتیب می‌بینیم که کیفیت تشکیل شدن کهکشانهای مختلف تا حدی شبیه به کیفیت تشکیل شدن افراد ستارگان است، با این اختلاف که ستارگان از گاز متعارفی ساخته شده از مولکولها درست شده‌اند، ولی تشکیل کهکشانها نتیجهٔ « انعقاد و بسته شدن » يك « گاز اختری » است که ذرات آنرا ستارگان مختلف تشکیل می‌دهد.

پیش از آنکه کهکشانهای مجزی از یکدیگر در نتیجهٔ گسترش تدریجی جهان از هم دور شوند، ناچار در میان این مجموعه‌های غول-آسای ستارگان فعل و انفعالات ثقلی شدید برقرار بوده‌است. به طریقی بسیار مشابه با آنچه در مورد افراد ثوابت به تشکیل منظومه‌های سیاره‌ای منجر شده (فصل ۱۰)، این فعل و انفعالات بایستی سبب آن شده باشد تا جهانهای جزیره‌ای نوزاد مقداری گشتاور دورانی پیدا کنند. و شاید همین نیز سبب آن باشد که از بدن این سحابیها نوارهای دراز « گاز ستاره‌ای » که آنها را اکنون به نام بازوهای مارپیچی سحابی می‌نامیم، خارج شده باشد.

کدام يك سالخورده‌تر است: ستارگان یا کهکشانها؟

هم اکنون خواننده را به این فکر انداختیم تا چنان تصور کند که کهکشانها از عده‌ای از ستارگان تشکیل شده‌اند که به صورت پیوستهٔ به یکدیگر در فضا قرار گرفته‌اند، و این خود مستلزم آن است که ستارگان سالخورده‌تر از کهکشانها بوده باشند. می‌خواهیم بدانیم که آیا این مطلب درست است یا نه؟ چرا کسی نتواند همان‌گونه که سر جیمز جینز پیشنهاد کرده‌است کیفیت عکس را تصور کند؟ بنا به نظر وی گاز ابتدایی که جهان را پر می‌کرده پاره پاره شده و سحابیهای غولپیکر سازی از آن به وجود آمده، و پس از آنکه این سحابیها به اندازهٔ کافی از یکدیگر

پیدایش و مرگ خورشید

دور شده‌اند، عمل ساخته‌شدن ستارگان آغاز کرده است. آیا در برابر این فرضیه مخالف چه می‌توان گفت؟

مسئله سن نسبی ستارگان و کهکشانها بیشباهت به مسئله مشابهی که به مرغ و تخم مرغ مربوط می‌شود نیست؛ متأسفانه این مسئله قدری پیچیدگی دارد و بدون وارد شدن در جریات که از حوصله این کتاب خارج است، نمی‌توان در باره آن به بحث پرداخت. در اینجا تنها باید خود را به ذکر این نکته قانع کنیم که بنا بر پژوهشهای تازه مؤلف و همکار او **ادوارد تگر**، تمام شواهد مؤید آن است که در آن هنگام که تشکیل کهکشانها آغاز می‌شده ستارگان وجود داشته‌است.

این طرز استنتاج بر نظر **جینز** رجحان دارد، و نه تنها با آن می‌توانیم توضیح رضایتبخشی درباره کیفیات اساسی تشکیل کهکشانها بدهیم، بلکه می‌توانیم فواصل و ابعاد آنها را به طوری حساب کنیم که کاملاً با آنچه از مشاهده و رصد کردن به دست می‌آید مطابق باشد. خواننده‌ای که بخواهد درباره این مسئله خلاقی آفرینش جهان اطلاعات بیشتری پیدا کند، بایستی به کتابهای خاصی که در این موضوع نوشته‌اند مراجعه کند.

مرحله ابتدایی گسترش جهان و آفرینش عناصر رادیو آکتیو

چون اکنون در رشته متوالی زمان به عقب بازگردیم و کیفیت گسترش تدریجی جهان را به صورت قهقرایی در نظر بگیریم، ناچار به این نتیجه می‌رسیم که در زمانهای بسیار بسیار دور، پیش از آنکه کهکشانها و حتی ستارگان مجزی از یکدیگر به وجود آمده باشد، هم چگالی و هم درجه حرارت گاز ابتدائی که جهان را پر می‌کرده بایستی بی‌اندازه زیاد بوده باشد. تنها بر اثر گسترش بوده‌است که چگالی و درجه حرارت آن اندازه پایین آمده که تشکیل اجرام فلکی جدا از یکدیگر امکانپذیر شده‌است. به صورت نظری، چگالی و درجه حرارت وابسته به مراحل بسیار ابتدائی تکامل جهان در حال گسترش از آنچه ما بتوانیم تصور کنیم افزونتر بوده و

یقیناً خواننده از آنچه می‌شنود به‌شکفتی می‌افتد و می‌گوید :
 « بس است! از همه چیز گذشته تصور من چنان بود که این کتاب برشالوده
 حقایق فیزیکی طرح شده است، ولی آنچه می‌شنوم که این جهان از گاز
 بسیار چگال و بسیار داغ ساخته شده، بیشتر به اندیشه‌های متافیزیکی
 شباهت دارد! »

ولی باید دانست که يك واقعیت فیزیکی وجود دارد که اگر
 نتواند حقیقت آنچه را که دربارهٔ مراحل نخستین تکامل جهان گفتیم و
 به‌نظر متافیزیکی می‌رسد اثبات کند، لااقل می‌تواند تکیه‌گاه محکمی
 برای آن باشد. این واقعیت عبارت از وجود عناصر رادیو آکتیو
 متعارفی مانند اورانیوم و توریوم است که پایداری ندارند، و بنابر این
 لازم است که در فاصلهٔ معینی از زمان نسبت به‌زمان حاضر تشکیل شده
 باشند. دورهٔ عمر این عناصر خاص رادیو آکتیو (۴۵ ریلیون سال
 برای اورانیوم و ۱۶ بلیون سال برای توریوم) به‌اضافهٔ فراوانی نسبی
 آنها در زمان حاضر، این فکر را تقویت می‌کند که **تاریخ پیدایش
 آنها از دو بلیون سال عقبتر نمی‌رود.** این تاریخ با تاریخ احتمالی
 آفرینش جهان از گاز بسیار چگال ابتدائی که از روی شواهد رصدی
 مربوط به اندازه‌کنونی گسترش جهان به‌دست می‌آید، به‌صورت اجمالی
 مطابقت دارد.

از این گذشته، تحقیقات تازهٔ فیزیکدان جوان آلمانی **کارل فون
 وایتسزگر** به‌طور قطع این مطلب را ثابت کرده است که تشکیل عناصر
 سنگین مانند توریوم و اورانیوم تنها در تحت شرایط فیزیکی خاص
 چگالی و حرارت زیاد - یعنی چگالی چند بلیون برابر چگالی آب و
 درجهٔ حرارتی مساوی چند بلیون درجهٔ صد بنخی - امکانپذیر است.
 چون چنین شرایطی حتی در قسمت مرکزی داغترین ستارگان نیز وجود
 ندارد، ناچار برای چنین شرایطی بایستی به‌مراحل فوق داغی و فوق
 چگالی جهان توجه داشته باشیم.

این واقعیتهای مختلف که روی هم جمع شود، صورت روشنی
 را برای ما می‌سازد که بنابر آن بایستی تشکیل عناصر رادیو آکتیو
 در مراحل « ماقبل تاریخ » جهان انجام شده باشد. به این ترتیب

پیدایش و مرگ خورشید

باید گفت که صفحه درخشان ساعت مچی ما با انرژی تغذیه می‌شود که در دوران پیش از تشکیل ستارگان و جهان به آن صورتی که اکنون آن را می‌شناسیم، در هسته‌های اتمی فشرده و ذخیره شده است.

بیپایانی فضا

آیا در آن هنگام که جهان به جای آنکه مثل امروز این اندازه رقیق و تنگ باشد، چگالی آن باضریب چند بلیونی بزرگتر از چگالی آب بود، چه اندازه بزرگی داشت؟ آیا می‌شود گفت که اگر در چنان روزی مشتی بود این جهان می‌توانست در درون آن مشت جای بگیرد؟ پاسخ گفتن به چنین پرسش مستلزم آن است که بدانیم جهان‌ها محدود است یا نامحدود. اگر جهان ابعاد محدودی داشته و مثلاً بزرگی آن ده برابر فاصله میان دورترین سحابیهای دیدنی بوده باشد، قطر آن در زمانی که عناصر رادیو آکتیو تشکیل می‌شده بایستی تنها ده برابر بزرگتر از قطر مدار سیاره نپتون بوده باشد! ولی اگر جهان بیپایان است، این بیپایانی هیچ ارتباطی به آن ندارد که در آن زمان که حالت فشرده‌گی داشته چه اندازه فشرده بوده است.

مسائل مربوط به خواص بیپایانی و پایانداری فضا، و مطالب وابسته به انحای فضا متعلق به میدان بحث نظریه نسبیت عمومی است، و اگر درست بخواهیم ارتباطی با مباحث کتاب حاضر ندارد.^۱ در اینجا همین اندازه باید اشاره کنیم که مطابق آخرین پژوهشهایی که شده چنان به نظر می‌رسد که فضای ما نامحدود و در بینهایت به حال گسترش است. چه از این بهتر!

۱. خواننده ممکن است با مراجعه به کتاب دیگر مؤلف به نام «**آقای تامکینس درس‌زمین‌عجایب**» اطلاعاتی درباره فضای خمیده و مسائل مربوط به گسترش فضا به دست آورد.

فصل سیزدهم

تیجیه



شاید پیش از آنکه خواننده این کتاب را ببندد و به داستان اسرار آمیز مشغول کننده تری پردازد ، چنان دوست داشته باشد که نتایجی را که از این کتاب به دست می آید به ترتیب زمانی خلاصه شده در چند جمله در برابر خود ببیند و تصویری را که دانشمندان از روی علم جدید برای تکامل جهان ما ساخته اند در نظر بیاورد.

داستان تکامل جهان از فضایی آغاز می شود که به صورت یکنواخت آزماده ای که اندازه گرما و چگالی آن باور نکردنی است پر شده ، و در این ماده عمل تبدیل هسته های عناصر بایکدیگر به همان آسانی صورت می گیرد که تخم مرغ در آب جوش می پزد. در این آشپزخانه « ماقبل تاریخی » جهان اندازه عناصر مختلف و نسبت آنها به یکدیگر مقدر گردیده و از همانجا است که فراوانی آهن و اکسیژن و کمیابی زر و سیم تعیین شده است. و نیز تشکیل عناصر دراز عمر رادیو آکتیو که در زمان حاضر

هنوز کاملاً فاسد و تجزیه نشده‌اند، مربوط به همان روزگار بسیار دور است. در تحت تأثیر فشار شگرف این گاز فشرده‌داغ، جهان به‌گسترش آغاز کرده و در طول این مدت انبساط جهان چگالی و درجه حرارت ماده به‌کندی در حال تنزل بوده است. در مرحله معینی از این گسترش گاز پیوسته بریدگی پیدا کرد و به صورت پاره ابرهای منظم مجزی از یکدیگر به بزرگیهای مختلف درآمد، و رفته رفته شکل این پاره‌ها به صورت منظم گردی که همان شکل ستارگان است مبدل گردید. ستارگان هنوز بسیار بزرگتر از آن اندازه‌ای که اکنون هستند بودند، ولی درجه حرارت آنها بسیار زیاد نبود. عمل تدریجی انقباض ثقلی رفته رفته قطر آنها را کوچکتر می‌ساخت و درجه حرارتشان را بالاتر می‌برد. تصادمهای فراوانی که میان اعضای این خانواده ابتدایی ستارگان صورت می‌گرفت سبب آن بود که منظومه‌های سیاره‌یی متعددی ایجاد شود، و در یکی از همین برخوردها بود که زمین ما به دنیا آمد.

در آن هنگام که ستارگان پیوسته داغتر می‌شدند، و در سیارات آنها به علت کوچکی درجه حرارت مرکزی زیادی که برای فعل و انفعالات هسته‌یی ضرورت دارد وجود نداشت، و این سیارات با قشرهای جامدی پوشیده می‌شدند، «گاز اختری» که جهان را پر کرده بود به‌گسترش خود ادامه می‌داد، و فاصله‌های میان ستارگان رفته رفته به اندازه‌ای که هم اکنون دارند نزدیک می‌شد.

در مرحله دیگری از گسترش جهان غلظت آن مطابق با غلظت متوسطی شد که هنوز در کهکشانها وجود دارد. «گاز اختری» پاره پاره شد و به صورت ابرهای غولپیکری از ستارگان درآمد. در آن حین که این جزایر اختری هنوز به یکدیگر نزدیک بودند، فعل و انفعال جاذبه‌ای میان آنها در بسیاری از حالات سبب آن شد که بازوهای مارپیچی عجیب تولید شود و مقداری گشتاور دورانی در آنها پدیدار گردد.

از آن زمان به این طرف اغلب ستارگانی که این جزایر دورشونده را می‌سازند آن اندازه در مرکز خود داغ شده‌اند که فعل و انفعالات حرارتی هسته‌ای میان ئیدروژن و عناصر سبک در آنها امکانپذیر شده است. در ابتدا دو تریوم و پس از آن لیتیوم و بریلیوم و در پایان کار بور در جوف

آنها سوخته و «خاکستر» شده است (و این «خاکستر» هسته‌ای همان گاز معروف هلیوم است)؛ و در ضمن عبور از این مراحل مختلف تکامل «غول سرخی» ستارگان رفته رفته به اصلیت‌ترین و درازترین قسمت تکامل خود نزدیک شده‌اند. هنگامی که دیگر هیچ عضو سبکی باقی نماند، ستارگان بامیانجیگری عناصر سیمرغ و ش کربون و نیتروژن، ئیدروژن خود را به هلیوم تبدیل می‌کنند. خورشید ما هم اکنون در این مرحله سیر می‌کند. ولی زود یادیر همه ذخیره ئیدروژنی بالاخره تمام می‌شود. ستاره درشت و روشن چون به این نقطه بحرانی در تکامل خود می‌رسد، به انقباض آغاز می‌کند و انرژی ثقلی آن آزاد می‌شود.

در پاره‌ای حالات چنین انقباضی سبب ناپایداری کلی جرم ستاره می‌شود و پس از انفجار و آتش گرفتن، ستاره به پاره‌های کوچکتری منقسم می‌گردد. دوبرلیون سال پس از آنکه این «عمل آفرینش» آغاز گشته، بعضی از این پاره ستاره‌ها را که ئیدروژن آنها تمام شده در آسمان می‌بینیم؛ این پاره ستارگان چگالی بسیار زیاد و نورانیت بسیار کم دارند و همانها هستند که به نام «کوئوله‌های سفید» نامیده می‌شوند.

ولی خورشید ما که باکمال صرفه‌جویی ئیدروژن خود را به کار می‌برد، هنوز باکمال نیرومندی پیش می‌رود و آماده آن است تاده برابر عمری که دارد پس از این نیز زندگی کند. خورشید رفته رفته گرم و گرم‌تر می‌شود، تاجایی که پس از چند بلیون سال حرارت سطحی آن هرچهارا بر روی زمین است خواهد سوزانید، و این پیش از آن است که به حد اعلا نورانیت خود رسیده و به انقباض آغاز کرده باشد.

هنگامی که ستارگان کهن و ولخرج بمیرند، عده‌ای ستارگان جدید از ماده گازی که پس از آفرینش اختران بر جای مانده است تشکیل می‌شود، ولی زمان که بیشتر می‌رود، بیشتر ستارگانی که متعلق به جزایر اختری بی‌شمار هستند پیر و پیرتر می‌شوند.

و در سال ۱۲،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰ پس از آفرینش جهان یا سال ۱۰،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰ میلادی، جهان چنان خواهد بود که همه جای آن را دور از یکدیگر جزایر اختری پر کرده و ستارگان این جزایر یا مرده و یا در حال احتضارند.

گاهنامه



مهمترین گامهایی که در حل مسائل مربوط به ساختمان و تولید انرژی و تکامل ستارگان برداشته شده:

- ۱- فرضیه انقباض (هلمیولتز) ۱۸۵۴
- ۲- اکتشاف رادیو آکتیویته (بکرل) ۱۸۹۶
- ۳- طبقه‌بندی ستارگان به سه گروه اصلی (راسل) ۱۹۱۳
- ۴- نظریه ساختمان درونی ستارگان (ادینگتون) ۱۹۱۷ و بعد
- ۵- تحول مصنوعی عناصر (راذرفورد) ۱۹۱۹
- ۶- کوتوله‌های سفید به عنوان ستارگان ویران شده (فاولر) ۱۹۲۶
- ۷- نظریه کوانتومی درباره تبدلات هسته‌ای (گاموف؛
گرنی؛ کوندون) ۱۹۲۸
- ۹- فعل و انفعالات حرارتی هسته به عنوان منبع انرژی
ستارگان (اتکینسون و هو ترمنس) ۱۹۲۹
- ۹- فعل و انفعالات هسته‌ای زنجیری در ستارگان
(وایتسزگر) ۱۹۳۷
- ۱۰- تکامل ستارگان با تولید انرژی حرارتی هسته
(گاموف) ۱۹۳۸
- ۱۱- دوره کربون - نیتروژن در خورشید
(بث و وایتسزگر) ۱۹۳۸
- ۱۲- فعل و انفعالات عناصر سبک در غولهای سرخ
(گاموف و تلمر) ۱۹۳۹

ضمیمه



بومبهای اتمی

همان گونه که در فصل ۴ بحث کردیم ، بهترین فرصت برای آزاد کردن انرژی زیراتومی در آن است که فعل و انفعال تکثیر نوترون را که در ضمن عمل شکافته شدن هسته‌های سنگین صورت می‌گیرد مورد استفاده قرار دهیم. و چون تنها نوع موجود هسته‌ای که بتواند در چنین عملی کارآمد باشد ، هسته‌های همجای سبکتر اورانیوم ^{235}U است که فقط ۰٫۷ درصد از اورانیوم طبیعی را تشکیل می‌دهد، بنابراین خود را رو به‌رو با مسئله دشوار جدا کردن این همجای کمیاب از همجای فراوانتر ولی بی‌اثر ^{238}U می‌بینیم.

دو طریقه‌ای که برای جدا کردن همجاها از یکدیگر به کار می‌رود عبارت است از **طریقه نفوذ و تراوش** که در متن کتاب شرح آن گذشت و طریقی مستقیمتر **جرمی-طیفی** که در آن اتمهای اورانیوم مطابق جرم خود از راه خم شدن دسته‌های یون اورانیوم در میدان مغناطیسی نیرومندی طبقه‌بندی می‌شوند.

پیدایش و مرگ خورشید

بر اثر احتیاج شدیدی که در جنگ پیش آمده بود، کوشش فراوانی به عمل آمد تا بتوانند همجاهای اورانیوم را به مقیاس وسیعی از یکدیگر جدا کنند، و این گونه کارها به صورت بسیار محرمانه در دستگاہی به نام «کارهای مهندسی کلینتون» در ایالت تنسی انجام می شد، و در آنجا کارخانه های متعددی تأسیس شده بود تا جدا کردن همجاهای باطریقه های مختلف در آن کارخانه ها صورت گیرد.

اعمال مربوط به جدا کردن همجاهای باطریقه تراوش در تحت راهنمایی گروه پژوهندگان دانشگاه کولومبیا بود، و در جدا کردن مغناطیسی از نتایجی استفاده می شد که با آزمایشهای مقدماتی آزمایشگاه تشعشع دانشگاه کالیفورنیا به دست آمده بود. در نتیجه تحقیق معلوم شد که طریقه انحراف مغناطیسی کارآمدتر از طریقه تراوش است، و آنچه واقعاً اتفاق افتاده این است که نخستین کمیته U-235 که برای استعمال در ساختن بمب اتمی کفایت می کرده از کارخانه ای به دست آمده است که با همین طریقه به کار افتاده بود.

راه امکان کاملاً تازه تولید هسته های قابل شکافته شدن که برای عمل تکثیر نوترونها مناسب باشد، بوسیله اکتشاف فرمی و وایتسزگر به دست آمد، چه این دونفر راهی پیدا کردند تا از آن راه بتوانند در اورانیوم طبیعی عمل تکثیر نوترون را به صورت کنیدی ایجاد کنند.

همان گونه که در فصل ۴ دیدیم، دلیل اصلی آنکه چرا چنین عملی به شکل طبیعی در اورانیوم طبیعی صورت نمی گیرد، در این واقعیت است که نوترونهایی که از شکافته شدن هسته های U-235 به دست می آید، پیش از آنکه بتواند با هسته های U-235 دیگر نزدیک و سبب پیدایش نوترونهای تازه شود، به وسیله همجاهای فراوانتر ولی بی اثر U-238 جذب می گردد. با وجود این می دانیم که دونوع اورانیوم برای جذب کردن نوترونهای تابنده قابلیت های متفاوت دارند؛ هسته همجای سنگین U-238 می خواهد نوترونهای تندتر را جذب کند، در صورتی که هسته همجای سبک U-235 در مقابل نوترونهای کند قابلیت جذب بیشتری دارد. چون نوترونهایی که در ضمن عمل شکافته شدن آزاد می شوند همه تند هستند، در معرض آن قرار دارند که پیش از رسیدن به همجای سبک

U-۲۳۵ مجذوب همجای سنگین U-۲۳۸ شوند. اگر بتوانند نوترونهای تند را پیش از آنکه شانس ملاقات کردن با هسته U-۲۳۸ داشته باشند کند کنند، ممکن است این نوترونهارا هسته‌های U-۲۳۵ شکار کنند، و در این صورت با آنکه هسته‌های همجای سبک اقلیت دارند، بیش از هسته‌های همجای سنگینتر شانس صید کردن چنین نوترونهایی را خواهند داشت. پس از اکتشاف شکافته شدن اورانیوم به این فکر افتادند که ممکن است نوترونهای حاصل شده از شکافتن هسته‌ها به وسیله آمیختن اورانیوم طبیعی با آب کندتر کنند، چه تصادم شدید نوترونهای تند با هسته‌های ئیدروژن مولکولهای آب به سرعت مقداری از انرژی اصلی آنها را می‌گیرد. ولی محاسبات مفصلتر نشان داد که، حتی در اورانیوم رقیق شده با آب، نوترونها نمی‌توانند آن اندازه انرژی خود را از کف بدهند که از خطر جذب شدن با همجاها بی‌اثر سنگینتر در امان بمانند. بعدها دریافتند که برای آنکه این طریقه بتواند کارگر شود، لازم است که از ابتدا اورانیوم طبیعی را با U-۲۳۵ تقویت کنند تا غلظت آن از حیث شامل بودن بر این ماده دو برابر شود، و این خود باز ما را به مسئله دشوار جدا کردن همجاها بازمی‌گرداند. اساس فکر فرمی و زیلارد عبارت از این است که به جای آنکه مخلوط متجانسی از اورانیوم طبیعی و ماده کند کننده نوترونها داشته باشند، کاری کنند که دانه‌های کوچک نوترون به صورت پراکنده در آن ماده کند کننده قرار گرفته باشد. در این صورت نوترونهایی که از دانه‌های مجزی از یکدیگر خارج می‌شود از میان ماده خالص کند کننده می‌گذرد، و چنان است که پس از آنکه به اورانیوم رسیدند آن اندازه کندی پیدا کرده‌اند که از خطر اسیر شدن به وسیله همجای سنگین در امان خواهند بود.

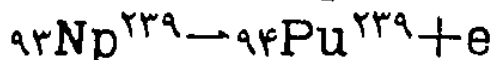
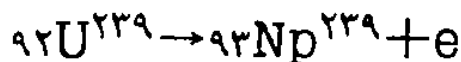
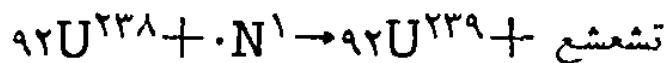
نخستین دستگاهی که به این ترتیب ساخته شد همان است که در ماه دسامبر ۱۹۴۲ در دانشگاه شیکاگو به کار افتاد و ماده کند کننده آن به جای آب کربون خالص بود.

این دستگاه جرم بزرگ تخم مرغی شکلی است که از عده فراوانی

1. Szilard

آجرهای زغالی ساخته شده وهریک از این آجرها در داخل خود دانه اورانیومی دارد. این تخم مرغ فرمی واقعاً به کار افتاد و پس از آنکه حجم آن به اندازه کافی بزرگ شد (به وسیله قشرهای تازه‌ای از قطعات آجر زغالی) تا از فرار نوترونها به اندازه زیاد جلوگیری (صفحه ۱۰۸ دیده شود)، فعل و انفعال شکافته شدن هسته اورانیوم به جریان افتاد و درجه حرارت سطحی را به ۱۵۰ رسانید و این درجه را ثابت نگاه داشت.

تخم مرغ فرمی نه تنها نماینده نخستین دستگاهی است که در آن انرژی هسته به مقیاس بزرگ آزاد می‌شود، بلکه در عین حال امکانات کاملاً تازه‌ای را فراهم آورده است تا عناصر جدیدی به دست آید و از آنها به جای همجای ۲۳۵ کمیاب در عمل تکثیر نوترونها استفاده شود. واقع امر این است که چند نوترونی که از شکافتن هر ۲۳۵ - U در داخل تخم مرغ فرمی صادر می‌شود، تنها کمی زیاده‌تر از یکی (به طور متوسط) ضرورت دارد تا اینکه سبب ادامه فعل و انفعال تکثیر و عمل شکافته شدن هسته بشود. باقی نوترونها به وسیله همجای اورانیوم ۲۳۸ که از فعل و انفعال بیرون می‌آید جذب می‌شوند. ولی آنچه مهم است اینکه ۲۳۸ - U که با اسیر شدن نوترونها نتیجه می‌شود ناپایدار است، و دو الکترون را یکی پس از دیگری از خود خارج می‌کند و به ترتیب به دو هسته‌ای که تا این زمان ناشناخته بوده و وزنه‌های اتمی ۹۳ و ۹۴ دارند تبدیل می‌شود. این عناصر که نخستین بار چند سال پیش از این به وسیله فرمی کشف شده، اکنون به نامهای نپتونیم و پلوتونیوم نامیده می‌شوند. فعل و انفعالات هسته‌ای مزبور را به صورت ساده ذیل می‌توان نوشت:



دو فعل و انفعال که در فوق نوشته شده و از آنها الکترون تولید می‌شود، به ترتیب ۲۳ دقیقه و ۳ روز وقت لازم دارد، و نتیجه عمل پلوتونیوم است که عنصر دراز عمر بسیار شبیه به اورانیوم است و از خود ذرات α خارج می‌کند، نکته در این است که پلوتونیوم از لحاظ

صفات به ۲۳۵ - U بیش از ۲۳۸ - U شباهت دارد و از آن می‌توانند در عمل تکثیر نوترون‌ها استفاده کنند. از آنجا که عدد اتمی آن ۹۴ است، از لحاظ خواص شیمیایی با اورانیوم اختلاف دارد، و به آسانی می‌توان آن را از اورانیومی که پیدایش آن است جدا کرد، و این عمل با طریقه‌های متعارفی شیمی امکانپذیر است.

این طریقه که در آن فعل و انفعال کند هسته‌ای در اورانیوم طبیعی سبب از میان رفتن همجای فعال و سبک آن می‌شود و بامصرف شدن آن همجای سنگینتر به پلوتونیوم مبدل می‌گردد، برای تهیه عناصر قابل شکافتن به مقدار زیاد نیز بسیار مناسب است. یک کارخانه تولید پلوتونیوم نسبتاً کوچک در ناحیه کلینتون ساخته شد، و پس از آنکه اطمینان حاصل کردند که این طریقه ثمربخش است، دستگاه مفصلتری برای ساختن پلوتونیوم برکنار رودخانه کولومبیا در ایالت واشینگتون برپا گردید.

پس از تهیه ۲۳۵ - U یا پلوتونیوم به مقدار زیاد، نخستین مسئله مهمی که در پیش داریم این است که آن را از شکافته شدن خود به خود که در تحت تأثیر نوترون‌های منفردی که از اشعه کیهانی یا از مواد رادیوآکتیو زمین حاصل می‌شود محفوظ نگاه داریم. برای جلوگیری از این حادثه لازم است که مواد حاصل شده را به قسمت‌های کوچک کوچک تقسیم کنیم تا چنان باشد که از فعل و انفعال نوترونی انفجاری حاصل شده در آنها از همان آغاز کار بر اثر خارج شدن مقادیر کثیری نوترون و در هوا منتشر شدن جلوگیری به عمل آید.

با وجود این چون چندتا از این قسمت‌های کوچک را که بزرگی آنها کوچکتر از اندازه بحرانی است که برای انجام فعل و انفعال تکثیر نوترون لازم است، مجاور یکدیگر قرار دهیم، عمل به سرعت صورت می‌گیرد و در پی آن انفجار تولید می‌شود. اساس بومب اتمی بر روی همین کیفیت قرار دارد. هنگام طرح‌ریزی و رسیدگی به روشهایی که بایستی برای ساختن بومب اتمی از آنها استفاده شود، مشکل اساسی در آن است که این کار را نمی‌توان با آزمودن و از روی آزمایش نتیجه کار را اصلاح کردن انجام داد. و چون مواد قابل شکافته شدن بایستی به

پیدایش و مرگ خورشید

مقادیر زیاد تهیه شود، و بادستگاه‌های تولید جاری نمی‌توان امیدوار بود که آن اندازه از این مواد به دست آید که آزادانه و بی‌پروا بتوانند بر روی آنها آزمایشهای مقدماتی را انجام دهند، در این مورد لازم بود از پیش کاری‌کنند که به نتایج آزمایشها اطمینان داشته باشند. خوشبختانه نظریه مربوط به کارهایی که درهسته صورت می‌گیرد و روشهای ریاضی برای محاسبه کیفیاتی که اتفاق می‌افتد، به اندازه‌ای کامل شده بود که از روی آنها می‌توانستند بفهمند که اگر مواد انفجاری هسته‌ای را که به شکل بسته‌های کوچک کوچک است پهلوی یکدیگر قرار دهند، چه اتفاقی خواهد افتاد، به این ترتیب بود که کار ساختن بمب اتمی بالضروره سبب پیش آمدن عده‌ای از نظریه‌ها و محاسبات پیچیده ریاضی شد، و برای رسیدگی به این‌گونه مسائل مرکز تحقیقات خاصی در نزدیکی سانتافه در استان نیومکزیکو ایجاد گردید.

نتیجه ترکیب کارهای مربوط به تولید ماده انفجاری اتمی با کارهای مربوط به تکمیل روشهای انفجار، همان‌گونه که می‌دانیم، آن بود که در ابتدا یک بمب آزمایشی در نیومکزیکو منفجر گردید و پس از آن، دو بمب جنگی بر هیروشیما در ژاپون فرو ریخته شد.

با تمام اهمیتی که بمب اتمی برای جنگ جهانی دوم داشت و مقام مدهشی که برای جنگ آینده خواهد داشت، تحقیقات جالب توجه‌تر مربوط به امکان استعمال انرژی زیر اتمی آزاد شده در منظوره‌های صلحجویانه است که به تکامل فرهنگ آینده بشر و بهبود زندگی او کمک فراوان خواهد کرد. برای آنکه چنین امکاناتی صورت تحقق کامل پیدا کند، لازم است که منابع فراوان و ارزان این نوع انرژی تازه در اختیار باشد، و از مقدار کمی ماده مقدار فراوانی انرژی به دست آید.

به طور قطع می‌توان گفت که آن انرژی که از عمل تکثیر نوترون در اورانیوم حاصل می‌شود، سبب تحقق یافتن شرط اول نمی‌شود، زیرا ${}_{235}\text{U}$ که اکنون تنها منبع طبیعی این نوع انرژی است، نه فراوان است و نه ارزان.

اگر چه از لحاظ مقایسه بر مبنای مواد خام انرژی اورانیوم تا حدی ارزانتر از انرژی زغال به نظر می‌رسد (صفحه ۱۱۰)، دشواری جدا

کردن همجای پلوتونیوم محققاً نیروی اتمی را گرانتر از نیرویی که به وسیله زغال یا نفت به دست می آید می سازد.

و نیز تخمین زده اند که تمام ذخایر اورانیومی که ممکن است در سرزمین امریکا پیدا شود، به زحمت کفاف احتیاجات انرژی آنها برای مدت دو یا سه سال می دهد، در صورتی که ذخایر زغالی برای هزاران سال کفایت می کند.

از آنچه گفتیم نباید چنین نتیجه گرفت که انرژی زیر اتمی هرگز نمی تواند به صورت صرفه داری مورد استفاده قرار گیرد، چه مقادیر عظیم دیگری از آن عملاً در هر عنصر شیمیایی متعارفی نهفته است و با کمال موفقیت به وسیله خورشید و ستارگان دیگر جهان به کار می افتد. ولی ما هنوز راه کار عملی آنها را نمی دانیم که چگونه این منابع عظیم انرژی زیر اتمی را بشکافیم و راه خروج این انرژی را باز کنیم، و تنها کاری که می توانیم بکنیم این است که از کسر کوچکی از این انرژی که در همجای سبک اورانیوم پنهان است بهره برداری کنیم.

استعمال انرژی اورانیوم در جاهایی که به ارزانی قیمت توجه چندانی نداریم و در عوض می خواهیم یک مرتبه مقدار عظیم انرژی تولید کنیم، بیشتر مایه امیدواری است. با استعمال مستقیم $U-235$ یا پلوتونیوم یا بهتر از آن با جمع کردن انرژی آنها در «آکومولاتور اتمی» که عبارت از دستگاهی است که در آن با بومباران بوسیله نوترونهای اورانیوم مواد رادیوآکتیو عناصر پایدار متعارفی را تجزیه می کنند، به احتمال قوی امکان آن فراهم خواهد شد تا هوای پیمایی بسازند که هزاران مرتبه بدون احتیاج به تجدید سوخت بتواند برگرد زمین دوران کند، یا وسیله نقلیه دیگری تهیه کنند که مدت چند سال به صورت مداوم بدون احتیاج به سوخت کار کند. ولی جالبترین امکان آینده در این است که بتوانند راکت های هوایی به عنوان وسیله ارتباط میان سیارات بسازند، زیرا چنانکه می دانیم مقدار مختصری انرژی که در سوخت های معروف که تاکنون می شناخته ایم وجود دارد، چنان است که فرستادن چنین راکتی را به ماه با هر یک از سیارات منظومه شمسی غیر ممکن می ساخته است. باید منتظر آینده بود و نتایج کار را دید!

فهرست الفبای اعلام و مطالب

نمونه ۵۴	ابرهای مازلانی ۲۳۵
وزن ۳۳	آب سنگین ← دیوتریوم
اثر دوپلر ۱۴۴	اتکینسون ۱۱۵
اثر فوتو الکتريک ۵۱، ۵۲	اتوم:
احتضار خورشید ۱۷۴، ۱۸۹	بزرگی ۴۲، ۴۳
ادینکتون ۱۲۴، ۱۴۴، ۱۴۶	پیچیدگی ۴۴-۴۶
۱۵۱، ۱۷۰	جرم ۴۲، ۴۳
ارگ ۱۶	ساختمان ورقه‌یی ۶۰، ۶۱
استون ۵۸، ۵۹	مفهوم شیمیایی ۳۳-۳۴
اشترن ۴۰، ۴۱، ۴۲	مفهوم فلسفی ۳۰-۳۱
اشعه آلفا:	نمونه ۵۴-۵۷، ۵۸
اکتشاف ۷۲	هسته ۵۴-۵۷
انرژی ۷۵	اتومشکاف ۸۹-۹۱
بمباران با ۵۴-۵۸	اتومی
اشعه الکترو مغناطیسی ۶۴	جرم ۴۲، ۴۳
اشعه بتا ۷۴-۷۸-۸۰	عدد ۵۸

جورج کاموف

حرکت ملکولی ۳۶-۳۸	اشعه خورشید ۱۶-۱۷، ۲۴
زیراتومی ۲۸-۲۹	اشعه گاما ۷۵
شیمیایی ۲۵، ۲۶، ۶۳	اصل :
هسته‌ای ۲۸-۲۹	زمین و سیارات ۲۱۶-۲۲۱
تقسیم به تساوی ۳۸	ستارگان ۲۱۰-۲۱۵
واحد ۱۶	سحابیها ۲۳۹-۲۴۰
انفجار نواختران ۲۰۰، ۲۰۱، ۲۰۲	عناصر ۲۴۳-۲۴۵
انقباض ثقلی ۲۶-۲۸	کوتوله‌های سفید ۲۱۴-۲۱۵
اوری ۵۹	اصل عدم حتمیت ۶۸
ایزوتوپ ۵۹	طاق ابر ۸۲-۸۵
اینشتاین ۱۸۸	طاق ویلسون ← طاق ابر
باده ۱۹۳	اکتشاف رادیو اکتیویته ۷۰-۷۲
بار الکترون ۴۸-۵۱	اکتشاف نواختران ۱۹۱-۱۹۲
بتا اشعه ۷۴، ۷۸، ۷۹	آلفا، اشعه ۷۲-۷۳
بت ۱۲۵	الکترومغناطیس، اشعه ۶۴
بحرانی، فشار ۱۸۳	الکترون:
براون ۳۶، ۳۷	اکتشاف ۴۷-۵۱، ۵۲
براونی، حرکت ۳۸-۳۹	بار ۴۸-۵۱
برق ساکن، مولد ۸۹، ۹۰، ۹۱	جرم ۵۲-۵۷
برق، صدور حرارتی ۵۱	مثبت ۷۹
بروی، امواج ۶۸	الکترونی، قشرهای ۶۰-۶۲
بزرگی :	آمار ۴۲-۴۳
اتوم ۴۲-۴۳	امرأة المسلسلة، سحابی ۲۳۲،
جهانهای جزیره‌ای ۲۳۲-۲۳۴	۲۳۳، ۲۳۴
۲۳۴	امواج، بروی ۶۸
خورشید ۲۰۵	امواج الکترو مغناطیسی ۶۴
مولکولها ۴۳	انرژی :
	اشعه آلفا ۷۵
	تشعشی خورشید ۱۶-۱۷، ۲۴

فهرست اعلام

- ۱۷۰
تحول عناصر ۷۷ ، ۸۶-۸۸
تحول خورشید ۱۲۹-۱۳۳
ترشح ذرات آلفا ، نظریه
۷۶-۷۹
تشعشع انرژی خورشید ۱۶-۱۷ ،
۲۴
تقسیم به تساوی انرژی ۳۸
تسویکی ۱۹۳ ، ۱۹۴ ، ۱۹۵
تکامل :
خورشید ۱۲۹-۱۳۳
ستارگان ۱۴۸-۱۵۴
سحابیها ۲۳۹-۲۴۲
غولهای سرخ ۱۶۴-۱۶۷
تلاشی به وسیله همنوایی ۱۰۳ -
۱۰۴
تله ۱۵۹ ، ۱۴۳
توزیع مکسولی ۴۲-۴۴ ، ۱۱۷
توکوبرائه ۱۹۲ ، ۱۹۳ ، ۱۹۴
تیو ۸۹
ثقلی :
انقباض ۲۶-۲۸
ناپایداری ۲۱۳-۲۱۴
جاده شیری ۲۲۲
جدول تناوبی عناصر ۵۹ ، ۶۰
جرم :
اتومها و مولکولها ۴۲ ، ۴۳
- بزرگترین تخته سنگ ۱۸۰ -
۱۸۳
بکرل ۷۰ ، ۷۱
بلاکت ۸۲ ، ۸۳ ، ۸۴
بمباران :
با اشعه آلفا ۵۴-۵۸
با پروتونها ۸۷-۸۹
با دیوترونها ۹۵ ، ۹۶
بانوترونها ۹۵-۹۷ ، ۱۰۲ ،
۱۰۴ ، ۱۰۵
با هسته ۵۶ ، ۸۰ ، ۸۷-۹۰
۹۵-۹۶ ، ۱۰۴ ، ۱۰۵
بوهر ۶۴ ، ۶۵ ، ۶۶
پراکندگی ذرات آلفا ۵۸
پرن ۳۸
پروتکوف ، کوزما ۱۴
پروتونها ، بمباران با ۸۷-۸۹
پس رفتن جهانهای جزیره‌یی
۲۳۷-۲۳۸ ، ۲۳۹
پلانک ۶۵
پوتانسیل ، زره ۷۶ ، ۷۷ ، ۷۸ ، ۷۹
تامسون ۵۳
تپنده :
خواص ستارگان ۱۶۷-۱۷۰
طبقه‌بندی ستارگان ۱۷۱ -
۱۷۲
نظریه اجمالی درباره ستارگان

جورج کاموف

حالت هسته‌ای ۲۰۵-۲۰۹	اتومی ۴۲، ۴۳
حرارت :	الکترون ۵۲-۵۷
درون خورشید ۱۸	خورشید ۲۰
سطح خورشید ۱۷	ستارگان ۱۴۳-۱۴۶
حرارت صفر مطلق، درجه ۱۸،	کوئوله‌های سفید ۱۸۷ -
۳۵، ۳۹، ۴۰	۱۸۹
حرارت، نظریه حرکتی ۳۴-۳۶	جهان در حال گسترش ۲۳۹ -
حرکت :	۲۴۲
براونی ۳۷-۳۸	جهانهای جزیره‌ای :
ستارگان ۲۲۴-۲۲۶	اشکال مختلف ۲۳۰-۲۳۲
نقطه صفر ۱۷۹	بزرگی ۲۳۲-۲۳۴
حصار پوتانسیل ۷۶-۷۸	پس رفتن ۲۳۷-۲۳۹
خارج کهکشانی، سحابیهای ←	فاصله ۲۳۱-۲۳۴
جهانهای جزیره‌یی	جوال زغال ۲۰۳، ۲۰۴
خانواده‌های رادیو اکتیو ۷۱،	جوانی و پیری ستارگان ۱۵۳
۷۲، ۷۳، ۷۴، ۷۵	جینز، سرجیمز ۲۱۳، ۲۴۲
خرچنگی، سحابی ۲۰۱، ۲۰۲	چاندرا سکه‌ها ۱۸۶، ۱۸۷، ۱۸۸
خطوط فران‌هوفر ۱۳۹	چدویک، جیمز ۹۵
خواص تناوبی عناصر ۵۹-۶۱	چکالی :
خورشید:	خورشید ۱۹-۲۰
احتضار ۱۷۴، ۱۸۹	غولهای سرخ ۱۵۵-۱۵۸
انرژی تشعشی ۱۶-۱۷،	کوئوله‌های سفید ۱۸۸
۲۴	چمبرلین ۲۱۹
بزرگی ۲۰	حالات کوانتوم ۶۵
تحول ۱۲۹-۱۲۳	حالات پیش از نواختری ستارگان
تشعشع ۱۶-۱۷-۲۴	۱۹۷، ۱۹۸، ۱۹۹
جرم ۲۰	حالات فروریخته ماده ۱۷۵-۱۷۷
چکالی ۱۹-۲۰	

فهرست اعلام

دوبلر اثر ۱۴۴، ۱۶۸	حرارت سطحی ۱۷
دوره کربن-نیتروژن ۱۲۵، ۱۲۶	حرارت مرکزی ۱۸
۱۲۷، ۱۲۸، ۱۲۹	درون ۱۸
دایراک ۷۹	زبان‌های ۲۱-۲۲
دیوارهای هسته، شفافیت ۷۷	سطح ۲۱
دیوترونها، بمباران با ۹۵، ۹۶	طیف ۱۳۷-۱۴۰
دیوترم ۵۹، ۱۶۵	عمر ۲۲-۲۵
ذرات آلفا، پراکندگی ۵۵	فشار درونی ۲۰
رادیو اکتیو، خانواده‌های ۷۱،	فعل و انفعالات ۱۲۴-۱۲۸
۷۲، ۷۳، ۷۴، ۷۵	کف‌های ۲۱-۲۲
رادیو اکتیویته. اکتشاف ۷۰،	کوره ۱۲۳
۷۱، ۷۲	کیمیاجری ۱۱۴
رادیوم ۷۲	منابع انرژی ۱۲۵-۱۲۹
راذرفورد ۵۴، ۵۵، ۵۶، ۵۷،	دالتون ۳۴
۶۴، ۶۵، ۶۶، ۶۹، ۷۲،	دب اکبر ۲۲۶
۷۵، ۷۷، ۸۰، ۸۷، ۱۱۱	دجاجه، صورت فلکی ۱۳۷،
راسل ۱۴۱، ۱۴۲، ۱۴۳	۱۴۰، ۱۴۴، ۱۴۶
رشته اصلی ستارگان ۱۴۲-۱۴۳	درجه حرارت:
رنگ ستارگان ۱۳۷، ۱۳۸،	درونی خورشید ۱۸
۱۳۹، ۱۴۶، ۱۴۷	ستارگان ۱۳۷، ۱۳۹، ۱۴۶
زبان‌های خورشید ۲۱-۲۲	سطح خورشید ۷۷
زدن و در رفتن، نظریه ۲۱۹-	صفر مطلق ۱۸، ۳۵، ۳۹،
۲۲۰	۴۰
زره (حصار) پوتانسیل ۷۶، ۷۷،	درخشندگی ستارگان ۱۳۵، ۱۳۶،
۷۸، ۷۹	۱۴۳، ۱۴۶
زمین:	دژ هسته، رخنه کردن در ۱۰۱
	دسته مولکولها ۴۲
	دموکریتوس ۳۰، ۳۱، ۳۴، ۳۵

جورج سوموف

قطر ۱۴۱	اصل و منشأ ۲۱۶-۲۲۱
منابع انرژی ۱۴۴، ۱۴۵،	عمر ۲۲-۲۵
۱۴۶	فشار درونی ۱۸۳
ستارگان تپنده ۱۶۷-۱۷۳	زنجیری، فعل و انفعالات ۱۲۷
ستارگان مزدوج ۱۴۴	زیر اتمی:
سحابی:	انرژی ۲۸-۲۹
امراة المسلسلة ۲۳۲، ۲۳۳،	موتور ۱۲۱-۱۲۲
۲۳۴	
خارج کهکشان ← جهانهای	ساختمان ورقه‌یی اتم ۶۰، ۶۱
جزیره‌یی	سال نور ۲۲۵
خرچنگی ۲۰۲	ستارگان:
سیاره‌یی ۲۰۲	
گازی ۲۰۴	اصل ۲۱۰-۲۱۵
سحابیها:	تحول و تکامل ۱۴۸-۱۵۴
اصل ۲۳۹-۲۴۰	جرم ۱۴۳-۱۴۶
تکامل ۱۳۵-۱۳۸	جوانی و پیری ۱۵۳
سرعت ۲۳۷، ۲۳۹، ۲۴۰	حالت پیش از نواختری ۱۹۸،
فاصله ۲۳۲-۲۳۴	۱۹۹
سرعت:	حرکت ۲۲۵-۲۲۷
ستارگان ۲۲۵-۲۳۰	درجه حرارت ۱۳۹-۱۴۰،
سحابیها ۲۳۷، ۲۳۹،	۱۴۶
۲۴۰	درخشندگی ۱۳۵، ۱۳۶،
فعل و انفعالات هسته‌ای ۱۱۸-	۱۴۳، ۱۴۶
۱۲۰	رشته اصلی ۱۴۲-۱۴۳
مولکولها ۴۰، ۴۱، ۴۲	رنگ ۱۳۷، ۱۳۸، ۱۳۹،
سطح خورشید ۲۱	۱۴۶، ۱۴۷
سیارات، منشأ ۲۱۶-۲۲۱	سرعت ۲۲۵-۲۳۰
سیکلوترون ۹۲-۹۴	شماره ۲۲۴
	طبقه‌بندی طیفی ۱۴۰
	فاصله ۱۳۵

فهرست اعلام

طیف خورشید ۱۳۷-۱۴۰	شرو دینگر ۶۷
عدد اتومی ۵۸	شعاع:
عدد ستارگان آسمان ۲۲۶	اتومها ومولکولها ۴۲، ۴۳
عدم حتمیت، اصل ۶۸	غولهای سرخ ۱۵۵-۱۵۸
عمر:	کهکشان ۲۲۵-۲۲۶
خورشید ۲۲-۲۵	کوئوله‌های سفید ۱۸۷-
زمین ۲۲-۲۵	۱۸۸
منظومه اختری ۲۵، ۲۳۰	شعری:
عناصر شیمیایی:	ستاره اصلی ۱۳۷
اصل ۲۴۳-۲۴۵	مصاحب ۱۸۷-۱۸۸
تحول ۸۰	شفافیت دیوارهای هسته ۷۷
جدول تناوبی ۶۰، ۶۱	شکافته شدن هسته ۹۷
فراوانی ۱۶۱، ۱۶۲	شماره ستارگان ۱۴۰
مفهوم ۳۱، ۳۲	شیپلی ۱۷۰
عیوق ۱۵۵-۱۵۶	شیمیایی:
غولهای آبی ۱۴۳ و ← غولهای	انرژی ۲۵، ۲۶، ۶۳
سرخ	خواص تناوبی عناصر ۶۰،
غولهای سرخ:	۶۱
تکامل ۱۶۴-۱۶۷	فراوانی عناصر ۱۶۱، ۱۶۲
تعریف ۱۴۳	فرمولها ۳۳
چگالی ۱۵۵-۱۵۸	فعل وانفعالات ۳۳
خواص ۱۵۵-۱۵۸	مفهوم عناصر ۳۱، ۳۲
درون ۱۵۸-۱۶۰	میل ترکیب ۶۱
شعاع ۱۵۵-۱۵۸	صدور حرارتی، الکتریسیته ۵۱
منابع انرژی ۱۵۹-۱۶۴	صفر مطلق ۱۸، ۳۵، ۳۹، ۴۰
فاراده ۶۳	طبقات طیفی هاروارد ۱۴۰
	طبقه‌بندی ستارگان ۱۴۰

قشرهای الکترونی ۶۱،۶۰	فاصله:
قطر:	جهانهای جزیره‌ای ۲۳۱-
ستارگان ۱۴۱	۲۳۴
کهکشان ۲۲۵-۲۲۴	ستارگان ۱۳۵
قوانین کوانتوم ۶۶-۶۴	سحابیها ۲۳۴-۲۳۲
قیفاووسی، متغیرهای ۱۶۸،	فاولر ۱۸۸
۱۷۱، ۱۷۰	فران هوفر، خطوط ۱۳۹
کاپتین ۲۲۵	فراوانی عناصر شیمیایی ۱۶۲
کانت ۲۱۸، ۲۱۷، ۲۱۶	فرضیه کانت لاپلاس ۲۱۶، ۲۱۷،
کیپر ۱۹۴، ۱۹۳، ۱۹۲	۲۱۸
کدری ماده اختری ۱۲۹، ۱۲۸	فرمولهای شیمیایی ۳۳
۱۳۰	فرمی ۱۷۹، ۹۶
کربون-نیتروژن، دوره ۱۲۵،	فرو ریختن ماده ۱۷۷-۱۷۵
۱۲۹، ۱۲۸، ۱۲۷، ۱۲۶	فشار:
کریچفلد ۱۴۸	بحرانی ۱۸۳
کسوفی، متغیرهای ۱۵۹	درونی خورشید ۲۰
کلب اکبر ۱۳۶	درونی زمین ۱۸۳
کلفهای خورشید ۲۲-۲۱	درونی مشتری ۱۸۳
کلوینی، مقیاس حرارتی ۳۹	فعل وانفعالات:
کوانتوم:	تصادفی هسته ۱۰۸-۱۰۵
انرژی ۶۶	حرارتی هسته ۱۱۷-۱۱۵
حالات ۶۶	درونی خورشید ۱۸
قوانین ۶۶-۶۴	زنجیری هسته ۱۲۷
مکانیک ۶۸-۶۶	شیمیایی ۳۳
نور ۶۶	عناصر سبک ۱۶۰، ۱۵۹
کوتوله‌های سرخ و ← کوتوله‌های	فوتوالکتریک، اثر ۵۰
سفید	فوق‌نواختران:
کوتوله‌های سفید:	اکتشاف ۱۸۴-۱۸۱
	فراوانی ۱۸۴، ۱۸۳

فهرست اعلام

گاموف ۱۳۱، ۱۰۲، ۸۷، ۷۸	اصل ۲۱۵-۲۱۴
۱۸۴، ۱۷۲، ۱۶۷، ۱۵۹	تعریف ۱۴۳
۲۴۳	جرم ۱۸۹-۱۸۷
گرنی ۱۰۳، ۷۸	چگالی ۱۸۶
گسترش، جهانی در حال ۲۳۹-	شعاع ۱۸۹-۱۸۷
۲۴۲	محتوی ئیدروژنی ۱۹۵-۱۸۳
لاپلاس ۲۱۸، ۲۱۷، ۲۱۶	کوتھاری ۱۸۵، ۱۸۳
لاندو ۲۰۸	کوره خورشید ۱۲۳
لاورنس ۹۳	کوری، بیروماری ۷۲
لوئی دو بروی ۶۷	کاکرافت ۸۹، ۸۸
ماده:	کوندون ۷۸
حالت هسته‌ای ۲۰۷-۲۰۴	کویپر ۲۰۳
فروریختن ۱۷۷-۱۷۵	کهکشان:
ماژلانی، ابرهای ۲۳۵	بزرگی ۲۰۹
متغیرهای کسوفی ۱۵۹	تعریف ۲۲۳
مثبت، الکترون ۷۹	دوران ۲۴۲، ۲۲۹
محتوی ئیدروژنی کوتوله های	شکل ۲۳۰
سفید ۱۹۵-۱۸۳	قطر ۲۲۵-۲۲۴
مشتری:	کیمیگری:
فشار درونی ۱۸۳	جدید ۸۰-۷۹
همچون بزرگترین پاره سنگ	خورشید ۱۱۴
۱۸۲	قرون وسطی ۳۲-۳۱
مصاحب شعری ۱۸۸-۱۸۷	گاز فرمی ۱۸۱
مکانیک کوانتوم ۶۷-۶۶	گاز متعارفی ۳۶، ۳۵
مکسول ۴۴	گازهای بی اثر ۶۳
مکسولی، توزیع ۱۱۷، ۴۴-۴۲	گازی، سحابیهای ۲۰۴
ممسك الاعنة ۱۵۷، ۱۵۶، ۱۵۵	گالوانی ۴۶
	گاما، اشعه ۷۵

۱۷۰

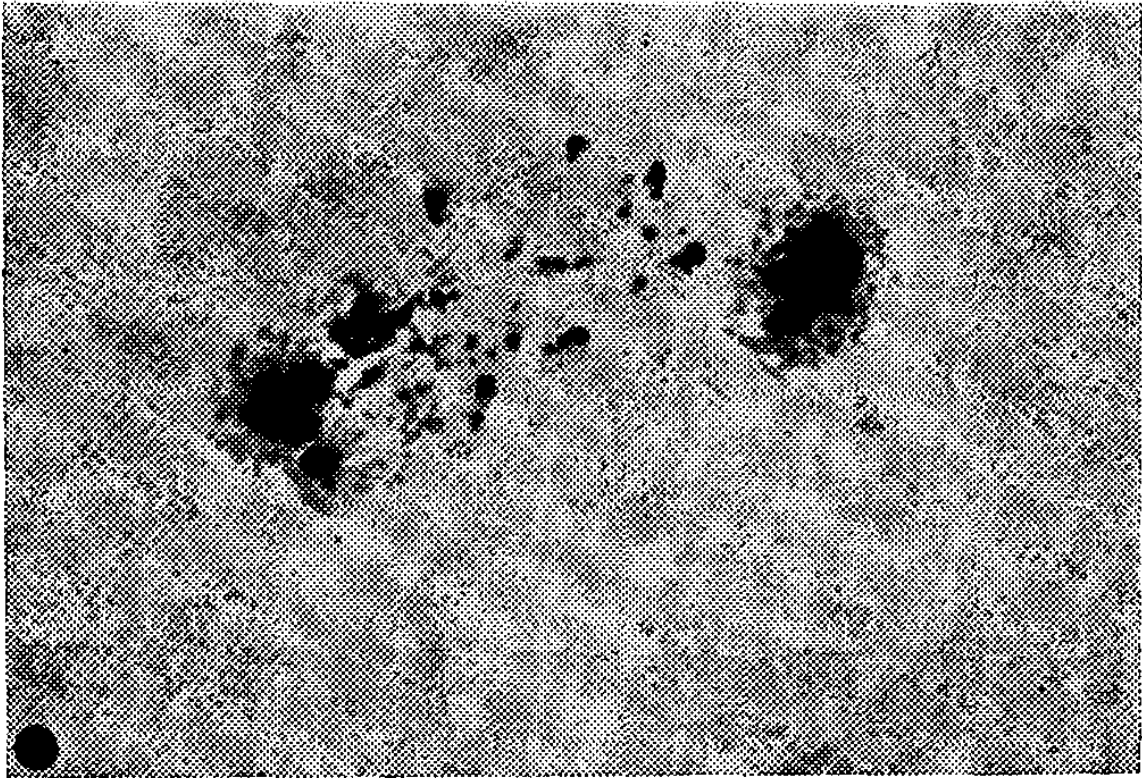
انقباض ۲۸-۲۶
اشعه بتا ۸۰-۷۸
ترشح ذرات آلفا ۷۹-۷۶
حرکتی حرارت ۳۶-۳۴
زدن و در رفتن ۲۲۰-۲۱۹
نسبیت ۲۴۵، ۱۸۵
نقطه صفر، حرکت ۱۷۹
نمودار، راسل ۱۴۳-۱۴۱
نمونه اتمی ۵۴
نواختران:
اکتشاف ۱۹۲-۱۹۱
درجه فراوانی ۱۶۹
کیفیت انفجار ۲۰۰، ۱۹۹
۲۰۲، ۲۰۱
نورانیت ستاره و ارتباط آن با جرم
۱۵۲، ۱۵۱، ۱۴۴، ۱۴۳
نور، سال ۲۲۵
نور، کوانتوم ۶۶
نوترونها:
اکتشاف و خواص ۹۳، ۹۲
بمباران با ۱۰۲، ۹۷-۹۵
۱۰۵، ۱۰۴
ناپایداری ۱۰۴
واحد انرژی ۱۶
وان دوگراف ۹۰
وایتسزکر ۲۴۴، ۱۲۵
وزن اتمی ۳۳

۱۵۸

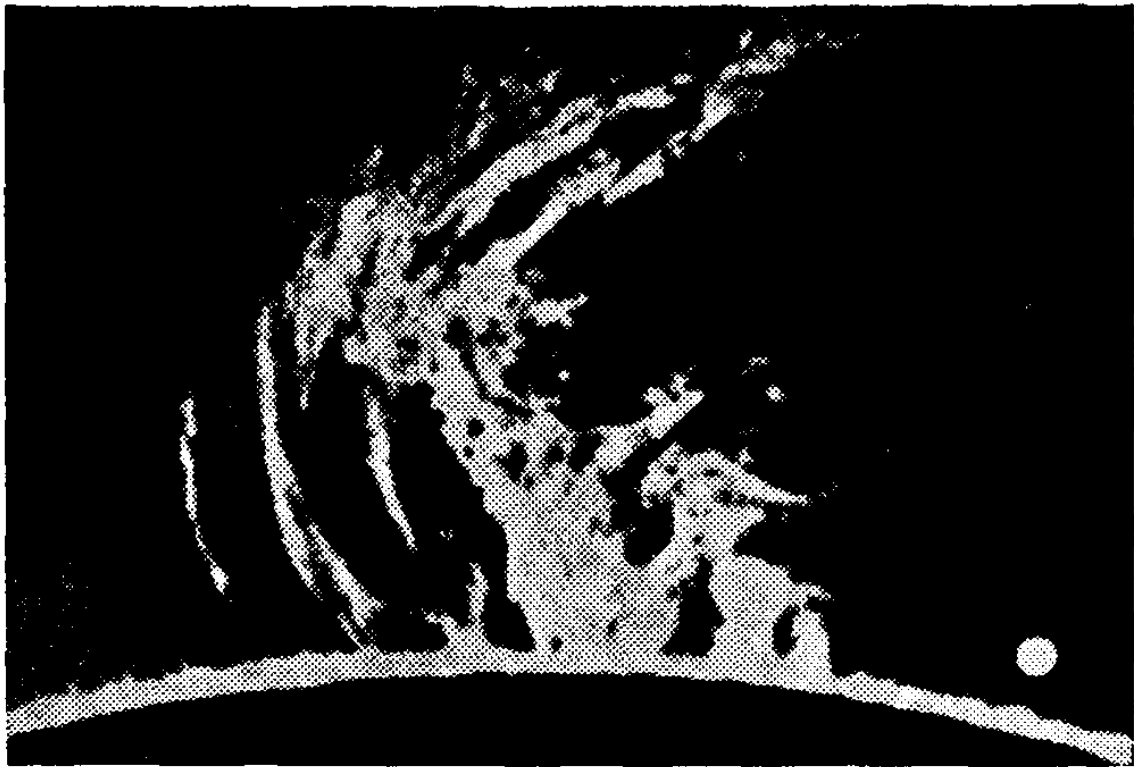
منبع انرژی:
خورشید ۱۲۹-۱۲۵
ستارگان ۱۴۶، ۱۴۵، ۱۴۴
غولهای سرخ ۱۶۴-۱۵۹
مندلیف ۶۰
منظومه اختری، عمر ۲۳۰، ۲۵
منظومه‌های مزدوج ۱۴۴
موتورهای زیر اتمی ۱۲۲-۱۲۱
مولتون ۲۱۹
مولد الکتریسیته ساکن ۹۰، ۸۹
۹۱
مولکولها:
بزرگی ۴۳
دسته ۴۲
سرعت ۴۳-۴۱
مفهوم ۳۳
مه- ناد- ساها ۱۴۰
میتنر ۹۷
میل ترکیب شیمیایی ۶۱
میلیکان ۵۱، ۵۰، ۴۹، ۴۸
ناپایداری:
ثقلی ۲۱۴-۲۱۳
نوترونها ۱۰۴
نسبیت، نظریه ۲۴۵، ۱۸۸
نشوونمای ستارگان ۱۵۱-۱۴۸
نظریه:
اجمالی درباره ستارگان تپنده

فهرست اعلام

۱۱۷	هاروارد، طبقات طیفی ۱۴۰
فعل و انفعال زنجیری ۱۲۷	هان ۱۰۶، ۹۷
هفستید ۹۲	هایزنبرگ ۶۷
هلمهولتز ۲۶-۲۷	هبل ۲۳۹، ۲۳۴، ۲۳۲، ۲۳۱
همنوایی، تلاشی به وسیله ۱۰۲-	هسته:
۱۰۳	اتوم ۵۷-۵۴
هوترمنس ۱۱۶	اختری ۲۰۸
	انرژی ۲۹-۲۸
یون ۴۸	بمباران ۹۰-۸۷، ۸۰، ۵۶
یونی شدن:	۱۰۵، ۱۰۴، ۹۶-۹۵
باگلوله‌های اتومی ۸۵، ۸۲	فعل و انفعال تصاعدی ۱۰۵-
باحرارت ۱۱۷	۱۰۸
	فعل و انفعال حرارتی ۱۱۵-



I- الف- کلف بزرگ خورشید (رصدخانه مونت ویلسون، ۱۹۱۷).
دایره سیاه در گوشه پایین و چپ تصویر بزرگی نسبی زمین را نشان می دهد
(به صفحه ۲۱ رجوع شود).



I- ب- زبانهای از خورشید به ارتفاع ۲۲۵،۰۰۰ کیلومتر (مونت ویلسون،
۱۹۱۷). قرص سفید نماینده بزرگی زمین است (به صفحه ۲۱ رجوع شود).

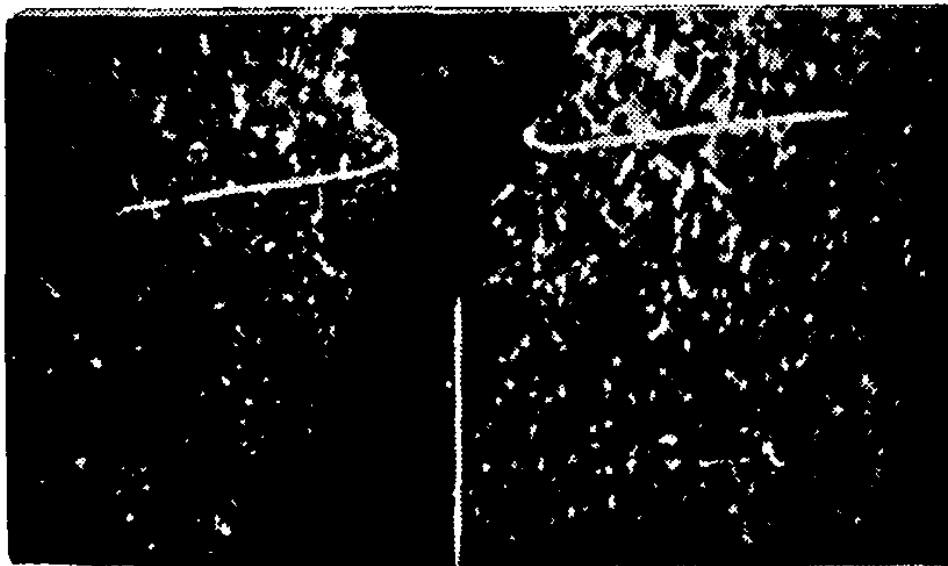


II - از نخستین عکسهایی که بلاکت از تجزیه مصنوعی هسته برداشته است یک ذره α به هسته نیتروژن اصابت کرده و از آن پروتون سریعی بیرون فرستاده است (شکل ۱۸ دیده شود). شکل طرف راست در متن کتاب (صفحه ۸۵) تشریح شده است.

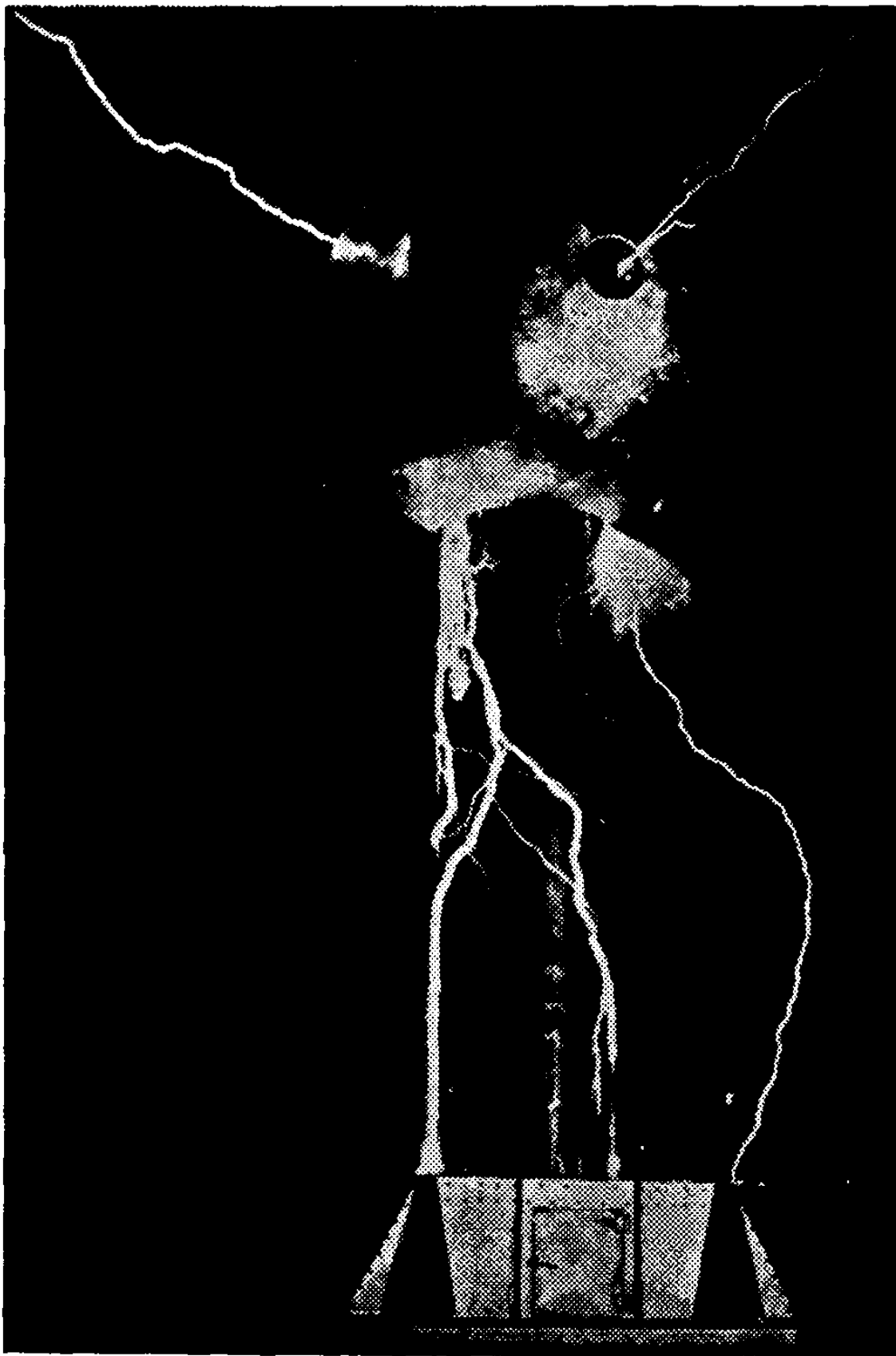
تجزیه و تلاشی هسته



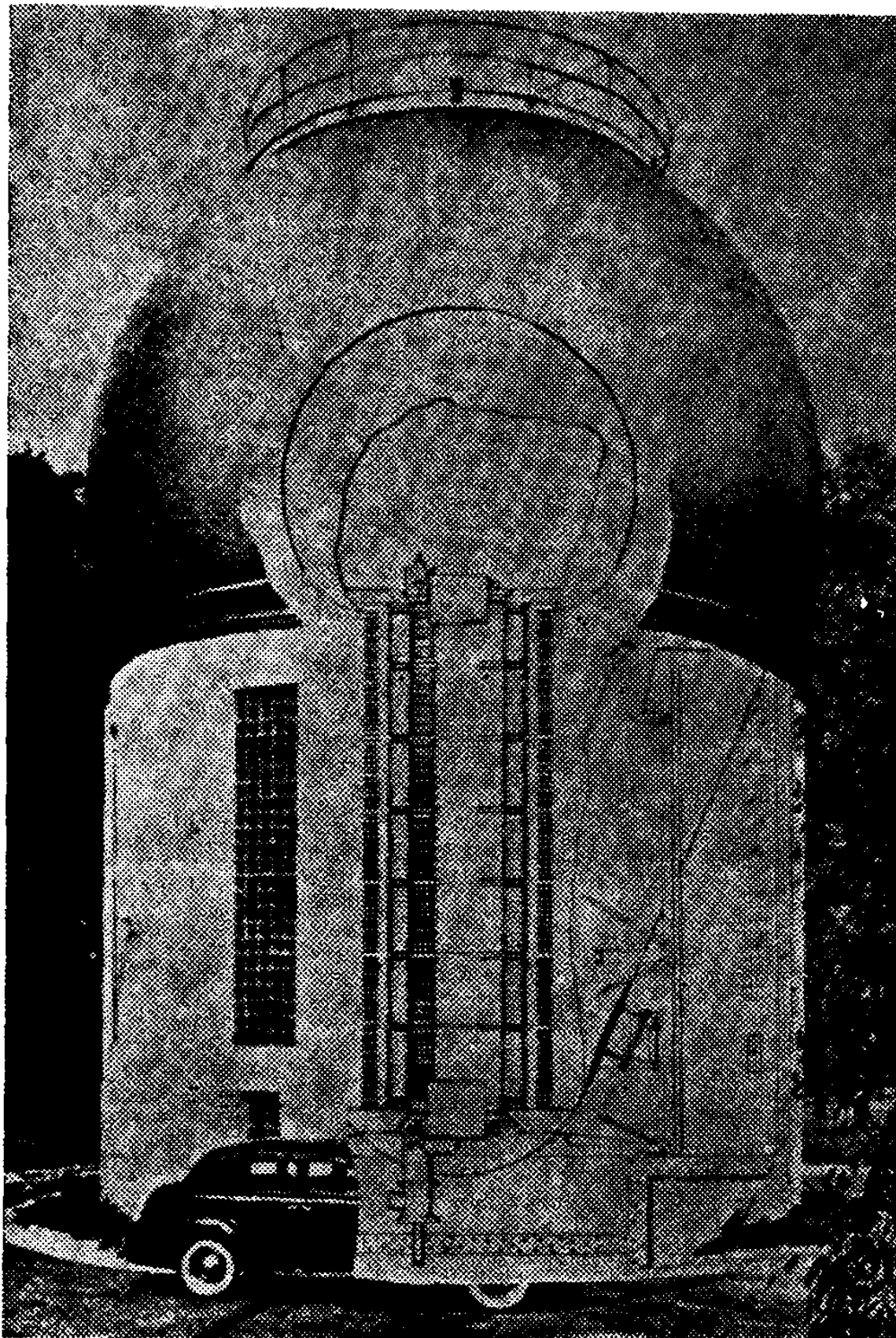
III- آ - يك پروتون مصنوعی سریع که از کنار لوله یون دستگاه ائومشکن خارج می شود، هسته لیتیوم را به دوزره α مبدل می سازد. اثر ابری که بر روی این عکس دیده می شود نماینده دو ذره است که در جهات مخالف پریده اند. (به صفحه ۸۸ رجوع شود)



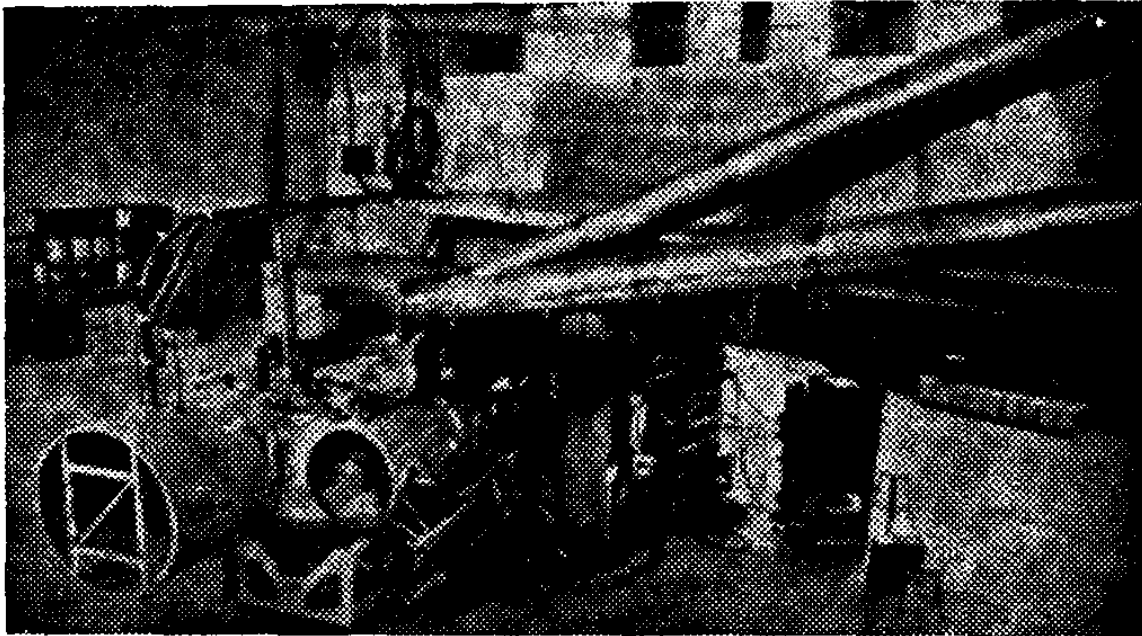
III- ب- پروتونی که به صورت مصنوعی شتاب فراوان پیدا کرده باشد، چون به هسته بور اصابت کند آنرا می شکافد و به سه ذره α مبدل می سازد که در جهات مختلف پرتاب می شوند. (صفحه ۸۹ دیده شود)



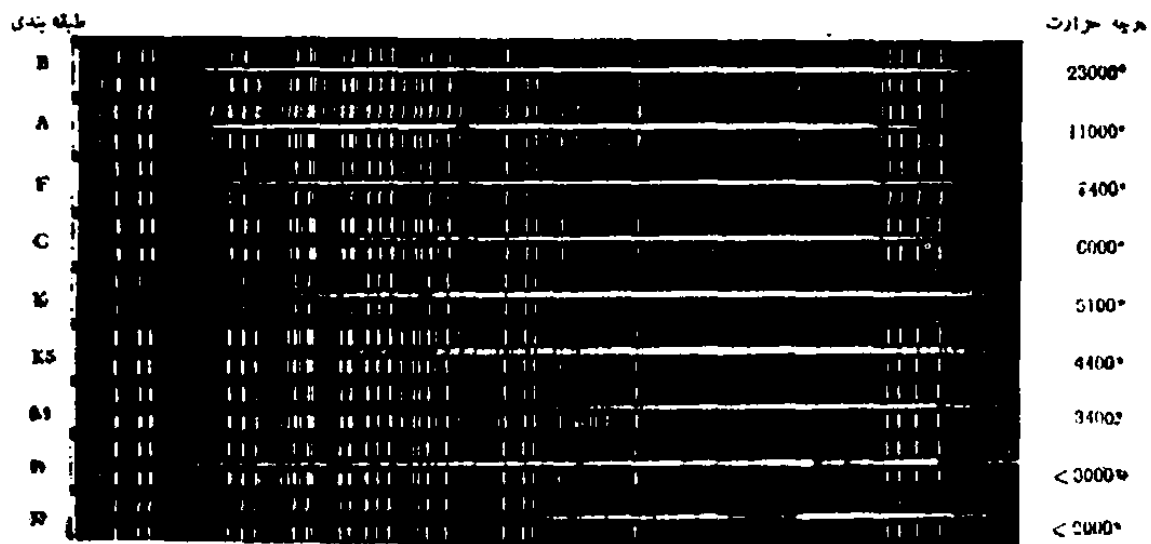
IV- جرقه‌های مولد الکتروستاتیک وان دوگراف.
در بزرگی که در پایین شکل دیده می‌شود بلندی ساختمان را نشان
می‌دهد. (به صفحه ۹۰ رجوع شود).



۷- اتومشکن ایستانبرقی (الکتر وستاتیک) بنگاه کارنگی درواشنکتون. درمقطع عرضی، کره هادی و پایه‌های عایق آن ولوله‌ای که در آن ذرات سرعت پیدا می‌کنند، دیده می‌شود کمربند تولید باربرقی را به صورت بریده در قسمت فوقانی و نزدیک قاعده می‌توان دید (به صفحه ۹۲ رجوع شود).

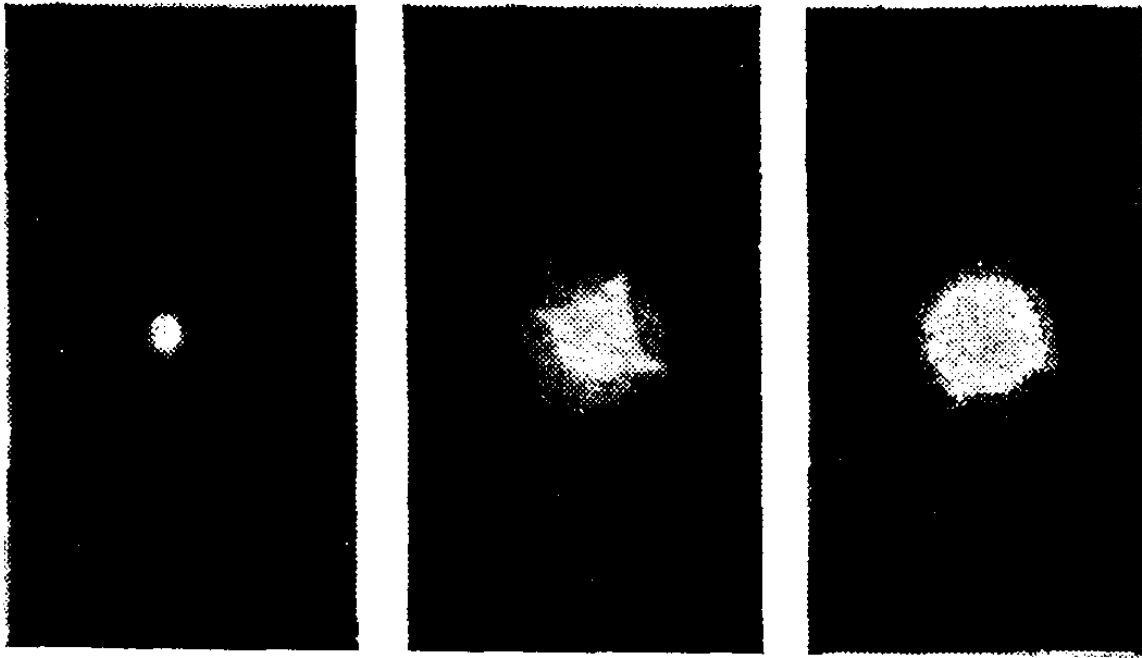


VI - سیکلوترون جدید لاورنس دربر کلی کالیفورنیا ذرات آلفایی می‌سازد که بیش از ۳۰ میلیون الکترون ولت انرژی دارند. قرقره مغناطیس الکتریکی را از شکاف وسط می‌توان دید. مخازن بزرگ آبی دستگاه را احاطه کرده کارگران را از خطر اشعه محفوظ نگاه می‌دارد (صفحه ۹۳ دیده شود).

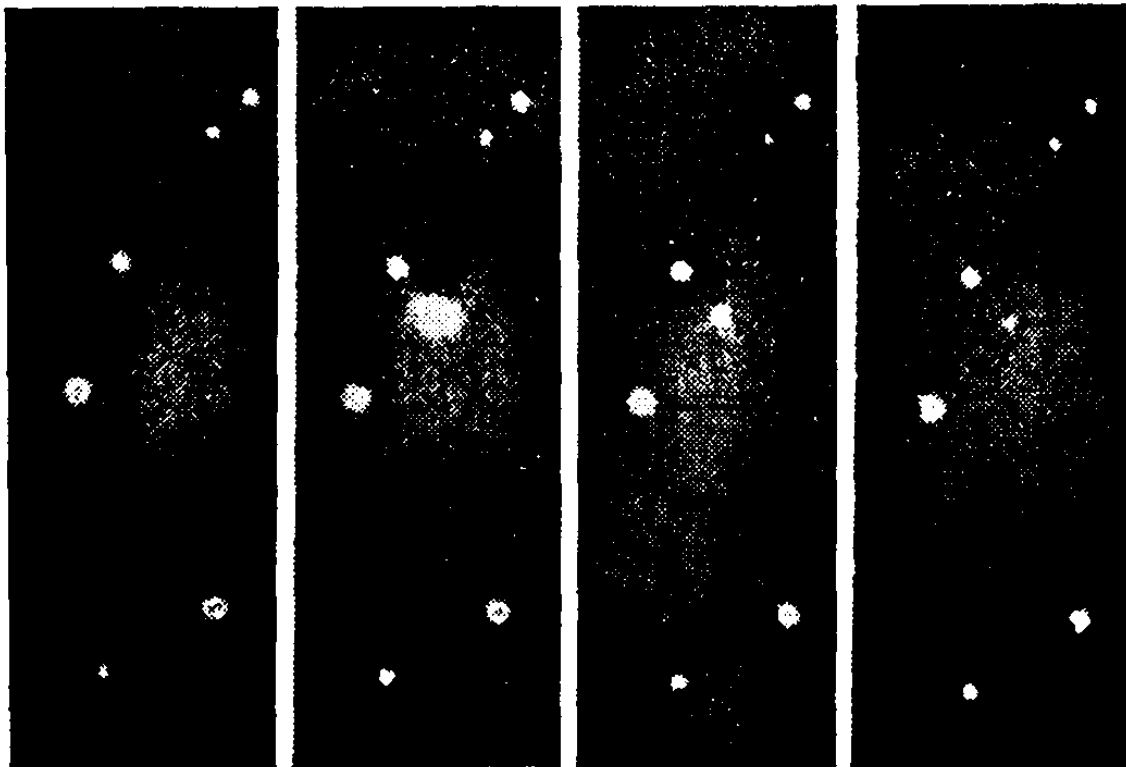


VII- طبقه بندی ستارگان از روی طیف به وسیله دانشگاه هاروارد. علمای نجوم می توانند از روی اختلاف طیف ستارگان درجه حرارت سطحی آنها را تخمین بزنند (صفحه ۱۴۰ دیده شود).

نواختران و فوق نواختران



VIII-الف - حلقه در حال گسترش اطراف سحابی صورت عقاب ۱۹۱۸.
عکسهایی که ازان در ۲۰ ژوئیه ۱۹۲۲ و ۳ سپتامبر ۱۹۲۶ و ۱۴
اوت ۱۹۳۱ برداشته شده (صفحه ۱۹۲ دیده شود).
[عکسها از رصدخانه مونت ویلسون است]



VIII-ب - ظهور و خاموش شدن فوق نواختری در I.C.4182.
عکسها در ۱۰ آوریل و ۲۶ اوت و ۳۱ دسامبر ۱۹۳۷ و ۸ ژوئن ۱۹۳۸
برداشته شده (صفحه ۲۰۰ دیده شود). [عکسها از دکتر ف. تسویکی]



IX - يك «سحابی حلقوی» یا «سیاره‌ای» در صورت فلکی شلیاق. شاید این نتیجه انفجار نواختری در چند قرن پیش از این بوده باشد (صفحه ۲۰۲ دیده شود). [عکسها از رصدخانه مونت ویلسون است].



X – سجابی رشته‌ای در صورت دجاجه. شاید این بقایای يك قشرگازی باشد که در حدود ۱۰۰،۰۰۰ سال پیش از يك فوق نواختری خارج شده. ستاره درخشانی که در وسط دیده می‌شود متعلق به این سجابی نیست بلکه تصادفاً در برابر آن قرار گرفته و در تصویر آمده است (صفحه ۲۰۲ دیده شود). [عکسها از رصدخانه مونت ویلسون].



XI- سجابی گازی نورانی صورت جبار. این جرم عظیم در داخل کهکشان ما جای دارد و به احتمال قوی روشنی آن نتیجه تابش اشعه ستارگان اطراف آن است. (صفحه ۲۰۴ دیده شود). [عکسها از رصدخانه لیک].



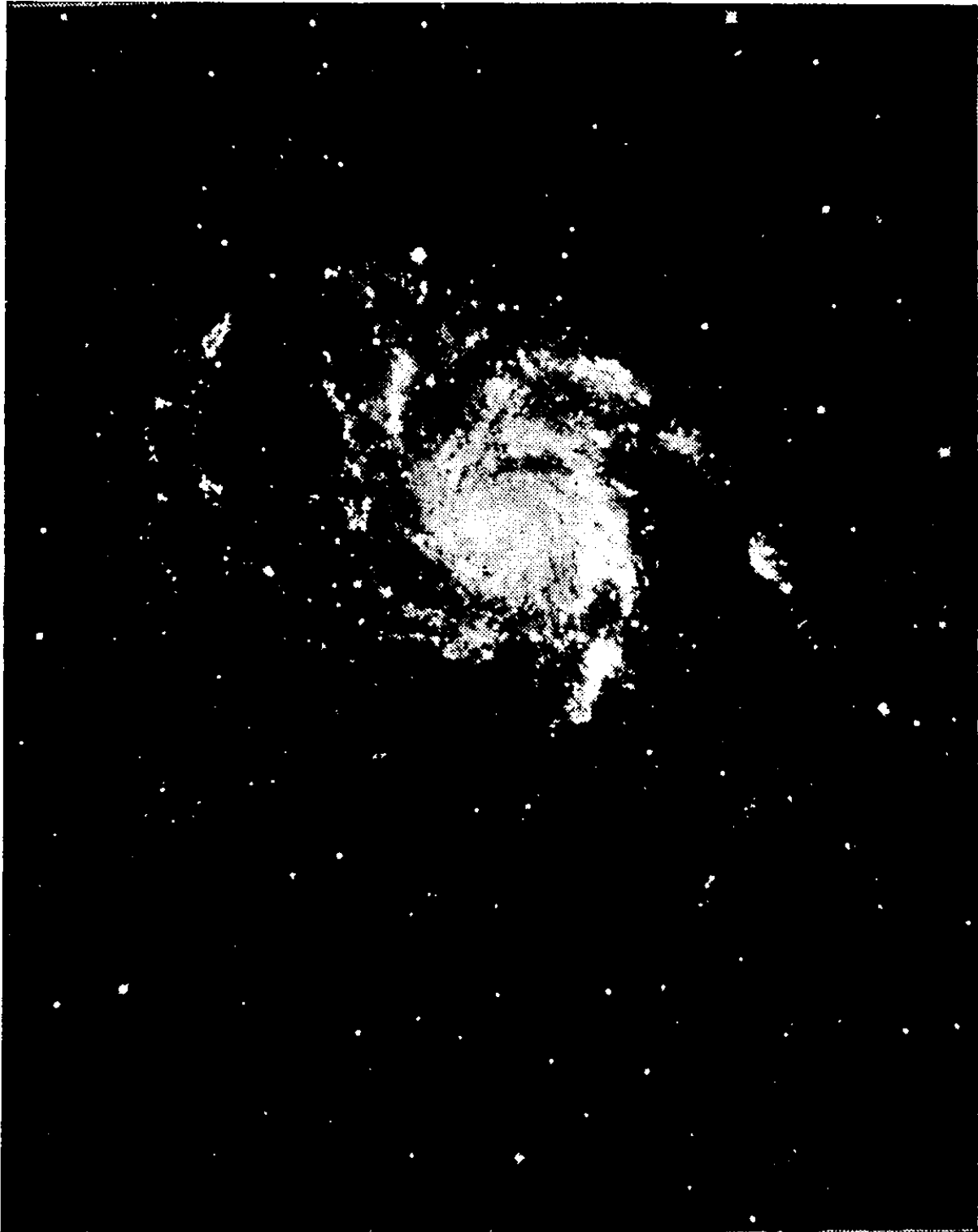
XII - قسمتی از کهکشان در نزدیکی صورت عقاب که نشان می‌دهد این کهکشان از تجمع عده زیادی ستاره تشکیل شده، قسمت سیاهی که در وسط دیده می‌شود «حفره‌ای» نیست، بلکه سحابی‌گازی تاریکی است که پشت سر خود را می‌پوشاند و تاریک نشان می‌دهد (صفحه ۲۰۴ دیده شود). [عکسها از رصدخانه یرکس].



XIII- قسمت مرکزی نزدیکترین جهان جزیره‌ای یعنی سحابی
 ماریچی صورت فلکی ام‌رأة‌المسلسلة که فقط ۶۸۰,۰۰۰ سال نور باما
 فاصله دارد ستاره‌هایی که در قسمت مقدم عکس دیده می‌شود که کشان
 خود ماست. (صفحه ۲۳۲ دیده شود).
 [عکسها از رصدخانه مونت ویلسون].



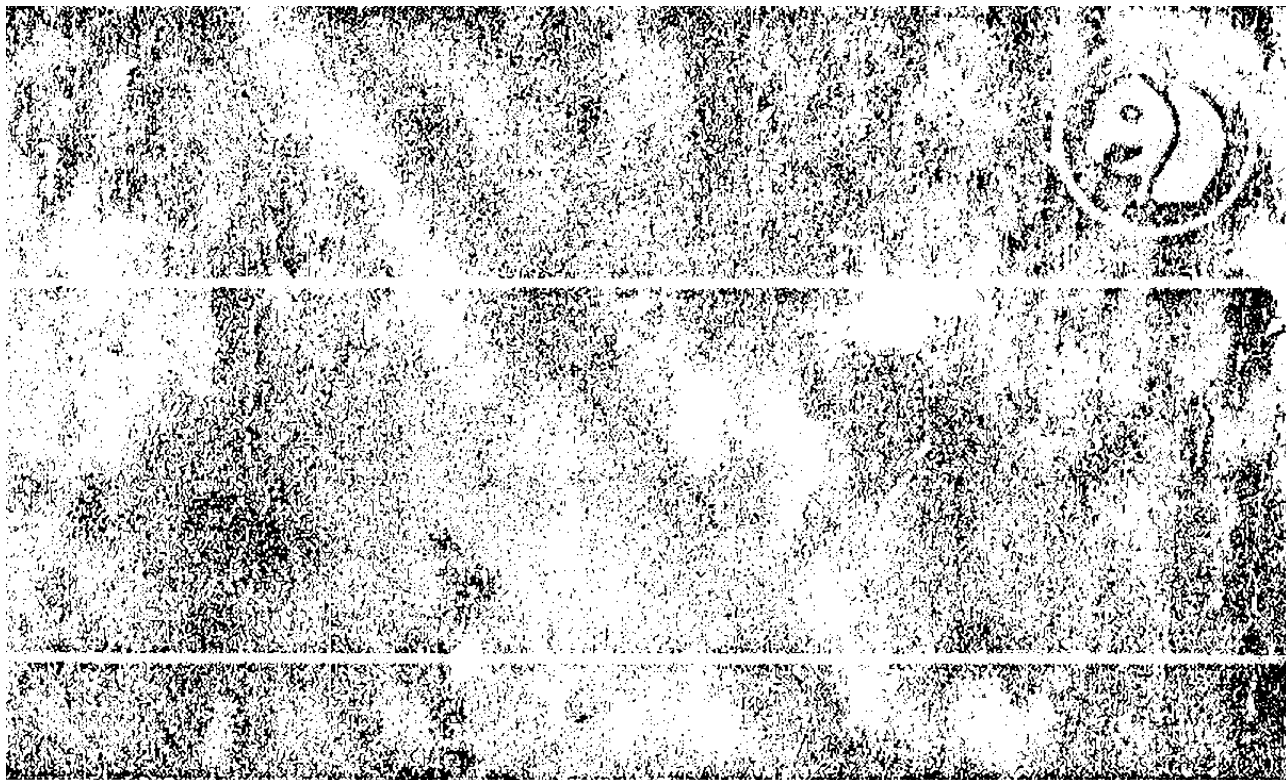
XIV- سجابی ماریچی صورت فلکی گیسوان برنیکه، که یک جهان جزیره‌ای دور است که از پهلو دیده می‌شود. متوجه حلقه‌ای از ماده تاریکتر باشید که سجابی را احاطه کرده است (صفحه ۲۳۶ دیده شود).
[عکسها از رصدخانه مونت ویلسون].



XV- سجابی مارپیچی صورت دباکبر که جهان جزیره‌ای دور دیگری است که از بالا دیده می‌شود. به خوشه‌های ستارگان در بازوها توجه کنید (صفحه ۲۳۶ دیده شود). [عکسها از رصدخانه مونت ویلسون].



XVI- سجابی مارپیچی در صورت سگ شکاری که قمر و پیروی را در کنار بازوی پایین نشان می‌دهد (صفحة ۲۳۴ دیده شود). [عکسها از رصدخانه مونت ویلسون].



در مسائل بسیار متنوعی است که در مسائل مختلف
 برای مطلع ساختن مردم از ترقیات سریع و شکست
 انگیز علمی و فنی و غیره، مسائلی منتشر می شود
 حاوی نفوس نظریات و اکتشافات جدید با ریاضی
 حتی الامکان ساده و درخور فهم مردم غیر متخصصین.
 آنچه در این مسائل و مسائل علمی احوال و منحصراً به
 کتاب نیست، و برای این منظور از سخن آنها برادری
 و چراغ و غیره نیز گمان استفاده می شود، کسانی که
 این مسائل را دیده اند می دانند که تعداد مسائلی که
 « برای همه » نوشته می شود، و نیز ساده طالبین
 و خریداران آنها، شکست آور است.

در ادامه نام کتاب را می توانیم مشاهده کنیم.

۳۵