جورج گاموف

پیدایش و مرگ خورشید

ترجمهٔ احمد آرام

حبیب‌الله امرالهی

آیا خورشید چگونه هستی یافته و گرما و روشنایی همیشگی آن از کجاست؟ و سرنوشت نهایی آن چه خواهدبود؟ مگر نه‌آنکه زندگی و پیشرفت وسعادت بشرهمه درگرو آن انرژیی است که از آفتاب می‌تابد؟ مؤلف می‌کوشد تا در این کتاب به‌ساده‌ترین‌بیان، خلاصه‌ای از اکتشافات اساسی و نظریه‌هایی را، که برای پیدا کردن نظر کلی دربارهٔ پیدایش و تکامل جهان ما راهنمای‌خوبی خواهد بود، در دسترس خوانندگان بگذارد.

چاپ اول ... ... بهمن ماه ۱۳۳۵
چاپ دوم ... ... تیر مـاه ۱۳۴۲
چاپ سوم، سازمان‌کتابهای جیبی، ۱۳۴۶

ژرژ گاموف

پیدایش و مرگ خورشید

ترجمهٔ احمد آرام

سازمان کتابهای جیبی

تهران ـ خیابان شاهرضا ـ خیابان خارك ـ شمارهٔ 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 مؤسسهٔ انتشارات فرانکلین

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

حق چاپ محفوظ است.

فهرست مندرجات

مقدمهٔ جناب آقای دکتر مصاحب	صفحهٔ ۱
مقدمهٔ مؤلف	۴
مقدمهٔ چاپ ۱۹۵۲	۷

فصل اول: خورشید و انرژی آن

خورشید و زندگی	۱۴
واحد انرژی	۱۶
تشعشع انرژی خورشید	۱۷
درجهٔ حرارت خورشید	۱۸
چگالی خورشید	۱۹
نمودهایی که در سطح خورشید ظاهر می‌شود	۲۱
عمر خورشید	۲۳
آیا خورشید به‌راستی «می‌سوزد»؟	۲۵
نظریهٔ انقباض	۲۷
انرژی زیر اتومی	۲۸

فصل دوم: کالبد شناسی اتومها

اتوم به‌عنوان مفهومی فلسفی	۳۰

کیمیاگری وجنون طلاسازی درقرون وسطی ۳۱
شیمی مقدماتی ۳۳
نظریهٔ حرکتی حرارت ۳۵
انرژی حرکت مولکولی ۳۶
اندازه‌گیری سرعت مولکولی ۴۰
آمار و روش‌توزیع‌ماکسول ۴۳
آیا اتومها واقعاً ذرات عنصری هستند؟ ۴۴
آب طلا دادن قدیمی عربی ۴۶
بار برقی اتومها ۴۷
اتومی بودن بار برقی دراجسام کوچك ۴۸
الکترون به‌عنوان‌ذرهٔ عنصری‌برق ۵۱
جرم یك‌الکترون ۵۲
نمونهٔ اتومی ۵۴
عدد اتومی وسلسلهٔ عناصر ۵۷
ایزوتوپها ۵۸
ساختمان ورقه ورقه‌ای اتوم ۶۰
میل ترکیب شیمیائی ۶۲
مکانیك رسمی در اتوم کار نمی‌کند ۶۳
قوانین کوانتوم ۶۵
مکانیك جدید ۶۷
مسئلهٔ هستهٔ اتوم ۶۹

فصل سوم: تبدیل عناصر به یکدیگر

اکتشاف رادیو آکتیویته ۷۰
تجزیه وانحلال اتومهای بسیارسنگین ۷۲
انرژی آزادشده ودوره‌های تجزیه‌وانحلال ۷۵
نظریهٔ «ترشح» ذرات α ۷۷
خروج‌ذرات β برای‌برقرارکردن تعادل‌برقی‌هسته‌است ۷۸
بازگشت به‌کیمیا ۸۰

عکسبرداری‌ازبمباران هسته ۸۱
شکافتن اتوم نیتروژن ۸۳
بمباران‌کردن به‌وسیلهٔ پروتونها ۸۷
اتومشکافهای یابرق ساکن ۸۹
سیکلوترون ۹۲
گلوله‌های «نافذ» جدید ۹۵
نتایج بمباران بانوترون ۹۶
منفجر ساختن هسته ۹۷

فصل چهارم: آیا انرژی زیر اتومی رامی‌توان مهار کرد؟

انرژی به‌جای طلا ۹۸
انرژی زیر اتومی به‌نسبت خیلی ناچیز آزاد می‌شود ۹۹
حداحتمال اصابت گلولهٔ بارداری‌به‌یك هسته ۱۰۰
رخنه‌کردن در دژ هسته ۱۰۱
تلاشی به‌وسیلهٔ همنوایی ۱۰۲
بمباران کردن بانوترونها ۱۰۴
فعل وانفعالهای تصاعدی‌هسته ۱۰۵
بهای انرژی اورانیوم ۱۰۹
تجدید نظر دربارهٔ آنچه گذشت: ساختمان اتوم ۱۱۰

فصل پنجم: کیمیای خورشید

انرژی زیر اتومی‌وگرمی خورشید ۱۱۴
فعل‌وانفعالات‌حرارتی‌هسته ۱۱۵
درجهٔ حرارتی که‌برای فعل وانفعالات حرارتی هسته‌ـ
لازم است ۱۱۷
چگونه می‌توان یك«موتور زیراتومی» ساخت؟ ۱۲۱
کورهٔ خورشید ۱۲۳
فعل‌وانفعالی‌که‌درخورشید صورت می‌گیرد ۱۲۴
تحول‌خورشید ۱۲۹

پس‌ازان‌چه؟ ۱۳۴

فصل ششم: خورشید درمیان ستارگان

درخشندگی ستارگان چه‌اندازه‌است؟ ۱۳۵
رنگ ستارگان وطبقه‌بندی‌طیفی آنها ۱۳۷
نمودار راسل ۱۴۱
جرم ستارگان ۱۴۴
فعل‌وانفعالات هسته‌ای درستارگان ۱۴۶
فعل‌وانفعال رقیبی درستارگان سبکتر ۱۴۸
نشو ونما ودورهٔ زندگی ستارگان ۱۴۹
تحول ستارگان وارتباط میان جرم‌ونورانیت ۱۵۱
جوانی وپیری ستارگان ۱۵۳

فصل هفتم: غولهای سرخ و جوانی خورشید

بعضی ازغولهای سرخ برجسته ۱۵۵
درون غولهای سرخ ۱۵۹
فعل وانفعالهای عناصر سبك ۱۶۰
موجود نبودن عناصر سبك درخورشید ۱۶۱
فعل و انفعالات عناصر سبك درغولهای سرخ ۱۶۲
تکامل غولهای سرخ ۱۶۴
ستاره‌های تپنده ۱۶۷
نظریهٔ مربوط به‌ستاره‌های تپنده ۱۷۰
سه‌گروه ستارهٔ تپنده ۱۷۱
علت تپش ۱۷۲

فصل‌هشتم : گوتوله‌های سفید واحتضارخورشید

پایان سیر تکاملی ستارگان ۱۷۴
فرو ریختن ماده ۱۷۵
خواص ماده درحالت به‌هم کوفتگی ۱۷۹

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

فصل نهم : آیا ممکن است خورشید منفجر شود

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

فصل دهم : تشکیل ثوابت وسیارات

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

فصل یازدهم : جهانهای جزیره‌ای

کهکشان یا جادهٔ شیری ۲۲۲
شمارهٔ ستارگان آسمان ۲۲۴
ابعاد منظومهٔ اختری ما ۲۲۴
حرکت ستارگان در داخل‌کهکشان ۲۲۶
سرعت ستارگان ۲۲۸
دوران کهکشان ۲۲۹

عمر کهکشان ۲۳۰
« کهکشانهای » دیگر ۲۳۰
فاصله‌ها وابعاد سحابیهای خارج کهکشانی ۲۳۲
« سحابیهای » خارج کهکشانی سحابی نیستند ۲۳۴
دوران سحابی خارج‌کهکشانی ومنشأ بازوهای مارپیچی ۲۳۵

فصل دوازدهم : تولدجهان

سحابیها می‌گریزند ۲۳۷
جهانی‌که گسترش پیدا می‌کند ۲۳۹
کدام‌یك سالخورده‌تر است: ستارگان یا کهکشانها ؛ ۲۴۲
مرحلهٔ ابتدایی گسترش جهان و آفرینش عناصر ـ
رادیو آکتیو ۲۴۳
بیپایانی فضا ۲۴۵

فصل سیزدهم : نتیجه

نتیجه ۲۴۶
گاهنامه ۲۴۹
ضمیمه ۲۵۰
بومبهای اتومی ۲۵۰
فهرست اعلام ومطالب ۲۵۷
تصاویر ضمیمه

مقدمه

●

مقدمه نویسی برکتاب **پیدایش و مرگ خورشید** برای ایـن جانب که در هیچ‌یك ازمسائل موردبحث در کتاب تخصص ندارم امری دشوار و شاید ناصواب است؛ ولی وقتی دوست دانشمندم آقای احمدآرام این کار را بمن تکلیف کردند به‌دوعلت انجامش را پذیرفتم. اول اطاعت امر ایشان که بر من فرض بود. اما علت دوم عبارت‌است‌از اهمیتی‌که این‌گونه کتب ازجهات مختلف دارد.

سالیان بسیار متمادی است که در ممالك متمدن ، برای مطلع ساختن مردم ازترقیات سریع وشگفت‌انگیزعلمی وفنی وغیره، رسائلی منتشرمی‌شود حاوی‌رئوس نظریات واکتشافات‌جدید بازبانی حتی‌الامکان ساده ودرخور فهم مردم غیر متخصص. اگرچه دراین‌ممالك وسائل‌نشر اطلاعات منحصر به‌کتاب نیست، وبرای این‌منظور ازسخنرانیها ورادیو وجراید وغیره نیزکمال استفاده می‌شود، کسانی‌که‌این‌ممالك‌را دیده‌اند می‌دانند که تعداد رسائلی که «برای همه» نوشته می‌شود، ونیز عده‌ی طالبین وخریداران آنها، شگفت‌آور است.

متأسفانه تاچندسال پیش، گذشته از اینکه ترجمه‌ی فارسی این

قبیل رسائل در دست نبود، تحصیل اصل آنها نیز دشوار بلکه تاحدی غیر عملی بود؛ و ایـن جانب خوب به‌خاطر دارم که وقتی در مدرسه‌ی متوسطه تحصیل‌می‌کردم چه رنج ومرارتی در راه تهیه‌ی‌کتبی‌ازاین‌قبیل می‌بردم، ونیز شاهد وناظررنج ومرارت‌سایرطالبین‌اطلاعات جدیدبودم.

خوشبختانه چند سال است که مترجمین ایرانی دست زده‌اند به ترجمه‌ی بعضی رسائل خارجی‌که «برای‌همه» نوشته شده است، واگرچه دربعضی مواردانتخاب متون به‌خوبی‌انجام نگرفته ونقل به‌فارسی‌چنانکه باید به‌عمل نیامده است، اساس فکر که حاکی از درك احتیاج‌به‌دانستن پیشرفتهای دانش بشری است، به خصوص برای ما که بیش‌ازحد تصور ازقافله‌ی علوم و فنون دور مانده‌ایم، کمـال اهمیت را دارد. ذکر این مطلب مفید به‌نظر می‌رسد که نویسندگان بعضی از رسائل مورد بحث، به‌خیال اینکه به‌عده‌ی بیشتری بهره برسانند، درساده نمایاندن مطالب افراط می‌کنند، تاحدی که خواننده را از مشکلات مسائل وعمق آنها دور می‌سازند، واحیاناً منشأ تصورات باطلی درخواننده‌ی نامتخصص‌می‌گردند. البته این‌گونه اشتباهات ازطرف نویسندگان متخصص که کتبی برای استفاده‌ی همه می‌نویسند سر نمی‌زند یابه‌ندرت سر می‌زند. درهر حال چون احتمال چنین‌خطری هست،برمترجمین ایرانی که به‌مطلع ساختن‌عامه‌ی ایرانیان‌ازفرهنگ خارجی‌همت‌گماشته‌اند فرض است‌که‌در انتخاب متون نهایت دقت را بنمایند تانیت‌خیرآنان منجربه‌گمراه‌کردن مردم نشود.

ترجمه‌ی رسائل مورد بحث به‌زبان فارسی درتوانا ساختن این زبان‌نیز اهمیت به‌سزایی‌دارد. چنانکه درموارد دیگر گفته ونوشته‌ام، خالصانه معتقدم کـه زبان فارسی امـروزی در وضع اصطلاحـات وبیان دانش عمیق بشری عصر حاضر بسیار ناتوان و ناپخته است. امیدوارم روزی برسد که دانشمندان و متفکرین ایرانی گردهم آیند و چاره‌ای بیندیشند وبه‌زبان صلب امروزی قابلیت انعطافی بدهند تاما نیز مانند اروپاییها وآمریکاییها بتوانیم‌باآوردن پیشوندها وپسوندهای مناسب و توسل به‌ریشه‌های‌لغات، برای بیان معانی لغاتی بسازیم بدون اینکه‌اساس زبان را دستخوش هرج ومرج واحیاناً بازیچه‌ی سلیقه‌های شخصی قرار

دهیم. درهرحال آنچه قطعی است این است‌که مترجمین‌دقیق آثارعلمی خارجی خدمت بزرگی به‌پرورانیدن زبان شیرین فارسی می‌کنند.

فی‌الجمله، رساله‌ی‌حاضر دارای جمیع مزایایی که به‌آنها اشاره شد می‌باشد. اگرچه‌اصل کتاب برای استفاده‌ی عموم نوشته شده، مؤلف دانشمند آن‌که در مسائل مورد بحث درکتاب سرشناس جهانیان است، هیچ‌گاه دقت را فدای‌جلب مشتری‌بیشتری ننموده، بلکه‌مانندراهنمایی پرصبروحوصله دست‌خواننده‌را می‌گیرد واو را از راه‌راست‌به‌گردش در فضای لایتناهی وانرژیهای بیحدی که‌درآن نهفته است می‌برد. اگرچه اسم کتاب این توهم را ایجاد می‌کند که‌فقط خورشیدمورد بحث است، فصول اولیه‌ی‌آن اطلاعات مفید وجامعی (تاحدی که از رساله‌ای بااین حجم می‌توان انتظار داشت) ازمسائلی‌که امروز همه‌جاسرزبانها افتاده و اغلب مردم تشنه‌ی وقوف برآنها هستند به خواننده می‌دهد، از قبیل ساختمان ماده وانرژی اتمی وغیره.

اما راجع به ترجمه‌ی فارسی کتاب حق آن‌است که فقط به‌این مطلب اکتفا شود که‌احمد آرام‌آن‌را ترجمه‌کرده است. این‌خودبهترین معرف رساله‌ی حاضر است، چه بین اهل‌علم کسی‌سراغ ندارم‌که این‌مرد دانشمند را نشناسد واز توانایی‌او درنقل متون معضل به‌فارسی وخدمتی که از این‌راه به‌پرورانیدن وپخته 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

مقدمهٔ مؤلف

تولد ومرگ خورشید

●

آیا خورشید ما چگونه پا به عالم هستی گذاشته و چیست کـه پیوسته آن را گرم و روشن نگاه می‌دارد و سرنوشت آخـری آن چه خواهد بود؛ اینها سؤالاتی است‌کـه مورد توجه همهٔ ساکنان کرهٔ ماست ، چه زندگی و پیشرفت و سعادت‌آنان همه ازآن انرژیی که ازآفتاب‌تشعشع می‌کند سرچشمه می‌گیرد .

ازان هنگام که اندیشهٔ علمی درجهان پیدا شده، مسئلهٔ انرژی خورشید از مسائلی بوده است که بسیار دربارهٔ آن بحث شده ودرعین حال ازدشوارترین معماهای طبیعت به‌شمار می‌رود. تنها دراین ده‌سال اخیراست که امکان‌آن فراهم آمده تاباکمال امیدواری‌درصدد برآیند که برای‌روشن ساختن معمای پیدایش انرژی خورشید راه حلی عملی پیداکنند، وبنا برآن جواب سؤالاتی را که به‌گذشته و حـال و آینـدهٔ خورشید نورانی وسوزان ما ارتباط دارد به‌دست‌آورند. درپایان کار به این نتیجه رسیده‌اند که منبع این‌همه انرژی ساطع ازخورشید تحولات

وتبدلاتی است که درعناصر موجود درجرم خورشید صورت می‌گیرد،و درواقع همان منقلب شدن عناصر به‌یکدیگر که‌آن همه مورد علاقه و آرزوی‌کیمیاگران قرون وسطی بوده عملا درخورشید صورت می‌گیرد وازآن این انرژی عظیم حاصل می‌شود.

ازآنجا که خورشید یکی از اعضای خانواده‌های کواکب بی - شماری است‌که‌درفضای جهان پراکنده‌اند، جواب‌گفتن به‌مسائل‌مربوط به‌خورشید ناچار پای‌مسائل مربوط به تاریخ تحول ستارگان را به‌میان می‌آورد، و این خود مارا باز با معمای اساسی آفرینش جهان‌ستارگان روبه‌رو می‌سازد[1] .

مؤلف که با تحقیقات علمی مربوط به‌این مسائل تماس نزدیك دارد، می‌کوشد تا درکتاب حاضر به‌ساده‌ترین بیان ممکن خلاصه‌ای‌از اکتشافات‌اساسی ونظریه‌هایی‌را،که‌برای پیداکردن‌نظر کلی‌دربارهٔ‌پیدایش و تکامل جهان ما راهنمای خوبی خـواهد بود ، دردسترس‌خوانندگان بگذارد . پاره‌ای از نظریات که در این کتاب مورد بحث قرار گرفته به‌اندازه‌ای تازه‌است که پیش‌از انتشار کتاب‌حاضر درهیچ‌کتاب‌دیگری که برای عموم مـردم نوشته شده باشد نیامده‌است .

اگرچه نگارنـده نمی‌تواند مقدمهٔ خودرا با این عبارت مألوف پایان دهدکه « همهٔ شخصیتهایی‌که دراین‌کتاب‌آمده جنبهٔ تخیلی‌دارند، ومیان آنها با اشخاصی که حقیقتاً زیسته‌اند ارتباطی وجود ندارد»، با وجود این شاید بهتر آن باشدکه خواننده را از اهمیت دادن بیش از اندازه به جزئیاتی که پس‌از این درکتاب خواهد آمد برحذر داریم، و ازان جمله است پریشانی وآشفتگی موهای ریش « **دموکریتوس** »، یا بارانی بودن هوای پرینستون درآن‌روز که **راسل** دیاگرام خـودرا رسم می‌کرد، یا ارتباطی‌که میان پر اشتهایی معروف دکتر **هانس بث** وحل سریع مسألهٔ فعل و انفعال خورشید وجود داشته است.

یکی از وظایف مسرتبخش مؤلف آن استکه حقشناسی خودرا

---

۱. دراین کتاب هرجا از «ستاره» نام برده ایم مقصود ستارهٔ ثابت است. مترجم.

نسبت به‌دوست خویش دکتر **دسموند هـ . کوپر** ابراز دارد ، چه وی نسخهٔ اصلی‌کتاب را پیش از چاپ خوانده و در بـارهٔ تبدیل ارگ به کالـوری و مسائل مشابه آن راهنماییهای گرانبهـایی بـه مؤلف کرده است .

جورج گاموف

دانشگاه جورج واشینگتون ؛ اول ژانویهٔ ۱۹۴۰

مقدمهٔ چاپ ۱۹۵۲

●

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

در عین اینکه نظریهٔ مربوط به‌خورشید مـا و بعضی ستارگان دیگر تقریباً تغییر نکرده (فصلهای ۵و۶)، نظرهای مربوط به‌ماهیت ستارگان غولپیکر سرخ[1] (فصل۷) و اصل کوتوله‌های سفید[2] (فصل۸) وکیفیت انفجار کواکب (فصل۹) تحولات قابل ملاحظه‌ای پـیدا کرده است .

نخست اینکه واضح شده است که فعل وانفعالات شیمیایی‌که در مرکز یك ستاره صورت می‌گیرد، ممکن‌است (پس‌ازتمام شدن سوخت مرکزی) به‌خارج ازمرکز سرایت‌کند، وبه‌تدریج به‌سطح ستاره برسد، همان گونه‌که چون کبریتی درگوشه‌ای ازکشتزار بیفتد رفته‌رفته آتش

---

1. Red Giant Stars
2. White Dwarfs

آن به‌همه‌جای مزرعه سرایت می‌کند. از همین‌جا این فکر پیش آمده است که منبع انرژی ستارگان را به‌صورت « پوسته پوسته وصدفی »[1] تصورکنند؛ به این‌ترتیب هرستاره یك هسته دارد که ازلحاظ کیمیایی عنوان مادهٔ کاملا سوخته‌ای دارد ، وبرگردآن پوستهٔ مولد انرژی‌است که درآن آتش‌کیمیایی هنوز افروخته‌است، و بیرون این پوسته غلاف دیگری‌است که ماده‌ی اختری آن دست نخورده است. به‌تدریج که « آتش » به‌طرف سطح خارجی پیش می‌رود، غلاف خارجی ستاره انبساط پیدا می‌کند وقطرآن به‌اندازه‌ای می‌رسد که‌چندصد برابر قطر خورشید می‌شود. به‌این‌ترتیب ستاره غول سرخی می‌شود ودر نمودار **راسل** ازطرف چپ به‌طرف راست انتقال پیدا می‌کند. بنا برمحاسبات تازه‌ای که به‌وسیلهٔ مؤلف وهمکار وی آقای **کلر** صورت گرفته، بیشتر غولهای سرخی که در آسمان‌مشاهده می‌شود به‌احتمال قوی در همین مرحلهٔ «صدفی» تکامل خود هستند که پس‌از مرحلهٔ ستارگان واقع در رشتهٔ اصلی هنجاری می‌آید.

به‌موازات‌گسترش غلاف خارجی، هستهٔ مرکزی حالت انقباضی پیدا می‌کند وچگالی مادهٔ‌آن رفته‌رفته زیاد می‌شود. درآخرین‌مرحلهٔ تکامل‌به‌این مادهٔ درونی‌کاملا حالت انحطاط دست می‌دهد وچگالی‌بسیار زیادی دارا می‌شود، ودرآن هنگام که قشرخارجی به‌صورت نهایی‌کاملا درفضای مجاور حالت پراکندگی ومحوشدن را پیدا می‌کند، به‌جای‌غول سرخ کوتولهٔ سفیدی‌را مشاهده خواهیم‌کرد. به‌این‌ترتیب‌معلوم می‌شود که کوتوله‌های سفید به‌صورت طبیعی در منظرهٔ پیوستهٔ تکامل ستارگان جای دارند، و از شکم داغ ستارگان غول سرخ متولد می‌شوند. پس‌از آنکه غلافهای درحال‌گسترش ستارگان ازمیان رفتند، کوتولهٔ سفید در برابر چشم آدمی آشکار می‌شود.

در مورد نظریهٔ مربوط به‌انفجارهای بسیار عظیم ستارگانی که به‌نام « فوق‌نواختران »[2] خوانده می‌شوند نیز پیشرفتهای عظیم‌حاصل

---

1 . Shell - source Model

2 . Super - Novae

شده است. این انفجارها، همانگونه که درفصل ۹ آمده، درنتیجهٔ فرو ریختن تمام جرم ستاره‌ایجاد می‌شود،ولی علت‌این ویرانی وفروریختن نمودی است که به‌تازگی کشف وبه‌نام « کیفیت اورکا »[1] نامیده شده . به‌وسیلهٔ مؤلف وهمکار او دکتر **شونبرگ** این مسئله به‌اثبات رسیده است‌که در درجهٔ حرارت چند بلیونی‌که درداخل ستارگان در آخرین مرحلهٔ انقباض آنها وجود دارد، بالضروره یك نوع فعل وانفعال تازه که تاکنون شناخته نبوده است صورت می‌گیرد. این فعل و انفعال که باجذب ودفع متوالی الکترونهای‌آزاد به‌وسیلهٔ هسته‌های عناصرمختلف ارتباط‌دارد، عبارت‌ازتشکیل‌عدهٔ بسیارزیادی«نوترون»[2]است‌که‌از ذرات شگفتاور فیزیك به‌شمار می‌روند، وچون هیچ بار الکتریکی و جرم محسوسی ندارند، برای نفوذ درداخل ماده نیروی شگرفی ازخودنشان می‌دهند. این‌نوترونها که درنزدیك مرکز ستاره تولید می‌شوند، برای فرار ازجرم ستاره هیچ دشواری درپیش ندارند، وبا فرار خود مقدار عظیمی انرژی را ازشکم ستاره خارج می‌کنند. به‌این‌ترتیب ازفشارگاز در داخل ستاره کم می‌شود، و در نتیجهٔ آن قشرهای خارجی برروی قسمت مرکزی خراب می‌شوند. جرم گازهای داخلی که با فروریختن قشرهای خارجی‌از ستاره بیرون می‌رود همان چیزی است که سبب افزایش ناگهانی نورانیت ستاره می‌شود، وچون این‌گازها پس ازآن در فضای‌مجاور گسترش پیدا می‌کند، در اطراف « فوق نواختران » کهنه غلاف گازی ممتدی ایجاد می‌گردد.

در خصوص مسئله تشکیل سیارات بایستی گفت که درنتیجهٔ تحقیقات عالم فیزیك‌وجهانشناس‌آلمانی **کارل فون وایتسزکر**[3] نظریات قدیمی کاملا زیرو زبر شده است. برهان این دانشمند بر پایهٔ معرفت کنونی ما دربارهٔ مادهٔ بین ستارگان است‌که نود ونه درصدآن ئیدروژن وهلیوم وتنها یك درصدآن از مواد متعارفی (زمینی) است، وازهمین

---

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

راه توانسته است تناقضاتی‌را که درفرضیهٔ **کانت - لاپلاس** وجود دارد ازمیان ببرد، وبرای پیدایش‌ستارگان فرضیهٔ قابل قبولی را وضع کند. به‌این‌ترتیب بایدگفت‌که مطالب مندرج درآخر فصل دهم کاملا زیرورو شده و اینك دراین مسئله کمتر شکی برجای مانده است که منظـومهٔ سیارات ما کمابیش به‌طریقهٔ « کانت ـ لاپلاس » تشکیل شده وبرخلاف نظر **جینز** و **شامبرلن** و **مولتون** سیارات همراه خورشید از تصـادم میان آن ویکی دیگر ازستارگان آسمان به‌وجود نیامده است.

بنا برنظریهٔ **وایتسزکر**که پس از وی به‌وسیلهٔ کارهای **کویپر**[1] و **ترهار**[2] تکامل پیداکرده، سحابی اصلی شمسی به‌صورت قرص پهن شدهٔ گازی (ئیدروژن‌ـهلیوم) وغباری (مواد خاکی) درهمان زمان تشکیل شده که خورشید با عمل تکاثف خود به‌وجود آمده است. ولی چنان تصور می‌شود که‌تکامل قسمتهای‌گازی وغباری سحابی اصلی‌شمسی درجهات مختلف پیش‌رفته است. درهمان حین‌که قسمت‌گازی که ۹۹ درصد ازجرم کلی‌را تشکیل می‌داد درفضای مجاور پراکنده شده و در نتیجهٔ نیروی‌گریز ازمرکز ازخورشید دور افتاده است، قسمت غباری که درحدود یك درصد جرم کلی‌را می‌ساخته به‌تدریج درنتیجهٔ برخورد ذرات به‌یکدیگر چسبیده و به‌این ترتیب سبب پیدایش اجـرام سنگی بزرگی شده است که درپایان کار ازآنها همین سیاراتی که اکنون می‌بینیم به‌وجود آمده است.

فرضیهٔ تجمع غبارها کـه مهمترین قسمت نظـریهٔ **وایتسزکر** به‌شمار می‌رود، براین واقعیت متکی است که اگر دوجرم جامد کـه تقریباً به‌یك اندازه باشند باحرکت سریع با یکدیگر برخورد کنند ، درنتیجهٔ حرارتی‌که از تصادم ایجاد می‌شود هردو به‌حالت بخار درمی‌آیند، وحال آنکه اگر یکی ازآن دوکوچکتر باشد قسمت‌کوچك به جرم قسمت بزرگتراضافه می‌شود. این‌کیفیت را غالباً باوضع رقابتی‌که درصناعت موجود است مقایسه می‌کنندکه هرگاه رقابت میان دوکمپانی

---

1 .G.P . Kuiper

2 . D . ter – Haar

کوچك باشد اسباب تباهی وویرانی هردو می‌شود، درصورتی کـه اگر رقابت میان کمپانی کوچکی باکمپانی بزرگترباشد، معمولا کار به‌اینجا پایان می‌پذیرد که کمپانی کوچکتر در کمپانی بزرگتر تحلیـل رود. همان‌گونه‌که در صناعت چنین‌تصادمی سبب پیدایش انحصارهای بزرگ می‌شود، تصادم میان ذرات غباری که درآغازکار سحابی شمسی‌را می‌ـ ساخته‌اند، سبب شده است‌که آن غبارها به یکدیگر اتصال پیداکنند، و ازآن میان چیزهایی به‌وجود آید که ما امروز آنهارا به‌نـام سیارات می‌شناسیم .

وایتسزکر با تحقیق مفصل در این نظریه چنین نتیجه گرفته است‌که برای‌آنکه‌ذرهٔ غباری به‌بزرگی یك میکرون‌آن اندازه بزرگ شود که به‌صورت سیاره‌ای در آید، درحدود چند صد ملیون سال وقت لازم است. ونیز وی ثابت کرده‌است‌که در خانوادهٔ سیارات فاصلهٔ هر سیاره ازخورشید تقریباً دوبرابرفاصلهٔ آن سیاره تانزدیکترین سیاره‌ای است که میان‌آن وخورشید واقع است، واین همان‌قانون تجربی‌قدیمی **بود ـ تیتیوس**[1] دربارهٔ فاصلهٔ سیارات‌است که‌چند قرن به‌عنوان یکی از اسرار حـل نشدهٔ منظومهٔ شمسی به‌شمار می‌رفت. این حقیقت کـه برانگیخته شدن وتجدید حیات فرضیهٔ قدیمی **کانت ـ لاپلاس** به‌دست **وایتسزکر** نظریه‌قابل قبولی‌دربارهٔ اصل سیارات دراختیارما می‌گذارد، و نیز تطابق نظریهٔ **وایتسزکر** با قانون‌فواصل سیارات که هیچ نظـریهٔ دیگر نمی‌توانسته است آن‌را تعبیر کنـد، خـود نشان می‌دهد که مـا بالاخره برای یکی ازکهنه‌ترین مسائل‌مورد اختـلاف جهانشناسی راه حل نهایی‌را پیدا کرده‌ایم.

درمسئلهٔ وسیعترجهانشناسی‌یعنی«نظریهٔ جهان‌درحال‌گسترش»[2] وتشکیل عناصرشیمیایی درمراحل‌بسیارقدیمی این‌گسترش (فصل۱۲)، در ظـرف مدت پنج سال اخیر به دست مـؤلف و همکاران وی آقـایان

---

1. Bode - Titius
2. Expanding Universe

رالف‌الفر[1] **وهرمن**[2] **وانریکوفرمی**[3] **وآنتونی‌تورکویچ**[4] پیشرفتهای مهمی‌صورت گرفته‌است. امکان‌اثبات‌این‌مسئله‌فراهم‌آمده‌است‌که فراوانی نسبی عناصر شیمیایی مختلف در جهان نتیجهٔ فعل و انفعالات هسته‌ای است که **درمدت نخستین‌سی‌دقیقه** پس از آنکه جهان ما شروع به گسترش کرده حاصل‌شده، یعنی درآن زمان که درجهٔ حرارت مادهٔ اصلی‌که‌فضا را پرمی‌کرده در حدود یك بلیون درجه بوده است. این مادهٔ اصلی‌که به‌آن نام «ایلم»[5] داده‌انـد به تمامی از ذرات ابتـدایی یعنی نوترون و پروتون والکترون تشکیل‌شده بود. به‌تدریج که‌درجهٔ حرارت‌جهان‌در نتیجهٔ گسترش تنزل پیدا می‌کرد، پروتونها و نوترونها به‌اشکال متنوع بایکدیگر ترکیب شده وهسته‌های مختلف باوزن اتومیهای گوناگون‌را ساخته‌اند . هرگاه کسی معلومات فیـزیك هسته‌ای را باتغییرات درجهٔ حرارت وچگالی جهان درحال گسترش که ازنظریهٔ نسبیت نتیجه می‌شود ترکیب کند ومورد استفاده قرار دهد، می‌تواند شمارهٔ نسبی‌هسته‌های مختلف اتومی‌را که دراثر این جـریان تولید می‌شود تعیین کند. نتیجهٔ چنین محاسبات عموماً بامعلومات تجربتی که‌دربارهٔ فراوانی‌نسبی عناصر داریم مطابقت رضایتبخشی دارد. علی‌رغم این‌موفقیت کلی‌باید گفت که هنوز اشکالات جدی وجـود دارد (بالخاصه فقدان هستهٔ اتومی باجرم ۵) که توضیحی دربارهٔ آنها نمی‌توان داد، وناچار بایستی‌کارهاو پژوهشهای بیشتری دراین راه صورت بگیرد.

این‌ادعا که عناصر درمدتی‌که بیشتر ازنیم‌ساعت‌نبوده ودرفاصلهٔ سه ونیم‌بلیون سال پیش از این ساخته شده، ممکن است درنظربسیاری ازخوانندگان باورنکردنی‌به‌نظر برسد، وبگویند چگونه می‌شود دربارهٔ چنین مدت کوتاهی درچنان زمان دوری سخن گفته شود. **باید به‌این**

---

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

خوانندگان گفته شود که ما دربارهٔ زمانهایی به همین اندازه متفاوت ازحیث کمی یازیادی چیزهایی می‌گوییم وهیچ‌احساس نمی‌کنیم که‌قابل باورکردن نباشد. مثلا هستهٔاتوم‌دریك بومب‌اتومی درزمانی معادل‌یك‌ملیونم ثانیه منفجر می‌شود وخاصیت رادیوآکتیویته راکه ازاین انفجار به وجود می‌آید پس از چند سال می‌توان در محل انفجار بومب اکتشاف کرد. پیداست که نسبت میان یك‌ملیونم ثانیه به چند سال درحدود همان نسبت نیم‌ساعت به‌سه بلیون و نیم‌سال است، و درهردوحالت مثل نسبت ۱ به ۱۰۰،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰ است.

درمورد بومب اتومی باید اشاره‌کنیم که پس‌ازانتشار این‌کتاب در ۱۹۴۰ انسان توانسته است برمنابع انرژی درون اتومی‌که درفصل ۴ مورد بحث‌قرارگرفته تسلط پیدا کند، و ترقیات فنی‌مهم این‌مبحث رابه‌اختصار درضمیمهٔکتاب‌آورده‌ایم.

جورج گاموف ـ آوریل۱۹۵۲

فصل اول

خورشید وانرژی آن

خورشید وزندگی

●

« کدام‌یك سودمندتر است ، خورشید یا ماه ؟ » این سؤالی است که فیلسوف‌نامدار روسی **کوزما پروتکوف**[1] می‌کند وخود پس‌ازاندکی‌تأمل درپاسخ خویش چنین می‌گوید: «البته ماه سودمندتر است، چه وی شب هنگام که همه‌جا را تاریکی فراگرفته به‌ما روشنی می‌دهد، درصورتی‌که آفتاب درهنگام روز نوربخشی می‌کند و همه می‌دانیم که دراین وقت همه‌جا غرق در روشنی است.»

---

۱ . این یك‌شخصیت خیالی است که‌شاعران روسی کونت‌الکسی تولستوی وبرادران گمچوشینکوف آن را توهم کرده‌اند. باوجود این باید دانست کـه نظریات پروتکوف لااقل به‌اندازهٔ نظریات بسیاری از فیلسوفان کهنه ونو خوب ودلپسند است.

البته هرطفل دبستانی می‌داند که نور ماه‌از انعکاس نورخورشید است، ولی‌این را همهٔ مردم نمی‌دانند که هرحادثه ونمودی که برروی زمین اتفاق افتد چنان‌است که ناچار دنبالهٔ آن به‌انرژی تشعشی‌آفتاب می‌کشد وازانجا سرچشمه می‌گیرد.

مخصوصاً این نکته را بایـد دانست که اصل وریشهٔ همهٔ منابع انرژی کـه به‌وسیلهٔ جهان متمدن اکتشاف وازانها بهره‌برداری شده از خورشید است. درست است که بهره‌برداری مستقیم از انرژی‌آفتاب‌که به‌وسیلهٔ آینه‌های مقعـر بزرگ جمع‌آوری شده‌باشد تنها در بعضی از اسبابهای عجیب وغریب صورت می‌گیرد ـ وازان‌جمله‌است دستگاههای آب سردکنی که درصحرای اریزونا دیده‌می‌شود، یادستگاههایی که‌برای گرم کردن گرمابه‌های عمومی درتاشکند به‌کارمی‌رود ـ ولی درآن‌حین که‌چوب یازغال سنگ یانفت‌را درخانه وکارخانه‌ها می‌سوزانیم کارما تنها آن است که انرژی‌آفتاب را که به‌شکل ترکیبات‌کربونی درجنگلهای امروز یاجنگلهای دوره‌های کهن زمینشناسی ذخیره شده آزاد سازیم.

شعاع آفتاب که برسطح برگ سبزگیاه می‌تابد، درمجاورت‌گاز کربونی هوا این گاز را به‌کربون و اکسیژن گـازی تجـزیه می‌کنـد. اکسیژن‌آزاد شده به‌هوا باز می‌گردد (وبه‌همین‌جهت‌است‌که چون‌گیاهی در اطاق باشد هوا را تلطیف می‌کند)، وکربون آزاد شده درتنهٔ درخت به‌حالت ذخیره باقی می‌ماند وآمادهٔ آن است که‌در اجاق یابخاری ازنو بااکسیژن هوا ترکیب‌شود. درآن‌هنگام که‌درخت‌را می‌سوزانیم، هرگز نمی‌توانیم بیش‌ازآن اندازه انرژی که ازخورشیدگرفته ودرخود ذخیره کرده ازان انرژی به‌دست‌آوریم. بنا براین بدون وجود خورشیدامکان آن نیست‌که‌درزمان حاضرجنگلی به‌وجودآیدیادر گذشته چنین‌جنگلی به‌وجود آمده باشد؛ اگرخورشیدنبود هرگز زغال‌سنگ یانفت درزمین ذخیره نمی‌شد.

لازم به‌ذکر نیست که نیروی‌آب نیز صورت دیگری از انرژی حرارتی خورشید است: گرمای خورشیدآب را ازسطح اقیانوسها بخار می‌کند، واین‌بخار که به‌ارتفاعات هوا رسید دوباره مبدل به‌آب می‌گردد وبه‌صورت‌برف وباران فرو می‌ریزد ودرنقاط مرتفع ذخیره می‌شود تابعد

به‌مخزن اصلی‌خود بازگردد.

باد نیز چنین‌است، چه علت پیدایش آن این است که‌هوای‌نقاط مختلف سطح زمین به یك اندازه گرم نمی‌شود و در نتیجهٔ این اختلاف حرارت به‌حرکت درمی‌آید. درهمه‌جا می‌بینیم که سرچشمهٔ انرژیهایی که دراختیار داریم همان خورشید است، واگر این‌چشمهٔ فروزان نبود برسطح‌زمین‌ما نه‌حیاتی دیده می‌شد ونه‌حرکتی.

ولی آیا سرچشمهٔ خود این انرژی خورشید ازکجا است؛ چه مدت است‌که این پرتوافشانی وحیاتبخشی‌وجود داشته وتاچه مدت‌دیگر ادامه خواهد داشت؛ آیا خورشید ماچگونه به‌وجود آمده و پس ازانکه همهٔ انرژی آن تمام شد چه خواهد شد؛ برای آنکه پاسخ این‌پرسشها داده شودنخست‌باید مطالبی‌دربارهٔ آن انرژی‌که‌روزانه ازخورشیدتشعشع می‌کند بدانیم ونیز دربارهٔ مقدار انرژی کلی ذخیره‌شدهٔ در داخل آن اطلاعاتی به‌دست‌آوریم.

واحد انرژی

در فیزیك‌معمولا انرژی‌را باواحدی‌به‌نام ارگ اندازه می‌گیرند، گرچه درموارد خاص واحدهای دیگری برای انرژی به‌کار می‌رودمانند کالوری (برای اندازه گرفتن‌گرما)یاکیلووات ساعت (برای برق). یك ارگ دو برابر انرژی حرکتی جسمی است‌که جرم‌آن برابر یك گرم باشد وباسرعت یك‌سانتیمتر درثانیه حرکت‌کند، وبایدگفت که از لحاظ تجربه‌های روزانهٔ زندگی مقدار انرژیی که بایك ارگ نموده می‌شود بسیارکوچك است. مثلاپشه‌ای‌که درحال‌پرواز است انرژی‌حرکتی‌برابر باچند ارگ دارد. برای‌گرم‌کردن یك‌فنجان چای چند صدبلیون‌ارگ مورد نیاز است، وچراغ رومیزی معمولی در هرثانیه ۲۵ بلیون ارگ مصرف می‌کند. یك‌گرم زغال‌سنگ خوب چون‌کاملابسوزد ۳۰۰بلیون ارگ انرژی می‌دهد، و بانرخ جاری زغال بهای هرارگ برابر است با۰٫۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۲ ریال. البته‌بهای انرژیی‌که باسیم برق به‌خانه‌های ما می‌آید ازاین گرانتر است، واین ازآن‌جهت‌است‌که بهای ماشینهایی‌که درتبدیل انرژی زغال به‌انرژی برق به‌کار می‌رودنیز

به‌حساب می‌آید.

تشعشع انرژی خورشید

انرژی اشعهٔ آفتاب که بریك سانتیمتر مربع درمدت یك ثانیه به‌حال عمودی بتابد معادل ۱،۳۵۰،۰۰۰ ارگ‌تخمین شده، والبته‌در محاسبهٔ این رقم مقداری از انرژی که به‌وسیلهٔ فضای‌اطراف زمین‌جذب می‌شود نیز به‌حساب آمده است. اگر این‌انرژی‌را از روی بهای زغال به‌حساب آوریم معلوم می‌شود که روزانه معادل چند صدریال انرژی‌که برسطح حیاط خانهٔ ما مـی‌تابد تلف می‌شود. اگـر بیان خود را باواحد اندازه‌گیری معمولی کار تجدیدکنیم، نتیجه آن‌می‌شود که مقدار انرژی روزانهٔ خورشید که برسطح زمین سقوط می‌کند برای هرمیل مـربعی برابر باانرژی ۴،۶۹۰،۰۰۰ اسب بخاراست وانرژی‌کلی سالانه که‌از این راه به‌سیارهٔ ما می‌رسد چندین ملیون برابرتمام انرژیهایی است‌که در سطح زمین از سوزاندن زغال وسایر مواد سوختنی به دست می‌آید.

ولی زمین تنها قسمت مختصری از ایـن انرژی عظیم را جمع می‌کند، وقسمت اعظم آن آزادانه به فضای میان سیارات می‌گریزد که مقدار آن برابر است با$۳ر۸ \times ۱۰^{۲۳}$ ارگ درثانیه یا$۱ر۲ \times ۱۰^{۴۱}$ ارگ درسال.[۱] چون‌انرژی‌خورشیدرا برسطح‌آن‌که معادل$۶ر۱ \times ۱۰^{۲۲}$ سانتیمتر مربع است قسمت‌کنیم، معلوم می‌شود که‌هرسانتیمتر مربع از سطح خورشید$۶ر۲ \times ۱۰^{۱۰}$ ارگ انرژی درهرثانیه از خـود بیرون می‌فرستد.

---

۱. درفیزیك ونجوم عادت بر آن است که اعداد بسیار بزرگ یابسیار کوچك را به‌صورت‌قوای ده نمایش دهند. مثلا۳×۱۰^{۴}برابر است بـا ۳۰،۰۰۰ (یعنی دارای چهـار صفـر) یا ۳۰،۰۰۰ و۷×۱۰^{-۳} برابر است با ۰ر۰۰۱ × ۷ یا ۰ر۰۰۷ـ (یعنی باسه رقم اعشار). یابلیون که دراین‌کتاب به‌کار رفته مساوی است باهزار ملیون یا۱،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰ یا$۱۰^{۹}$.

درجهٔ حرارت خورشید

آیا سطح‌خورشید چه‌اندازه بایدگرم باشد تابتواندچنین‌تشعشعات حرارتی شدید را سبب شود؛ داغترین رادیاتورها درجاهایی‌که حرارت مرکزی وجود دارد (در درجهٔ حرارت‌آب‌جوش) تقریباً درهریك‌ثانیه مقداری انرژی معادل یك‌ملیون ارگ ازهرسانتیمتر مربع ازسطح‌خود خارج می‌کند. دربخاریی‌که به درجهٔ حرارت سرخ(یعنی ۵۰۰ درجه) رسیده باشد، این‌مقدار به ۲۰ ملیون می‌رسد، ودر درجهٔ حرارت‌سفید چراغ برق (یعنی درحدود ۲۰۰۰ درجه) این رقم به۲بلیون ارگ‌بالا می‌رود. مقدار تشعشع‌اجسام گرم بازیاد شدن درجهٔ حرارت ترقی می‌کند وباقوهٔ چهارم این‌درجهٔ حرارت‌که نسبت‌به‌صفرمطلق[1] حساب‌شده باشد متناسب است.

اگر تشعشع خورشیدرا بامثالهایی که‌پیش‌از این آوردیم‌مقایسه کنیم، به‌آسانی می‌توان حساب کرد که **درجهٔ حرارت سطح‌خورشید بایستی نزدیك ۶۰۰۰درجه باشد.** این درجه حرارت از بزرگترین درجهٔ حرارتی‌که‌می‌توانیم درآزمایشگاهها باساختن‌کوره‌های مخصوص برقی تولیدکنیم بسیار زیادتراست. یك‌دلیل بسیار ساده وجود داردکه بنا بران هیچ کوره‌ای نمی‌تواند به‌این‌درجهٔ حرارت برسد، وآن‌اینکه در ۶۰۰۰ درجه تمام موادی که باآنها می‌توان کوره‌ای ساخت، واز جمله مواد دیر گداز پلاتین وکربون، نه‌تنها ذوب می‌شوند، بلکه کاملا به‌حالت بخار درمی‌آیند.[2] هیچ ماده‌ای درچنین‌درجه حرارت‌نمی‌تواند

---

۱. درجهٔ حرارت صفر مطلق‌درمقیاس صدرجه‌ای ۲۷۳درجه زیر نقطهٔ یخ‌بستن آب است (به شکل ۴ مراجعه شود). تمام درجات حرارتی که‌دراین کتاب آمده بامقیاس صدرجه‌ای است.

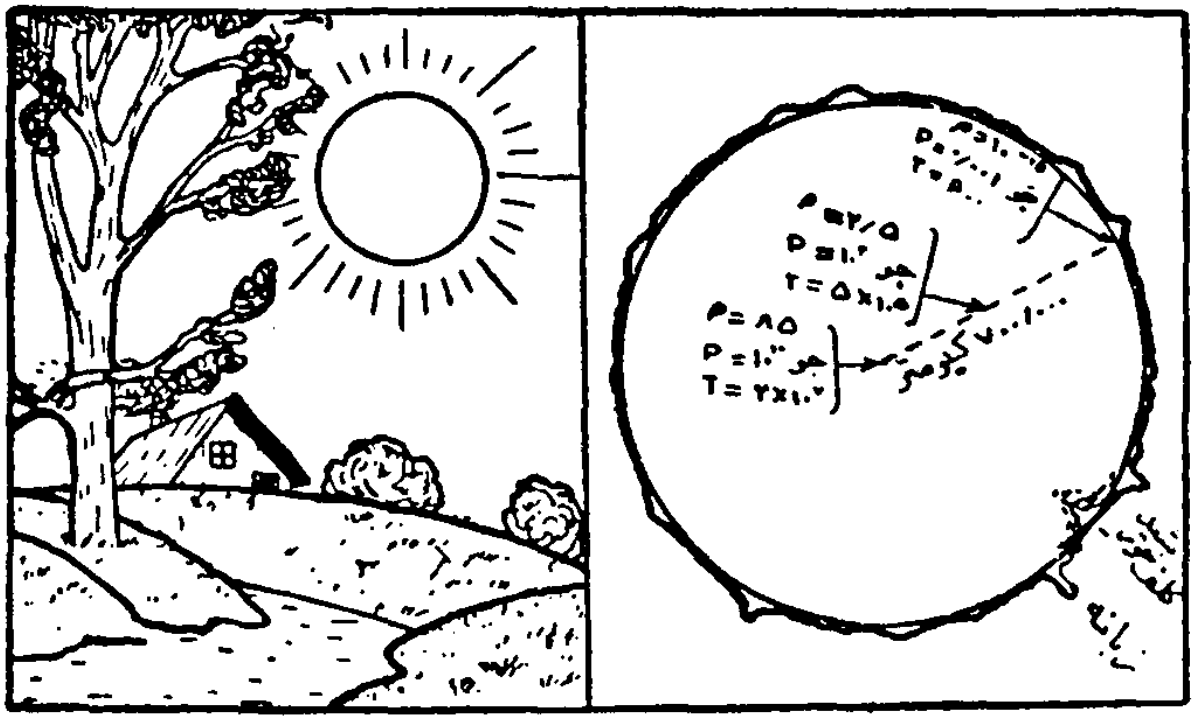
۲. درست ازراه همین اصل است که برروی زمین توانسته‌اند درجه‌های حرارتی بزرگتر ازدرجهٔ حرارت سطح خورشید تولیدکنند. برای‌این‌کار جریان‌برق‌بسیار شدید را درسیم‌بسیار نازکی‌می‌فرستندکه‌به محض‌تخلیهٔ‌جریان آن‌فلز به‌فوریت بخارمی‌شود وبرای مدت‌بسیارکوتاهی اسباب‌اندازه‌گیری درجهٔ‌حرارتی درحدود ۲۰،۰۰۰ درجه‌ثبت می‌کند.

جز به‌حالت گازی وجود داشته باشد، ودر سطح خورشید چنین است و همهٔ مواد درآنجا به‌حالت گازی هستند.

اگر این مطلب برای‌سطح خورشید صحیح باشد، به‌طریق اولی برای مرکز آن‌بیشتر صحت‌دارد، چه باید اختلاف حرارتی بین مرکز وسطح خورشید موجود باشد تاجریان حرارتی ازمرکز به‌سطح برقرار شود. مطالعهٔ اوضاع داخلی خورشید نشان داده‌است که **درجهٔ‌حرارت مرکز خورشید به‌رقم بسیار عظیم ۲۰ملیون می‌رسد.** شاید نتوان اهمیت‌این‌درجه حرارت‌را چنانکه باید تصور کرد، وبه‌همین‌جهت باید برای توضیح بگوییم که‌اگر فرض کنیم یك بخاری به‌حجم عادی داشته باشیم واین بخاری بتواند چنین درجه حرارتی‌را تحمل‌کند، چون آن بخاری به‌این درجهٔ حرارت گرم شود تاصد فرسنگ اطراف خود همه چیز را خواهدسوزاند.

چگالی خورشید

از ملاحظاتی‌که گذشت به این نتیجه می‌رسیم که **خورشید ما**



شکل ۱

مقطع عرضی خورشید　　خورشید در نظر اول

کرهٔ بسیار عظیمی از گاز بی‌اندازه داغ است، ولی اگر تصورکنیم که‌این‌گاز بسیار رقیق‌است تصورغلطی کرده‌ایم. باشرایط متعارفی‌زمین گازهایی‌که ماباآنها سروکار داریم‌ازاشکال جامد ومایع‌ماده چگالی‌بسیار کمتری دارند، ولی‌نباید ازاین نکته غافل بمانیم که درمرکز خورشید فشار شگرف ۱۰ بلیون جوبرقرار است. درچنین اوضاع واحوال‌هرگاز آن‌اندازه فشرده می‌شود که‌چگالی‌آن ازمواد جامدومایع‌عادی به‌مراتب بالاتر می‌رود. واین ازآن‌جهت است که اختلاف میان حالت گازی از یك‌طرف و دوحالت جامد ومایع از طرف دیگر تنها مربوط به‌اختلاف چگالی آنها نیست، بلکه ازان است که‌گازها پیوسته می‌خواهندفضای بیشتری‌را اشغال کنند، واگر فشار ترقی کند تاحدزیادی قابلیت تراکم دارند. چون قطعه سنگی‌را ازداخل زمین به‌سطح آن بیاورند حجم‌آن تفاوت محسوسی نخواهد کرد، ولی اگر فشارخارجی خورشید به‌اندازهٔ کافی‌تقلیل پیداکند، ماده‌ای که‌مرکز خورشیدباآن ساخته شده‌به‌صورت نامحدودی انبساط وازدیادحجم پیدا خواهد کرد. به‌دلیل همین‌قابلیت تراکم زیاد مواد گازی است که‌هرچه ازسطح خورشیدبه‌داخل آن‌برویم چگالی مادهٔ‌آن زیادتر می‌شود، وچنان حساب شده است که‌چگالی‌مادهٔ مرکزی خورشید بایستی ۵۰برابر چگالی متوسط آن باشد. چگالی متوسط خورشید که‌ازتقسیم کردن‌وزن کلی‌آن برحجمش به‌دست‌می‌آید (جرم خورشید ۲×۱۰^{۳۳} گرم و حجم آن $۱ر۴ \times ۱۰^{۳۳}$ سانتیمتر مکعب است) ۱ر۴۱ برابر چگالی آب است، ومطابق حساب، **گازی که‌درمرکز خورشید قرار گرفته به‌حدی فشرده‌است که‌چگالی‌آن شش‌برابر چگالی جیوه می‌شود.** از طرف دیگر قشرهای خارجی خورشید بسیار رقیق است وفشار درآن‌قسمت‌خارجی خورشید که«کرهٔ رنگین» نام‌دارد وخطوط جذبی‌طیف درآنجاتشکیل‌می‌شود تنهابه‌اندازهٔ یك‌هزارم فشار جواست.

اگرچه اطلاعات‌مستقیم مادربارهٔ فیزیك وشیمی خورشیدمحدود به‌نمودهایی است که‌درجو رقیق خورشید صورت می‌گیرد، باوجود این اگر همین اطلاعات مربوط به‌سطح خورشیدرا مبنای کارقرار دهیم واز اطلاعات کلی‌خود درمورد خواص ماده‌استفاده کنیم، می‌توانیم ازاوضاع

واحوالی که‌درداخل خورشید برقراراست به‌همان‌درجهٔ یقینی که‌ازسطح آن داریم آگاه شویم. بیشتر اطلاعات ریاضی‌ما دربارهٔ داخل خورشید نتیجهٔ تحقیقات و کار هایی است که به‌وسیلهٔ منجم انگلیسی **سرارثر - ادینگتون** صورت گرفته، ودر شکل(۱) طرحی‌از ساختمان داخلی خورشید بنابرمحاسبات ریاضی اورسم شده‌است. درآن تصویر Tوpوρ به‌ترتیب نمایندهٔ درجهٔ حرارت وفشار و چگالی است که در قسمتهای مختلف جرم خورشید اندازهٔ آنهادرهمان شکل ثبت شده.

نمودهایی که‌درسطح خورشید ظاهرمی‌شود

مناظری ازفعالیت‌خورشید، که‌بسیاری ازمردم‌بیشتر باآن‌انس وآشنایی دارند. **کلفها**[1] **و زبانه‌های**[2] سطح‌آن است، (تصویرI پایان کتاب) و این زبانه‌هاعبارت از فوران گازهای بسیار داغ روشن است که گاه به‌گاه از سطح خورشید خارج می‌شود وپاره‌ای اوقات صدها هزار کیلومتر ازجرم‌آن‌دورتر می‌رود (شکل۱ـطرف‌راست). کلفهاکه تنها ازلحاظ مجاور بودن باقسمتهای بسیارروشن تیره به‌نظر می‌آیند، در واقع عبارت ازحفره‌های گرداب مانند قیفی شکلی‌هستند که درقشر خارجی‌خورشید قرارگرفته وازمیان‌آنها مواد گازی باحرکت مارپیچی به‌طرف بالا وخارج‌حرکت می‌کند. به‌تدریج که‌گازها ازاین حفره‌هابالا می‌آید انبساط پیدامی‌کند، وبه‌همین جهت ازحرارت آنها کاسته می‌شود وازسایرقسمتهای خورشید که‌چنین نشده تاریکتر به‌نظر می‌رسد.

درآنجاکه این‌کلفها درنزدیك کنار ظاهری قرص‌خورشیدقرار گرفته باشد، فوران گازها را به‌شکل نیمرخ می‌بینیم وهمین گازهای فوران کرده است که به‌صورت ستونهای بسیار روشن غولپیکر به‌نظر می‌رسد. نظریهٔ رایج دربارهٔ اصل پیدایش کلفها مبنی براین واقعیت است که‌چون خورشید جسم جامدی نیست، در ضمن دوران قسمتهای مختلف آن‌سرعتهای زاویه‌ای متفاوت پیدا می‌کند: دوران درقسمتهای

---

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 که‌اختلاف سرعت جریانهای آب برسطح رودخانه‌ها وجریانهای‌دریایی سریع‌سبب تولیدگردابها می‌شود.

قبل‌ازختم این‌بحث‌بایدتوجه خواننده‌را به‌مسئلهٔ دوری بودن و متناوب‌بودن کلفهای خورشید جلب کنیم، گواینکه هنوز توضیح قانع کننده‌ای برای این تناوب کلفها پیدا نشده باشد. در دوره‌ای تقریباً مساوی یازده سال‌ونیم عدد این کلفها به‌طور متناوب زیاد وکم می‌شود. این دوران تأثیرات ضعیفی درحالات فیزیکی کرهٔ زمین دارد، ازجمله اینکه درجهٔ حرارت زمین به طور متوسط سالانه در حدود یك درجه اختلاف پیدا می‌کند، وهمچنین درطرز قرارگرفتن عقربهٔ مغناطیسی و شفق قطبی تغییراتی درآن ایجاد می‌شود. بعضی کوشیده‌اند که‌مختلف شدن وقت مهاجرت پرستوها یارسیدن گندم وحتی انقلابات اجتماعی را بااین.تغییرات کلفها مربوط کنند، ولی هنوز نمی‌توان به‌طور قطع گفت که‌چنین ارتباطی به‌راستی وجود دارد[1].

کلفها وزبانه‌ها درقشری ازخورشید وجود دارد که‌به‌طور نسبی بسیار نازك است وبه احتمال قوی باتاریخ تکامل جرم خورشید ارتباط آن‌بیش‌از ارتباطی نیست که‌میان خراش پوست بدن‌انسان وتکامل‌حیات آدمی وجود دارد. ازاین‌رو مسائلی که‌بااین‌نمودها ارتباط دارد دراین کتاب مورد توجه مانیست.

---

۱. حد اعلای این کلفها در سالهای ذیل ثبت شده: ۱۷۷۸ـ ۱۷۸۸ـ ۱۸۰۴ـ ۱۸۱۶ ـ ۱۸۳۰ ـ ۱۸۳۷ ـ ۱۸۴۸ ـ ۱۸۶۰ـ ۱۸۷۱ـ ۱۸۸۳ـ ۱۸۹۴ـ ۱۹۰۵ـ ۱۹۱۷ـ ۱۹۲۸ . آنچه مسلم است اینکه انقلاب امریکا وانقلاب‌فرانسه وکمون پاریس وهردوانقلاب روسیه وبسیاری حوادث دیگر درست نزدیك همین سالهای حد اعلای کلف اتفاق افتاده. درسالهای ۱۹۴۰ ـ ۱۹۳۷ ازیاد ثابتی در کلفها مشاهده شده‌که اگر خواننده بخواهد می‌تواند آن‌را نیزباوضع مغشوش سیاسی زمین دراین سالها مربوط بداند.

عمر خورشید

اینك به‌مسئلهٔ قابل توجه سن خورشید توجه می‌کنیم که از یك طرف باعمرزمین وازطرف دیگر بامجموعهٔ‌جهان ستارگان ارتباط‌بسیار نزدیك دارد. می‌دانیم که‌خورشید امروز همان خورشید دیروز است و همان خورشیدی است که‌ناپلئون به‌عنوان «خورشید اوسترلیتز» آن‌را به‌سربازان‌خود نشان‌داد، وهمان خورشیدی است که‌کاهنان مصرباستانی آن‌را به‌نام **آمون ـ رع**[1] خدای خدایان‌می‌پرستیدند.

زمان تاریخ ثبت شده در مقایسهٔ بازمانهای زمینشناختی و دیرینشناختی همچون زمان چشم به‌هم زدن سریعی است، ودلایل و شواهدی که‌درزیر سطح‌زمین‌نهفته خود دلیل‌بر آن‌است‌که دردورهٔ‌بسیار طولانیتری فعالیت خورشید به صورت تغییرناپذیری ادامه داشته است. زغال سنگی که‌امروز دربخاریهای خود می‌سوزانیم بهترین دلیل است بر آنکه همین خورشیداشعهٔ خودرا برجنگلهای عظیم درختان‌غولپیکر دوره‌های معرفةالارضی بسیار قدیم می‌افشانده است؛ سنگواره هایی که درطبقات مختلف زمینشناختی به‌دست آمده نمایندهٔ آن است که‌تحول وتکامل‌موجودات‌زنده‌ازدوره‌های‌ماقبل کامبری[2] تاکنون ادامه‌داشته‌است. بنابراین درمدت چندصد ملیون‌سال‌گذشته درخشندگی‌خورشید به‌مقدار قابل ملاحظه تغییرنکرده است، چه‌اگرچنین‌تغییری پیش‌می‌آمد ناچار زندگی برسطح زمین غیر ممکن می‌شده ورشتهٔ تکامل موجودات زنده می‌گسیخته است[3]. اگر اندازهٔ تشعشع خورشید به نصف برسد، درجهٔ حرارت زمین از درجه‌ای که‌آب در آن یخ می‌بندد پایینتر می‌رود، و

---

۱. Amon - Re

۲. pre - Cambrian

۳. امکان آن هست که‌دوره‌های موسوم به‌دوره های یخچالی که شواهد معرفةالارضی معرف آن است، باتغییرات مختصری در فعالیت خورشید ارتباط داشته‌باشد. باوجوداین بایددرنظرداشت که‌این‌تغییرات کوچك آب وهوا به‌سهولت ممکن است تنها درنتیجهٔ تغییرات عوامل زمینی، مثلا تغییر مقدار گازکربونیك جو، حادث شده‌باشد.

چون‌مقدار تشعشع آن چهار برابر شود تمام اقیانوسها ودریاها به‌جوش خواهد آمد.

پیدایش حیات برسطح زمین البته ازپیدایش‌خود زمین‌جدیدتر است، وازآثار وشواهد غیر آلی موجود در سنگهـایی که‌قشر زمین را می‌سازند، می‌توان دلایلی‌بدست آورد که به‌وسیلهٔ‌آنها بتوانند دوره‌های عمر بزرگتری را حساب کنند. بعضی از این سنگهـا محتوی مقادیر بسیار کوچك از موادی هستند که آنهارا به‌نام عنـاصر تشعشع کننده یارادیو آکتیو می‌نامند (مانند اورانیوم وتوریوم)، وچنـانکه می‌دانیم این‌عناصرحالت‌ثبات‌ندارند وبه‌کندی بسیارتحول پیدامی‌کنند،ودرظرف مدت‌بلیونها سال به‌صورت مادهٔ‌دیگری درمی‌آیند که‌شبیه‌به‌سرب‌معمولی است. تاآن‌زمان که‌قشر زمین به‌حالت گداخته وآبکی بود، در نتیجهٔ همین‌حالت، مواد تشعشعی ازعناصری که‌عنوان مادر آنهارا داشته‌جدا می‌شده است، ولی به‌محض آنکه قشر زمین‌حالت‌جامد پیدا کرد، ناچار این مواد تشعشعی نیز درمجاورت عناصر تشعشع‌کننده باقی مانده‌است. بنا براین به‌وسیلهٔ اندازه‌گرفتن مقدار نسبی این عناصر تشعشع کننده ومحصولات تشعشع آنها در سنگهای مختلف می‌توان دریافت که ازچه مدت پیش این سنگها به‌حالت انجماد در آمده است، واین درست مثل آن است که از روی شمارهٔ استخوانهایی که در یك گورستـان موجود است می‌توانند عمردهکده‌ای‌را که‌این گورستان‌در آن‌قرار گرفته‌اندازه بگیرند.

تحقیقاتی‌که ازاین راه صورت‌گرفته چنین نتیجه داده است کـه **قشر جامد زمین دیرتر از ۱٫۶ بلیون سال پیش از این تشکیل نشده‌است.** واز انجا که تشکیل پوستهٔ زمین مدت زیادی پس از جدا شدن آن ازخورشید صورت نگرفته، به‌این ترتیب وسیله‌ای در اختیار ما قـرار می‌گیرد کـه ازان رو بتوانیـم تخمین صحیحی از سن سیارهٔ خودمان، زمین، در دست داشته‌باشیم. البته عمر خورشید ازاین‌اندازه بیشتر است، وبرای آنکه حد اعلایی برای سن خورشید معـلوم کنیم بایستی به‌مدارك وشواهدی‌که ازجهان‌کواکب به‌دست می‌آید وخورشید یکی از اعضای این مجموعه است مراجعه‌کنیم.

اینکه ستارگان ومخصوصاً خورشید چگونه ازگاز یکنواختی‌که تمام فضارا پر می‌کرده درست شده‌اند، بحثی‌است که درفصلهای آینده (۱۲ ـ ۱۰) به‌آن خواهیم پرداخت. دراینجا فقط اشارهٔ به‌این نکته لازم است که مطالعهٔ حرکت ستارگان در منظومهٔ کواکب خـود ما، و همچنین‌تحقیق‌درحرکت مجموعه‌های مختلف کواکب نسبت به‌یکدیگر، دلایلی قوی در اختیار ما می‌گذارد که بنا برانها معلوم می‌شود **تشکیل ستارگان درزمانی آغاز شده که از دو بلیون سال به‌ما نزدیکتر نبوده است.** به‌این ترتیب حدی برای عمر خورشید به‌دست می‌آید ، ونیز معلوم‌می‌شود که‌زمین‌ما وسایر سیارات درهمان اوایل‌عمرخورشید ازان جدا شده‌اند.

چون‌تشعشع سالانهٔ خورشید را که پیش‌ازاین به‌آن اشاره‌کردیم (یعنی $۱۰^{۴۱} \times ۲ر۱$ ارگ) درسنین تقریبی‌عمرآن (درحدود۲بلیون سال) ضرب کنیم، به‌این نتیجه می‌رسیم که**جرم خورشید از ابتدای زندگی خود تا کنون $۱۰^{۵۰} \times ۲ر۴$ ارگ یعنی $۱۰^{۱۷} \times ۱ر۲$ ارگ برای هرگرم از مادهٔ خود انرژی تشعشع کرده‌است.** آیـا این مقدار سرسام‌آور انرژی ازکجا آمده است؟

آیا خورشید به‌راستی « می‌سوزد »؟

احتمال دارد که نخستین نظریهٔ مربوط به‌اصل گرما و روشنی خورشید را درواقع غارنشینان دورهٔ حجر برزبان آورده باشند ، چـه برای نمایاندن این جرم نورافشان فلکی همان کلمه را به‌کار می بردند که با آن آتش شعله‌ور در اجاقهای خودرا نیز می‌نامیدند.

در آن هنگام کـه **پرومتئوس**[۱] اخگری از آتش جـاودانی خورشید را برای نخستین بشر دزدید، به‌احتمال قوی آن را برای کار

---

۱ . پرومتئوس یکی از غولهای افسانه‌ای یونان است که آتش وهنررا به‌نوع بشر آموخت؛ زئوس که یکی از ارباب انواع است براو خشمگین شد واورا درکوهی به‌زنجیرکرد وکرکسی جگرش رابلعید. هرکولس اورا ازبند آزاد کرد.ـم.

پخت وپز آدمی به‌اندازهٔ آتش چوب و زغال کار آمد می‌دانست. این اعتقادسست‌که جرم خورشید درحال «سوختن»است تا همین‌اواخرجزو معتقدات جزمی ویقینی تمام افراد بشر به‌شمار می‌رفت.

ولی به‌محض آنکه بپرسیم‌که آنچه درخورشید می‌سوزد چیست، به‌زودی آشکار می‌شودکه بافرض احتراق متعارفی هرگز نمی‌توان این فعالیت متمادی خورشید را درآن‌همه سالهای زیاد توجیه‌کرد. پیش‌از این‌گفتیم‌که چون یك‌گرم زغال سنگ احتراق کامل پیداکند مقداری انرژی مساوی ۳×۱۰^{۱۱} ارگ می‌دهدکه نیم ملیون مرتبه‌کمترازان انرژی است‌که هرگرم‌جرم خورشید درعمر گذشتهٔ خود پس داده‌است. اگر جرم خورشید از زغال سنگ خالص ساخته شده بود، و در زمان نخستین فرعون مصر آن‌را آتش زده بودند، تاکنون می‌بایستی تمام آن سوخته و چیزی جز خاکستر برجای نمانده باشد. برای هرنوع مادهٔ سوختنی دیگری که به‌جای زغال فرض شود نیز چنین اشکالی وجود دارد، وباهیچ‌یك ازسوختهای شیمیایی ممکن‌نیست‌عمرخورشید حتی از یك‌صد هزارم سنی که دارد تجاوزکند.

حقیقت امر این است که مفهوم « سوختن » کاملا با اوضاع و احوالی که در خورشید وجود دارد ناسازگار است . تجزیه‌های طیفی نشان داده است که درخورشیدکربون و اکسیژن هردو هست **ولی‌آن اندازه گرم‌است که نمی‌تواند بسوزد.** معمولا ما چنان فکرمی‌کنیم که هرچه حرارت بیشتر باشد فعل وانفعالهای شیمیایی‌که درنتیجهٔ‌آنها مواد مرکبی به‌دست می‌آید بهتر صورت می‌گیرد. برای آنکه قطعهٔ چوبی بسوزد، یعنی با اکسیژن هوا ترکیب شود، باید شعلهٔ کبریتی‌را به‌آن نزدیك کنیم، وبرای آنکه کبریت روشن شود باید فسفور نوك آن‌را به وسیلهٔ مالش باکنارهٔ زبر قوطی‌کبریت به‌اندازهٔ کافی‌گرم‌کرده باشیم؛ ولی درجات حرارت زیاد خود از طرف دیگر برای مرکبات شیمیایی **جنبهٔ تخریبی** دارند یعنی آنهارا به‌عناصر اولیه تبدیل می‌کنند، مثلا درچنین درجات حرارت بخارآب به‌اکسیژن و ئیدروژن ، وگاز کربونیك به اکسیژن و زغال مبدل می‌شود.

درجهٔ حرارت ۶۰۰۰موجود درجو خورشید پیوستگی‌شیمیایی

تمام ترکیبات پیچیده را می‌گسلد و به‌این‌ترتیب است که **گازی که خورشیدرامی‌سازد تنهامخلوطی‌مکانیکی ازعناصرخالص خواهد بود.** البته درقشرخارجی ستارگان دیگری‌که درجهٔ حرارت آنهاکمتر از خورشید است (۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ درجه) تشکیل مواد مرکب از قبیل گازکربونیك امکانپذیر خواهد بود.

نظریهٔ انقباض

تاحدی از بحث خود دربارهٔ اصل انرژی خورشید دورافتادیم، وچون بخواهیم به‌آن بازگشت‌کنیم بایستی‌ازکارهایی که دانشمندفیزیك آلمانی **هرمان فون هلمهولتز**[1] درقرن‌گذشته کرده یاداور شویم . کارهای این دانشمند ، از توجه به‌حالت حاضر خورشید گذشته، مبدأ پیدایش آن را نیز شامل می‌شود.

بنا به نظر هلمهولتز ، خورشید در زمانی کرهٔ غولپیکری از گاز سرد بوده وقطری به‌مراتب بزرگتر ازقطرکنونی خود داشته‌است. واضح است که چنین‌کرهٔ گازی سردی نمی‌توانسته است درحال تعادل باشد، چه فشار نسبتاً خفیف‌گاز سرد و بسیار رقیق هرگز نمی‌تواند باوجود جاذبه‌های ثقلی که میان قسمتهای مختلف آن وجود دارد حال تعادل پیداکند. چنین‌است که خورشید ابتدایی درتحت تأثیر وزن‌خود انقباض سریعی پیداکرده وگازهایی‌را که درقسمت داخلی‌آن‌قرارداشته می‌فشرده است. ازطرف دیگر، بنابراصول مقدماتی فیزیك می‌دانیم‌که چون گازی‌فشرده شود درجهٔ حرارت آن بالا می‌رود. بنابراین انقباض تدریجی یا کوچك شدن کرهٔ گازی غولپیکر ابتدایی سبب گرم شدن مادهٔ آن شده تا آنکه ازدیاد فشار قسمت درونی به‌حدی رسیده است که بتواند وزن قشرهای خارجی را تحمل‌کند.

دراین مرحله بایستی کوچك‌شدن جرم متوقف شود، واگر از سطح آن هیچ انرژی بیرون نرود تعادل کاملی درآن برقرارگردد.ولی چون پیوسته ازسطح خورشید تشعشعاتی به‌فضای‌سرد اطراف‌آن صورت

---

1 . Hermann von Helmholtz

می‌گرفته ،کرهٔ گازی ما به‌صورت پیوسته مقداری انرژی ازکف می‌داده و به‌همین جهت برای جبران این نقض لازم می‌شده است که مجدداً انقباضی صورت پذیرد . بنا برنظریهٔ **هلمهولتز** خورشید اکنون در همین مرحلهٔ انقباض تدریجی‌است، وتشعشع آن نتیجهٔ هیچ فعل‌وانفعال شیمیایی‌نیست، بلکه منبع این‌انرژی همان انرژی ثقلی‌است که‌درضمن عمل انقباض آزاد می‌شود.

از روی قانون جاذبهٔ **نیوتون** به‌آسانی می‌توان حساب کرد و دریافت که برای برقرارماندن شدت تشعشعی که در خورشید دیده می‌شود ، لازم است‌که شعاع کرهٔ خورشید درهر قرن به‌اندازهٔ ۰٫۰۰۰۳ درصد که تقریباً دوکیلومتر است کوچکتر شود. البته چنین تغییری برای عمریك‌فرد وحتی برای‌تمام تاریخ بشریت ممکن‌است نامحسوس باشد، ولی چون آن‌را نسبت به‌مقیاس زمانی دوره‌های معرفةالارضی‌در نظر بگیریم، مقدار انقباض بسیار زیاد وقابل ملاحظه می‌شود.

مقدار کل انرژی ثقلی خورشید که از ابتدای پیدایش آن (حتی درآن زمان که حجم بینهایت داشته) تا وضع حاضر آزاد شده، قابل محاسبه است و اندازهٔ آن فقط به ۲×۱۰^{۴۷} ارگ بالغ می‌شود، که این خود هزار بار از انرژی کلی صادر شدهٔ از خورشید کوچکتراست. بنابراین اگرچه نظریهٔ انقباضی هلمهولتز برای توجیه حالت ابتدایی خورشید بسیار قابل قبول به‌نظر می‌رسد ، باید چنین نتیجه بگیریم‌که **خورشید درحال حاضرخود منبع انرژی‌دیگری دراختیار دارد که از انرژی شیمیایی یا ثقلی بسیار نیرومندتر است .**

انرژی زیر اتومی[1]

علم فیزیك قرن گذشته توانایی آن‌را نداشت تا به‌ما بگویدکه ذخیرهٔ انرژی خورشید درکجاست. ولی درآغاز قرن حاضر که نمود انحلال وتجزیهٔ تشعشعی ماده کشف‌شد و امکان تحویل‌عناصربه‌یکدیگر

---

1 . Subatomic energy

فـراهم آمد، روشنی خاصی براین مشکل اساسی علم فیزیك ستارگان افکنده شد. این نکته را فهمیدندکه در ژرفنای ماده ودر داخل هستهٔ بینهایت کوچك اتومهایی که تمام اجسام مادی ازانها ساخته شده است مقادیر عظیمی از انرژی نهفته است . آنچه به‌نام **انرژی زیر اتومی** نامیده شده، و در ابتدا به‌نظر می‌رسید کـه فقط به‌کندی از اتومهـای اجسام رادیو آکتیو خارج می‌شود، درپاره‌ای اوضاع و احوال ممکن است به‌شکل سیل نیرومندی‌جاری شود که ملیونها مرتبه ازان انرژی که درفعل و انفعالات شیمیایی آزاد می‌شود بزرگتر باشد.

مطالعهٔ در انرژی زیر اتومی وشرایط فیزیکی لازم برای‌آزاد شدن‌آن، در ازمنهٔ اخیر به‌ما اجازهٔ آن‌را داده است که نه‌تنها بتوانیم به‌حساب تشعشعات خورشید رسیدگی‌کنیم، بلکه تشعشعات وسایرخواص انواع مختلف ستارگانی که منجمان آنهارا می‌شناسند، نیز از ایـن‌راه شناخته‌شود. به‌علاوه، پس ازحل‌شدن مسائل مربوط به‌منابع انـرژی ، مسائل مربوط به‌تحول ستارگان و مخصوصاً گذشته وآیندهٔ خورشید به حل نهایی نزدیکتر شده‌است.

ولی پیش‌ازآنکه به‌بحث در این مسائل جالب بپردازیم، بـاید به‌گردش درازی در جهان اتومها بپردازیم تا معلومات خاص ومهمی را دربارهٔ خواص وساختمان درونی اتومها فراگیریم. ممکن‌است بعضی‌از کسان که این‌کتاب را تنها به‌عشق عنوان نجومی آن خریده‌اند، ازاین حاشیه‌روی ناراحت شوند واین‌خود مایهٔ تأسف نویسنده است، ولی‌باید دانست که جز شاعران هیچ‌کس نیست‌که بتواند ازستارگان سخن‌گوید بی‌آنکه به‌ماده‌ای‌که این ستارگان ازآن ساخته شده اشاره‌ای کند. اگر خواننده حوصله‌کند وسه‌فصل کمی دشوار آینده را بخواند و به‌خـوبی فهم‌کند، اجر اوآن‌خواهدبودکه مطالب مربوط به‌نجوم راکه پس‌ازآن فصول آمده به‌نیکوترین وجهی خواهد فهمید. از طرف دیگر ممکن است ازخواندن این‌سه‌فصل صرف‌نظر شود ونتایجی‌را که ازانها به‌دست می‌آید بپذیرند، والبته ازاین راه به‌فهم گذشته و حال وآیندهٔ انقلابی خورشید زیانی نخواهد رسید.

فصل دوم

کالبدشناسی اتوم‌ها

اتوم به‌عنوان مفهومی فلسفی

●

تاریخ نظریهٔ اتومی در شهر قدیمی یونان به‌نام **آبدرا**[1] تقریباً در سال ۳۷۵ پیش‌از میلاد آغاز شده است. نخستین پیشقراول این‌نظریه مرد سالمندی بود که ریش‌پریشان انبوهی‌داشت وعقاید خودرا درسایهٔ‌معبدی به‌مردم تعلیم‌می‌داد. نام وی **دموکریتوس**[2] بود ومردم‌به‌اولقب‌فیلسوف خندان داده بودند.

می‌شود تصور کرد که وی در ضمن سخنان خود به شاگردانش چنین‌گفته باشد: «هرپاره ازماده، مثلا این‌تکه سنگ، از عدهٔ‌فراوانی اجزای مجزای بسیار خردساخته شده است، همان‌گونه‌که این‌معبدکه‌در

---

1. Abdera
2. Democritus

برابر چشم است ازتکه‌های مجزای سنگ برپاشده است. این اجزای خرد که‌همهٔ اجسام مادی از آنها ساخته شده به‌اشکال و اوضاع مختلف مجاور یکدیگر قرار می‌گیرند، همان‌گونه که ازحروف الفبا با آنکه شمارهٔ آنها چندان زیادنیست این‌همه‌کلمات ساخته می‌شود. این اجزای اساسی ریز آخرین حد قابل تصور بخشپذیری‌ماده است وبه‌همین‌جهت من‌آنها را به‌نام **اتوم** [یعنی بخش‌ناپذیر] می‌نامم ... اتوم به‌اندازه‌ای کوچك است که منطقاً نمی‌توان آن‌را به‌پاره‌های‌خردتری تقسیم‌کرد.»

برای فکر فلسفی **دموکریتوس** وجود اتومها ضرورت منطقی داشت، واین‌را حد آخر تجزیهٔ ماده می‌دانست، وبه‌نظر او عمل تقسیم ماده نمی‌توانست پایان ناپذیر باشد. فرض وجود اتوم به‌نظر وی انواع مختلف نمودهایی را که درجهان مشاهده می‌شود تقلیل می‌داد، وآنهارا به‌ترکیب چندنوع‌اجزا وذرات ابتدایی‌منحصرمی‌ساخت، وبه‌همین‌جهت این‌فکر باتصور فلسفی وی دربارهٔ سادگی طبیعت هماهنگی وسازگاری داشت.

به‌تبعیت از افکاری که درآن زمان برفلسفهٔ یونان حکمروایی داشت، دموکریتوس چهار نمونهٔ اصلی اتوم مربوط به‌آب وخاك و باد و آتش‌قائل‌شد، که به‌ترتیب نمایندهٔ تری وخشکی وسبکی و سنگینی به شمار می‌رفتند. به‌عقیدهٔ وی‌تمام‌موادشناخته شدهٔ طبیعت‌از راه‌ترکیبات متنوع این عناصراصلی به‌دست‌آمده است، همان‌گونه‌که گل ازاختلاط آب وخاك به‌دست می‌آید، یا بخار از «اختلاط آب وآتش» در دیگ فراهم می‌شود. وی حتی دربارهٔ خواص این‌ذرات اساسی موادحدسهایی داشت وبالخاصه چنان تصورمی‌کردکه «اتومهای‌آتش» شکل‌کروی لغزان دارند، وازهمین راه جانداری شعله‌را تفسیر می‌کرد.

کیمیاگری وجنون طلاسازی در قرون وسطی

ازان زمان که متفکران یونان در اندیشهٔ‌آن افتاده بودند تاتنها ازراه‌فکروتصور به‌اسرار ساختمان ماده پی‌ببرند، چندین قرن‌گذشت، تااینکه مردم به‌فکرافتادند که از راههای عملیتری به‌تحقیق در ماده و تبدیل مواد به‌یکدیگر توجه‌پیداکنند. در تمام قرون وسطی‌کیمیاگران

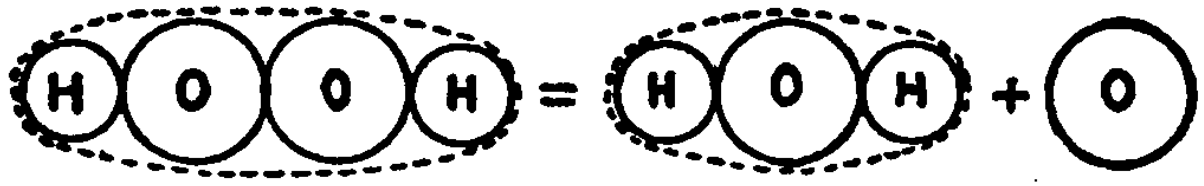
اروپا در داخل اطاقهای‌تاریك خودکنار کوره‌های آتش وقرع‌وانبیقهای گوناگون ومواد وفلزات مختلف بیهوده رنج‌می‌بردند. بااتکای به‌عقیدهٔ فلسفی کهن‌وحدت اصل انواع مختلف ماده، به‌عشق به‌دست‌آوردن پول وثروتمند شدن، هرگونه ماده‌ای‌را که درطبیعت وجود داشت وبه‌دست آنان می‌افتاد، می‌کوبیدند وگردمی‌کردند ومی‌گداختند وحل‌می‌کردند ومی‌جوشاندند و بخار می‌کردند وبه‌حالت تصعید در می‌آوردند، وبه‌هر راهی متوسل‌می‌شدند تامگربتوانندراز ساختن وپرداختن‌طلای‌مصنوعی را به‌دست‌آورند، ودرضمن همین کارها بود که‌برحسب اتفاق شالودهٔ‌علم شیمی جدید را ریختند.

درآن‌هنگام به‌جای چهار «عنصر» فلسفهٔ یونان‌قدیم چهار مادهٔ دیگر را که به‌حالت عنصری تصور می‌شد قرار داده بودند، واین‌چهار ماده عبارت بود از: جیوه وگوگرد ونمك وآتش. چنان باور داشتندکه چون ایـن مواد برنسبتهای معین بایکدیگر ترکیب شود، ممکن است از این‌راه زروسیم وسایرمواد به‌دست آید. ولی‌چون علی‌رغم کوششهای صدها کیمیاگردرمدتهای‌طولانی بالاخره امکان‌ساختن طلا به‌دست‌نیامد، کم‌کم در اواخـر قرن هفدهم این فکـر در بسیاری از آزمایشگاههای کیمیاگری رواج یافت که‌این‌دو فلز گرانبها وبسیاری‌ازمواد دیگرخود ممکن است عناصری بوده باشند. به‌این ترتیب بود که فن اسرارآمیز طلاسازی رفته رفته سبب پیدایش علم شیمی‌شد، وچهار مادهٔ عنصری‌فن کیمیاگری وفلسفه جای خود را به‌عدد زیادتر ولی محدودی از عناصر مستقل شیمیایی داد.

چون نتیجهٔ کارهای کیمیاگران قرون وسطی همیشه منفی‌بود، در قرنهای هجدهم ونوزدهم عدم امکان تبدیل عناصر به‌یکدیگر یکی‌از اصول پابرجا ومسلم علمی به‌شمار می‌رفت. دراین‌زمان اتومهای عناصر مختلف را همان‌گونه که ازمعنی یونانی‌کلمهٔ اتوم برمی‌آید بخش‌ناپذیر می‌دانستند، و در میان دانشمندان عنوان کیمیاگر باسخریه و سرزنشی همراه بود. ولی چنانکـه پس‌از این خواهیم دید رقاصك نمایندهٔ این نظریه به‌منتهی حدمسیر خود رسیده ودرشرف‌آن‌بود که هرچه زودتر درجهت مخالف به‌راه افتد.

شیمی مقدماتی

اگر انواع مختلف اتومها محدود باشد (اکنون می‌دانیم که ۹۲ عنصر وجود دارد)، پس بایستی این عدهٔ بیشمار مواد واجسامی را که می‌بینیم ازترکیبات گوناگون آن عناصر به‌وجود آمده باشد؛ واجزای مرکبی که درساختن این مواد به‌کار می‌رود، یعنی **مولکولهای** مواد شیمیایی غیر بسیط تنها اختلافشان بایکدیگر ازآن‌است که عدد اتومهایی‌که در آنها به‌کار رفته تفاوت دارد وراه ترکیبشان یکسان نیست . امروز هر دانش‌آموزی می‌داند که مثلا مولکول آب‌از دو اتوم ئیدروژن ویك‌اتوم اکسیژن مرکب شده، یااینکه‌مولکول پراکسید ئیدروژن یاآب‌اکسیژنه ـ که‌آن اندازه مطلوب بانوانی است که آرزوی گیسوان بوردارند ـ از دو اتوم ئیدروژن ودو اتوم اکسیژن ساخته شده. درمولکول این جسم اخیر استحکام اتوم دیگر اکسیژن کمتراست وزودتر می‌تواندآزادشود، وبه‌همین جهت است که سبب اکسید کردن و بنابرآن بیرنگ ساختن مواد آلی مختلف می‌شود. راه‌تجزیه شدن شیمیایی‌یك‌مولکول‌پراکسید ئیدروژن وبه‌دست‌آمدن یك‌مولکول آب ویك اتوم اکسیژن چنان‌است که ماآن‌را درشکل (۲) نمایش داده‌ایم.



شکل ۲

تجزیهٔ آب اکسیژنه وبه‌دست‌آمدن آب واکسیژن

علمای شیمی برای آنکه این‌کیفیت تجزیه وترکیب‌را بهترو آسانتر نمایش دهند، فورمولهایی‌به‌کار می‌برند که‌درآنها عناصرشیمیایی بارموز وعلامتهای خاصی نموده می‌شود (یك یادوحرف ازنام یونانی یا لاتینی آن‌عناصر)، وعدهٔ‌اتومهای‌موجود درهرمولکول‌را باعددکوچکی که در طرف راست وپایین آن رمز قرار داده‌شده نشان می‌دهند. مثلا فعل وانفعال شیمیایی تجزیهٔ پراکسید ئیدروژن راکه پیش‌از این دیدیم به‌این‌صورت می‌نویسند:

$$H_2O_2 \rightarrow H_2O + O$$

به‌همین ترتیب است که برای نمایاندن گاز کربونیك فورمول CO_2 به‌کار می‌رود وبرای الکل وکات‌کمود وسیانور نقره به‌ترتیب‌چنین می‌نویسند:

$$AgNO_3 \; ; \; CuSO_4 \; ; \; C_2H_5OH$$

فرض وجود اتوم و مولکول مستلزم آن است که مقادیر مختلف عناصر شیمیایی که برای ساختن یك‌جسم مرکب‌شیمیایی لازم می‌شود، همیشه باید برنسبت اوزان اتومهای متناظر با آنها بوده باشد، و چون تجربه هم این نظر را تأیید می‌کند، خود دلیل است بر آنکه این طرز تفکر وتصور صحت دارد. نظریهٔ اتومی را نخستین‌بار یك‌دانشمندشیمی انگلیسی به‌نام **جان‌دالتون**[1] در آغاز قرن گذشته وضع کرده است.

استدلال دالتون‌ازاین‌قراربود:«فرض‌کنیم‌که حق‌با**دموکریتوس** بوده است وحقیقتاً همهٔ اجسام‌بسیط از اتومهای بینهایت کوچك‌ساخته شده باشند. اگر کسی بخواهد این اتومها را برای ساختن مرکبات شیمیایی به کار برد ، بایستی از هر نوع اتوم یك یا دو یاسه یا بیشتر بردارد، ومثلا هرگز نمی‌تواند باسه‌اتوم وربع‌اتوم کارکند، درست مثل آنکه باسه‌نفر وربع‌نفر نمی‌توان یك‌نمایش ورزشی را انجام داد.» پس ازآنکه وی به‌سال ۱۸۰۸ در شهر منچستر کتاب معروف خود به‌نام «**سازمان جدید فلسفهٔ شیمیایی**»[2] را انتشارداد، وجوداتوم ومولکول به‌عنوان شالودهٔ استوار وتزلزل ناپذیرعلم ماده موردقبول قرارگرفت. ازتحقیق کمی در فعل و انفعالات شیمیایی که میان عناصر مختلف صورتپذیر می‌شود، توانستندکه **وزن اتومی نسبی** آن عناصررا بامقایسهٔ به‌یکدیگر حساب کنند، ولی تعیین وزن مطلق و بزرگی اتوم چیزی بود که علم شیمی به‌آن دسترس نداشت. برای آنکه درنظریهٔ اتومی ترقیات بیشتری پیش‌آید، لازم بودکه علم فیزیك ترقی‌کند واکتشافات تازه درآن صورت‌گیرد.

---

1. John Dalton
2. *New System of Chemical Philosophy*

نظریهٔ حرکتی حرارت[1]

آیا از راه نظریهٔ مولکولی ساختمان ماده می‌توان اختلافی‌را که میان سه‌حالت جامد ومایع وبخار هرماده موجوداست توجیه وتفسیر کرد؛ می‌دانیم که‌هرماده درطبیعت می‌تواند به‌هریك ازاین‌اشکال سه‌گانه درآید. حتی‌آهن درچندهزار درجه به‌صورت بخار درمی‌آید، و چون درجهٔ حرارت به‌اندازهٔ کافی تنزل‌کند هوا شکل تختهٔ جامدی را پیدا می‌کند. اختلاف میان سه حالت‌جسم‌نتیجهٔ اختلاف درجهٔ‌حرارت‌است. چون‌جسم‌جامدی‌راگرم‌کنیم‌به‌حالت مایع مبدل می‌شود، واگر بیش ازان گرم شوم مایع به‌حالت گازی در می‌آید. ببینیم خود حرارت چیست؟

درمراحل نخستین پیدایش علم فیزیك چنان می‌اندیشیدند که گرما مادهٔ سیال‌منحصر به‌فرد بیوزنی‌است‌که ازجسم گرم به‌اجسام‌سردتر می‌رود وآنها را گرم می‌کند، واین‌خود بازماندهٔ آن‌فکر کهن یونانی بودکه‌آتش رابه‌عنوان عنصری می‌شناختند. ولی‌می‌دانیم‌که چون‌دستهای خود را به‌یکدیگر مالش دهیم گرم می‌شوند، وچون قطعه آهنی را با چکش بکوبیم آن نیز درجهٔ حرارتش بالا می‌رود. این‌خود مایهٔ‌تعجب بود که‌چگونه مالش‌یاکوبیدن ممکن‌است سبب‌تولیدآن «سیال‌حرارتی» فرضی شود.

بانظریهٔ مولکولی‌تفسیربهتری برای حرارت به‌دست‌آمد. بنابر این نظریه‌جسم‌گرم محتوی هیچ‌سیال‌اضافی نیست، بلکه تنها تفاوت‌آن باجسم سرد وابسته به حالت حرکت ذرات‌آن است. **مولکولهای هر جسم‌مادی در درجهٔ حرارت متعارفی‌حالت حرکت دایمی‌دارد و هرچه این حرکت تندترشود آن جسم گرمتر به‌نظر می‌رسد.** چون جسم‌گرمی را درمجاورت‌جسم‌سردی‌قرار دهیم، مولکولهای جسم گرم‌که حرکت‌تندتری دارند، درسرحد مشترك،بامولکولهای جسم‌سردکه‌کندتر حرکت می‌کنند تصادم پیدا می‌کنند، ومقداری از انرژی حرکتی‌خود رابه‌آنها می‌دهند. به‌این‌ترتیب‌حرکت مولکولهای‌اولی رفته رفته‌کندتر وحرکت مولکولهای دومی رفته رفته تندتر می‌شود ، تابه‌جایی می‌رسد

---

1. the Kinetic theory of heat

که درهردوجسم انرژیهای حرکتی مولکولها بایکدیگر برابری پیدا می‌کنند؛ در این هنگام است که مـی‌گوییم هردوجسم درجهٔ حـرارت واحدی دارند و«جریان حرارت» ازیکی به‌دیگری منقطع می‌شود.

بااین طرز تصور نسبت به‌گرما ودرجهٔ‌حرارت‌چنین‌نتیجه‌می‌شود که بایستی **یك درجهٔ حرارت پست یاصفرمطلق** وجود داشته باشد، و درآن درجهٔ حرارت تمام مولکولهای اجسام‌مادی کاملا ازحرکت‌بیفتد وساکن شود. درچنین‌درجهٔ حرارتی‌ذرات خرد سازندهٔ هرماده درنتیجهٔ قوهٔ جاذبهٔ میان آن‌ذرات به‌یکدیگر می‌چسبد وجسم به‌حـالت صلب و جامد درمی‌آید.

به‌تدریج که درجهٔ حرارت بالاتر رود، رفته رفته مولکولهابه حرکت در می‌آیند وزود یادیر مرحله‌ای می‌رسد که دیگر قوهٔ جاذبه میان ذرات نمی‌تواند آنهارا متصل به‌یکدیگر نگاه‌دارد ونگذارد که‌از جای خود بجنبند، ولی هنوز قوهٔ جاذبه می‌تواند نگذارد که‌مولکولها فرار کنند وپراکنده شوند. جسم دیگر به‌حال جامد نیست ولی حجم محدود خودرا حفظ می‌کند، ودراین هنگام‌است که‌می‌گوییم حالت‌مایع پیدا کرده است. چون درجـهٔ حرارت بیشتر ترقی کند، مولکولهـا چنان به‌سرعت حرکت خواهند کرد که‌ازیکدیگر دور می‌شوند وبه‌همهٔ جهات می‌پرند، وبه‌این ترتیب است که‌مایع به‌گاز مبدل می‌شود، وگاز دایماً خواستارآن‌است که‌جای بیشتری را بگیرد. علت اینکه بعضی از اجسام زودتر ذوب یاتبخیر می‌شوند، آن‌است که‌نیروی جاذبه والتصاق میان مولکولهای آنها بااجسام دیگر تفاوت دارد.

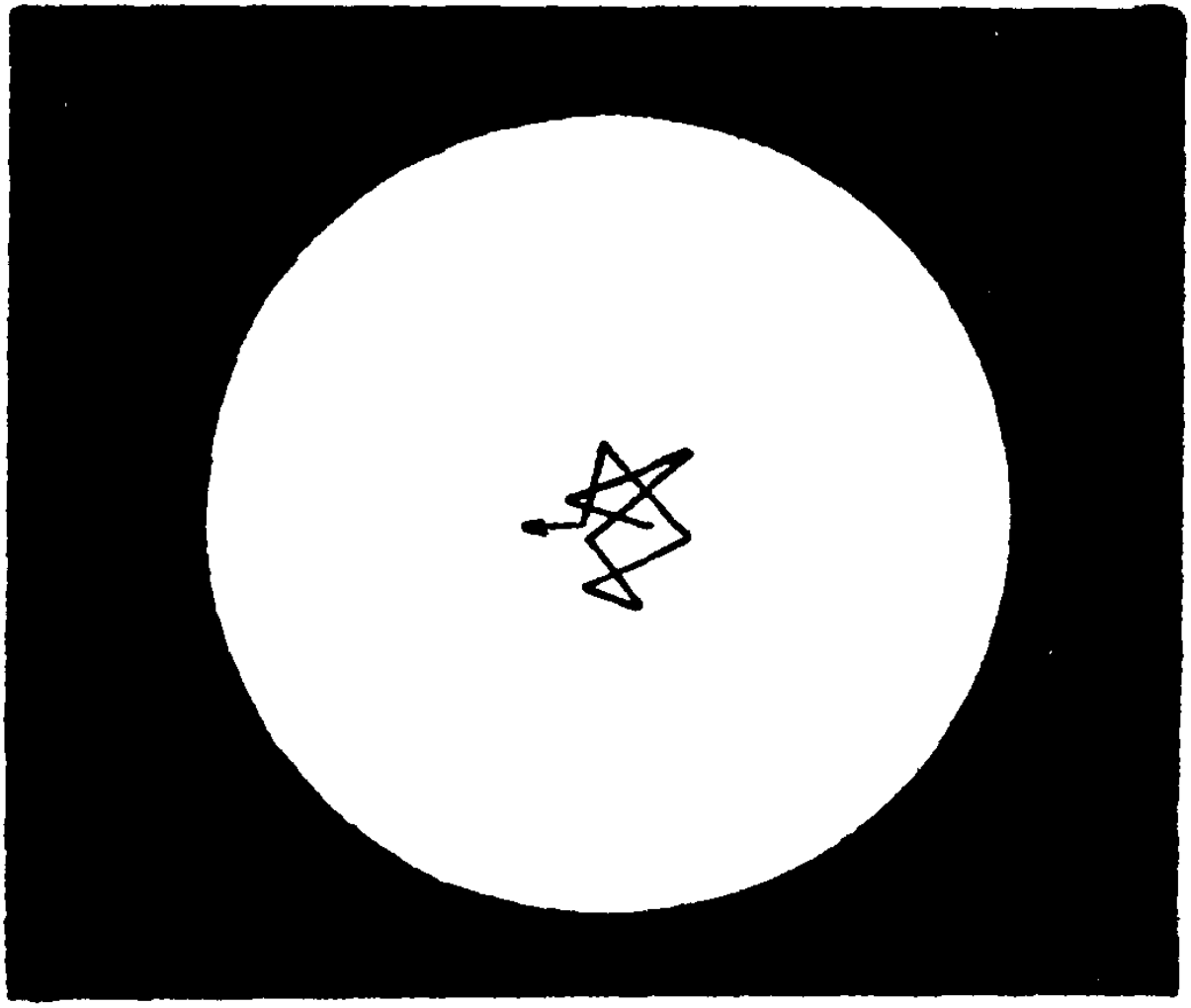
انرژی حرکت مولکولی

آیا برای‌آنچه گفتیم‌هیچ دلیل تجربتی‌وجود دارد؛ وآیاراهی هست تاکسی بتواند حرکت حرارتی مولکولهارا به‌چشم‌ببیند؛ نخستین گام درآغاز قرن نوزدهم دراین‌راه برداشته شد، وکسی که‌عامل آن‌بود هیچ نمی‌دانست که‌اکتشاف او چه‌اهمیت فراوانی دارد.

رابرت براون [1] سرپرست مجموعه‌های گیاهی موزهٔ لندن کـه

1. Robert Brown

پشت میکروسکوپ‌خودخم شده ومشغول نگاه‌کردن‌بود، باکمال تعجب دریافت‌که هاگهای گیاهی معلق درقطرهٔ کوچك‌آب زیر میکروسکوپ حالت شگفت‌انگیزی پیدا کرده‌اند. چنان به‌نظروی رسید که‌این‌هاگها جاندار شده‌اند وحرکت دایمی ولی غیر منظمی دارند؛ به این طرف و آن‌طرف می‌جهیدند ومسیرشکسته‌ای‌را می‌پیمودند، ولی‌هرگزازاطراف وضع نخستین خود زیاد دور نمی‌شدند (شکل ۳). چنـان می‌نمود که



شکل ۳
مسیر حرکت براونی همان‌گونه که‌درزیر میکروسکوپ دیده‌می‌شود.

تمام داخل قطرهٔ آب مانند چیزهایی که‌در داخل یك قطار سریع‌السیر باشد حالت لرزش خاصی پیدا کرده است، ولی میکروسکوپ برروی میز آن‌گیاه شناس پیر محکم برجـای خود بود و هیچ تکانی نداشت!

این خاصیت حرکت دایمی درمورد هرذرهٔ خردی که درمایعی به حال تعلیق‌باشد، وهمچنین دربارهٔ ذرات خردفلزکه درآب‌معلق‌باشد (فلزاتی که‌به‌حالت تعلیق سریشمین باشند)، وهمچنین در ذرات غبار بسیارخرد موجود درهوا قابل مشاهده است.

براون درسال **۱۸۲۸** خبر اکتشاف خود را منتشر ساخت، ولی نمی‌توانست برای آن علت صحیحی پیدا کند. تقریباً نیم قرن پس ازان ثابت شد که‌سبب حرکت براونی آن‌است که‌ذرات خرد معلق مدام درتحت تأثیر بمباران نامنظم مولکولهایی که دراثر حرارت حرکت پیدا کرده‌اند قرار می‌گیرند. «ذرات خرد براونی» از لحاظ اندازه درست درنیمه‌راه میان مولکولهای خرد نامرئی‌واجسام متعارفی که‌درزندگی روزانه آنهارا باچشم خود می‌بینیم‌قرار دارند؛ ازیك‌طرف کوچکی آنها به‌اندازه‌ای است که می‌توانند در تحت تأثیر تصادم با مولکولها به‌حرکت درآیند، واز طرف دیگر آن اندازه بزرگی دارند که‌ممکن است بامیکروسکوپ به‌خوبی رؤیت‌شوند. بامطالعه درحرکت این ذرات خرد می‌توانیم انرژی حرکت حرارتی مولکولهای محیط برآنهارا مستقیماً حساب کنیم. قوانین اساسی مکانیك به‌ما می‌گوید که درمخلوطی ازتعداد بیشمار ذرات متحرك‌که‌بدون نظم حرکت می‌کنند، همهٔ آنها بایستی به‌طور متوسط انرژی حرکتی واحدی داشته باشند؛ بایستی که ذرات خردتر تندتر و ذرات درشتتر کندتر حرکت کنند تاآنکه حاصلضرب جرم فردی در سرعت فردی آنها همیشه یکسان بماند (وهمین‌حاصلضرب است‌که به‌نام انرژی حرکتی[1] نامیده‌می‌شود).

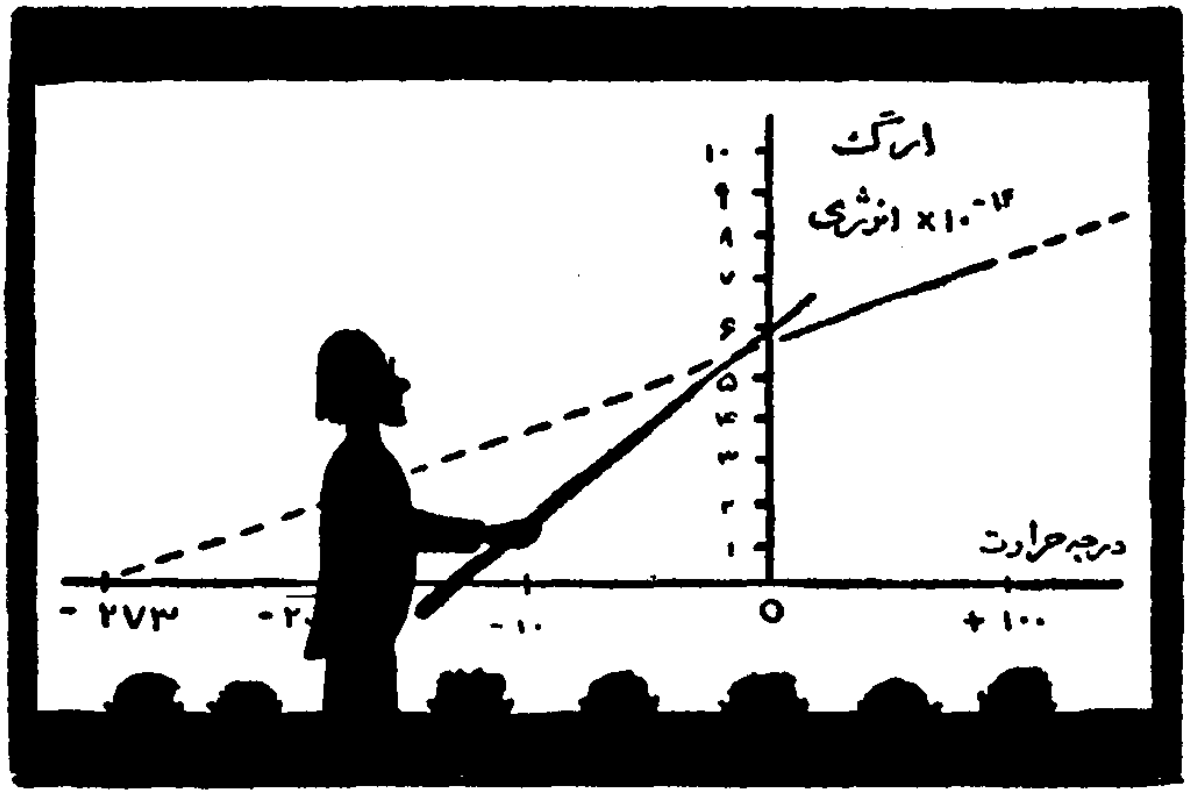
اگر این **قانون تقسیم به‌تساوی انرژی**[2] در ابتدای‌کار اجرا نشده باشد، تصادم میان ذرات از سرعت ذرات تند می‌کاهد و برسرعت ذرات کند می‌افزاید تا در پایان انرژی‌کلی میان همهٔ آنها به‌تساوی قسمت شود. ذرات براونی اگر چه درنظر ما بسیار خرد است، ولی‌در مقایسهٔ باملکولها بسیار کوهپیکر جلوه می‌کند، وبه‌همین جهت است

---

1. Kinetic energy
2. equipartition law of energy

که‌حرکت آنها ازحرکت مولکولها بسیار کندتر خواهد بود. بامشاهدهٔ سرعت این ذرات وساختن وسیلهٔ بسیار دقیقی برای اندازه‌گیری جرم آنها، عـالم فیزیك‌فرانسوی **ژان‌پرن**[1] ثابت کـرده است که در درجهٔ حرارت اتاق (۲۰ درجهٔ صدبخشی) انـرژی حـرکتی میـانگین آنهـا ۰ر۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰،۰۶۳ (یا$۶ر۳ \times ۱۰^{-۱۴}$) ارگ است، وبنابرقانون تقسیم به‌تساوی انرژی، انرژی حرکتی مولکولهای‌هرجسم دراین درجهٔ حرارت نیز به‌همین اندازه است.

تحقیق درحرکت براونی به‌مااین اجازه‌رامی‌دهد که‌میان‌ازدیاد حرکت مولکولی وبالارفتن درجهٔ حرارت ارتباطی را برقرار سازیم. اگرمایعی را که ذرات براونی دران است گرم کنیم، حرکت آن ذرات رفته‌رفته جاندارتر وتندتر می‌شود، واین خودعلامت آن‌است که‌انرژی حرکتی‌مولکولهای‌جدا ازیکدیگر افزایش‌پیداکرده‌است. درشکل(۴)



شکل ۴

انرژی حرارتی مولکولها باتنزل درجه حرارت کاهش پیدا می‌کند ودر درجهٔ ۲۷۳- صدبخشی صفر می‌شود .

1. Jean Perrin

ارتباط میان انـرژی اندازه گرفته شدهٔ ذرات براونی را (که همان انرژی تك‌تك مولکولها است) بادرجهٔ حرارت مایع نشان داده‌ایم. در مورد آب واضح‌است که‌این اندازه‌گیری تنها میان دونقطهٔ یخ بستن و جوشیدن آن امکانپذیراست (واین همان قسمت است که‌درشکل باخط پرمیان ۰° و ۱۰۰° نمایش داده شده)؛ ولی‌چون همهٔ نقاطی که‌درمیان این دوحد واقع است برروی خط مستقیمی قرار گرفته، می‌توانیم این خطرا برای‌درجات حرارت‌کمتر وزیادتر نیز **ادامه دهیم** وقسمت‌نقطه چین شکل (۴) را باآن بسازیم.

این خط چون ازطرف درجات کوچك امتدادپیدا کند، محور افقی‌رادرنقطهٔ ۲۷۳° ـ قطع می‌کند.دراین‌نقطه‌انرژی حرکتی‌مولکولها مطلقاً صفر می‌شود وازمیان می‌رود، وبه همین جهت بحث در درجات حرارتی پایینتر از این نـامعقول وبیمعنی خواهد بود. درجهٔ ۲۷۳ـ پایینترین درجهٔ حرارت ممکن را که همان **صفر مطلق** است معرفی می‌کند، وهمین نقطه‌است که‌مبنای **مقیاس‌حرارتی‌مطلق یاکلوایینی**[1] است.

اندازه‌گیری سرعت مولکولی

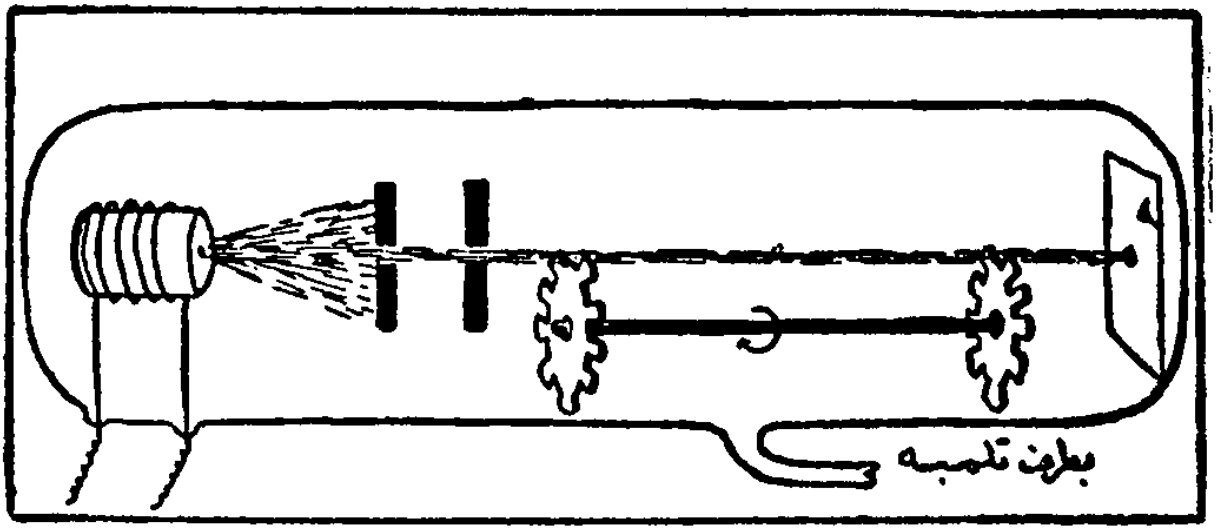
ازانجا که تحقیق‌درحرکت براونی به‌مااین توانایی‌را می‌دهدکه انرژی حرکتی‌مولکولهارا درحرکت‌حرارتی اندازه‌بگیریم، تنها محتاج قاعده‌ای هستیم که‌به‌وسیلهٔ آن سرعت مولکولهارا حساب‌کنیم، وازاین دواندازه‌گیری بـه‌آسانی خواهیم توانست جرم مولکول را نیز به‌دست آوریم (چون می‌دانیم که‌انرژی حرکتی = ۱ر۲ جرم × مربع سرعت است). یك‌دانشمند فیزیك آلمانی به‌نام **اوتوشترن**[2] راهی بسیار عالی برای اندازه‌گیری سرعت‌مولکولها به‌دست آورده‌است. شترن‌می‌دانست که‌چون درگازها ومایعات مولکولها دایماً به‌یکدیگر تصادم می‌کنند،و سرعت آنها پیوسته وبه‌صورت نامنظمی تغییر جهت می‌دهد، امیدی به

---

1. Kelvin's temperature scale
2. Otto Stern

آن‌نیست که‌ازاین راه بتوانند سرعت مولکولهارا به‌دست آورند. مثلاً درهوا هنگامی که‌فشار و حرارت معمولی را داشته باشد، عدهٔ تصادم مولکولها درهرثانیه چندین بلیون‌است وراه بدون مانعی که‌هرمولکول میان دو برخورد متوالی می‌پیماید به طور متوسط ۰٫۰۰۰،۰۱ سانتیمتر است.

شترن درصدد آن برآمد که‌عدهٔ معدودی ازمولکولهای گازی را دراختیار بگیرد وبرای آنها مسیری قابل اندازه‌گیری وبدون مانع بسازد، وپس‌از چندماه اسبابی‌رابرای این‌منظور ساخت که‌درشکل(۵) صورت آن‌را نمایش داده‌ایم. تمام‌قسمتهای ماشین‌وی درون لولهٔطویل استوانه‌ای جای‌دارد که هوای‌آن‌رابه‌کلی‌خالی کرده‌اند. دریك‌کناراین استوانه(طرف‌چپ)زندان مولکولهاجای‌دارد وآن‌عبارت ازاطاق‌بسته‌ای است که‌درآن مادهٔمورد امتحان قرار می‌گیرد (ازراه دریچه‌ای که‌پشت اطاق است). ازمفتولی که‌دوراین‌اطاق پیچیده شده هروقت بخواهند جریان‌برق‌را عبور می‌دهندتاچون حرارت زیاد شودمادهٔ محتوی درآن



شکل ۵

شکل‌دستگاه شترن که‌برای‌اندازه‌گرفتن سرعت‌مولکولهابه‌کار می‌رود.

به‌حالت‌بخار درآید. چون ذرات این‌بخار درنتیجهٔ حرکتی که به‌واسطه گرما پیدامی‌کنند به‌همه طرف می‌روند، قسمتی‌ازانها ازسوراخ‌کوچکی که‌دردیوارهٔ این‌اطاق‌است به‌خارج پاشیده می‌شود. دربرابر آن سوراخ دو صفحهٔ سوراخدار است که چون ترشحات مولکولی به آنها می‌رسد

تنها آن‌مولکولها که‌درامتداد محور اطاق درحرکت بودند می‌توانند از سوراخ دوم خارج شوند. **به‌این‌ترتیب یك‌دسته مولکول به‌دست‌می‌آید که‌همه دریك امتداد باسرعت اصلی خود حرکت می‌کنند.**

ولی اساس‌کار این‌دستگاه آن‌است که‌بتوانندسرعت مولکولهایی را که‌در این‌دسته به‌موازات یکدیگرحرکت می‌کنند، اندازه بگیرند. برای این منظور **شترن** ازطریقه‌ای استفاده کرد که دربعضی ازشهرها برای تنظیم روشنی سرچهارراه‌هایی که‌دریك خیابان طولانی قراردارد به‌کار می‌رود، وچنان است که‌چون اتوموبیلی باسرعت معین ازیکی از چهارراه‌ها گذشت دیگر به‌سر هرچهار راه که می‌رسد راه برای اوباز خواهد بود. راه کاردستگاه شترن به ترتیب ذیل است.

درسرراه دسته مولکولها دوچرخ دندانه‌دار به‌دوطرف‌یك‌محور متصل است، وطرز اتصال آنها چنان است که برآمدگیهای یك چرخ مقابل فرورفتگیهای چرخ دیگرواقع می‌شود، وبه‌این‌ترتیب اگرمحور چرخها دوران نکند هیچ دانهٔ مولکولی نمی‌تواند از آنها عبور کند. ولی اگر سرعت دوران محورآن اندازه باشد که مدتی که‌برای حرکت یك‌دندانه به‌اندازهٔ نصف پهنای آن لازم می‌شود درست مساوی مدتی باشد که‌مولکولها فاصلهٔ میان دوچرخ را طی می‌کنند، درآن صورت تمام‌مولکولهایی که‌دارای این‌سرعت معین هستند از میان هردوچرخ عبور می‌کنند ودرطرف راست استوانه برروی صفحه‌ای اثر آنها ثبت می‌شود. به‌این ترتیب **شترن** بامحاسبهٔ سرعت دوران چرخها که برای عبور مولکولها لازم‌است، توانست سرعت ذرات دستهٔ‌معین ازمولکولها را اندازه بگیرد. سرعت اتومهای سودیوم در درجهٔ حرارت ۱ر۵۰۰ شترن مساوی ۱۰۰،۰۰۰ سانتیمتر درثانیه (یا۳،۶۰۰ کیلو متردر ساعت) به‌دست آورد که‌چون ازان‌رو سرعت اتومهای ئیدروژن را در درجهٔ حرارت متعارفی اطاق حساب‌کنیم سرعت $۲ر۸ \times ۱۰^{۵}$ سانتیمتر درثانیه به‌دست‌خواهدآمد.

چون اکنون با درنظرگرفتن تجربهٔ **پرن** (صفحهٔ ۳۹) به‌خاطر آوریم که انرژی‌حرکتی‌حاصل ازحرارت برای تمام ذرات دراین‌درجه حرارت $۶ر۳ \times ۱۰^{-۱۴}$ ارگ است به‌آسانی می‌توان [از این راه که

انرژی حرکتی = ۲ر۱ جرم × مجذور سرعت] دریافت‌که: **جرم اتوم ئیدروژن برابر است با $۱ر۶ \times ۱۰^{-۲۴}$ گرم**. جرم اتومها و مولکول‌های دیگررا نیزمی‌توان ازروی‌وزن اتومی ووزن‌مولکولی‌نسبی آنهاکه‌از راههای شیمیایی به‌دست‌می‌آید اندازه گرفت. مثلامولکول‌آب ۱۸ مرتبه سنگینتر ازاتوم ئیدروژن است، وچون وزن یك سانتیمتر مکعب آب یك گرم است معلوم می‌شود کـه دراین یك سانتیمتر آب ۳×۱۰^{۲۲} مولکول‌آب وجود دارد وبنابراین قطر یك مولکول آب برابر با ۳×۱۰^{-۸} سانتیمتر خواهد بود.[۱] برای آنکه از ناچیزی وزن وحجم اتوم ومولکول که دربالا به‌آن اشاره شد بهتر آگاه شویم، باید به‌خاطربسپاریم که عدد مولکولهایی‌که درقطرهٔ کوچك آب‌موجود است تقریباً مساوی است بانصف عدهٔ قطره‌های آبی که مثلا در دریای خزر وجود دارد.

آمار و روش توزیع ماکسول[۲]

پیش‌ازاین اشاره کردیم که درهرمجموعه‌ای‌که از شمارهٔ زیـاد ذرات متحرك بینظم تشکیل شده باشد، تصادمات متقابلی‌که بین ایـن ذرات‌رخ می‌دهد، به‌زودی حالتی‌را ایجاد می‌کندکه دران حالت مجموع کلی انرژی دستگاه به‌طور متوسط درمیان تمام ذرات به‌صورت متساوی تقسیم شده است. ازعبارت « به‌طورمتوسط » مقصود ماآن‌است‌که نشان دهیم که این قضیه **تنها ازلحاظ آماری صحت دارد**، چه همان‌گونه که می‌دانیم درنتیجهٔ عدم انتظام برخوردها هر مولکول درلحظهٔ معین ممکن‌است سرعت بی‌اندازه زیاد داشته باشد، یا برعکس تقریباً بدون حرکت شود. بنابراین‌انرژی حرکتی هرذرهٔ معین پیوسته‌وبدون‌ترتیب ونظم درحال افزایش یاکاهش‌است، ولی مقدارمتوسط برای تمام ذراتی

---

۱. اندازهٔ حجمی که برای مولکول حساب شده ارزش تقریبی و متوسط دارد چـه، مطابق آخرین نظریـهٔ جاری در بـارهٔ ساختمان اتوم، حدودصحیح‌مولکول اساساً نامعین است (شکل ۱۴ دیده شود).

۲. Maxwell

که در آن مجموعه موجود است یکی خواهد بود. اگـر درلحظهٔ معین بتوانیم یك‌مرتبه سرعت همهٔ مولکولهای‌گازی را که درظرفی موجود است‌اندازه بگیریم، درخواهیم یافت‌که اگرچه انرژی اغلب ذرات‌بسیار نزدیك به‌اندازهٔ انرژی میانگین و متوسط است، ولـی همیشه در چند درصدی ازان ذرات سرعتی‌بسیار زیادتر یا بسیارکمتر ازاندازهٔ متوسط دارنـد .

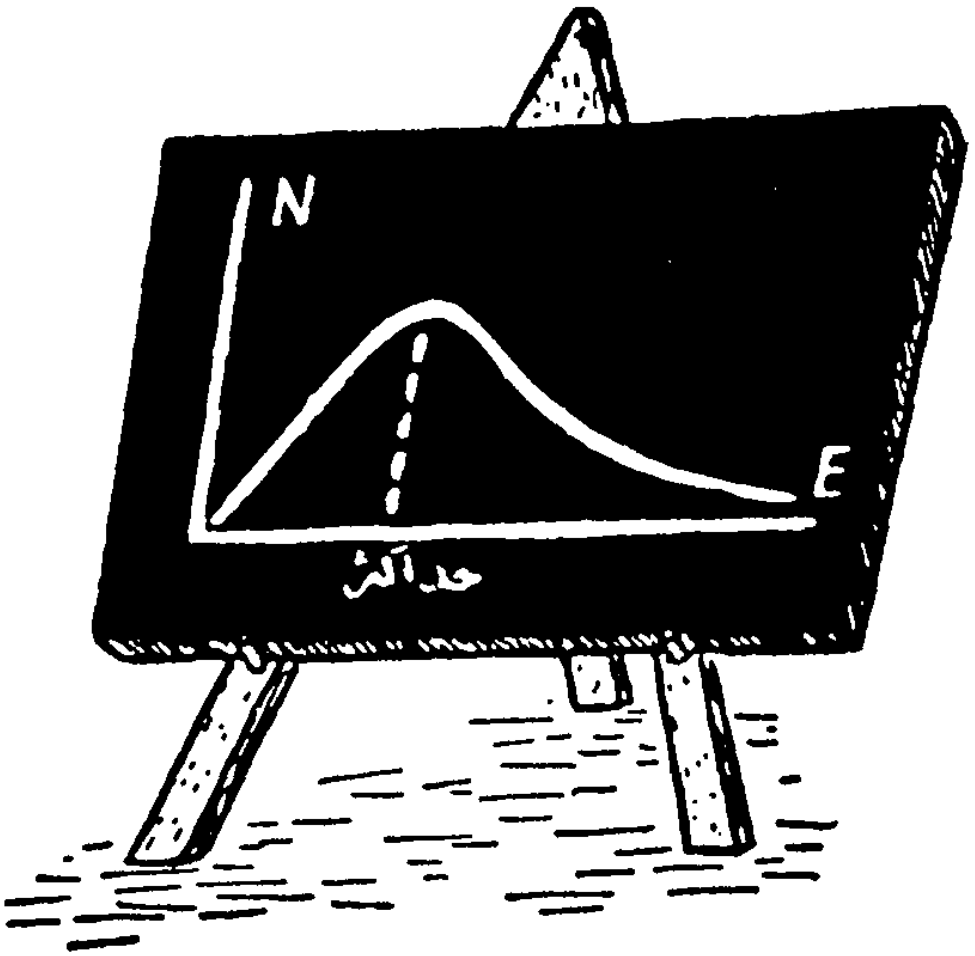
مثلا از روی دستگاه **شترن** معلوم شده است‌که همیشه دردستهٔ مولکولها بعضی ذرات تندتر یاکندتر ازحد وسط حرکت می‌کنند. این مطلب از راه تجربهٔ باآن دستگاه به‌این شکل اثبات شده‌است که‌چون سرعت حرکت چرخهـای دندانـه‌دار را تغییر دهند، بلافاصـله دستهٔ مولکولهایی‌که ازمیان آنها می‌گذرد ازبین نمی‌رود، بلکه کم شدن‌شدت آن تا هنگام رسیدن به‌صفر به‌شکل تدریجی صورت می‌گیرد. از ایـن نمودها راهی به‌دست می‌آید کـه ازان راه می‌تـوانیم معلوم کنیم چند مولکول با انرژیهای متفاوت در هردسته وجود دارد. این طرز توزیع انرژی را دانشمند انگلیسی، **کلرك ماکسول**، ازروی ملاحظاتی‌که‌تنها جنبهٔ آماری دارد با فورمول ساده‌ای نمایش داده است‌که به‌نام **قانون توزیع ماکسول** نامیده می‌شود.

این‌طرز توزیع که نمودار آن درشکل (۶) دیده می‌شود کاملا کلیت دارد و به هـر مجموعهٔ بزرگ ذرات قـابل تطبیق است، خـواه مولکولهای گاز محتوی در یـك ظرف باشد یا مجموعهٔ ستارگانی کـه کهکشان را تشکیل می‌دهـد. پس از ایـن خواهیم دید کـه این توزیع مولکولی سرعتها درمسائلی که به‌آزادکردن انرژی زیر اتومی اجسام دردرجات حرارت‌بسیار زیاد مربوط می‌شود، نقش مهمی بازی می‌کند.

آیا اتومها واقعاً ذرات عنصری هستند؟

از زمانی که نظریهٔ اتـومی طرحریزی شد و عنـوان اساس و شالودهٔ علم ماده‌را پیداکرد، اتومهارا عامل تمام‌خواص‌گوناگون عناصر مختلف می‌دانند. چرا چنین‌است که ئیدروژن می‌تواند با اکسیژن یـا کربون متحد شود، ولی‌هرگز باسودیوم یامس ترکیبی نمی‌دهد؟ جواب

آن است که خواص اتومهای این اجسام مقتضی این نتیجه است. چرا چون ملح سودیومی درشعلهٔ چراغ گذاشته شود رنگ درخشان زردی به‌آن می‌دهد، درصورتی‌که املاح مس‌درشعله سبب پیدایش روشنی‌سبز رنگی می‌شود؛ به آن جهت که اختلاف خواص نوری اتومهای سودیوم ومس چنین‌است. چرا آهن سخت ومحکم است وقلع نرم است وجیوه درحرارت متعارفی حالت مایع دارد؛ به‌آن جهت‌که درنیروی التصاق اتومهای این مواد چنین اختلافی موجود است.



شکل ۶

منحنی ماکسول که شمارهٔ نسبی مولکولهارا در درجهٔ حرارت معین با انرژیهای‌مختلف نشان می‌دهد. N درمحورقائم نمایندهٔ شمارهٔ مولکولها است و E در محور افقی انرژی را نشان می‌دهد.

ولی آیا می‌توان توضیح داد که چرا اتومهای گوناگون خواص مختلف دارند؛ آری به‌آن‌شرط که اندیشهٔ بخشناپذیر بودن قدیمی اتوم

را ازسر به‌در کنیم وبه‌جای‌آن قبول کنیم که اتوم ساختمان پیچیده‌ای دارد و از ذرات خرد ترکیب شده. به‌این ترتیب شایستگی آن‌را پیدا می‌کنیم که اختلاف خواص اتومهای عناصر مختلف‌را نتیجهٔ اختلاف‌در ساختمان داخلی آنها بدانیم. ولی اگر واقعاً اتومها دستگاه مرکب و پیچیده‌ای هستند، پس‌آن اجزائی که اتوم ازانها ساخته شده چیست ؟ آیا می‌توان اتوم را « کالبدشکافی »کرد واجزای مختلف آن‌را بیرون آورد و هریك را جداگانه مورد مطالعه قرار داد؟ برای جواب گفتن به‌این پرسشها بایستی نخست توجه خودرا به نمودهای الکتریکی و بالخاصه ذرات برقی موسوم به‌الکترون معطوف داریم.

آب طلادادن قدیمی عربی

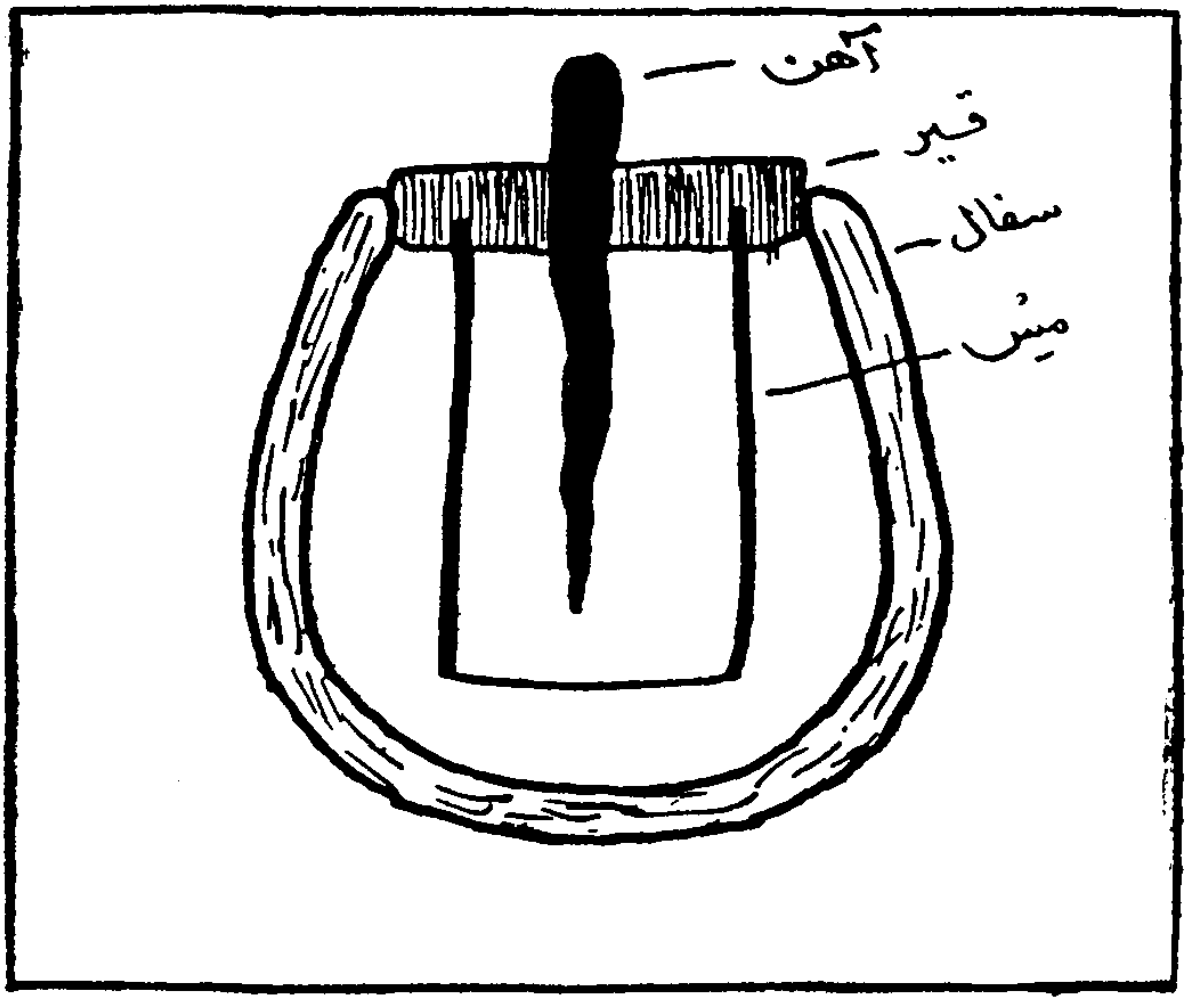
نخستین مورد استعمال برق وجریان برق از زمانی است که مدتها ازان می‌گذرد. درضمن حفاریهایی‌که به‌تازگی در نزدیکی بغداد صورت‌گرفته، درمیان آثاری‌که ظاهراً مربوط به‌قرن اول پیش ازمیلاد است ظرف عجیبی پیدا کرده‌اند. این یك ظرف گلی است که دهانهٔ آن‌را قطعهٔ ضخیمی قیر پوشانده، و در میان این قیر استوانه ای مسین است که میله‌ای آهنی در وسط آن جای دارد . نوك این میلهٔ آهنی خورده شده وچنان می‌نماید که این‌خوردگی درتحت تأثیر اسیدی‌بوده است (شکل۷).

به‌نظر می‌رسدکه این‌ظرف برای تولید یك جریان برق ضعیف به‌کار می‌رفته‌است. به‌احتمال قوی این ظرف را زرگران عرب مدتها پیش از سلطنت افسانه‌ای هارون‌الرشید برای آب طلا دادن به‌کالاها و ساخته‌های خود به‌کار می‌برده‌اند. درپستوی دکانهای زرگری بازارهای رنگین شرق ، دو هزار سال پیش‌ازانکه نمود الکترولیز[1] به وسیلهٔ **گالوانی**[2] ایتالیایی کشف شود وانسانیت ازان اطلاع پیدا کند،جریان برق‌برای‌آب طلادادن‌به‌دستبندها وگوشواره‌هامورد استعمال‌داشته‌است.

---

1 . electrolysis

2 . Dottore Galvani



شکل ۷
یك باتری برقی عربی قدیمی.

بار برقی اتومها

همان‌راهی‌که به‌وسیلهٔ زرگران باستانی‌خاور زمین برای انتقال مواد به‌کار می‌رفته و به‌آن وسیله سطح فلزات را باقشری از زر و سیم می‌پوشاندند، برای‌به‌دست‌آوردن خواص ماده وبرق‌توسط دانشمندشهیر انگلیسی **فاراده**[1] نیز مورد استفاده قرارگرفت. فاراده درضمن‌تجسس برای یافتن ارتباط میان مقدار فلزی‌که درتجزیهٔ برقی رسوب می‌کند بامقدار برقی‌که به‌کار افتاده است، به‌این‌نتیجه رسید که مقدار رسوب

1. M. Faraday

عناصر گوناگون با وزنی که‌ازانها در تـرکیبات شیمیایی وارد می‌شود تناسب دارد. این مطلب ازلحاظ نظریهٔ اتومی و مولکولی چنین معنی می‌دهد کـه **بار برقی که به‌وسیلهٔ اتومهای مختلف حمل می‌شود، همیشه مضرب ساده‌ای ازمقدار معین برق می‌باشد .** مثلا یك یون (یعنی اتومی که بار برقی دارد) ئیدروژن تنها یك بار برقی مثبت‌را حمـل می‌کند ، در صورتی کـه یون اکسیژن بـار منفی مضاعف ویون مس بار مثبت مضاعف حمل می‌کند .

به‌این ترتیب معلوم می‌شودکه به‌موازات اتومی بودن ماده یك **اتومی بودن‌بار برقی** نیز وجود دارد. ممکن‌است قدرمطلق این‌بار عنصری را به سادگی از راه تقسیم کردن مقدار کل بـرق که‌در ظرف تجزیهٔ برقی‌گذشته برعدهٔ اتومهای ئیدروژنی‌که درالکترود منفی‌جمع شده است به‌دست‌آورد. چون این مقدار بار برقی عنصری‌را با آحـاد متعارفی‌اندازه بگیرند،عدد بسیارکوچکی به‌دست می‌آید. مثلاجریانی که‌برای‌به‌کار انداختن یك‌لامپ برق معمولی به‌کار می‌رود بلیونهابلیون ازچنین بار برقی را درهر ثانیه حمل می‌کند.

اتومی بودن بار برقی دراجسام کوچك

پیش از این دیدیـم که اتـومی بودن ماده و حـرکت حرارتی مولکولهارا می‌توان به‌وسیلهٔ تأثیر همین حرکت در ذرات خرد براونی با چشم مشاهده کرد. نیز می‌شود با مطالعهٔ ذرات بینهایت کوچك که ممکن است از نیروهای خفیف برقی متأثر شوند، ناپیوسته بودن بار برقی‌را ملاحظه‌کرد، منتهی باید این ذرات به‌اندازهٔ کافی بزرگی داشته باشند که دیدن آنها با میکروسکوپ امکانپذیر باشد.

در یك روز مه‌آلود پاییز سال ۱۹۱۱ **رابرت ا. میلیکان**[1] استاد دانشگاه شیکاگو با دقت درمیکروسکوپی نگاه می‌کرد که به‌یك مجموعهٔ بیچیده از استوانه‌ها ولوله‌ها وسیمها ارتباط داشت. در میدان روشن میکروسکوپ قطرهٔ کوچکی در وسط هـوا نزدیك محل تقاطع

---

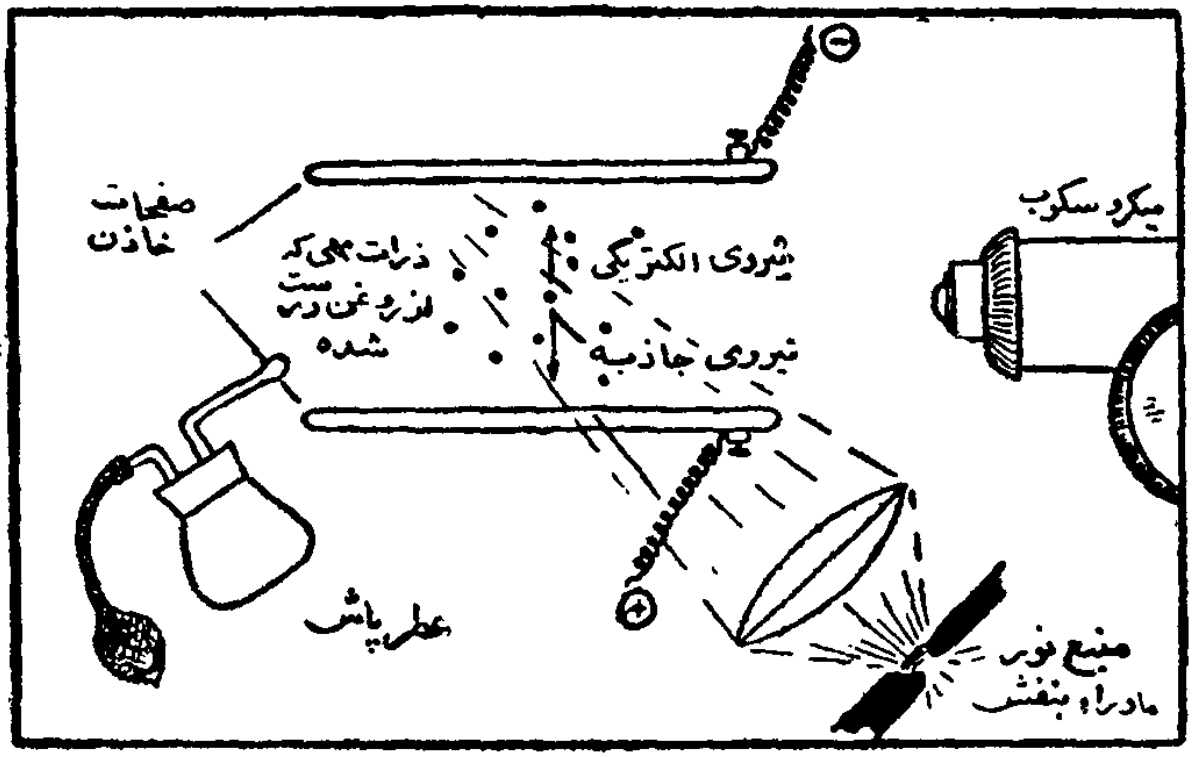
1. Robert A. Millikan

تارهای عنکبوتی که نمایندهٔ مرکز میدان دید بود شناوری می‌کـرد؛ این قطرهٔ کوچك یکی از هزاران قطرهٔ مشابهی بود که در زیر میکروسکوپ قرار داشت وهمهٔ آنهارا عطرپاشی تولید می‌کرد ومجموع آنها باچشم بدون میکروسکوپ همچون ابـری ازمه به‌نظر می‌رسید. ناگهـان آن قطرهٔ کوچك مورد نظر که برای لحظه‌ای بیحرکت جلوه کـرده بود به‌طرف بالا حرکت‌کرد ، ولی پیش‌ازانکه بتواند کاملا از میدان دیـد بیرون رود، دکتر **میلیکان** به‌سرعت دستهٔ رئوستات را جابه‌جا کرد و دوبـاره آن قطرهٔ کوچك را به‌حـالت سکون درآورد. دستیار او در این هنگام‌گفت: « دوپنجاه وهشت » وآنچه را برروی ولتمترخوانده بود در دفترچهٔ خود یادداشت‌کرد. وبار دیگر که حرکت دست رئیس خودرا دیدگفت: «یك بیست‌ونه » وهمین‌طور: « صفر هشتاد وشش ، صفرشصت وچهارونیم ... » پس از انکه میلیکان از تعقیب آن قطرهٔ کوچك ودقت زیاد دران خسته شد، کارخودرا رهـا کرد و در صندلی آرام گرفت.

چون به یادداشتهای دستیار خـود مراجعه‌کرد گفت: « حادثهٔ ظریفی بود. درست یك الکترون درهربار. گمان می‌کنم که اکنون آن اندازه مواد دراختیار داریم که بتوانیم اندازهٔ صحیح بار برقی عنصری را حساب کنیم. »

آیا این کارها برای چه بود وچه ضرورتی داشت که آن قطـرهٔ کوچك در زیر میکروسکوپ بیحرکت نگاه‌داشته شود؛ اهمیت قضیه دراین‌است که آن قطرهٔ کوچك که می‌خواست بگریزد تنها یك جسم مادی کوچکی بودکه بار برقی داشت، وآن اندازه کوچك بود که می‌توانست از نیروهای برقی مؤثر هربارعنصری متأثر شود میزان‌کردن ولتاژ برق برای اینکه آن قطره درجای خود ثابت بماند تنها راهـی بود برای آنکه بتوانند بار برقی موجود دراین قطرهٔ‌کوچك را اندازه بگیرند (شکل۸).

برحسب تصادف ابر کوچکی‌که در زیر میکروسکوپ میلیکان وجود داشت از جنس مهی که آن‌روز صبح خیابانهای شهر شیکاگو را پوشانده بود نبود. این ابر « مهی‌روغنی » بود که ذرات آن‌را قطره‌



شکل ۸
نمودار دستگاه میلیکان برای اندازه‌گیری بار برقی عُنصری.

های بسیار خرد روغنی معدنی تشکیل می‌داد، و ازان جهت روغن را به‌جای آب به‌کار برده بودکه آب به‌زودی بخار می‌شد وجرم آن درضمن تجربه کاهش پیدا می‌کرد. نخستین کار دکتر میلیکان پس‌ازایجادکردن این مه‌آن بودکه یکی ازقطره‌های بینهایت کوچك روغن را درمیدان میکروسکوپ نشان‌کند وبه‌آن‌بار برقی بدهد. ولی می‌دانید که چنین جسم کوچکی‌راکه تقریباً نامرئی است نمی‌توان با میلهٔ ابونیتی‌که پس از مالش با پارچهٔ پشمی برقدار شده، از برق بارکرد. ولی‌یك‌دانشمند فیزیك همیشه، یا تقریباً همیشه، راهی پیدا می‌کند که دشواری کاررا حل‌کند، ودکتر **میلیکان** برای رفع دشواری کارخود ازکیفیتی‌که به‌نام **کیفیت نورا برقی (فوتوالکتریك)** معروف است استفاده کرد.

این مطلب شناخته شده که چون بر هرجسم اشعهٔ زیر بنفش [که مثلا به‌مقدار زیـاد ازچراغ برق عادی خارج می‌شود] بتابانند ، برق منفی آن از میان می‌رود و بار مثبت پیـدا می‌کند. میلیکان بـا

تاباندن اشعهٔ زیر بنفش بر مه روغنی خود به دانه‌های روغن موجود دران بار برقی مثبتی داد که مقدار آن گاه به‌گاه تغییر پیدا می‌کرد. اگر چنین مه برقداری درمیان دو صفحهٔ خازنی قرارگیرد که صفحهٔ تحتانی آن بارمثبت وصفحهٔ فوقانی آن بار منفی داشته باشد، نیروی برقی مؤثر در دانه‌های روغن سبب آن می‌شود که این دانه ها به‌طرف بالا حرکت کنند. اگر میدان برقی میان دو صفحه را درست میزان کنند، ممکن‌است چنان شود که نیروی برقی روبه‌بالا با سنگینی وزن دانهٔ روغن تعادل کند و این دانه درمیان آن دوصفحه بیحرکت بماند؛ هروقت در تحت تأثیر اشعهٔ زیر بنفش بار این دانه تغییر پیدا کند ، می‌خواهد حرکت کند، ومیزان کردن ولتاژ از نو ضروری می‌شود . با دانستن ولتاژی که به‌کار رفته وجرم هردانه ممکن است بار برقی‌را که این دانه دارد حساب‌کنند.

میلیکان باتجربه‌های متعددی که دراین‌باره‌کرد به‌حقیقت‌دست یافت‌که اندازهٔ عددی بارهای قطره‌های کوچك همیشه مضرب صحیحی ازحداقل باری است که هرگزکمتر ازان‌مشاهده نمی‌شود. علاوه‌براین معلوم شده است که این حداقل بار برقی‌که قطرهٔ کوچك روغن آن‌را حمل می‌کند درست به‌اندازهٔ حداقل بار برقی اتوم باردار یایونی است که مقدار آن از روی نمودهای برقی به دست‌آمده است. از اینجا به طورقطع معین می‌شود که یك **بار برقی‌عنصری جهانی** وجود دارد، واهمیت‌آن برای اجسام مادی بزرگترهمان اندازه‌است‌که‌برای اتومهای جدا ازیکدیگر چنین است.

الکترون به‌عنوان ذرهٔ عنصری‌برق

تاکنون ازمقادیر برقی که اتومها یاقطره‌های کوچك میلیکان یااجسام مادی بزرگتر حمل می‌کنند سخن‌گفتیم. ولی‌می‌خواهیم‌بدانیم که آیا بار برقی همیشه به‌جسمی مادی بسته است، یاآنکه می‌توان‌این بار را از اجسام مادی جدا کرد وآن را به‌تنهایی درفضای‌آزاد مورد مطالعه قرار داد؟

پیش از این دیدیم که تمام اجسام چون درتحت تابش‌اشعهٔ زیر

بنفش قرار گیرند دارای بار برقی مثبت می‌شوند. واز آنجا که نور دارای هیچ نوع بار برقی نیست ونمی‌تواند اجسامی را که به‌آنهامی‌تابد دارای برق کند ، باید چنین نتیجه بگیریم که در نتیجهٔ تابش اشعه برسطح جسم مقداری ازبرق منفی آن جسم ازمیان می‌رود، واین‌کیفیت شبیه است به‌آنچه به نام **صدور حرارتی برق**[1] نامیده می‌شود، وآن عبارت از این است که چون جسمی گرم‌شود ازسطح آن‌بار منفی‌صادر می‌شود. به‌علاوه چون همهٔاجسام از اجتماع اتومهای‌مجزی ازیکدیگر ساخته شده‌اند، آشکار می‌شود که درنتیجهٔ تابیدن‌نور یاگرم‌شدن ازاین اتومهای جدا ازیکدیگر بارهای برقی عنصری خارج می‌شود وازآنجا به‌این نتیجه می‌رسیم که این‌ذرات برق‌منفی به‌طور نسبی لقترین‌قسمت سازندهٔاتوم به‌شمار می‌روند. این‌بارهای منفی‌آزاد را الکترون‌می‌نامند واکتشاف آنها نخستین گامی است‌که برای‌فهم ساختمان درونی اتوم برداشته شد.

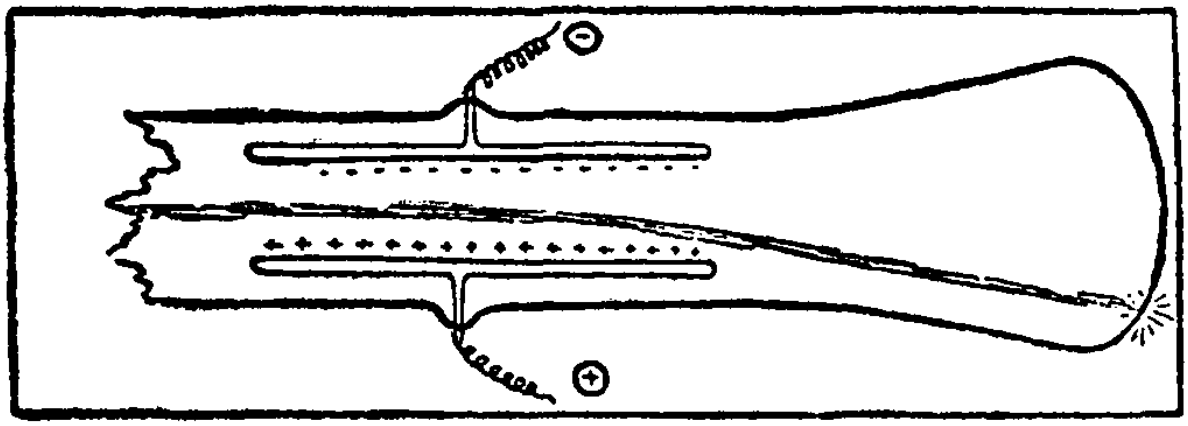
جرم یك الکترون

آیا این‌بار برقی آزاد جرم قابل توزینی‌دارد، واگر چنین‌است نسبت این جرم به‌جرم‌کلی‌اتوم چیست؟جرم‌یك‌الکترون واگرصحیحتر گفته‌شود نسبت‌بار برقی‌آن‌به‌جرمش نخستین مرتبه درپایان قرن‌گذشته به‌وسیلهٔ دانشمندفیزیك‌انگلیسی‌به‌نام**سرجوزف‌جان‌تامسن**[2] اندازه‌گرفته شد. چون یك‌دسته الکترون را که از راه نورا برقی یـا راه حرارتی تولید شده ازمیان دوصفحهٔ خازنی عبور دهیم (شکل ۹)، الکترونها به‌طرف الکترود مثبت جذب می‌شوند والکترود منفی‌آنها را ازخود می‌راند و در نتیجه مسیر ایـن دسته به طرف الکتـرود مثبت خمیده می‌شود.

اگراین دستهٔ الکترونی بر پرده‌ای که به‌مادهٔرخشانی (فلواور-سانت) اندوده ودرعقب خازن قرارگرفته‌باشد بتابد، آن‌را روشن‌می‌کند

---

1. thermionic emission
2. Sir Joseph John Thomson



شکل ۹
دستگاه ج . ج . تامسن برای اندازه‌گیری نسبت باربرقی به‌جرم الکترون.

وخمیدگی آن به‌خوبی آشکار می‌شود. نیروی برقی که بریك الکترون مؤثر می‌شود با بار آن تناسب دارد ولی تأثیر این نیرو برای‌خم کردن مسیرحرکت باجرم ذره‌ای‌که در حال حرکت است نسبت معکوس‌دارد. بنابراین تنها نسبت $\frac{\text{بار}}{\text{جرم}}$ یا، بنابر اصطلاح، **بار ویژه الکترون**است که از تجربه نتیجه می‌شود.

ولی باید درنظر داشت که انعطاف مسیر به‌سرعت حرکت نیز بستگی دارد وهرکس می‌داند که یك‌معادله را که دومجهول داردهرگز نمی‌توان حل‌کرد. اما جستن «معادلهٔ» دیگری برای حل این مسئله چندان دشواری ندارد. اگر به‌جای نیروی برقی نیروی مغناطیسی راکه ازقراردادن آهنربایی درنزدیکی مسیر الکترون حاصل می‌شود مورد استفاده قرار دهیم، بازهم‌خط سیرالکترونها خمیدگی‌پیدا می‌کند، ولی این‌خمیدگی به‌صورت دیگری خواهد بود. از ترکیب نتایج این دو تجربه هم‌بار ویژهٔ الکترون را می‌توان حساب‌کرد وهم سرعت‌آن را. و چون بار ویژه حساب شد، بادانستن اندازهٔ بار مطلق می‌توان جرم الکترون‌راحساب‌کرد. **جرم الکترون بسیارکوچك و ۱۸۴۰ بار از جرم اتوم ئیدروژن کوچکتر است.**

البته مقصود از این‌جمله‌آن نیست‌که هر اتوم ئیدروژن ۱۸۴۰ الکترون دارد، زیرا علاوه برالکترونهای حامل بار منفی هر اتوم

قسمتی دارد که از بار برقی مثبت پرشده وجزء اعظم از جرم آن را می‌سازد.

نمونهٔ اتومی

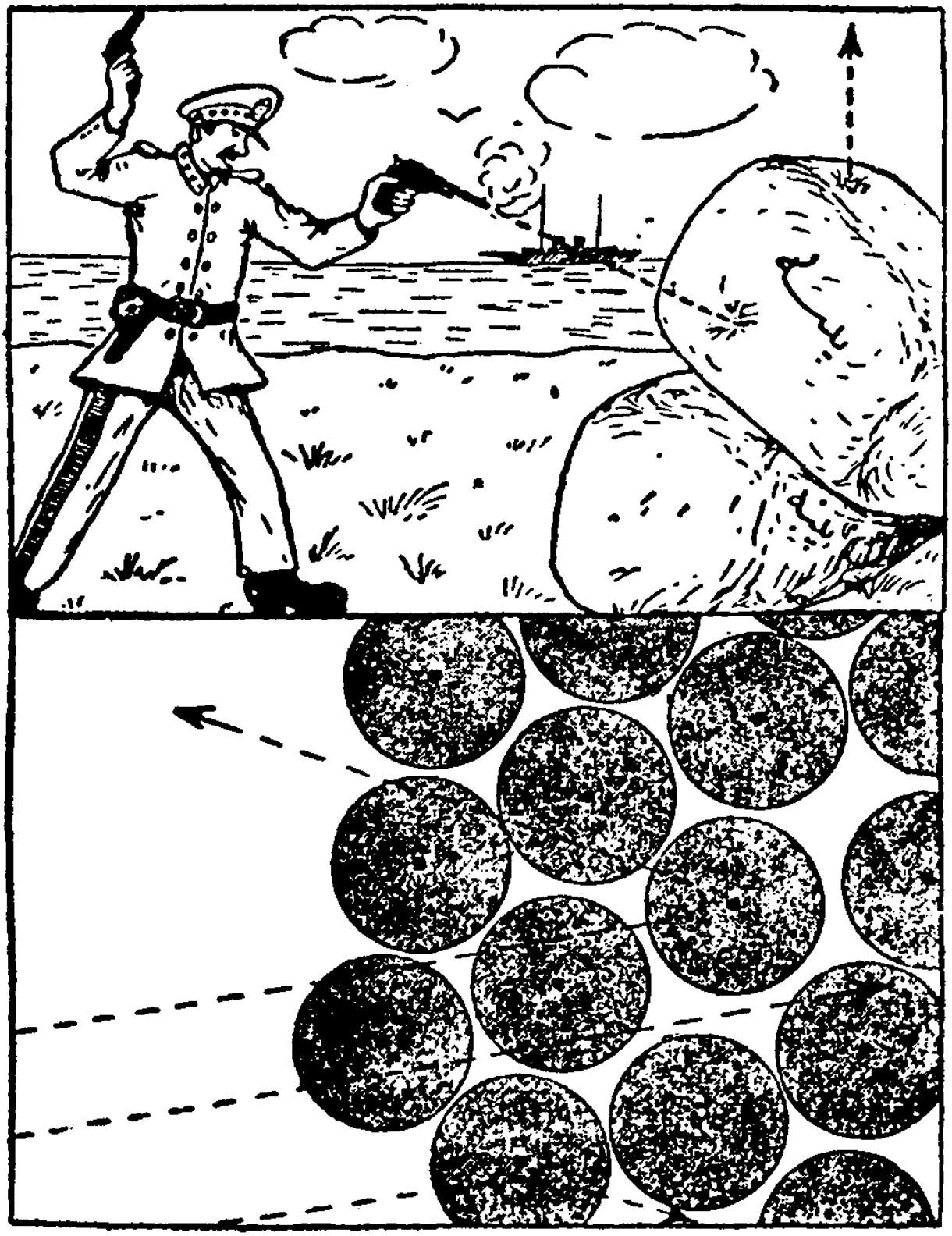
مسئلهٔ اینکه بارهای مثبت ومنفی در اتوم چگونه توزیع‌شده، به‌وسیلهٔ یکی از بزرگترین دانشمندان فیزیك زمان حاضر یعنی **سر ارنست راذرفورد**[1] پدر فیزیك هسته موردتحقیق قرارگرفته است. وی برای نخستین‌بار به‌سال ۱۹۱۱ به‌غور وبررسی اتوم پرداخت وکار اساسی او عبارت ازان بودکه وسیلهٔ اکتشافی آن‌اندازه‌کوچك پیداکند که بتواند در جسم کوچك اتوم داخل شود و« قسمتهای نرم » و «استخوانبندی» آن‌را، در صورتی‌که چنین چیزی وجود داشته باشد، کشف کند.

برای آنکه روشی‌را که **راذرفورد** به‌کار برده بهتر درك کنیم مثالی می‌زنیم. فرض‌کنید یك مأمور گمرك وظیفه‌شناسی درمرز یکی‌از جمهوریهای کوچك امریکای جنوبی، درآن‌هنگام که کشورش‌درآستانهٔ انقلابی است، به‌محمولات‌یك‌کشتی که همهٔ‌بارآن عدلهای پنبه است‌ظنین شده ومی‌خواهد آنها را مورد تفتیش قرار دهد تامبادا در میان آنها اسلحهٔ قاچاق حمل‌شده باشد. این‌شخص وقت کافی ندارد که همهٔ عدلها رایك به‌یك بازکند وپس‌ازکمی‌تفکرهفت‌تیرهای خودرا بیرون‌می‌آورد وگلوله‌های آنها را پشت سرهم درعدلهای پنبه‌خالی می‌کند. استدلالی که آن مأمور پیش خود می‌کند چنین است که : «اگر دراین عدلهاجز پنبه چیزی نباشد گلوله به‌خط مستقیم از عدل خارج می‌شود یااصلااز آن‌بیرون نمی‌آید، ولی اگر ماجراجویان در میان عدلها اسلحه مخفی کرده باشند پاره‌ای از گلوله‌ها کمانه خواهد کرد وگلوله از جایی‌که انتظار آن نمی‌رود خارج خواهد شد.»

راه حلی‌که مأمور پیشبینی کرده ساده وعلمی‌است، واساساًشبیه است باطریقه‌ای که **راذرفورد** برای اکتشاف‌درون اتوم به‌کار برده‌بود.

---

1. Sir Ernest Rutherford



شکل ۱۰

کشف قاچاقدر بار پنبه‌وکشف هسته در اتوم به‌وسیلهٔ تیراندازی.

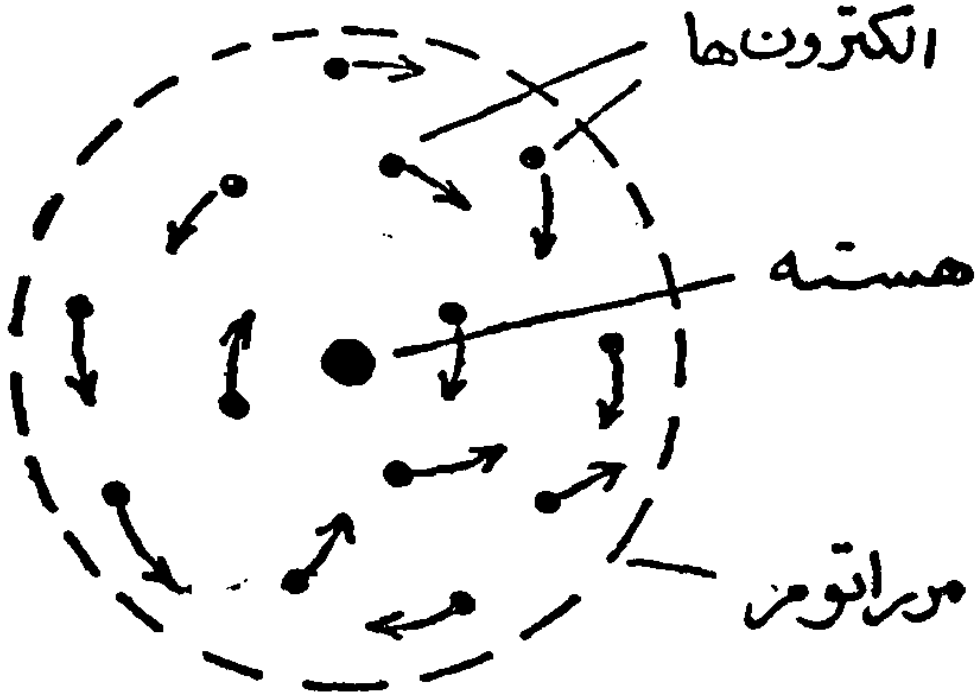
بااین تفاوت که دانشمند فیزیك ما بـرای کارخود گلوله‌هایـی را مورد استفاده قرار می‌داد که به طور نسبی بسیار بسیار خـردتر بوده است. راذرفورد بسته‌بندی اتومها یعنی قطعه‌ای از مادهٔ متعارفی را با آنچه به اصطلاح **ذرات (آلفا)** α[1] نامیده‌می‌شود بمباران کردواین ذرات‌عبارت ازگلوله‌های بسیار کوچکی است که‌ازاجسام رادیوآکتیوخارج می‌شود. ذرهٔ‌آلفا که‌ازمیان جسم یك اتوم عبورکند، درتحت تأثیر بار برقی‌خود وقسمتهای باردار اتوم قرار می‌گیرد، وبه همین جهت بایستی از مسیر اصلی خود منحرف‌شود. به‌این ترتیب‌است که از روی‌پراکندگی‌دسته‌ای از ذرات‌آلفا که از میان ورقهٔ نازکی از ماده عبور کرده باشد، ممکن است تصوری دربارهٔ‌توزیع‌بارهای برقی‌دراتومهای موردنظر به‌دست‌آید. اگر بارهای مثبت ومنفی‌درون اتوم کمابیش به‌صورت یکنواختی تقسیم شده باشد، نبایدانتظارآن داشت که دردستهٔ ذرات‌آلفاپراکندگی‌فراوان مشاهده شود. ولی اگر به‌خلاف بار برقی حالت تمرکزی مثلادرقسمت مرکزی اتوم داشته بـاشد ، آن قسمت از ذرات آلفا کـه از نزدیکی این مرکز عبور کند به‌سختی منحرف می‌شود، درست مانند گلوله‌های هفت‌تیر آن مـأمور هوشمند گمرك که چون به اشیاء فلزی نهان شدهٔ در عدل پنبه برسد کمانه می‌کند و از راه اصلی خود به‌راه دیگـری می‌رود.

تجربه‌های **راذرفورد**، عملا زوایای‌انحراف شدیدی‌را نشان‌داد واین خود نشانهٔ‌آن بود که در**مرکزهراتوم بار برقی به‌شدت حالت انباشتگی دارد.** به‌علاوه‌نوع انحراف خود نشان داد که‌بار برقی‌انباشته درقسمت مرکزی علامت مثبت دارد.این ناحیهٔ مرکزی (که بار مثبت اتوم وهمچنین بزرگترین قسمت جرم آن درانجا تمرکـز یافته) لااقل ۱۰،۰۰۰ بار (ازحیث قطر) ازتمام اتوم کوچکتر است وآن را به‌نام هستهٔ اتوم نامیده‌اند . بار منفی که این «اسکلت نقطه‌ای» هر اتوم را

---

۱ . اشعه‌ای‌را که از فعل وانفعالات‌زیر اتومی سرچشمه‌می‌گیرد باحروف یونانی **آلفا** (α) **وبتا** (β) **وگاما** (γ) نمایش می‌دهند ودر متن‌کتاب پس از این راجع به‌این اشعه سخن‌خواهیم‌گفت.

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



شکل ۱۱
نمونهٔ اتومی راذرفورد

اتوم» عملا تأثیری در ذرات‌سنگین آلفا که ازمیان جسم اتوم می‌گذرند نخواهدداشت همان‌گونه‌که دستهٔ‌پشه‌ای دریك جنگل‌نمی‌تواند درحرکت فیلی‌که ترسیده ودرحال‌فرار است تأثیر داشته‌باشند. تنها آن ذرات‌آلفا که مستقیماًیاتقریباً به‌این‌صورت‌به‌هستهٔ اتوم برخورد کنند به‌سختی از مسیر اولی خود منحرف می‌شوند و دربعضی حالات ممکن‌است درجهت عکس مسیرخود به‌حرکت درایند.

عدد اتومی وسلسلهٔ عناصر

چون هراتوم به‌عنوان یك مجموعه از لحاظ برقی خنثی است، بنابراین عدد الکترونهایی که‌برگرد هستهٔ آن می‌چرخد از روی عدهٔ

بارهای عنصری مثبتی که‌هستهٔ آن حمل می‌کند معلوم می‌شود، واین‌به نوبهٔ خود ازروی زاویهٔ‌انحراف‌ذرات‌آلفا درنتیجهٔ مجاورت باهسته‌اندازه گرفته می‌شود. به‌این‌ترتیب فهمیده‌اند که: **اتومهای عناصر مختلف از لحاظ عدهٔ الکترونهایی که برگرد هستهٔ هرعنصر می‌گردد، بایکدیگر تفاوت دارند.** اتوم ئیدروژن یك الکترون دارد واتوم هلیوم دوالکترون وهمین‌طور بالا می‌رود تااینکه به‌سنگینترین عنصر شناخته شده یعنی اورانیوم می‌رسیم که‌هراتوم آن نود ودوالکترون را شامل می‌شود.

این‌مشخصات عددی‌را عموماً به‌نام **عدد اتومی**عنصر موردنظر می‌نامند واین‌عدد باعددی که‌نمایندهٔ مقام آن عنصر در سلسلهٔ عناصر است وپیش ازاین ازراه خواص شیمیایی به‌دست آمده مطابقت می‌کند (به‌شکل ۱۲ مراجعه شود). به این ترتیب می‌بینیم که **تمام خواص فیزیکی وشیمیایی هرعنصررا ممکن است به آسانی باعددی که نمایندهٔ بارمثبت هستهٔ اتومی آن‌است، یابه عبارت دیگر باعدد متعارفی الکترونهای آن اتوم، مشخص ساخت.**

ایزوتوپها[1]

ولی پژوهشهای بسیارتازه‌که‌بیشتر آنهاکارعالم فیزیك‌انگلیسی **ف.و. استون**[2] است ثابت می‌کند که‌اگر چه بار برقی هسته برای هر عنصر معین شده، جرم اتوم ممکن است درحالتهای مختلف تفاوت‌پیدا کند. مثلا ثابت شده است که **کلور عادی عملا مخلوطی ازدو نوع اتوم است که جرمهای هسته‌های آن دو بایکدیگر تفاوت دارد.** سه‌چهارم این مخلوط ازاتومهای کلور به‌جرم ۳۵ (نسبت به‌ئیدروژن) ساخته‌شده ویك چهارم آن‌ازاتومهای باجرم ۳۷. وزن اتومی متوسط این مخلوط بایستی با $(\frac{۳}{۴} \times ۳۵) + (\frac{۱}{۴} \times ۳۷) = ۳۵٫۵$باشد، واین خود بااندازه‌گیریهای شیمیایی‌سابق وزن اتومی‌کلور (۳۵٫۴۶)

1. isotopes
2. F.W. Aston

کمال مطابقت‌را دارد.

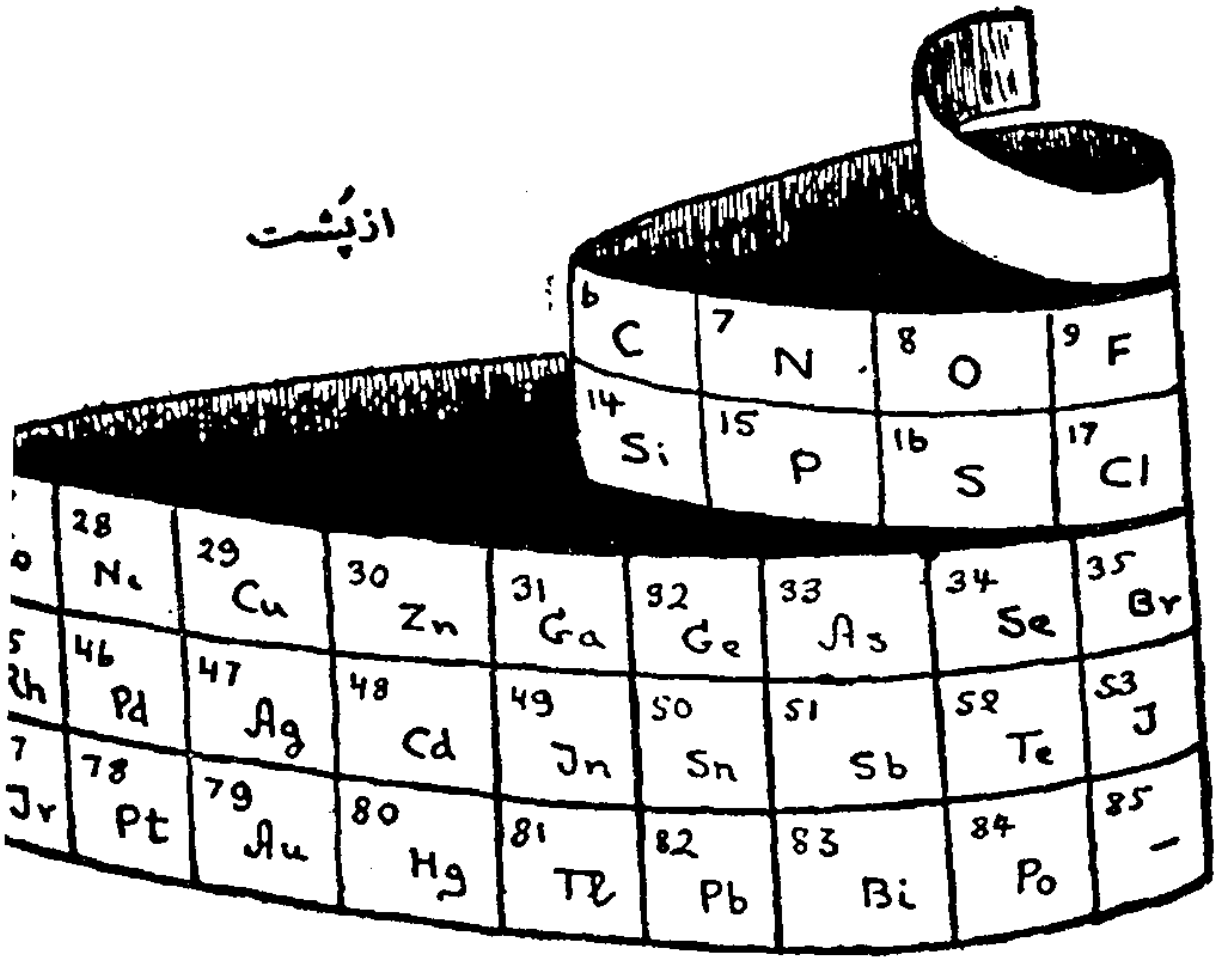
اتومهایی که‌ازلحاظ عدهٔ الکترونها وهمچنین از لحاظ خواص شیمیایی وفیزیکی بایکدیگر یکسان هستند ولی جرمشان باهم تفاوت دارد، به‌نام **ایزوتوپ** یا **همجا** [یعنی اشغال کنندهٔ یك‌جا در سلسلهٔ عناصر] نامیده می‌شوند. درزمان حاضر طریقه‌های خوبی در اختیار است که‌به‌وسیلهٔ آنها می‌توانند ایزوتوپهارا از یکدیگر جدا کنند. به طوری که‌مثلا اکنون می‌توانیم دونوع کلور در اختیار داشته باشیم که خواص شیمیایی آن دو عین یکدیگراست ولی ازحیث وزن اتومی باهم اختلاف دارند.

تحقیقات **استون** ودیگران به‌این نتیجه انجامیده است‌که‌اغلب عناصرشیمیایی‌که‌آنهارا می‌شناسیم‌مخلوطی ازدویاچند ایزوتوپ‌هستند. مثلا درهوای جو که قسمت اعظم آن از نیتروژن باوزن اتومی ۱۴ و اکسیژن باوزن اتومی۱۶ ساخته شده، قسمت مختصری از ایزوتوپهای سنگینتر این عناصر نیز وجود دارد (۳ر۰ درصد از نیتروژن ۱۵ و ۰۰۳ر۰ درصد ازاکسیژن ۱۷).

یکی ازیافته‌های جالب توجه ازمنهٔ جدید اکتشاف وجدا کردن **ایزوتوپهای سنگینتر ئیدروژن یا (دوتریوم)** به‌وسیلهٔ عالم‌شیمی امریکایی **ه . ك . یوری**[1] است. آبی که در مولکولهای آن به‌جای اتومهای ئیدروژن متعارفی ایزوتوپ سنگینتر آن باشد (**آب‌سنگین**) درحدود ۵درصد ازآب معمولی سنگینتراست، والبته شنا کردن دران برای کسانی که‌خوب شنا نمی‌دانند لذتبخش است. ولی‌ئیدروژن‌سنگین مورد استعمال مهمتر وارزنده‌تری دارد. پس‌از این‌خواهیم دیدکه به‌کار بردن آن دررشتهٔ فیزیك هسته سبب آن شده است که اطلاعات وسیعی دربارهٔ ساختمان هستهٔ اتوم وراه تبدیل مصنوعی عناصر به یکدیگر به دست آید.

---

1. H.C. Urey



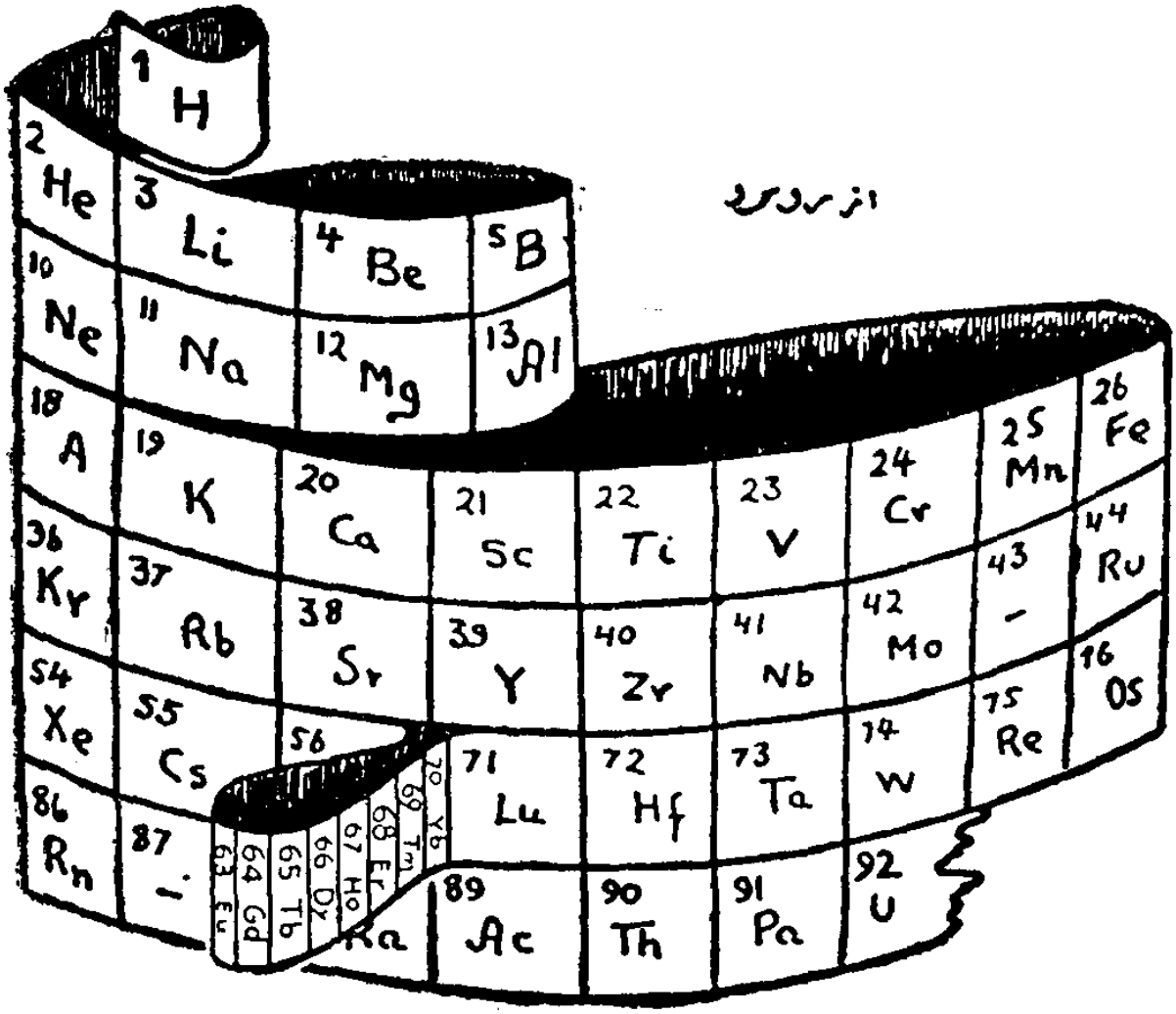
ساختمان ورقه‌ورقه‌ای اتوم

نخستین بار دانشمند شیمیدان روسی **دمیتری مندلیف**[1] به‌این نکته اشاره کرد که درسلسلهٔ عناصری‌که برحسب زیاد شدن وزن اتومی آنها مرتب‌شده باشد، تمام خواص شیمیایی وفیزیکی بایك دورهٔ تناوب منظمی تکرار می‌شود؛ این مطلب‌را به‌آسانی ازروی شکل (۱۲)می‌توان دریافت که درآن عناصر برروی یك استوانه چنـان نمایش داده شده‌اند که‌آنها که‌خواص‌مشابه بایکدیگردارندروی هم قرارگرفته‌اند.[2]

---

۱. Dmitri Mendelyeev

۲. باید به‌خاطرداشت که‌شکل نمایندهٔ استوانه‌ای‌است که‌درآن مثلا هلیوم درمیان راه ئیدروژن ولیتیوم واقع می‌شود. بنابراین‌هلیوم وستون عناصر زیرآن‌را ممکن است درست در کنار راست «منظرهٔ از پشت» استوانه قرار داد.



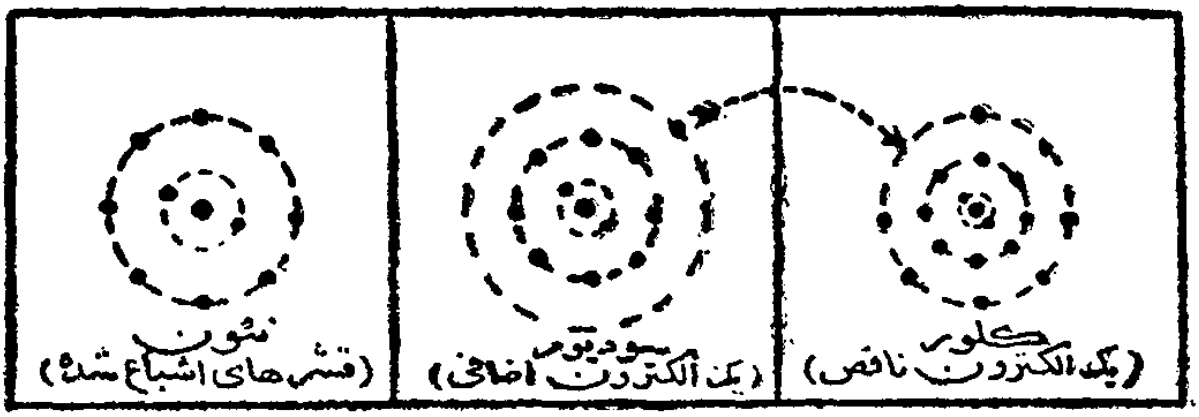
شکل ۱۲

سازمان متناوب عناصر به‌صورت نواری استوانه شکل که‌بر آن دورهای تناوب۲ و۸و۱۸ نمایش داده‌شده. حلقه‌ای‌که ازدورتناوب ششم بیرون آمده متناظر است باعناصری (خاکهای کمیاب) که از لحاظ تجدید ساختمان ورقه‌های اتومی ازدورهٔ تناوب بیرون می‌مانند.

نخستین‌دورهٔ تناوب تنهاشامل دوعنصر ئیدروژن وهلیوم‌است؛ پس‌ازان دودورهٔ تناوب داریم که هرکدام ازهشت عنصر تشکیل شده، وپس‌ازان خواص عناصر بعداز گذشتن هرهجده عنصر تکرار می‌شود. اگر درنظر بگیریم‌که‌هرپایه‌ای که‌به‌طور افقی‌درسلسلهٔ عناصر پیش‌رویم متناظر بااضافه شدن یك الکترون اضافی است، ناچار به این نتیجه می‌رسیم که این دورهٔ تناوبی که مشاهده می‌شود ازان است که **هیئت**

الکترونهای اتوم یا«قشرهای الکترونی» پس‌ازگذشتن آن‌دوره‌های‌تناوب به‌صورت ثابت و پایداری درمی‌آید. نخستین قشرثابت آن است‌که‌شامل دوالکترون باشد؛ پس‌ازآن‌دوقشر است که‌هریك‌شامل هشت الکترون باشد؛ وپس‌ازآن‌تمام قشرهایی که‌می‌آید هرکدام شامل هجده الکترون است.[1]

درشکل (۱۳) تصویر نظری سه‌اتوم مختلف را آورده‌ایم که دریکی ازانها قشر الکترونی کامل است ودر دوتای دیگر، این قشر، ناقص است.



شکل ۱۳
قشرهای الکترونی دراتومهای مختلف

میل‌ترکیب شیمیایی

اکنون می‌توانیم به‌این سؤال جواب دهیم که چه‌نیروهایی باعث آن‌می‌شود تااتومهای عناصر مختلف به‌یکدیگر متصل شوند وترکیبات شیمیایی گوناگون ازان به‌وجود آید. ازشکل (۱۳) معلوم می‌شودکه مثلا اتوم کلور تنها یك‌الکترون کسر دارد تااینکه قشر خارجی آن کامل شود. ازطرف دیگراتوم سودیوم پس‌از کامل‌شدن قشر الکترونی آن یك الکترون اضافی دارد. به‌این ترتیب می‌توان انتظار داشت که

---

۱. باید توجه داشت که‌در نزدیکی پایان سلسلهٔ تناوب خواص تاحدی پریشان‌می‌شود، واین ازان‌جهت‌است که‌دراینجا تجدیدساختمان یکی ازقشرهای داخلی که‌پیشتر کامل شده بود آغاز می‌شود.

درتلاقی این دواتوم، الکترون اضافی سودیوم به‌اتوم کلور منتقل شود وکسری آن‌را پرکند. درنتیجهٔ چنین‌تغییری اتوم‌سودیوم بارمثبت پیدا می‌کند (چون یك‌بار منفی ازدست داده) واتوم‌کلور به‌این‌ترتیب‌دارای برق منفی می‌شود. درتحت تأثیر نیروهای برقی‌این دواتوم به‌یکدیگر می‌چسبند ویك مولکول کلورور سودیوم یانمك طعام می‌سازند.

به‌همین طریق است که‌یك اتوم اکسیژن که‌برای پرکردن‌قشر الکترونی خود به‌دوالکترون نیازمند است، از دو اتوم ئیدروژن دو الکترون «می‌رباید» ویك مولکول آب (H_2O) می‌سازد. از طرف دیگر هیچ میل ترکیبی میان‌اتومهای اکسیژن واتومهای کلور (که‌هر دویك الکترون اضافی دارند) مشاهده نمی‌شود. درمورد اتومهایی که قشر خارجی کامل‌دارند (مانند نئون وهلیوم) هیچ دادوستد الکترونی امکانپذیر نیست، وبه همین جهت است که‌این عناصر از لحاظ شیمیایی بی‌اثر ولخت می‌مانند.

ازاین تصویر فعل‌وانفعالات شیمیایی می‌توان‌چنان استنتاج‌کرد که‌آن انرژی که ازراه تشکیل یك‌مولکول فراهم می‌شود نتیجهٔ‌اختلاف اتصالات الکترونی دردو یاچند اتومی‌است که در فعل وانفعال دخالت کرده‌اند. چون انرژی پوتانسیل موجود میان الکترون وهستهٔ اتومی‌در ۱۰-۱۲ ارگ است، مقدار انرژیی که‌ازهراتوم درضمن فعل وانفعالات شیمیایی آزاد می‌شود درهمین حدود خواهد بود.

مکانیك رسمی در اتوم‌کار نمی‌کند

اکنون به یك نقطهٔ بحرانی در مرحلهٔ تکامل نظریهٔ اتومی رسیده‌ایم. خواننده پیش‌از این‌دریافته است که‌نمونهٔ اتومی **راذرفورد** (شکل ۱۱) عبارت‌است ازهستهٔ کوچك وسنگین مرکزی که عده‌ای الکترون درتحت تأثیر جاذبهٔ دوطرفی برگرد آن می‌چرخند ، و این دستگاه شبیه‌است به‌منظومهٔ سیارات که‌درتحت‌تأثیر نیروی جاذبه دور خورشید دوران می‌کنند. این‌تشابه ازانجا بیشتر کسب اهمیت می‌کند که نیروهای برقی و نیروهای جاذبه هر دو به نسبت معکوس مجذور فاصله تغییر می‌کند وبه‌همین جهت درهردوحال بایستی مدارت به‌شکل

بیضی باشد .

ولی یك‌تفاوت مهم وجود دارد که‌نبایددرضمن این مقایسه‌ازان غفلت‌شود. الکترونهایی‌که‌برگرد هسته می‌چرخند باربرقی‌نسبتاً بزرگی دارند وبه‌همین جهت امواج الکترو مغناطیسی از خود صادر می‌کنند، همان‌گونه‌که آنتنهای بزرگ فرستندهٔ رادیو چنین امواجی را درفضا پخش می‌کنند. ولی چون این «آنتنهای اتومی» بسیار کوچك است، امواج الکترومغناطیسی که ازانها صادر می‌شود بلیونها بار کوتاهتر از امواجی‌است که‌ازایستگاههای رادیوبیرون می‌آید. این‌امواج کوتاه را شبکیهٔ‌چشم آدمی‌به‌صورت نمودهای نورانی‌می‌گیرد وهروقت‌که ازجسمی چنین‌امواجی صادرشود آن‌جسم نورانی‌به‌نظرمی‌رسد. بنابراین ناچاربابد چنین نتیجه بگیریم که‌الکترونهایی که‌برگرد هسته می‌چرخند بایستی امواج نورانی ازخود صادرکنند، ونتیجهٔ این‌پخش کردن‌موج آن باشد که‌هرچه زودتر انرژی حرکتی خودرا ازدست بدهند. به‌آسانی‌می‌توان حساب کرد که اگر چنین چیزی صحیح باشد، همهٔ الکترونهای اتوم بایستی انرژی حرکتی‌خودرا درکسر غیرقابل ملاحظه‌ای ازثانیه ازکف بدهندوبرسطح هسته سقوط کنند.

ولی شواهد روشن تجربی نشان می‌دهد که‌چنین سقوطی صورت نمی‌گیرد والکترونهای اتوم دایماً برگرد هسته درحرکت هستند ودر فاصلهٔ نسبتاً زیادی ازان هستهٔ مرکزی به‌این حرکت دایمی‌خود ادامه می‌دهند. علاوه‌براین تناقض، که‌به‌طبیعت اساسی‌خود اتوم‌ارتباط دارد، عدهٔ زیادی تناقضات مهم دیگر میان پیشگوییهای نظری وشواهدی که ازتجربه به‌دست می‌آید وجود دارد. مثلا باتجربه معلوم می‌شود که نوری که‌از اتوم صادر می‌شود عبارت ازتعداد معینی از طول موجهای کاملا مشخص است (خطوط طیف) ، درصورتی که حرکت الکترونها در نمونهٔ اتومی **راذرفورد** مستلزم آن است که طیف پیوسته‌ای تشکیل شود که همهٔ طول موجهای مختلف ممکن را شامل شود. عملا هیچ‌یك از پیشگوییهای نظریهٔ رسمی درداخل اتوم صورت تحقق پیدا نمی‌کند.

قوانین کوانتوم[1]

دران هنگام که **نیلز بور**[2] فیزیکدان جوان دانمارکی از شهر زمردین‌بام‌کوپنهاك به‌انگلستان آمد تابا**راذرفورد** دربارهٔ مسائل‌مربوط به‌ساختمان اتوم مشغول کارشود، این‌تناقضات فکر اورا ناراحت ساخته بود. درنظروی آشکار بود که‌بادادن تغییرات کوچکی به‌نظریهٔ موجود هرگز امکان ندارد که‌این معماها حل شود.

همهٔ این علایم دلالت بران مـی‌کرد که ساختمـان داخلی اتوم همچون صخره‌ای است که‌کشتی نظریهٔ کلاسیك ورسمی محکوم به‌خرد شدن برروی آن‌است.

اگرحرکاتی که دردرون اتوم صورت می‌گیرد بامکانیك رسمی قابل توجیه وتفسیر نباشد، تقصیر ازاین مکانیك است‌نه‌از اتوم. ازاین گذشته به‌جز عادت وتبعیت از سنت هیچ دلیل عقلی در دست نبود که بنا بران بتوان انتظار داشت مکانیك اختراعی **گالیلئو** و **نیوتون** در مورد ستارگان واجسام بزرگ، حتماً بر«پاره‌های متحرك» موجود در ساختمان ظریف ودقیق اتوم نیزقابل تطبیق باشد. به‌این ترتیب بودکه بور درصدد برامدتامکانیك رسمی‌را که‌قرنهاباکمال غرور ادعای‌مطلقیت وکلیت داشت ازتخت‌خود فرو کشد، وبه‌جای آن‌نظریهٔ کلیتری دربارهٔ حرکت طرح بریزد که‌مکانیك رسمی تنهاحالت‌خاصی ازان به‌شماررود.

فیزیکدان آلمانی **ماکس‌پلانك**[3] در سال ۱۹۰۰ یك نظریهٔ انقلابی پیشنهاد کرده بود که‌بنابرآن **صادر شدن وجذب شدن نور تنها به‌شکل‌اجزای منفصل ازیکدیگریاکوانتومهای انرژی‌صورت می‌گیرد. بور** به‌تبعیت ازوی این اصل‌را پذیرفت که‌انرژی مکانیکی هردستگاه که‌ازاجزای متحرك ترکیب‌شده‌نیزباید «**حالت کوانتایی**»[4] **داشته‌باشد، یعنی‌این‌انرژی تنها به‌صورت مجموعه‌ای ازانرژیهای**

---

۱. quantum laws
۲. Niels Bohr
۳. Max Planck
۴. کوانتا صیغهٔ جمع کلمهٔ لاتینی کوانتوم است.ـم.

منفصل ازیکدیگر باشد.

این مفهوم انفصالی بودن انرژی‌را (که البته کاملا از میدان نظریهٔ کلاسیك خارج است) تاحدی می‌توان همچون بیانی دربارهٔ **اتومدار بودن انرژی** دانست، البته بااین تفاوت که‌دراینجا دیگریك جزء عنصری کلی (مثلا شبیه به‌الکترون درمورد برق) وجود ندارد و بزرگی کوانتوم انرژی را درهرحالت خاص شرایط اضافی متغیر تعیین می‌کند. مثلا در مورد تشعشعات، **انرژی هرکوانتوم مجزا همیشه باطول موج نور نسبت معکوس‌دارد،** درصورتی که‌درمورد مجموعهٔ اجزای متحرك**کوانتوم انرژی مکانیکی باتنزل ابعاداین مجموعه وهمچنین باتنزل جرم این اجزاء افزایش پیدا می‌کند.**

به‌این‌ترتیب می‌بینیم که درمورد تشعشع، پاره‌های انرژی یا کوانتا، گرچه برای امواج بلند رادیویی بسیار کوچك و قابل اغماض است، ولی درمورد امواج کوتاهتر نورانی که از اتومها صادر می‌شود بسیار مهم وقابل ملاحظه می‌شود. به‌همین‌ترتیب‌کوانتوم انرژی‌مکانیکی تنها وقتی حایز اهمیت خواهدبود که سروکارما بااجزای کوچکی‌باشد همچون الکترونها که برگرد هستهٔ اتوم دوران می‌کنند. همان‌گونه که درمسائل‌مربوط به‌زندگی‌عادی‌می‌توانیم‌ازاتومداربودن ماده‌چشم بپوشیم، در این‌گونه مسائل‌اتومداربودن انرژی‌را نیز ممکن‌است نادیده‌بگیریم، ولی چون سر وکار ما با جهان صغیر اتومها باشد وضع کاملا دگرگون می‌شود. الکترونهای نمونهٔ اتومی **راذر فورد** تنها ازان جهت برروی هسته فرو نمی‌ریزند که **این الکترونها کمترین مقدار انرژی را دارند که‌چنین ذرات کوچکی‌در چنین اوضاع واحوال‌می‌توانند دارا باشند.** ازان جهت که کمترین مقدار انرژی را دارند، واساساً نمی‌توان مقدار آن‌را ازاین کمتر کرد، حرکت‌آنهارا بایستی به‌عنوان «حرکت نقطهٔ صفر»[1] مورد توضیح وتفسیر قرارداد که‌در فیزیك‌رسمی متناظر باسکون‌کامل است.

اگر درصدد آن باشیم که مقداری انرژی اضافی به‌اتوم بدهیم،

---

1. Zero - Point motion

نخستین کوانتوم آن حالت حرکتی اتوم را کاملا تغییر می‌دهد و الکترونهای آن را به‌حالی در می‌آورد که آن را اصطلاحاً **نخستین حالت تحریك شدهٔ کوانتوم** می‌نامند. اتوم ما، برای اینکه به‌حالت متعارفی خود باز گردد، بایستی آن مقدار انرژی را که گرفته به‌صورت کوانتوم نورانی خاصی صادر کند، وعلت اینکه‌طول موج نور صادرشده کاملا مشخص می‌باشد نیز همین‌است.

مکانیك جدید

با وجودآنکه نظریهٔ اتومی **بور** پیشرفت شگرفی را درطرزفهم ما نسبت به‌نمودهای‌زیر اتومی‌سبب شد، واضح‌است‌که هنوز نمی‌توانست نمایندهٔ نظریهٔ جامعی دربارهٔ حرکت زیر اتومی به‌شمار رود. تکامل عجیب دیگری درخصوص نظریهٔ کوانتوم درسال **۱۹۲۶** صورت‌گرفت. دران سال فیزیکدان اتریشی **اروین‌شرودینگر**[1] وفیزیکدان آلمانی **ورنرهایزنبرگ**[2] در یك زمان وبدون اطلاع از یکدیگر طرحی را پیشنهاد کردند که اکنون به‌نام دستگاه جدید مکانیك نامیده می‌شود.

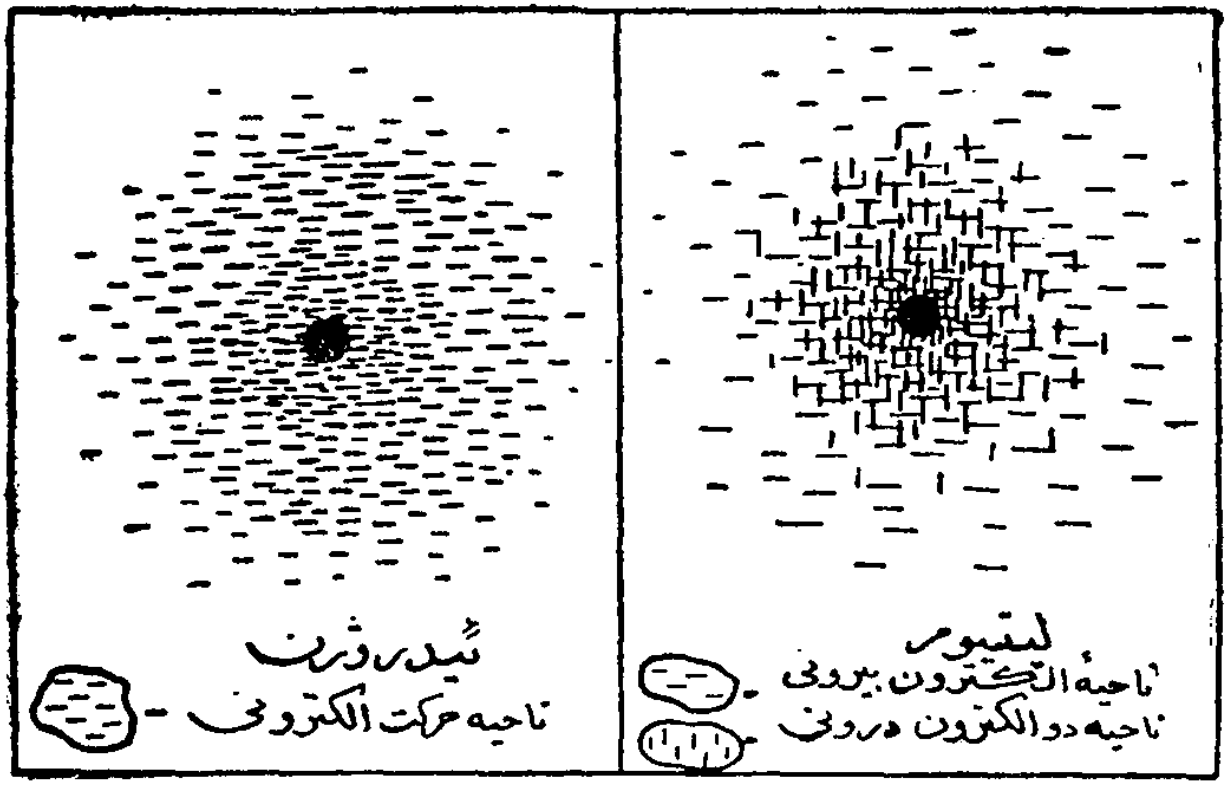
شرودینگرپایهٔ نظریهٔ خود را برروی‌افکار هوشمندانهٔ دانشمند بزرگ فرانسوی **لویی‌دوبروی**[3] قرارداد. فکراین فیزیکدان‌فرانسوی آن‌بود که هرحرکت جسم مادی همراه ودر تحت هدایت چیزی است به‌نام «امواج راهنما» که‌به‌این‌حرکت خواص‌معینی می‌دهدکه‌ازمشخصات نمودهای موجی به‌شمار می‌روند. نظریهٔ هایزنبرگ درخصوص مکانیك جدید برپایه‌ای‌قرار داشت که ظاهراً باشالودهٔ نظریهٔ شرودینگرمتفاوت به‌نظرمی‌رسید. بنا به‌نظروی سرعت هرجزء متحرك‌نباید بااعدادمتعارفی بیان شود، بلکه وسیلهٔ این معرفی باید قالبهای ریاضی تغییرناپذیری[4] باشدکه درآن زمان‌بیش‌از یك‌قرن بودکه چنین مفهومی را در ریاضیات

---

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

محض می‌شناختند. علی‌رغم این اختلاف وتفاوت ظاهری به‌زودی ثابت شد که این دو نظریه ازلحاظ ریاضی همسنگ یکدیگرند و تفسیرهای متفاوت یك‌واقعیت فیزیکی را نشان می‌دهند.

دیری نگذشت که این واقعیت در نتیجهٔ انتقاد عمیق از عقاید کلاسیك مربوط به‌اندازه‌گیریهایی که به‌وسیلهٔ هایزنبرگ ومخصوصاً به وسیلهٔ بور صورت گرفته بود، آشکار شد. این‌مسئله به‌ثبوت رسید که وجود نمودهای کوانتومی مستلزم آن است که برای توضیح وتشریح جهان فیزیکی بایستی یك **اصل نامعینی**[1] پذیرفته شود که با قانون **علیت وحتمیت** مکانیك رسمی سازگاری ندارد. بنابراین اصل «نامعینی»، اساسیترین مفهومهای مکانیك کلاسی- مثلا ازقبیل‌مفهوم مسیر حرکت-، بایستی در این مکانیك جدید طرد شود، وحرکت یك الکترون برگرد هستهٔ اتومی به‌جای‌آنکه‌به‌وسیلهٔ‌مدار کاملا مشخص ومعینی‌معرفی‌گردد، به‌صورت منظرهٔ «پراکنده‌ای»، همان‌گونه که درشکل (۱۴) می‌بینیم،



شکل ۱۴
تصویر موجی ـ مکانیکی ماده.

1. uncertainty Principle

نمایش داده شود.[1]

بحث مفصلتری در بارهٔ اصول مکانیك جدید از حوصلهٔ کتاب حاضر بیرون است وخوانندگانی‌که‌مایل باشند در خصوص مسائل‌وابستهٔ به‌نامعینی در فیزیك جدید اطلاعاتی به‌دست‌آورند، بایستی به کتابهای خاص مربوط به‌این‌موضوع مراجعه‌کنند.

مسئلهٔ‌هستهٔ‌اتوم

دراین فصل دیدیم که چگونه‌اتومی‌که ۲۰۰۰ سال پیش ازاین به‌عنوان کوچکترین جزء ممکن ـ وازلحاظ منطقی غیر قابل تقسیم ـ ماده واردعلم شده‌بود، درپرتو فیزیك جدید به‌صورت‌مجموعهٔ مکانیکی پرطول وتفصیلی درامد. اگرچیزی‌از اندیشه‌های **دموکریتوس** دربارهٔ بخشناپذیری وابدیت اتوم باقی مانده، باید گفت که این خصوصیات و صفات در زمان حاضر به‌عمق اتوم نفوذ کرده وباید آنهارا ازمختصات هستهٔ اتـوم دانست که بنا برنمـونهٔ **راذرفورد** همچون مـرکز مرده و بیحرکتی است که الکترونها برگرد آن دوران می‌کنند.

باوجود این، نمود رادیوآکتیویته، کـه درفصل بعد ازآن‌بحث خواهیم‌کرد، نشان خواهد داد که این هسته که در نگاه اول مرده و بدون فعالیت به‌نظرمی‌رسد و «استخوانبندی اتوم» به‌شمارمی‌رود، خود ساختمان درونی معینی داردکه‌شاید پیچیدگی‌آن‌حتی ازساختمان‌اتوم‌هم زیادتر باشد.

---

۱. به‌همین جهت غیر ممکن است‌که به‌طور دقیق ابعادهندسی یك اتوم یایك مولکول را اندازه بگیریم (صفحهٔ ۴۳ دیده شود).

فصل سوم

تبدیل عناصر به‌یکدیگر

اکتشاف رادیو آکتیویته

●

کشف رادیـو آکتیویته کمابیش نتیجهٔ تصادف محض بـود ، گواینکـه اگرچنین تصادفی، بدان‌گونه که برای پروفسور **هانری بکرل**[1] اتفاق افتاده پیش نمی‌آمـد ، ترشح انرژی از اندرون هستهٔ اتومها ، که به کندی حالت تجزیه وانحلال پیدا می‌کنند، ناچار ازطریق دیگری‌جلب توجه می‌کرد واین‌کیفیت شناخته می‌شد. بکرل استاد فیزیك سوربون دربارهٔ نمود فلواورسانی (فلواورسانس) کار می‌کرد، وچنانکه می‌دانیم این خاصیت مربوط به‌بعضی مواد است که انرژی نورانی را که برانها می‌تابد ذخیره می‌کنند وچون‌آنها را از روشنی به‌تاریکی برند تامدتی حالت نورانیت خود را حفظ می‌کنند. بکرل در سال ۱۸۹۶ مقداری

---

1. Henri Becquerel

بی‌سولفات اورانیوم به‌دست آورد تا آن را از لحاظ خاصیت فوسفورسانی (فوسفورسانس) درمعرض آزمایش قرار دهد؛ درضمن آزمایش کاری پیدا کرد واین ماده را درکشو میز کارخویش قرار داد.

دران کشو شیشه‌های استعمال نشدهٔ عکاسی وجود داشت، وچنان اتفاق افتاد که شیشهٔ بی‌سولفات اورانیوم درست روی این شیشه‌ها واقع شد ومدت چند هفته به همان حال باقی ماند. **بکرل** چندی بعد قصد عکاسی داشت. کشو را بازکرد وشیشهٔ بی‌سولفات‌فراموش‌شده را کنارزد و جعبهٔ محتوی شیشه‌های عکاسی رابیرون آورد وعکسی راکه‌می‌خواست گرفت. (نمی‌دانیم که این یك عکس خانوادگی بود یاتصویری بود ازطیف‌نور). هنگامی‌که شیشهٔ عکس را ظاهرکرد برروی آن لکه‌هایی دید وچنان می‌نمود که شیشهٔ عکاسی مدتی‌دربرابر نور قرارگرفته است. چون‌شیشه‌های عکاسی درجعبهٔ دربسته ودرمیان کاغذهای سیاه ضخیم دست نخورده بود، این حادثه درنظر بکرل بسیار عجیب جلوه کرد. تنها عاملی که مسئول خراب‌شدن‌شیشهٔ عکاسی‌به‌نظر می‌رسید همان بی‌سولفات‌اورانیومی بود که مدت درازی درمجاورت شیشه‌های عکاسی باقی مانده بود.

بکرل همان‌گونه که شیشهٔ بی‌سولفات را در دست داشت باخود اندیشید که ممکن‌است‌این‌ماده‌خودبه‌خود وبدون‌آنکه قبلا تحریك‌شده باشد اشعهٔ نامرئی وسخت نافذی ازخود خارج کندکه ازجعبه وکاغذهای سیاه بگذرد ودر شیشهٔ حساس‌عکاسی تأثیر کند. برای‌آنکه صحت‌فرض خویش را بیازماید، همین تجربه را باشیشهٔ عکاسی دیگری انجام داد. ولی درضمن این تجربه از روی عمدکلید کشو میز را درمیان شیشهٔ حساس عکاسی ومنبع فرضی صدور این اشعهٔ اسرارآمیز قرار داد.

چندروز بعد که بکرل در روشنی سرخ‌رنگ تاریکخانهٔ خود شیشهٔ عکاسی را ظاهر می‌کرد، با کمال تعجب دید که تصویر کلید به تدریج درزمینهٔ تاریك صفحهٔ حساس آشکار می‌شود. به‌این ترتیب به صورت قطعی‌معلوم شدکه **ازاتومهای اورانیوم نوع‌جدیدی تشعشع خارج می‌شود** واین اشعه می‌تواند ازموادی که نور عادی ازانها عبور نمی‌کند بگذرد ودر عین‌حال قدرت آن‌را ندارد تاازضخامت کلیدآهنی عبورکند.

تحقیقات بعدی ثابت کرد که تنها عامل دیگری که دران زمان می‌توانست چنین اشعه‌ای را ازخود خارج کند **توریوم** است که پس‌از اورانیوم سنگینترین عنصر به‌شمار می‌رود. ولی‌تجسسات دامنه‌داری‌که به‌وسیلهٔ آقا وخانم **کوری** صورت گرفت سبب‌آن شد که عناصر رادیو آکتیو جدیدی کشف شود. پس از دوسال کار وکوشش سخت، مادام **کوری** بالاخره موفق شد تا از یك قسم سنگ معدن اورانیوم (به‌نام پیچ بلاند که ازناحیهٔ **بوهم** به‌دست می‌آید) دوعنصر تازه کشف کند که خاصیت تشعشعی یارادیو آکتیو آنها از اورانیوم وتوریوم به‌مراتب زیادتر است. یکی از این دو عنصر به‌یادگار زادگاه این خانم، یعنی لهستان، به‌نام پولونیوم نامیده شد و دیگری به‌نام رادیوم. چندی پس ازان یکی از همکاران خانوادهٔ کوری عنصر رادیوآکتیو دیگری را به نام **آکتینیوم** کشف کرد. و نیز این نکته ثابت شد که از ترکیبات رادیوم مادهٔگازی فعالی‌برمی‌خیزد که‌آن‌را به‌نام**بخار رادیوم‌یارادون** نامیدند.

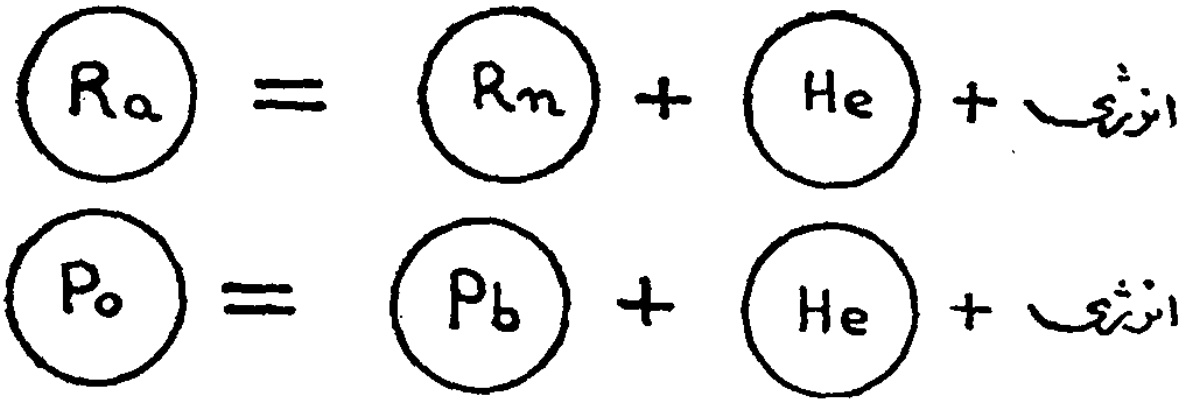
عدهٔ عناصر رادیوآکتیو که پیوسته روبه‌زیادی بود جاهای‌خالی را درآخرین سطر جدول متناوب عناصر شیمیایی پر کرد واین نکته آشکار شد که‌عناصر رادیوآکتیو در پایان سلسلهٔ طبیعی عناصر نزدیك یکدیکر جمع شده‌اند، وخود این حادثه سبب پیدایش این تصورشدکه فعالیت تشعشعی خاص این‌گونه عناصر با پیچیدگی وتعقید اتومهای‌آنها بستگی دارد.

تجزیه وانحلال اتومهای بسیارسنگین

به‌سال ۱۹۰۳ فیزیکدان انگلیسی **ارنست‌راذرفورد** که پیش از این، هنگام بحث در بارهٔ نمونهٔ هستهٔ اتوم، بانام وی‌آشنا شدیم، فرضیه‌ای را پیشنهاد کرد که بنا بران **اتومهای عناصر بسیار سنگین فطرتاً ناپایدارند وآهسته‌آهسته‌حالت‌تجزیه وانحلال‌پیدا می‌کنند وقسمتی از اجزای سازندهٔ آنها خارج می‌شود.** این‌دانشمند ثابت کرد که اشعهٔ α که ازاجسام رادیوآکتیو خارج می‌شود در واقع‌دسته‌ای ازهسته‌های‌دارای بار مثبت هلیوم است‌که‌باحرکت سریعی پیش‌می‌روند.

(باید به‌خاطر داشت‌که باهمین اجزاء α بود که راذرفورد اتومهای‌خود را بمباران می‌کرد). پس‌ازانکه درضمن برخورد بااتومهای ماده‌ای که این ذرات α ازان می‌گذرند انرژی زیاد خود را ازدست دادند، حرکت آنهاکند می‌شود وباگرفتن دوالکترون برای مدارخود یك‌اتوم‌متعارفی هلیوم ازانها ساخته می‌شود. این نکته را باید در نظرداشت‌که همیشه در رادیوم‌کهنه می‌توان به وجود هلیوم پی‌برد. چون‌واضح‌است‌که ذرات α از داخل هستهٔ عناصررادیوآکتیو خارج می‌شود، باید گفت که این هسته‌ها غیرثابت و ناپایدار است. پس‌از آنکه هسته یك یاچند جزء α از خود صادرکند(یعنی چهار واحد جرم ودو واحد باربری هر جزء) هستهٔ اتوم رادیو آکتیو به‌هستهٔ عنصرنسبتاً سبکتری مبدل می‌شود که درجدول تناوبی‌عناصر جای دورتری ازپایان جدول را اشغال می‌کند.

مثلا چون از رادیوم ($Z=۸۸$، $A=۲۲۶$)[1] ذرات α خارج شود رادیوم به‌رادون ($Z=۸۶$، $A=۲۲۲$) مبدل می‌شود، وچون‌از هستهٔ پولونیوم ($Z=۸۴$، $A=۲۱۰$) ذرات α بیرون رود اتومهای سرب ($Z=۸۲$، $A=۲۰۶$) برجای‌می‌ماند. این‌دو تجزیه‌رامی‌توان بافورمولهای شکل (۱۵) نمایش‌داد.



شکل ۱۵
تجزیهٔ خود به‌خود هسته‌های ناپایدار: ۱ـ تجزیهٔ رادیوم به‌رادون وهلیوم. ۲ـ تجزیهٔ پولونیوم به‌سرب وهلیوم.

---

۱. Z عدد نمایندهٔ محل عنصر در جدول تناوبی عناصر است (به‌شکل ۱۲ مراجعه شود). A وزن‌اتومی‌عنصررا نسبت‌به‌ئیدروژن($۱=$) نشان می‌دهد.

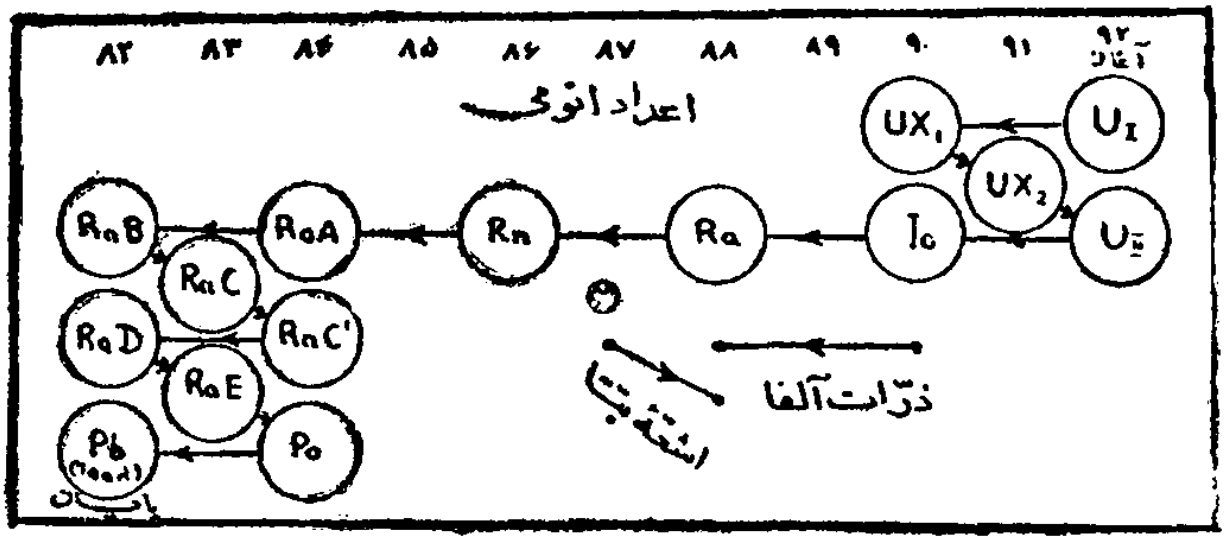
چون به‌سرب برسیم‌رشتهٔ متوالی تشکیل‌ذراتα متوقف‌می‌شود، زیرا سرب متعلق به‌ناحیه‌ای ازعناصر است‌که هستهٔ‌ثابت دارند وانحلال وتجزیه درانجا دیگر ممکن نیست. باوجود این باید دانست که تجزیهٔ تدریجی‌عناصر ناپایدار گاه به‌گاه درنتیجهٔ صادرشدن یك‌الکترون منفی که‌ظاهراً ازدرون هستهٔ درحال انحلال‌بیرون می‌آید متوقف می‌شود. این تشعشع الکترونی هسته که نام صدور اشعهٔ β (بتا)دارد وچنان است‌که عملا در جرم اتوم تغییری نمی‌دهد (ازان جهت که به واسطهٔ کوچکی بی‌اندازهٔ جرم الکترون می‌توان ازان چشم پوشید) سبب آن می‌شودکه عدد اتومی عنصر زیاد شود وجای‌آن درسلسلهٔ تناوبی عناصر یك گام پیشتر رود.[1] ولی‌این پیشرفت موقتی با عمل بعدی خروج بیش از اندازهٔ رشته‌های متوالی ذراتα جبران می‌شود ودر نتیجه گاهی عنصر ناپایدار دوگام به پس وزمانی یك‌گام به‌طرف پیش‌می‌رود وبه‌این‌ترتیب به‌کندی ازناحیهٔ عناصر ناپایدار دور می‌شود تابالاخره به‌وضع غیرقابل تبدلی برسد، واین‌همان وقت است‌که عنصر رادیوآکتیو به‌صورت سرب درآمده است.

از این تبدلات پیاپی عناصر به‌یکدیگر **خانواده‌های رادیو آکتیو** به‌دست می‌آید. از این قبیل است **خانوادهٔ اورانیوم** (شکل ۱۶) که رادیوم یکی از اعضای آن است، **و خانوادهٔ توریوم** ، **و خانوادهٔ آکتینیوم**.

درپایان باید گفت که ترشح ذرات α واشعهٔ β غالباً همراه با تحریك شدید عمل تجزیه وانحلال درونی هسته است ونتیجهٔ آن صادر شدن امواج برقاطیسی (الکترومایتیك) بسیار کوتاهی شبیه اشعهٔ x است‌که معمولا به‌نام اشعهٔ γ (گاما) نامیده می‌شود. این‌تشعشعات، که بی‌اندازه خاصیت نفوذ دارد (وبرخلاف تشعشعات α و β از ذرات مادی تشکیل نشده)، دربسیاری حالات عامل آثاری است که ازلحاظ عکسبرداری وچیزهای دیگر درمواد رادیو آکتیو بروز می‌کند.

---

۱. از دست‌دادن یك‌بار الکتریکی منفی معادل است با ازدیاد بار مثبت هسته.



شکل ۱۶

تجزیه و انحلال درخانوادهٔ اورانیوم. پیکان‌ها نمایندهٔ تبدلات متوالی دروضع عنصر درجدول تناوبی است که نتیجهٔ خروج ذرات α واشعهٔ β می‌باشد. آنچه در میان دایره‌ها است نمایندهٔ علامت شیمیایی عناصر رادیو آکتیو مختلف است ، مثلا U نمایندهٔ اورانیوم است وIo علامت یونیوم و Ra علامت‌رادیوم و Rn نمایندهٔ رادون و Po علامت پولونیوم.

انرژی آزاد شده ودوره‌های تجزیه وانحلال

سابقاً اشاره شد که انرژی حرکتی ذرات α که درضمن تجزیه و انحلال خودبه‌خود هسته صادر می‌شود به‌مقدار بی‌اندازه زیاد می‌رسد (همان‌گونه که درهنگام بحث ازاستعمال این‌ذرات به‌وسیلهٔ **رادرفورد** برای بمباران کردن اتومها دیدیم) مثلا ذرات α که از رادیوم خارج می‌شود سرعتی برابر با ۱،۵۰۰،۰۰۰،۰۰۰ سانتیمتر (یا ۹،۰۰۰ میل) درثانیه دارد که هزاران برابر سرعت حرکت‌حرارتی مولکولها در درجهٔ حرارت اطاق است، وبا وجود آنکه جرم این‌ذرات بی‌اندازه کوچك‌است هریك ازآن ذرات دارای انرژی معادل‌با ۰ر۰۰۰،۰۰۷ ارگ است. به‌این ترتیب معلوم می‌شود که غلظت انرژی در ذرات α (یعنی انرژی حساب شدهٔ برای واحد جرم) عملا یك بلیون مرتبه بزرگتر از غلظت گلوله‌هایی است که در سلاحهای تیراندازی جدید

وجود دارد.

اگر تمام اتومهای موجود در یک گرم رادیوم می‌توانستند همهٔ ذرات α خودرا تقریباً در یک زمان ومثلادرمدت یك ساعت خارج کنند، انرژی شگفت انگیزی معادل با ۲×۱۰^{۱۶} ارگ آزاد می‌شد. به‌این قرار انرژی اتومی محتوی درچندکیلوگرم رادیوم کافی‌خواهد بود تا بتواند کشتی بزرگ اقیانوس پیمایی‌را از اروپا به‌امریکا ببرد وبازگرداند، یا یك اتوموبیل‌را درمدت چندین قرن حرکت دهد. ولی باید دانست‌که انرژی اتومی پنهان شده، درهستهٔ رادیوم یکباره‌خارج نمی‌شود، بلکه باکمال کندی ودرمدت درازی این‌کارصورت می‌گیرد. برای‌آنکه نیمی ازجرم مقدار معین رادیوم تجزیه شود ۱۶۰۰ سال وقت لازم‌است،و چون ۱۶۰۰ سال دیگر بگذرد آن نیمهٔ باقی‌مانده نیز نصف می‌شود. این‌کندی درتجزیه وانحلال رادیو آکتیو سبب آن می‌شود که انرژی آزاد شدهٔ درواحد زمان خیلی‌کم باشد. اگر بخواهند یك فنجان چای را با انرژیی‌که از یك گرم رادیوم (به‌بهای ۳،۰۰۰،۰۰۰ ریال) تراوش می‌کند گرم کنند، بایستی مدت چندین هفته انتظار بکشند .

درمورد اورانیوم وتوریوم‌که‌دورهٔ تجزیه وانحلال‌آنها به‌ترتیب ۴٫۵ و ۱۶ بلیون‌سال طول می‌کشد، اندازهٔ انرژی آزاد شدهٔ درواحد زمان به‌مراتب کمتراست. البته عناصر کمعمری نیز وجود دارد مانند رادون (که دورهٔ عمرش ۳٫۸ روز است) یا RaC′ که مدت تجزیه و تلاشی آن از ۰٫۰۰۰،۰۱ ثانیه تجاوز نمی‌کند، وبه واسطهٔ همین تجزیه سریع است که نمی‌توان به‌وجود آنها در معادن رادیوآکتیو از طریق وسایل عادی شیمیایی پی‌برد.

پس ازاین خواهیم دید (فصل ۱۲) که تمام عناصر رادیو آکتیو که تاکنون می‌شناسیم در نخستین مراحل ساختمانی جهان تشکیل شده وبه‌این‌ترتیب « قدیمیترین‌سندآفرینش» به‌شمار می‌روند. ازان میان تنها عناصری مانند اورانیوم و توریوم را که سنشان طوری است که‌قابل مقایسه با سن‌کنونی جهان است (درحدود دوبلیون‌سال)، می‌توان بامحصولات تجزیه‌ای‌آنها (یعنی اعضای خانوادهٔ رادیوآکتیو خود) در مجاور یکدیگر یافت. اگر عناصر ناپایداری با عدد اتومی

بیشتر دران دورهٔ بسیار قدیمی آفـرینش‌که عناصر ساخته شده وجـود داشته‌است، ناچار در این دوبلیون سال تجزیه شده واثری ازانها بـر روی سیارهٔ ما باقی نمانده است.

نظریهٔ « ترشح » ذرات α

اگر هستهٔ عناصر رادیوآکتیو ناپایدار است ودر نتیجهٔ صـادر شدن اجزاء مرکب‌کنندهٔ آن متلاشی می‌شود، پس‌چه‌چیز مانع آن‌است که همهٔ این‌اجزاء یك‌باره ازان صادر شود؛ چرا هستهٔ اورانیوم وهستهٔ توریوم پاره‌های α خودرا مدت بلیونها سال‌نگاه می‌دارند. درصورتیکه هسته‌های دیگر اجزاء α خودرا در مدت کسری از ثانیه بیرون می‌فرستند؛ درآن‌هنگام‌که مؤلف این‌کتاب درتابستان ۱۹۲۸ از دانشگاه گوتینگن دیدن می‌کرد، این‌گونه سؤالات که مدت‌درازی عنوان اساس وقلب معمای بزرگ نظریهٔ رادیو آکتیویته را پیدا کرده بود پیوسته فکر وخاطر اورا به‌خود مشغول می‌داشت ودر پی‌آن بود که جوابی برای‌این پرسشها بیابد. گوتینگن شهر محقری بود که امکانات تفریح و وقتگذرانی درآن از دو سینما تجاوز نمی‌کـرد، و نگارنده که در نخستین سفر خارج خود آرزوی آن داشت تا به چیـزهای بزرگتری دسترس پیدا کند کار دیگری نداشت جـزانکه خـودرا به تحقیقات و پژوهشهای علمی دلخوش کند.

برمن آشکار بود که فرار ذرات α از میان « حصار پوتانسیل مرتفعی » که برج هستهٔ آنهارا احاطه می‌کند از لحاظ فیـزیك رسمی بایستی کاملا غیر ممکن بـاشد. چه بنا بر آزمایشهای **راذرفورد** کـه گزارش آنها درست‌درهمان زمان منتشر می‌شد معلوم بود که «حصار-هایی » که هسته‌های رادیو آکتیو را در برمی‌گیرد دارای انرژیی‌است که به‌مراتب سطح آن بلندتر ازسطح انـرژی ذرات α است. ولی در همان زمان که در چارچوبهٔ نظریهٔکلاسی ورسمی متلاشی وپاشیده شدن مواد رادیو آکتیو مطلقاً غیر ممکن به‌نظر می‌رسید، مکانیك کوانتوم وسیله‌ای در اختیار می‌گذاشت که بنا برآن تفسیر این‌واقعیت امکان-پذیر می‌شد. چون مؤلف‌کتاب فکر خودرا دراین‌جهت به‌کار انـداخت

به‌زودی توانست این مطلب را اثبات کند که **انحلال و تلاشی عناصر رادیوآکتیو کیفیتی‌است که جنبهٔ مکانیك کوانتوم محض‌دارد و درآن ذرات از حصارهای پوتانسیل « تراوش می‌کند »**، درست برآن سان که اشباح از میان باروهای قصرهای دور افتاده وگهن‌عبور می‌کنند ودر افسانه‌ها داستان‌آن‌را زیاد خوانده‌ایم. فورمولهای مکانیك کوانتوم که برای « **شفافیت** » **دیوارهای هسته** به‌دست آمد به‌خوبی نشان می‌دادکه چرا میان انرژی ذرات صادرشده وزمان تلاشی متناظر با آن ارتباطی موجود است وجای شکی باقی نمی‌گذاشت که این طرز توضیح کاملا صحیح است.

عملا در همان حینی‌که مؤلف درآن شهر کهنهٔ آلمان مشغول تکمیل نظریهٔ تجزیه وتلاشی ذرات α بود، درآن‌طرف اقیانوس اطلس ضمن مباحثاتی که میان دونفر عالم فیزیك دیگر به‌نامهای **گرنی**[1] و **کوندون**[2] صورت می‌گرفت توضیحی در بارهٔ نمودهای رادیو آکتیو به‌دست آمد که بانظر مؤلف این‌کتاب شبیه بود.

در سالهای پس‌ازان سال معلوم شد که نظریهٔ حصار پوتانسیلی هسته نه‌تنها برای فهم مسئلهٔ انحلال و جدا شدن خود به‌خود ذرات α مفیداست، بلکه درموارد استعمال متنوع آن درمسائل مربوط به‌تحول وتبدل‌مصنوعی عناصر به‌یکدیگر که ازراه بمباران هسته حاصل‌می‌شود بینهایت سودمند است. و نیز همین نظریه برای توضیح وتفسیر فعل‌و انفعالات حرارتی هسته بسیار کارامد است وچنانکه پس ازاین خواهیم دید همین‌فعل وانفعالات حرارتی هسته است که منبع انرژی ستارگان به‌شمار می‌رود.

خروج ذرات β برای برقرار کردن تعادل برقی هسته است

پیش‌ازاین‌گفتیم (صفحهٔ ۷۴) که رشتهٔ خروج متوالی ذرات α درهرخانوادهٔ رادیوآکتیوگاه‌به‌گاه باصدور 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 اجـزاءِ اصلی سازندهٔ هستهٔ اتـوم تصور کنیم. تحقیقات بیشتری که این کتاب جای ذکر آنهـا نیست علمـای فیزیك را به‌این نتیجه رسانیده است که الکترون به‌همان صورت خود عملا و فعلا در هسته وجود ندارد، و دلیـل آن‌هم این است که حجم الکترون آن اندازه بزرگ است‌که نمی‌توان قبول‌کرد چندتای از آنها درحجم بینهایت ناچیز هسته وجود داشته باشد.

این نتیجه که درنظر اول معمایی به‌نظرمی‌رسد، بنابراین‌نظریهٔ حل و تفسیر شده است که می‌گویند: **الکترونهایی که‌ازمواد رادیو آکتیو صادر می‌شود درست درهمان لحظهٔ پیش‌ازصدور « خلق می‌شود » واز بار برقی« بیشکلی» که هسته حامل آن‌است بیرون می‌آید**. باید دانست که توضیح این‌نظریه بدون ورود در جزئیات و مسائل فنی امکان ندارد، و ما فعلا خودرا به دانستن این مطلب قانـع می‌سازیم‌که **الکترونها پیش‌از آنکه‌صادرشوند دردرون‌هسته وجود ندارند**، همان‌گونه که حبابهای صابون پیش‌از آنکه از نوك قلم خارج شوند در آن موجود نبوده‌اند.

هروقت که با خارج شدن ذرات α تعادل میان بار برقی وجرم هسته‌ای‌که درحال انحلال و تجزیه است به‌هم بخورد، بـلافاصله تسویهٔ برقی صورت می‌گیرد و بار اضافی به‌صورت‌ذرات برقی خارج می‌شود. به‌عنوان مثال آنچه‌را که در مورد یکی از افراد خانوادهٔ توریوم مثلا ThC هنگام خارج کردن یك ذرهٔ پرانرژی α اتفاق می‌افتد دراینجا ذکـر می‌کنیم . هستهٔ ThC پس ازاین عمل به‌صورت هستهٔ ThC^{-} تبدیل می‌شود که وزن‌اتومی آن ۲۰۸ وبار برقی مثبت آن ۸۱ واحد عنصری است. اگر به‌جدول عناصر ثابت مراجعه کنیم خواهیم دانست که هستهٔ ثابتی‌که‌جرم ۲۰۸ دارد بایستی بار برقی ۸۲ واحدی داشته باشد کـه ایزوتوپ سرب است . بنابراین نتیجهٔ تجـزیهٔ ThC برای آنکه پایدار بماند لازم‌است که یك‌بار منفی آزاد (یا ذرهٔ β) ازخود خارج کند وبه صورت سرب متعارفی درآید وپس ازآن همیشه به‌همین صورت ثابت باقی بماند.

پس‌از این خواهیم دید که هسته‌ای که درعمل تبدل مصنوعی هسته‌تشکیل می‌شود، ممکن است ازجهت مخالف باجهتی‌که ذکرکردیم تعادل برقی خودرا ازنو به‌دست‌آورد، یعنی یك‌بار **مثبت** آزاد ازخود صادرکند. مثلا هستهٔ نیتروژن وقتی‌که به‌صورت مصنوعی‌به‌دست می‌آید و وزن اتومی ۱۳ دارد (همجای سبك)، به‌وسیلهٔ همین‌کیفیت به‌هستهٔ ثابت کربون مبدل می‌شود (همجای سنگین که آن نیز وزن اتومی ۱۳ دارد). اکتشاف چنین **الکترونهای مثبتی** که تاآن‌زمان مجهول بود و وجود آنهارا به‌صورت نظری دانشمندی به‌نام **دیرك**[1] پیشگویی کرده بود دورهٔ تازه‌ای در پیشرفت علم نسبت به‌خواص ذرات β روی کار آورده است، ولی بحث در این مطلب از حوصلهٔ کتاب حاضر بیرون است.

بازگشت به‌کیمیا

اکتشاف کیفیت تلاشی وانحلال عناصر رادیو آکتیو نشان داد که کیمیاگران قرون وسطی در اندیشهٔ تحول مصنوعی‌عناصربه‌یکدیگر چندان هم به‌راه غلط نمی‌رفته‌اند. اگر عناصری‌که از لحاظ ساختمان درونی ثبات و پایداری ندارند و در نزدیك کنار فوقانی سلسلهٔ طبیعی عناصر قرارگرفته‌اند، قابل آن هستند که به‌یکدیگر تبدیل شوند، می‌توان باورکرد که در مورد عناصر سنگینتر که در حالت متعارفی حالت ثبات دارند نیز درتحت تأثیر عوامل شدید خارجی چنین‌تحولی به‌طور مصنوعی بتواند صورتپذیر شود.

البته کیمیاگران درکوشش‌خود مفتضحانه شکست خوردند،ولی باید دانست که تنها مؤثرات وعوامل خارجی که آن مردم در اختیار داشتند، عواملی بود که ازفعل وانفعالات حرارتی وشیمیایی معمولی به دست می‌آید، درصورتی‌که‌انرژی پیوستگی اجزای هسته ملیونهامرتبه ازانرژی ارتباط عناصر شیمیایی که‌درفعل‌وانفعالات‌آزاد می‌شودبزرگتر است. حملهٔ کیمیاگران‌را به‌هستهٔ اتوم می‌توان به‌این تشبیه‌کردکه‌کسی

---

1. M. Dirac

بخواهد بامنجنیقها وساز وبرگهای جنگی قرون وسطی استحکامات خط زیگفرید یاخط ماژینورا منهدم کند.

اگرکسی بخواهد دربرج‌وباروی نیرومند هستهٔ اتوم شکافی‌ایجاد کند، ناچار گلوله‌ای که‌به‌کار می‌برد بایستی انرژیی داشته‌باشد درحدود انرژی ذرات وپاره‌هایی که‌ازخود هسته به‌خارج پرتاب می‌شود. اکنون که‌عناصر رادیو آکتیو گوناگون‌را دراختیار داریم که می‌توانند ذراتα را باانرژی فراوان از خود خارج کنند، شاید بتوانیم بااین گلوله‌ها به دیوار هستهٔ عناصر سبك که‌در حـالت متعارفی ثابت وتغییر ناپذیرند شلیك کنیم وآرزومند آن‌باشیم که‌بعضی ازاین‌گلوله‌ها به‌هدف برسد و ازحصار هسته بگذرد وآن خرابی وویرانی‌را که‌در داخل هسته چشم‌به راه‌آن هستیم بارآورد. باهمین اندیشه بود که مکتشف بی‌آرام درون اتوم‌یعنی **راذرفورد** به‌سال ۱۹۱۹ دسته‌ای‌ازذرات‌سریعα را که‌ازجسمی رادیو آکیتو به‌دست آورده بود متوجه اتومهای نیتروژنی کرد که به آرامی دریك اطاق پرازگاز به‌حرکت مشغول بودند وآنهارا شکافت!

عکسبرداری از بمباران هسته

بلافاصله پس‌ازانکه راذرفورد توانست هستهٔاتوم‌را بمباران‌کند، یکی‌ازشاگردان وی به‌نام **پاتریك بلاکت**[1] طریقه‌ای به‌دست آورد تااز این بمباران وتخریب اتومی عکسبرداری هوایی‌کند. ممکن است‌کسی بگوید که‌گلوله‌های هسته آن اندازه کوچك وتند حرکتند که ازآنها نمی‌توان عکس‌برداشت، ولی‌ازیك‌لحاظ چنین‌نیست وحقیقت‌امر آن‌است که‌عکسبرداری‌ازخط سیر این‌ذرات کوچك ومنهدم کننده‌بسیار آسانتر ازعکسبرداری ازخط سیر گلوله‌های توپ میدانهای جنگ است.

اسبابی که‌برای این‌کار به‌کار می‌رود معمولا به‌نام **اطاق ابر** یا **اطاق ویلسون** نامیده می‌شود واساس عمل‌آنها مبتنی براین امر است که‌ذرات سریع‌الحرکتα درضمن گذشتن ازمیان هوا یاهرگـاز دیگر انحراف وتغییری دراتومهایی که‌سرراه آنها قرار گرفته‌اند تولید می-

---

1. Patrick Blackett

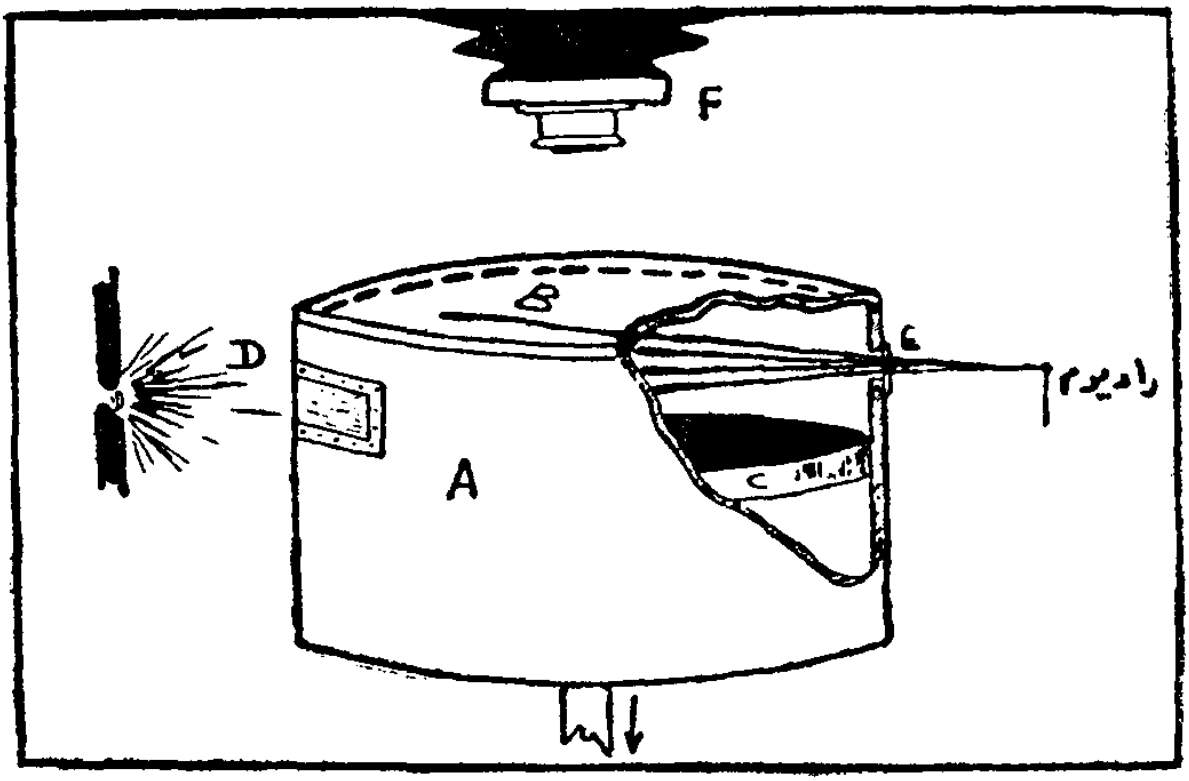
کنند. این‌گلوله‌ها بامیدان برقی شدیدی که‌دارند از اتومهای گازی که درسر راهشان‌واقعند یك‌یادوالکترون می‌کنند ودرپشت سرخوداتومهای یونیده (= یونی شده) برجای می‌گذارند. این‌حالت مدت‌درازی طول نمی‌کشد، چه‌اتومهـای یونیده پس‌از عبور گلوله‌هـای α هرچه زودتر الکترونهای خودرا باز می‌گیرند و به‌حالت‌عادی برمی‌گردند.

ولی اگرگازی که‌درآن این کیفیت‌یونش (یونیده شدن) پیش آمده‌بابخار آب اشباع شده باشد، قطرات بسیار خردآب برروی‌هریك از اتومهای یونیده پدیدار می‌شود (واین از خواص بخار آب است که برروی یونها وذرات‌گرد وغبار ونظایر آنها حالت غلظت وتمرکزپیدا می‌کند). وبه این ترتیب نوار باریکی ازمه در مسیر گلولهٔ α تشکیل می‌شود. به‌عبارت دیگر اثر هرذرهٔ بارداری که در میان گازی حرکت کند همان‌گونه قابل رؤیت می‌شود که‌اثر حرکت هواپیمـایی که بـادود برروی آسمان علامات ونوشته‌هایی‌را رسم می‌کندقابل رؤیت‌است.

ازلحاظ فنی اطاق ابراسباب بسیـار ساده‌ای است (شکل ۱۷). اساس آن عبارت است ازاستوانهٔ فلزی(A) که‌سرپوش شیشه‌ای (B)آن را می‌پوشاند، ودر داخل‌آن‌پیستون(C) می‌تواند به وسیلهٔ دستگاهی‌که برروی شکل نشان داده نشده به بالا یاپایین حرکت کند. فاصلهٔ میان سرپوش شیشه‌ای‌وپیستون‌از هوای‌متعارفی (یاهرگاز دیگری‌که‌بخواهند) پرشده ومقدار زیادی بخار آب همراه آن است. اگر پس‌از داخل‌شدن گلوله‌ای اتومی به‌اطاق ازراه پنجرهٔ (E)[1] پیستون به صورت ناگهانی به‌طرف پایین کشیده شود، هوای بـالای آن سرد می‌شود وبخار آب موجود درآن به‌صورت نوار باریکی از مه در اطراف خط سیر گلولهٔ اتومی درمی‌آید. این نوار مه‌را بانور شدیدی که ازپنجرهٔ دیگر(D) می‌تابد سخت روشن می‌کنند وبه همین جهت است که‌نوار مه به خوبی برزمینهٔ سیاه وتاریك پیستون قابل رؤیت می‌شود، ونیـز می‌توانند با دوربین عکاسی(F) ازآن عکس بردارند؛ بازوبسته شدن دوربین‌عکاسی

---

۱. این پنجره‌را معمولا باورقهٔ نازکی ازمیکا می‌پوشانند که از آن گلوله‌های اتومی می‌توانند باکمی دشواری عبور کنند.



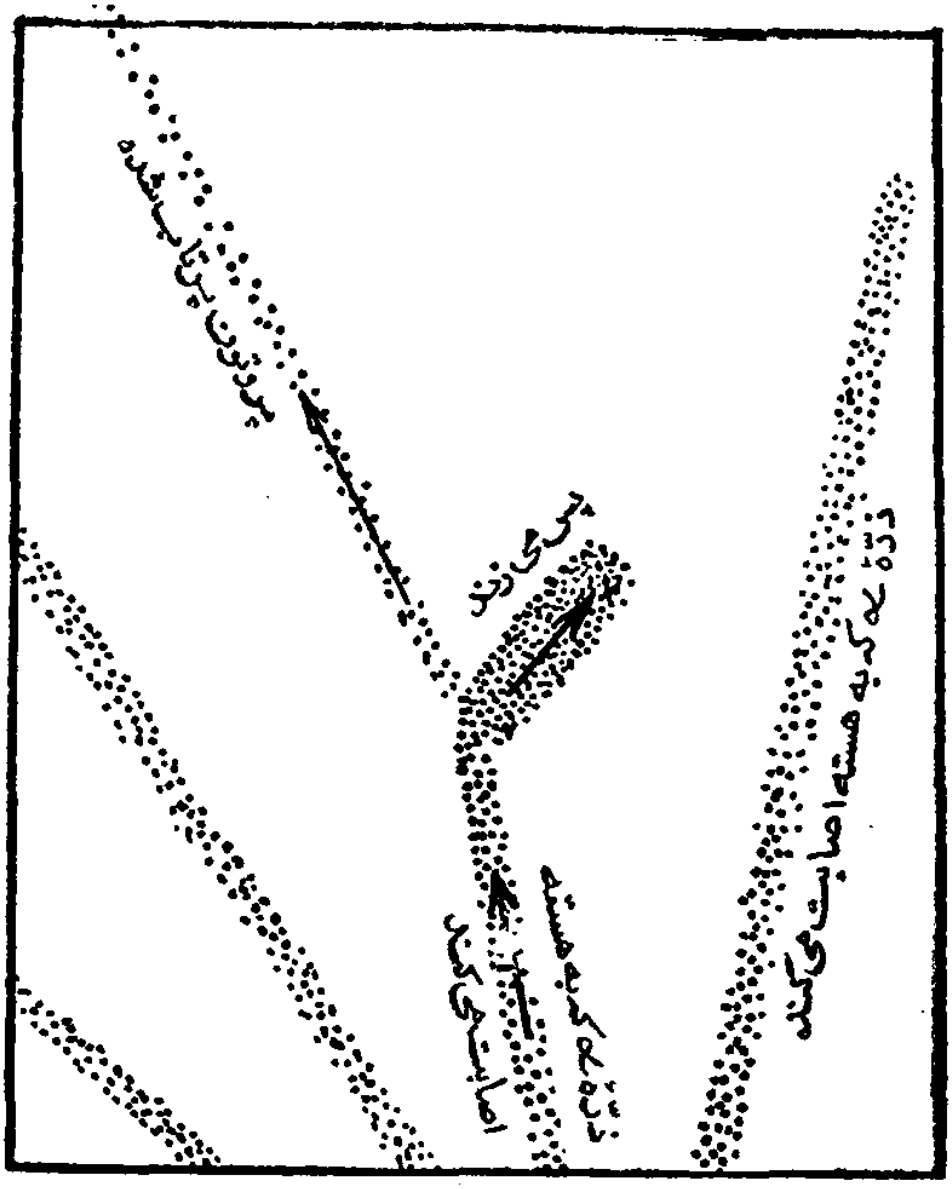
شکل ۱۷
اطاق ابرویلسون

به صورت خود به خودی به‌وسیلهٔ حرکت پیستون انجام می‌شود. این دستگاه ساده یکی از پرارزشترین آلات فیزیك‌جدید به‌شمار می‌رود وبه وسیلهٔ آن می‌توانیم عکسهای زیبایی از نتایج بمباران هستهٔ اتوم برداریم.

شکافتن اتوم نیتروژن

بلاکت برای آنکه بمباران شدن اتومهای نیتروژن را مورد تحقیق قرار دهد، به‌چیزی جز آن احتیاج نداشت که‌تنها اطاق خودرا باهوای جوپرکند، زیراچنانکه می‌دانیم قسمت‌عمدهٔ این هوارانیتروژن تشکیل می‌دهد. البته قراول رفتن هستهٔ اتوم نیتروژن بایك‌ذرهٔ α غیر ممکن است، وفقط تصادف است که‌یکی از گلوله‌های بمباران اتومی‌را ازپنجرهٔ کنار دستگاه به‌یك هسته می‌رساند و آن‌را درهم می‌شکند.

درنخستین عکسهایی که‌گرفته شد هیچ اثری ازبرخوردمستقیم



شکل ۱۸

تحلیلی ازصفحهٔ عکسی که‌بلاکت‌برداشته ودرطرف راست صفحه تصویر شمارهٔ (۲) دیده می‌شود. نقطه‌های جدا از یکدیگر نمایندهٔ قطرات مه است.

ذراتα به‌هستهٔ اتوم دیده نمی‌شد، یعنی اثر عبور ذراتα درضمن‌عبور از اطاق درست خط مستقیمی بود. ولی پس از آنکه **بلاکت** عکسهای زیادی برداشت (یعنی۲۳،۰۰۰ تصویر)، بالاخره در میان آنها هشت تصویر یافت‌که‌برخورد ذرات α راباهستهٔ اتومهای نیتروژن‌نشان‌می‌داد. این کمی تصادف برخورد ذرات α باهسته های نیتروژن به‌خوبی نشان می‌داد که‌لااقل باوضعی که‌علم وتجربه درآن زمان داشت‌امیدآن نیست

که‌تهیهٔ عناصر جدید به‌مقدار فراوان وهمچنین به‌دست آوردن انرژی زیر اتومی قابل ملاحظه ازاین راه امکانپذیر باشد.

یکی‌ازتصاویرتجزیه وشکستن هسته‌راکه به‌وسیلهٔ بلاکت به‌دست آمده درصفحهٔ تصویرشمارهٔ II پایان‌کتاب‌نشان‌داده‌ایم‌وشکل‌نظری آن‌را که نمایندهٔ حادثه‌ای است که درضمن برخورد ذرهٔ α با هستهٔ نیتروژن صورت گرفته درتصویر شمارهٔ (۱۸) رسم کرده‌ایم این تصویر یك‌ذرهٔ α را نشان می‌دهد که باسرعت فراوان به اتوم نیتروژن نزدیك می‌شود وباهستهٔ آن‌تصادم پیدا می‌کند. برروی آن شکل نتیجهٔ این تصادم‌را نیز می‌بینیم؛ یك پروتون (یعنی هستهٔ ئیدروژن) از داخل هسته به طرف چپ پرتاب‌می‌شود ودرعین‌حال باقیماندهٔ جسم هسته با زاویهٔ‌قائمه ازمحل وقوع تصادم به‌کنار می‌رود.[۱] ولی اثر خود ذرهٔ α ازمیان‌رفته وازاینجا نتیجه می‌گیریم که‌ذرهٔ α درحین تصادم درهستهٔ نیتروژن فرو رفته وجزء آن شده است.

بنا براین هسته‌ای که‌ازتصادم نتیجه شده دیگرهستهٔ نیتروژن نیست، بلکه از اضافه شدن یك ذرهٔ α (یا یك هستهٔ هلیوم) به هستهٔ نیتروژن وکاسته‌شدن یك پروتون (یایك هستهٔ ئیدروژن) ازان چیزی درست‌شده که بانیتروژن کاملا تفاوت دارد. نتیجهٔ تصادم آن‌است که‌بار

---

۱. این‌را باید بگوییم که‌ازروی عکسهایی که‌ازاطاق ابرگرفته می‌شود نه‌تنها شکل مسیر ذراتی که‌درتجربه دخالت دارند به‌دست‌می‌آید، بلکه ازآن‌رو می‌توانیم طبیعت وماهیت آنهارا نیز تعیین کنیم. مقدار یونش که‌از یك‌ذرهٔ متحرك حاصل می‌شود به‌بار برقی آن‌بستگی دارد و هراندازه بار زیادتر باشد مهی که در اتاق ابر تشکیل می‌شود غلیظتر خواهد شد. ازروی‌عکس وهمچنین ازروی شکل شمارهٔ (۱۸) می‌توان دریافت که‌شاخهٔ‌چپ دوشاخه‌ای که‌ازتصادم به‌دست آمده‌تاحدی ازاثر ذرهٔ α که‌برهسته تابیده نازکتر است، واین می‌رساند که‌باربرقی شاخهٔ چپ‌ازبار برقی ذرهٔ α کمتراست، وبنا براین بایستی یك‌پروتون باشد. از طرف دیگر شاخهٔ راست این دوشاخه بسیار غلیظ است واین خود نمایندهٔ آن‌است که‌بار هسته سنگینتر شده است.

هستهٔنیتروژن به‌اندازهٔ یك‌واحد (۱-۲+) وجرم‌آن به اندازهٔ سه‌واحد (۱-۴+) افزایش پیدا می‌کند؛ به‌این ترتیب به‌جای هستهٔ نیتروژن باعدد اتومی ۷ و وزن اتومی ۱۴، اکنون هستهٔ اکسیژنی داریم باعدد اتومی ۸ ووزن اتومی۱۷. **چنین‌است که بمباران شدن اتومهای نیتروژن باذرات α سبب آن‌می‌شود که‌نیتروژن به اکسیژن مبدل گردد،** وخواب کهن کیمیاگران قدیم‌دربارهٔ تبدیل عناصر به‌یکدیگر تعبیرشود.

این عمل تبدیل هسته‌رامی‌توان به‌صورت ساده‌ای شبیه فرمول فعل وانفعالات شیمیایی عادی نمایش داد (شکل ۱۹). تنها فرقی که دارد این است که‌به جای‌آنکه وضع اتومهادر مولکولها مانندفرمولهای شیمی درنظر باشد دراینجا باخود اتومها سروکار داریم.

این مطلب نیز باید گفته شود که اکسیژنی که‌در فعل وانفعال

شکل ۱۹

از تصادم هسته‌های نیتروژن وهلیوم بایکدیگر هسته‌های اکسیژن و ئیدروژن به‌دست می‌آید. اعدادی که بالای علامت عناصر نوشته شده نمایندهٔ وزن اتومی آنها است.

هسته‌ای مذکور دراینجا تشکیل شده، به جای آنکه وزن اتومی ۱۶ داشته باشد وزن اتومی ۱۷ دارد، وبه همین جهت همجای سنگین این عنصراست. پیش‌ازاین‌درفصل‌دوم دیدیم‌که‌اکسیژن هوای‌جوعملامخلوطی از دونوع اکسیژن است: یکی ازآن دوفراوانتر است و باعلامت O^{16} نمایانده‌می‌شود ودیگری که‌مقدارآن‌ناچیزاست واز۰٫۰۳ درصدتجاوز نمی‌کند O^{17} است.

آزمایشهای دیگری که به‌وسیلهٔ **راذرفورد** ومکتب او صورت گرفت معلوم داشت که‌عناصر سبك‌دیگررا نیز چون باذرات α بمباران

کنند فعل وانفعالات اتومی نظیر آنچه درموردنیتروژن دیدیم‌صورت‌پذیر خواهدشد. وازاین قبیل است تبدیل بور(Z=۵) به‌زغال (Z=۶)، یا تبدیل سودیوم (Z=۱۱) به منیزیوم (Z=۱۲)، یا تبدیل آلومینیوم (Z=۱۳) به‌سیلسیوم (Z=۱۴). **ولی نسبت تبدیل‌که درهریك ازاین حالات بسیارکوچك است به‌تدریج که‌وزن‌اتومی عنصر بمباران شده بالاتر می‌رود کمترمی‌شود، به‌طوری‌که‌برای عناصر واقع‌دران طرف ارگون دردستگاه تناوبی عناصر هیچ تجزیه وتحلیلی درعناصر دیده نمی‌شود.**

بمباران کردن به وسیلهٔ پروتونها

در همهٔ آزمایشهای رسمی برای ساختن مصنوعی عناصر که تاکنون دیدیم، ذرات α به‌عنوان وسیلهٔ بمباران به‌کار می‌رفت، چه‌اینها تنها گلوله‌های سنگینی بودند که‌به‌خودی خود از عناصر رادیو آکتیو به‌خارج پرتاب می‌شدند. باوجود این‌نظریهٔ تبدل‌هسته که‌به‌وسیلهٔمؤلف این‌کتاب طرحریزی شد، این مطلب را آشکار ساخت که اگر به‌جای ذرات α پروتونهای سریع‌مورد استفاده واقع‌شود، می‌توان انتظارنتایج بهتری‌را داشت. چون باربرقی‌پروتونها بسیار کم‌است، نیروی دافعه‌ای که‌هنگام نزدیك‌شدن باهسته‌های هرباربرانهااعمال می‌شود کمترخواهد بود، وبه همین جهت قابلیت پروتونها برای نفوذ کردن به‌داخل هسته بیشتر می‌شود. ازاین گذشته بااستعمال پروتونها می‌توان انتظار داشت که‌انواعی‌ازهسته بیش‌ازانچه تاکنون موردمطالعه قرارگرفته به‌دست‌آید.

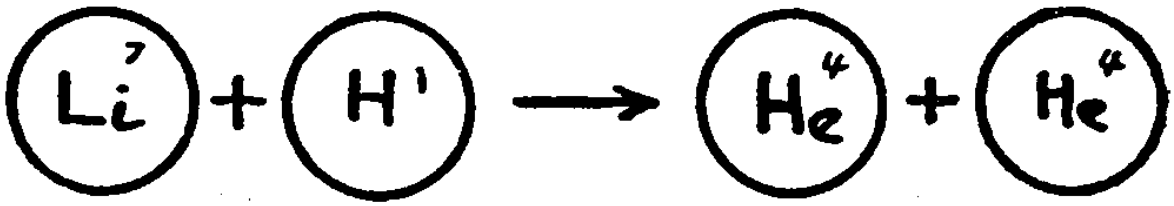
ولی چون پروتونها خود به‌خود از عناصر رادیو آکیتو صادر نمی‌شوند، نخست لازم بوده‌است‌که‌به‌طور مصنوعی دسته‌هایی ازاین‌ذرات را به‌وسیلهٔشتاب دادن به اتومهای ئیدروژن (و اگر صحیحتر بخواهیم یونهای آن) درمیدانهای‌برقی بسیار شدیدفراهم سازند. نخستین تجربهٔ ثمربخشی که‌دراین‌باره‌صورت گرفته درآزمایشگاه‌راذرفورد درکیمبریج وبه‌دست شاگرد جوان وبااستعداد وی **ژ. کاککرافت**[1] بوده است. این

---

1. J. Cockcroft

شخص بااستفادهٔ ازترانسفورماتوری ۵۰۰،۰۰۰ ولتی توانست دسته‌ای موازی ازپروتونهاباسرعت ۱۰،۰۰۰ کیلومتر درثانیه تهیه‌کند. اگر چه‌انرژی این پروتونهای سریع شده هنوز کوچکتر ازانرژی ذرات α است، باوجود این توانسته‌اند دربمباران هسته ازانها به عنوان وسیلهٔ بسیار کارامدی استفاده کنند. کاککرافت پس ازانکه دسته پروتونهای خودرا برصفحه‌ای اندوده ازیك‌قشرلیتیوم‌تابانید، متوجه شدکه‌بسیاری ازاتومهای لیتیوم درتحت تأثیر پروتونها شکسته وبه دوجزء متساوی منقسم شده است (صفحهٔ تصویر III ـ آ ـ پایان کتاب دیده شود.)

معادلهٔ فعل‌وانفعال هسته‌ای‌را که‌دراین حالت صورت گرفته در شکل(۲۰) نمایش داده‌ایم، وازآن‌رو معلوم می‌شودکه**ازتصادم‌هسته‌های ئیدروژن ولیتیوم هلیوم‌خالص به‌دست می‌آید.** ازسایرفعل وانفعالاتی که به‌وسیلهٔ بمباران باپروتون صورت گرفته تبدیل نیتروژن به‌کربون‌را نیز می‌توان نام‌برد. [1]



شکل ۲۰

از برخورد هسته‌های لیتیوم و ئیدروژن بایکدیگر، دوهستهٔ هلیوم (یادو ذرهٔ α)به دست می‌آید.

$$_{7}N^{14}+{}_{1}H^{1}\rightarrow{}_{6}C^{11}+{}_{2}He^{4}$$

---

۱. عددی که‌درقسمت چپ وپایین هرعلامت شیمیایی عنصردر فورمولهای بالا دیده می‌شود نمایندهٔ عدد اتومی (Z) آن‌عنصراست و عددی که‌درطرف راست وبالای‌آن دیده می‌شود نمایندهٔ وزن‌اتومی(A) است. توجه داشته باشید که مجموع ارقام نمایندهٔ A و Z در دوطرف «معادلات» بایکدیگربرابر است. درفورمول اول همجای سبك‌کربون به‌دست آمده وباید دانست که کربون معمولی $_{6}C^{12}$ است.

وهمچنین حالت جالب توجه بور (صفحهٔ تصویر III ـ ب ـ پایان کتاب) است که درتحت اثر بمباران با پروتون به سه جزء α تبدیل می‌شود.

$$_5B^{11} + {}_1H^1 \rightarrow {}_2He^4 + {}_2He^4 + {}_2He^4$$

درمورد احتمال شکسته شدن هسته به‌وسیلهٔ پروتون بایدگفت که گرچه این عمل بیشتر از حالت بمباران با ذرات صورت می‌گیرد (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 اتومی عناصر بمباران شده بیشتر باشد ، عمل شکسته شدن هم کمتر صورت می‌گیرد. با وجود این باید دانست که برای پروتونهایی با انرژی در حدود 10^{-8} ارگ نیز تبدل هستهٔ عناصر سبك امکان پیدا کرده است.

کارمهمی که نخستین‌بار به‌دست **کاککرافت** با تولید مصنوعی دسته پروتونهایی با سرعت زیاد صورت گرفت، راه را برای استفادهٔ از برق با فشار قوی درمسائل مربوط به‌هسته باز کرد. درزمان حاضر آزمایشگاههای فیزیك چهار گوشهٔ جهان مجهز به‌ماشین آلات غولپیکری از این قبیل هستند که به‌نامهای گوناگون و شگفت‌انگیز **ولت افزا** (از نوعی که کاککرافت به‌کار برد) و **مولدهای برق ساکن و سیکلوترون** نامیده می‌شوند.

اتومشکافهای با برق ساکن

دکتر **مرل‌تیوو**[1] سر خودرا از دریچهٔ کرهٔ فولادی به‌ارتفاع شصت پا که دراراضی بنگاه **کارنگی** در واشینگتون برپاشده بود داخل کرد وفریاد زد: « آقای **لاری** کسی شمارا پای تلفون می‌خواهد. »

دکتر ل . هفستید[2] درمیان هوا برکنار بندی که از سقف آن گنبد آویخته بود نشسته وبا جاروی برقی داخل کره را پاك می‌کرد.

---

1. Merle Tuve
2. L. Hafstad

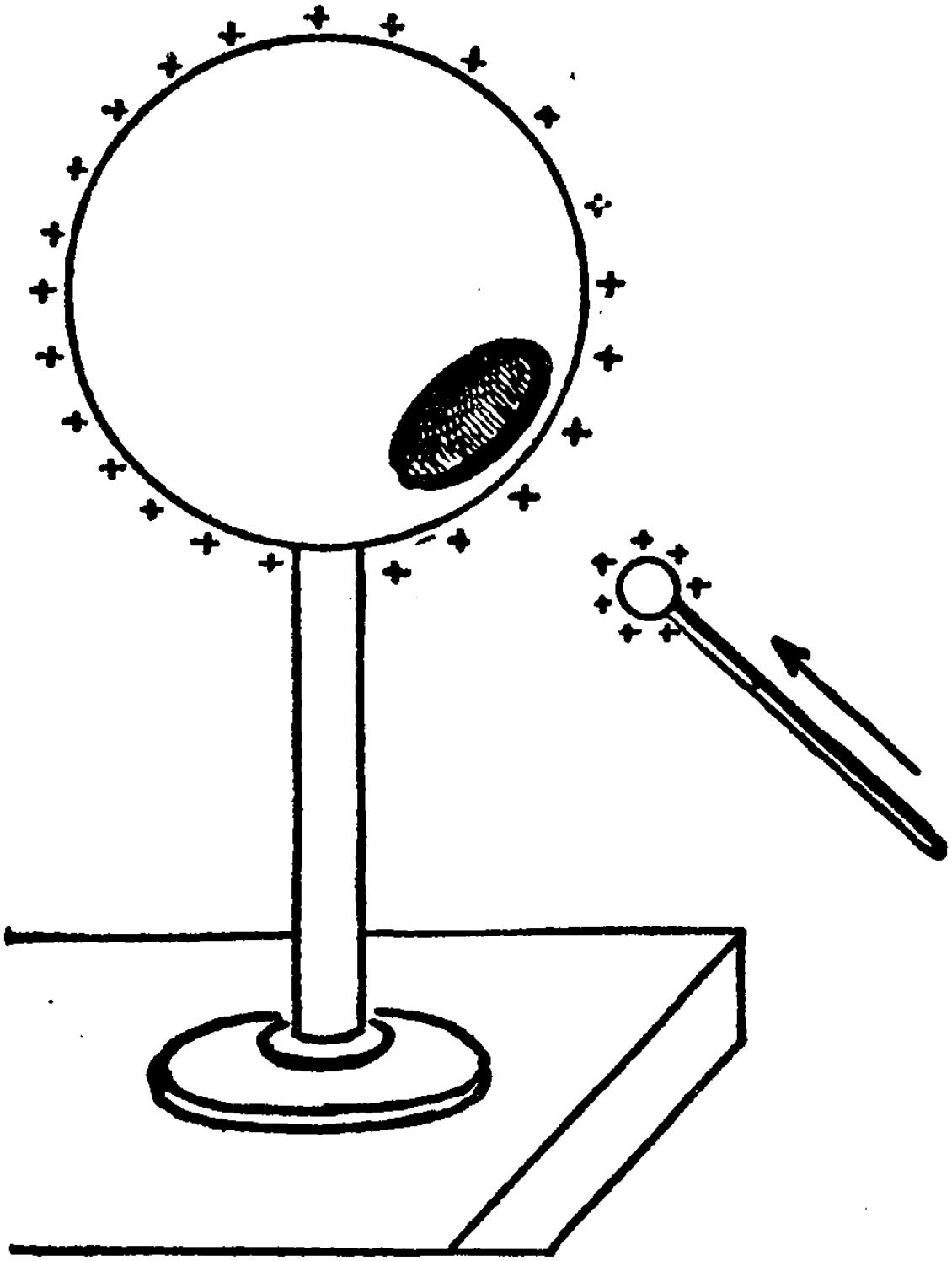
لازم بود که داخل این‌کره کاملا پاك وصاف باشد، چه‌اگر کوچکترین ناهمواری درآن موجودباشد سبب آن می‌شود که برخلاف میل ماتخلیهٔ برقی در آن صورت گیـرد. همهٔ این مطالب سبب آن بود تـا دکتـر **وان دو گراف**[1] نخستین سازندهٔ چنین مولد برقی مجبور شود چندین کبوتر را که در زیر شیروانی اطاقی که دستگاه وی درآن قرارگرفته (صفحهٔ تصویرشمارهٔ IV پایان‌کتاب) آمد وشد می‌کردند 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 وی‌را مورد مطالعه‌قرار دهیم. شاید خواننده را از آنچه در کلاسهای متوسطه خوانده در یاد باشد که چون به‌جسم‌هادی بار برقی داده شود این بار به‌سطح خارجی آن می‌آید. این‌کیفیت‌را درکلاسهای درس با این‌تجربه نشان می‌دهند که‌کرهٔ کوچك بارشدهٔ از برق را که دستهٔ بلوری دارد به‌کـرهٔ مجوف بزرگ سوراخداری نزدیك می‌کنند و آن‌را به‌سطح داخلی این کرهٔ مجوف‌اتصال می‌دهند (شکل ۲۱). دراین صورت باربرقی کرهٔ کوچك به‌تمامی به‌سطح خارجی‌کرهٔ بزرگتر انتقال می‌یابد. چون این عمل را چندین بار مکرر سازند می‌توانند کرهٔ بزرگتر را به هرسطح برقی‌که بخواهند برسانند و به‌وسیلهٔ نزدیك کردن جسم هادی به‌آن جرقه‌های برقی بلندی تولید کنند.

اختلاف‌اساسی مولدهای با برق ساکن با این دستگاه آزمایشی تنها در بزرگی آن است، ولـی البته در جزئیات ساختمان اختـلافات دیگری هست. مثلا انتقال بار برقی به‌داخل جسم هادی به‌وسیلهٔ داخل کردن جسم کوچك بارشده صورت نمی‌گیرد، بلکه به‌جای آن‌دستگاه انتقال باری درکار است که به‌شکل مداوم بار برقی را به‌کرهٔ بـزرگ می‌دهد: یك‌کمربندکه با جسم هادی اتصالی‌ندارد میان ترانسفورماتوری واقع در پایین ساختمان و قرقره‌ای کـه به‌قسمت فوقانی کـره متصل است دوران می‌کند، و پیوسته بار برقی را از ترانسفورماتور می‌گیـرد

---

1 . Van de Graff



شکل ۲۱
اساس کار ماشین اتومشکاف با برق ساکن. چون ازسوراخ کرهٔ بزرگی کرهٔ کوچکی را که بار برقی دارد درآن داخل کنند و به‌آن بچسبانند، بار خودرا به‌کرهٔ بزرگ می‌دهد.

وبه‌کره‌می‌رساند وبه‌این‌ترتیب‌پوتانسیل‌یاسطح‌برقی‌کره‌بسیاربالامی‌رود.
درمولدی‌که‌شکل‌آن‌رابر روی‌صفحهٔ‌تصویر شمارهٔ (۷ پایان‌کتاب) می‌بینید، چند دقیقه پس‌ازآنکه کمربند به‌کار افتاد پوتانسیل برقی به ۵ ملیون ولت می‌رسد . اگرچه از لحاظ اصول برای پوتانسیلی که به این ترتیب به‌دست می‌آید حدی نیست، ولی عملا حدی پیدا می شود وآن از این جهت‌است که‌چون سطح برقی به‌اندازهٔ معینی رسید میان کره وگنبد فولادی دیگری‌که بر روی آن ساخته شده جرقه می‌زند و پوتانسیل پایین می‌آید.[۱]

باکره‌ای که به‌این‌وسیله بارفراوان پیداکرده باشد، ممکن‌است دسته‌هایی از ذرات سریع‌الحرکت مختلف ـ از قبیل پروتـون و ذرات آلفا وهستهٔ لیتیوم ونظایر آنها ایجاد کرد، و این بدان‌گونه است که سرعت یونهای متناظر را درلولهٔ شیشه‌ای‌که یك‌کنارآن از پایین وارد کرهٔ بارشده می‌شود وکنار دیگرآن به‌قسمت تحتانی‌ساختمان‌اتصال‌دارد زیاد کنند . چون یونها با سرعت بسیار عظیمی که دارند به قاعدهٔ این لولهٔ شیشه‌ای می‌رسند از پنجرهٔ نازك میکا می‌گذرند و وارد آزمایشگاه زیرزمینی می‌شوند ، ودرانجا است که این ذرات را برروی اجسامی‌که مورد مطالعه و تحقیق قرار گرفته متوجه می‌سازند . در این آزمایشگاه زیرزمینی انواع واشکال اسبابها و آلات عجیب وغریب وپیچ درپیچی قرار داردکه به‌وسیلهٔ‌آنها نتایج تجزیه‌های هسته‌ای ثبت وضبط می‌شود.

سیکلوترون

چنانکه دیدیم اساس مولد برق ساکن برای تجزیهٔ هستهٔ اتوم

---

۱ . این کرهٔ خارجی نه‌تنها از لحاظ محافظت از باد و بـاران ضرورت دارد، بلکه ازان جهت نیز لازم است که هوارا خشك نگاه ـ دارد وتخلیه‌های برقی نامطلوب را کمترکند. در مولدی که در صفحهٔ تصویر شمارهٔ (Iv) نمایش داده شده کرهٔ محافظ درتحت فشار چند جو قرار دارد و این خود فاصلهٔ جرقه زدن را کمتر می‌کند وبنابران حد پوتانسیل نهایی‌را بالا می‌برد.

برروی اطلاعاتی بنا شده که درآغاز آشنایی با برق به‌آنها رسیده‌ایم ، ولی دستگاه سیکلوترون که نخستین بار در کالیفورنیا به‌وسیلهٔ دکتر **ارنست‌لاورنس**[1] ساخته‌شد برروی شالوده‌واساس دیگری است. به‌جای آنکه ذرات را با ریزش از پوتانسیل چند ملیون ولت سریعتر کنند، **لاورنس** اساس‌کارخودرا براین قرارداد که ذرات را به حرکت دورانی درآورد و درنقطهٔ معینی ازمدار ضمن هریك دور که می‌زنند با دادن پوتانسیل جدیدی انرژی آنها را افزایش دهد.

برای آنکه یك‌ذرهٔ بارشده را در مدار دایره شکلی به‌دوران وادارند، لازم‌است که آنرا درمیدان مغناطیسی یکنواختی قرار دهند، چه بنابرانچه از فیزیك مقدماتی می‌دانیم میدان مغناطیسی که جهتش عمودبرجهت حرکت ذرهٔ بارشده‌باشد مسیر آنرا خم می‌کند ووادارش می‌سازد تا بر روی دایره‌ای حرکت کند. چون ذرات در هر دور با « ضربه‌های برقی »که برآنها وارد می‌آید مقداری انرژی اضافی‌کسب می‌کنند، مقدار خمیدگی مسیر که از میدان مغناطیسی نتیجه می‌شود رفته‌رفته کوچکتر وبنابرآن شعاع مدار دایره شکل به‌تدریج بزرگتر خواهد شد. از خوشبختی لاورنس ازدیاد طول مدار درست با سرعت حرکت جبران می‌شود، به‌قسمی‌که ذرهٔ متحرك پیوسته درفواصل زمان متساوی ازمحلی که درهردور فشار برقی به‌آن داده می‌شود خواهد گذشت . به‌همین جهت است که می‌توان برای تولید فشار برقی از پوتانسیلی استفاده کرد که از یك مولد عادی با بسامد زیاد به دست می‌آید (شکل۲۲).

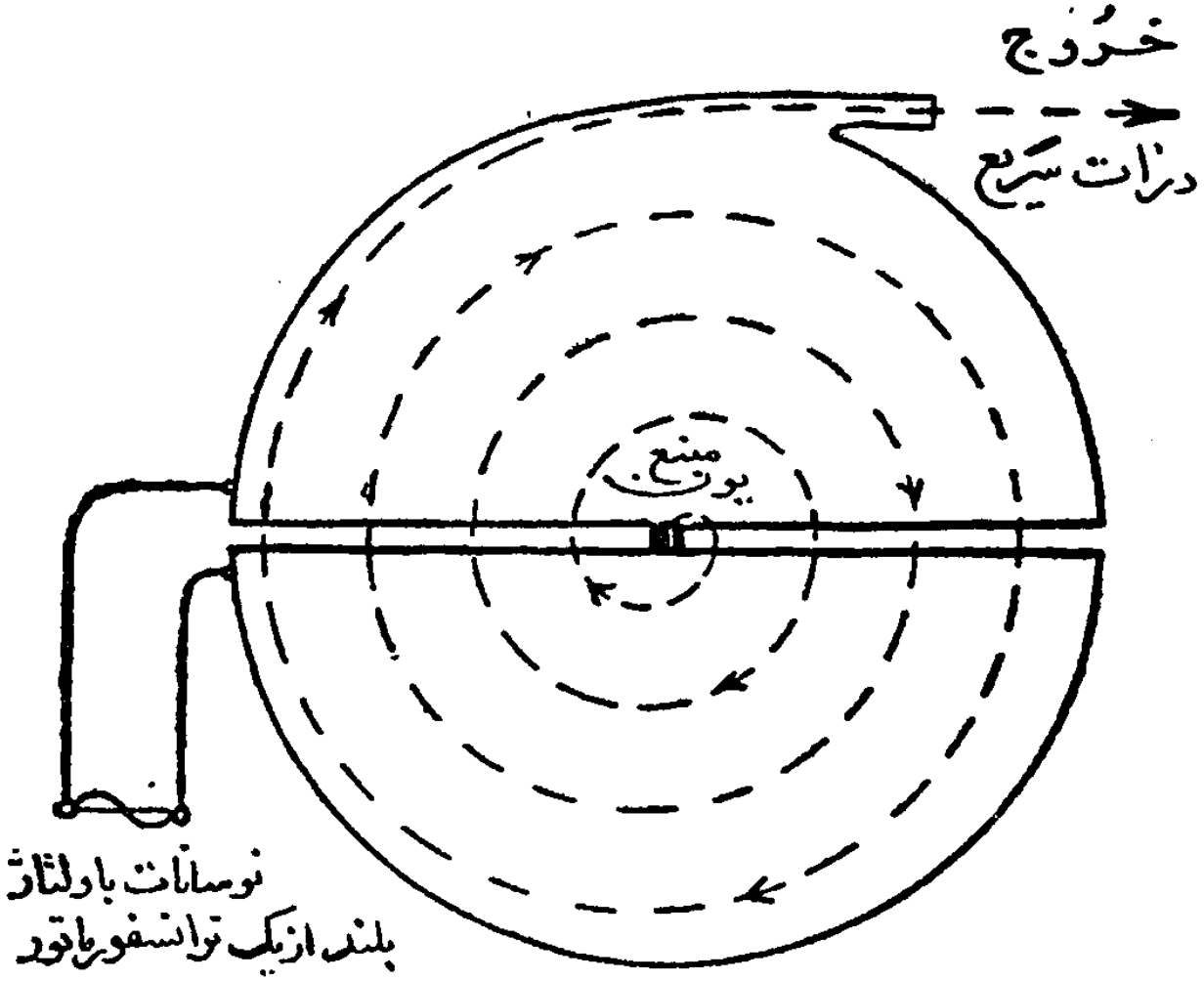
درسیکلوترونی‌که به‌وسیلهٔ لاورنس دردانشگاه کالیفورنیاساخته شده‌وتصویرآنرا درصفحهٔ‌تصویرشمارهٔ(VI پایان‌کتاب) آورده‌ایم، پیش‌از آنکه ذرهٔ پروتون ازدستگاه خارج شود چندین دور می‌زند. پس‌ازهر دورگردش‌که درکسر غیرقابل ملاحظه‌ای از ثانیه صورت می‌گیرد، یك ضربهٔ برقی می‌بیند، به‌طوری‌که هنگام خروج از دستگاه فشار برقی‌در حدود چند ملیون ولت دارد. این ذرات که انرژی بسیارزیاد دارند از

---

1. Ernest O . Lawrence

میان پنجرهٔ نازك میکا که درپایان مسیرمارپیچی آنها قرارگرفته خارج می‌شوند و ازانها می‌توان برای هرنوع بمباران اتومی استفاده کرد.

آزمایش با دسته‌های مصنوعی ذرات که درانها می‌توان نوع و سرعت ذرات را مطابق دلخواه انتخاب‌کرد، سبب پیـدایش تـرقیات فراوانی درعلم ومعرفت ما نسبت به‌فعل وانفعالات مربوط به‌هسته شده است. علاوه برانچه پیش‌ازاین آوردیم ده‌ها تبدیل هستهٔ جالب توجه‌تر انجام شده و با این وسائل در معرض تحقیق وپژوهش قـرار گرفتـه است .



شکل ۲۲

اساس‌کار سیکلوترون. ذرات برمدار مارپیچی حرکت می‌کنند وپیوسته سرعتشان زیادتر می‌شود.

گلوله های « نافذ » جدید

پیشرفت فیزیك هسته در ده‌سال‌گذشته تا حد زیادی در نتیجهٔ اکتشاف نوع جدیدی از گلوله‌های هسته‌ای است که گرچه از بسیاری جهات باپروتونهای‌عادی شباهت دارند، هیچ‌بار برقی‌همراه آنهانیست. **این پروتونهای بیبار**، یا بنابر اصطلاحی که بیشتر رواج دارد این نوترونها، برای بمباران هسته عنوان گلولهٔ کمال مطلوب را دارند، چه ازان‌جهت‌که هیچ بار برقی همراه آنها نیست هیچ نیروی دافعه‌ای از طرف هسته‌های پربار برانها وارد نمی‌شود و می‌توانند به‌سهولت به ساختمان درونی هستهٔ اتوم نفوذ کنند.

گرچه فرضیهٔ مربوط‌به‌امکان وجود چنین‌ذراتی درسال ۱۹۲۵ به‌وسیلهٔ **راذرفورد** بیان شده، ولی دلیل وجود آنها را درسال۱۹۳۲ همکار وی یعنی دکتر **جیمزچدویك**[1] به دست داده است. این شخص ثابت کرد که تشعشع مخصوصی‌که براثر بمباران‌باذرات ازبریلیوم‌صادر می‌شود عبارت است از ذراتی خنثی‌که جرم آنها درحدود جرم‌پروتون است هسته‌ای که‌در نتیجه فعل وانفعال‌به‌دست‌می‌آید همان‌هستهٔ‌کربون متعارفی است.

درزمان حاضرنوترونهارا معمولا از راه تصادم دو دوترون‌یعنی دوهستهٔ‌اتومهای‌ئیدروژن سنگین به‌دست می‌آورند.[2] پس‌از آنکه‌یونهای ئیدروژن سنگین‌را دریکی ازمولدهای جدید باپوتانسیلی بلندبه‌حرکت سریع دراوردند آنها را برروی ماده‌ای مانندآب سنگین می‌اندازند که دران اتومهای ئیدروژن سنگین در داخل مولکولها به یکدیگر اتصال پیدا کرده‌اند. درنتیجهٔ تصادمهایی‌که دست‌می‌دهدعدهٔ زیادی نوترونهای سریع مطابق معادلهٔ زیر تشکیل می‌دهد.

$$_1D^2 + {}_1D^2 \rightarrow {}_2He^3 + {}_0n^1$$

چنانکه می‌بینیم محصول دیگری از این فعل وانفعال همجای

---

۱. James Chadwick

۲. ئیدروژن سنگین را معمولابه‌نام دوتریوم‌می‌خوانند وعلامت اختصاری آن درنامگذاری هسته‌ای $_1D^2$ است (بار، ۱؛ جرم، ۲).

سبکی است ازهلیوم باجرم ۳که هلیوم متعارفی باجرم ۴ معمولامقدار کمی‌از آن‌را همراه دارد.

به‌این نکته باید اشاره شود که چون نوترونها بار برقی ندارند درضمن عبورهوا عمل یونش‌را صورت نمی‌دهند، وبه‌همین‌جهت در ضمن عبورازاطاق ابراثرمرئی ازآنها برجای نمی‌ماند. مشاهدهٔ آنهامعمولااز راه اثری است که ازتصادم باذرات هوایی که مستقیماًدر راه آنها قرار گرفته حاصل می‌شود.

نتایج بمباران بانوترون

همان‌گونه که‌پیش‌از این‌گفتیم نوترونها به‌آسانی می‌توانند حتی در پربارترین هسته‌ها نفوذکنند واثرتخریبی در داخل‌آنهاداشته‌باشند. این آثار بیش از همه به وسیلهٔ فیزیکدان ایتالیایی **انریکوفرمی**[1] و همکاران او مورد پژوهش و مطالعه قرار گرفته است. دران صورت که سر وکار ما باعناصر سبکتر است نفوذ یك نوترون غالباً باخارج شدن یك ذرهٔ α یایك پروتون همراه‌است مانند این‌فعل وانفعال:

$$_{7}N^{14} + .n^{1} \rightarrow {}_{5}B^{11} + {}_{2}He^{4}$$

که نمایندهٔ تبدل یافتن نیتروژن است به‌بور وهلیوم یا:

$$_{26}Fe^{56} + .n^{1} \rightarrow {}_{25}Mn^{56} + {}_{1}H^{1}$$

که تبدیل‌آهن‌را به‌منیزیوم وئیدروژن نشان‌می‌دهد. درعناصر سنگینتر حصار پوتانسیل که هستهٔ اتوم را احاطه کرده‌بلندتر است، واگرچه‌این حصار مانع آن نیست که نوترون بتواند به درون هسته نفوذ کند، ولی ازخارج شدن اجزاءِ باردار هسته جلوگیری به‌عمل می‌آورد. در این حالت نوترونهایی که داخل‌هسته می‌شوند، بایستی از انرژی موجود در خود به‌صورت تشعشعات مغناطیسی‌که تولید می‌شود خلاص شوند وبه‌این ترتیب‌است‌که اشعهٔ سخت γ (گاما) خارج می‌شودمانندا‌ین فعل‌وانفعال:

$$_{79}Au^{197} + .n^{1} \rightarrow {}_{79}Au^{198} + \text{اشعهٔ گاما}$$

که درآن همجای سنگینتری ازطلا ساخته می‌شود. این‌طرز ساخته‌شدن

---

1. Enrico Fermi

همجاهای سنگینتر ازعنصری که بمباران شده ممکن است باتعدیل بار برقی ازطریق‌صدور یك الکترون صورت‌گیرد (صفحهٔ ۷۹ دیده‌شود).

منفجر ساختن هسته

در فعل وانفعالات هسته‌ای که تاکنون مورد بحث قرارگرفت، اساس تبدل عبارت ازان بود که جزء نسبتاً بسیار کوچکی از ساختمان هسته (مانند ذرهٔ α یا پروتون یانوترون) ازان خارج شود؛ تااینجا به این‌مثال برنخوردیم که هستهٔ یك اتوم‌سنگین منفجر شود ودو یابیشتر پاره‌های تقریباًمتساوی ازان‌به‌دست‌آید. ولی‌به‌تازگی (زمستان۱۹۳۹) این‌نوع «شکسته شدن» به وسیلهٔ دوفیزیکدان آلمانی به نامهای **هان**[1] **و مایتنر**[2] مشاهده شد و دریافتند که اتومهای اورانیوم که ناپایدارند، ممکن است براثر بمباران بایك دسته نوترون به دوپاره منقسم شوند. یکی‌از دوپاره نمایندهٔ‌هستهٔ‌باریوم‌است ودیگری‌به‌احتمال‌قوی‌کریپتون. **این شکل شکافته‌شدن‌هسته با آزاد شدن مقداری انرژی همراه است که صدها برابر انرژی آزاد شده در سایر فعل و انفعالات شناخته شدهٔ هسته‌ای‌است.**

همان‌گونه که درفصل آینده خواهیم دید، این نوع کاملا تازهٔ تبدل هسته برای نخستین بارمارا امیدوار ساخت‌که ممکن است‌بتوانیم عملا انرژی زیر اتومی را مورد استفاده قرار دهیم.

---

1. O. Hahn
2. Lise Meitner

فصل چهارم

آیا انرژی زیر اتومی را می‌توان مهار کرد؟

انرژی به‌جای طلا

●

درفصل اخیردیدیم که ترقیات علم فیزیك درقرن حاضردوباره آرزوهای طلایی کیمیاگران قرون‌وسطی‌را بیدار کرد ومسئلهٔ جالب توجه امکان تبدیل عناصررا به یکدیگر برروی پایهٔ محکمتری قرارداد. ولی این را باید بدانیم که کیمیاگران درصدد آن بودند که راهی پیدا کنند تا فلزات‌پست‌رابه‌فلزات گرانبها تبدیل کنند، درصورتی‌که ماامروزبه‌جای پیداکردن‌سیم‌وزرمصنوعی آرزومندآن‌هستیم‌که ازاین تبدل‌عناصرانرژی به‌دست بیاوریم. حقیقت آن‌است که‌اگر به‌دست‌آمدن چنین انرژی‌عظیم درون اتوم میسر باشد، این‌کاربسیارارزنده‌تر ازآن است که بتوانندمثلا مس یاآهن‌را به‌طلا مبدل‌کنند. به‌عنوان مثال‌باید بگوییم که درشکافته شدن یك‌اتوم لیتیوم درنتیجهٔ تصادم باپروتون (شکل ۲۰)، مقداری انرژی برابر با $۲ر۸ \times ۱۰^{-۵}$ ارگ آزاد می‌شود. به‌این‌ترتیب هرگاه

تمام یك‌گرم لیتیوم به وسیلهٔ بمباران باپروتون به‌هلیـوم تبدیل شود، مقدار عظیم انرژی $۱۰^{۱۸} \times ۲٫۵$ ارگ ازان به‌دست می‌آیدکه بانرخ جاری انرژی ارزش‌آن ۶۰۰،۰۰۰ریال‌خواهد بود. اگرتصادفاً درعین آزاد شدن انرژی یك‌گرم لیتیوم هم تبدیل به یك گرم طلا می‌شد که ارزش آن از۸۰ ریال بیشتر نیست، به خوبی معلوم می‌شد که ساختن طلا دربرابر به دست‌آوردن انرژی هیچ‌قدر ومنزلتی ندارد. از طـرف دیگر باید دانست‌که اگربتوانیم انرژی‌نهفتهٔ درداخل اتوم‌را استخراج کنیم وچنانکه می‌خواهیم به‌مصرف برسانیم، تغییرات‌شگرفی در زندگی ودرصناعت حاصل خواهد شد.

انرژی زیر اتومی به‌نسبت خیلی ناچیز آزاد می‌شود

هنوز درست نمی‌توان‌پیشبینی کرد که‌اگر دست یافتن به‌منابع انرژی زیر اتومی ماده امکانپذیر باشد، چه نتایجی ازان به‌دست خواهد آمد. البته شك نیست‌که درانجا انرژی موجود است، ولی همان گونه که درفصلهای‌گذشته‌دیدیم‌آزادشدن این‌انرژی‌چه به‌صورت‌خود به‌خودی وچه به‌صورت مصنوعی‌به‌اندازه‌ای کم وناچیزاست‌که حتی برای‌اکتشاف این انرژی‌آلات بسیار دقیق فیزیکی ضرورت دارد. از این لحاظ می‌توان‌مخزن انرژی درون‌اتوم‌را به دریاچهٔ عظیمی‌تشبیه کرد که برجای بسیار بلندی قرارگرفته ولی راهی‌که‌آب‌آن‌را خارج می‌کند به‌اندازه‌ای باریك است که مثلا درعرض مدت یـك هفته تنها یك قطره‌آب ازان می‌گذرد. بدیهی است‌که‌اگر توربین‌آبی بسیار نیرومندی درانتهای این راه خروج آب قرار دهیم وبخواهیم انرژی‌آب را به‌این وسیله به‌برق تبدیل‌کنیم، عمل بسیار لغوی انجام داده‌ایم. این‌کار وقتی درست است که زیراب را به‌آن‌اندازه گشاد کرده‌باشیم‌که جریان نیرومندی ازآب عبورکند وتوربین‌آبی را به‌کار اندازد.

برای آنکه بفهمیم آیا درمورد انرژی زیر اتومی گشادکردن مجرای خروج تاایـن اندازه ممکن است یانه، لازم است که بیش از این دربارهٔ عواملی که درنسبت تبدیل داخل هسته حکومت‌دارند بحث کنیم.

حد احتمال اصابت گلولهٔ بارداری به‌یك‌هسته

فرض‌کنید که گلوله‌ای ازنوع گلوله‌های‌هسته‌ای مثلا پروتون یاذرهٔ آلفایی را که سرعت وانرژی بسیارزیاد دارد، رها کرده وچنان خواسته باشیم که به‌وسیلهٔ آن هسته‌ای را بمباران کنیم. آیا چه حد احتمال وامید آن‌هست که این‌گلوله بایکی‌ازهسته‌های ماده‌ای‌که دران رها شده برخورد کند وسبب‌شکافتن آن هسته شود؛ می‌دانیم‌که قطرهر اتوم تقریباً ۱۰،۰۰۰ برابر قطر هسته است، به‌طوری که سطح هدف هسته در ضمن پرتاب تیر ۱۰۰ ملیون مرتبه (مربع نسبت قطرها) کوچکتر ازسطح هدف خود اتوم خواهد شد. چون هیچ وسیله‌ای در اختیار نداریم که هسته را هدفگیری و مستقیماً گلوله را به‌آن پرتاب کنیم، چنان نتیجه می‌شود که گلولهٔ پرتاب شده به‌طور متوسط بایستی پیش‌ازانکه بتواند به هسته‌ای برسد ۱۰۰ ملیون اتوم را سوراخ کند. ولی چون گلوله ازمیان جسم این‌همه اتوم بگذرد، سرعت خود را از دست می‌دهد، وانرژی آن درنتیجهٔ تأثیرات متقابل‌الکترونهای مداری اتوم کم‌می‌شود،[1] وبه‌همین‌جهت غالب اوقات پیش ازانکه فرصت‌اصابت به‌هسته‌ای را پیدا کند کاملا متوقف‌وبی‌اثر می‌شود.

واقعاً چنین است‌که‌ذرهٔ α که درتجربه‌های‌اتومشکنی‌رسمی به‌کار می‌رود، یاذرات پروتونی که درمولدهای پرفشار جدید به‌دست می‌آید، پس ازانکه ۱۰۰،۰۰۰ اتوم را سوراخ کردند، کاملا متوقف می‌شوند واز حرکت باز می‌مانند. بنابراین احتمال اینکه‌گلوله‌ای بتواند پیش ازانکه انرژی خود را ازدست داده باشد به‌هسته‌ای برسد، فقط یك‌در هزاراست($\frac{۱۰۰،۰۰۰}{۱۰۰،۰۰۰،۰۰۰}$)؛ بنابراین ازهر هزار گلوله‌ای که به‌داخل ماده‌ای شلیك شود، تنها امید آن است که یکی به‌هدف اصابت کند. بمباران کردن هسته‌های اتوم که درپناه پوشش ضخیم الکترونها قرار

---

۱. همین تأثیرات متقابل که باعث یونش اتومها درمسیرحرکت گلوله است، چنانکه دیدیم (صفحهٔ ۸۱) سبب‌آن‌بود که اثرعبورگلوله را در اطاق ابرقابل رؤیت می‌ساخت.

دارند بیشباهت به‌آن‌نیست‌که دانه‌های گردویی در میان کیسه‌های شنی پنهان‌باشد وما بخواهیم باریختن‌رگبارگلوله به‌آن‌کیسه‌های شنی‌دانه‌های گردو را هدف گلوله قراردهیم.

واضح است که گرچه گلوله‌ای‌که به‌هسته برخورد کند مقداری انرژی معادل‌چندین برابر انرژی تصادم‌آزاد‌خواهدکرد، **ولی‌مجموع انرژیهای آزادشده چنان نیست‌که بتواند انرژی تمام‌گلوله‌هایی را که به‌هدف اصابت نکرده جبران‌کند.** درست است که با افزودن انرژی گلوله‌های شلیك شده می‌توانیم عدهٔ اتومهایی را که به‌وسیلهٔ هریك‌ازانهاسوراخ می‌شودزیادترکنیم، ولی بایددانست که حتی‌باانرژی شگرف بلیونها ولت که بابعضی از شعاعهای کیهانی همراه است هنوز ترازنامهٔ انرژی مصرف شده وانرژیی‌که به‌دست‌آمده به‌هیچ‌وجه مطابق دلخواه نیست.

این نکته را هم باید افزود که هرکوششی برای «برهنه کردن هسته ازغلاف الکترونی آن» وبمباران کردن «هستهٔ لخت» چیزی‌جز خو ب وخیال‌نیست. حقیقت‌آن‌است که چون‌هسته‌ای ازغلاف‌الکترونی که بار برقی آن‌را خنثی می‌کند بیرون بیاید، باچنان نیرویی به‌وسیلهٔ هسته‌های دیگر مشابه باآن رانده می‌شودکه برای ثابت نگاه‌داشتن‌یك سانتیمتر مکعب از چنین هسته‌های خلع الکترون‌شده فشاری درحدود یك بلیون جو ضرورت پیدا می‌کند. این فشار تقریباً معادل است با فشاری‌که ازقرار دادن کرهٔ ماه برسطح زمین حاصل خواهد شد، و پر واضح است که تهیهٔ چنین فشاری باهیچ وسیله امکانپذیر نیست.

رخنه‌کردن در دژ هسته

اکنون وضع آن گلولهٔ «خوشبختی» را مطالعه می‌کنیم که توانسته باشدپیش ازگم‌کردن انرژی‌خود در اثر «تماسهای درون‌اتومی» که پیش از این شرح آن گذشت، باهسته‌ای تصادم کند. آیا چنین گلوله‌ای همیشه می‌تواند به‌داخل هسته رخنه‌کند وتبدل لازم را ایجاد کند؟ جواب این پرسش منفی‌است، چه‌هسته‌های اتومی دربرابرتجاوزی که از ذرات باردار خارجی صورت می‌گیرد کاملا مجهز هستند، ومثل

آن است که در داخل دژی قرار گرفته باشند. هرچه گلوله به‌هسته نزدیکتر آید، نیروی دافعهٔ موجود میان بار برقی هسته و بار برقی گلوله‌ای که به‌آن نزدیك می‌شود زیادترمی‌گردد، وهمین نیروی دافعه است که می‌تواند گلولهٔ نزدیك شده‌را به‌عقب باز گرداند. به‌این‌ترتیب است که، **ازمیان ذراتی که مستقیماً به‌طرف هدف‌نزدیك می‌شوند، تنها تعداد ناچیزی می‌تواند از سنگر نیروی دافعه بگذرد و به درون هستهٔ اتوم داخل شود.**

فهم کامل کیفیت رخنه کردن ذرات در سنگری که هستهٔ اتوم را احاطه کرده، ازلحاظ مکانیك رسمی بااشکالات جدی مواجه می‌شود- همان‌گونه که در مورد «ترشح» ذرات α که درفصل پیش (صفحه ۷۷) دیدیم چنین‌اشکالی وجود داشت- وحل این‌اشکالات تنها باتطبیق نظریهٔ جدید کوانتوم امکانپذیر است. ازمحاسباتی که درسال ۱۹۲۸ با در نظر گرفتن مکانیك کوانتومی توسط مؤلف این کتاب صورت گرفت، فورمولهای ساده‌تری‌به‌دست آمد که‌از روی آنها می‌توانند **نسبت‌گلوله‌هایی را که احتمال رخنه کردن در هسته‌را دارند، از روی بار هسته‌ای که درمعرض بمباران است‌وبادر نظر گرفتن‌باروانرژی وجرم گلوله‌ای که به‌کار رفته تخمین بزنند.**

از روی آن فورمولها مخصوصاًاین قضیه ثابت می‌شود که‌احتمال نفوذ به‌سرعت باازدیاد عدد اتومی (یعنی بار) هسته‌ای که در معرض بمباران است تنزل می‌کند. ازاینجا معلوم می‌شود که چرا فقط عناصر سبك ممکن است در اثر بمباران با ذرات α وپروتونها متلاشی شوند. از طرف دیگر موفقیت دربمباران به سرعت با ازدیاد انرژی گلوله‌ها افزایش پیدامی‌کند، ودرصورتی‌که انرژی‌به‌اندازهٔ کافی‌زیاد باشد (۲۵ ملیون ولت‌برای لیتیوم و ۵۰ ملیون ولت برای آهن و ۱۰۰ ملیون ولت برای سرب)، هراصابت مستقیمی به تلاشی هسته می‌انجامد.

تلاشی به‌وسیلهٔ همنوایی

این مطلب باید گفته شود که پاره‌ای از اوقات ممکن است با ذرات بمباران کننده‌ای که انرژی کمتری دارندهمان صد درصدنفوذی

که باانرژی بیشتری صورت می‌گرفت‌حادث شود. این‌کیفیت آنگاه‌اتفاق می‌افتد که سنگر اطراف دژ هسته «**نقطهٔ ضعفی**» داشته باشد، و این نقاط ضعف را معمولا به نام **سوراخهای همنوایی**[1] می‌نامند. **گرنی** ثابت کرده است که چون انرژی ذره‌ای که درحال بمباران کردن است بانوساناتی که در داخل خود هسته صورت می‌گیرد همنوا باشد، نفوذدر سنگر هسته تسهیل خواهد شد. این‌نوسانات همنوای هسته‌ای که به‌آن ضربه وارد می‌شود ازهمان نوع نوسانات‌کاسهٔ زنگ یا دیاپازونی است‌که چکشی به‌آن‌خورده باشد، واز لحاظ شباهتی که باهمنوایی مورد بحث درمکانیك رسمی‌داردآن راهمنوایی‌هسته‌ای[2]می‌نامند.دراین‌گونه‌نوسانات اگر جسم در تحت تأثیرضربه‌هایی قرار گیرد که در فواصل‌ثابت زمانی به آن وارد می‌شود، دامنهٔ نوسان با کمال سرعت بزرگ خواهد شد.

تحقیق درفعل وانفعالات مختلف هسته این‌مطلب‌را واضح‌کرده است که بسیاری ازهسته‌ها عملادارای چنین «سوراخ‌همنوایی» هستند، وبه‌همین جهت اگر گلوله‌های بمباران با انرژی مناسب انتخاب شود ، عمل تلاشی هسته باسهولت بیشتری صورتپذیر خواهد شد. در پاره‌ای ازحالات‌استفادهٔ از « بمباران با همنوایی » ممکن است احتمال تلاشی راچندصد یا چندهزار برابرکند، ولی نباید فراموش‌کرد که همهٔ این ازدیاد کارآمدی برای تلاشی هسته که از استعمال انرژیهای زیاد یا استفادهٔ از « مقادیر متناسب با همنوایی » نتیجه می‌شود، فقط متعلق به‌احتمال نفوذی‌است که پس‌ازتصادم گلوله با هسته پیش خواهد آمد. بنابراین همان نسبت نامساعد یك به‌هزار چنین تصادفی برجای خود باقی می‌ماند، وهمین است که سبب آن می‌شود تا درهمه حال کامیابی کلی بی‌اندازه کوچك وناچیز باشد.

چون همهٔ این ملاحظات را باهم در نظر بگیریم ، نتیجه آن می‌شود که: **تغییرات در هسته که به‌وسیلهٔ بمباران با ذرات بسیار سریع باردار اتفاق می‌افتد بسیار کم وکوچك باشد**، به‌این‌معنی

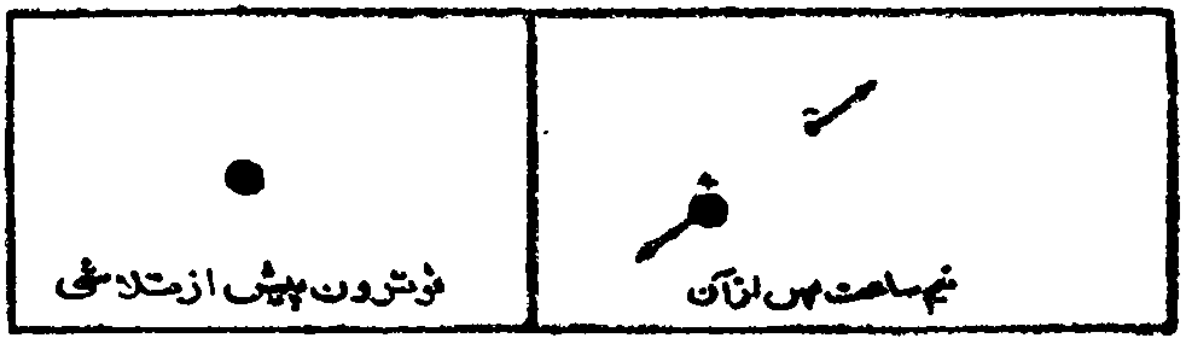
---

1 . resonance channels
2 . nuclear resonance

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

بمباران کردن با نوترونها

در برابر گلوله‌های هسته‌ای باردار باید گفت که: **نوترونها برای بمباران‌کردن هسته‌عالیترین ذره به‌شمارمی‌روند.** یك‌دلیل این امرآن است که چون نوترونها فاقد بار برقی هستند، بدون آنکه هیچ قسمتی از انرژی خودرا از کف بدهند می‌توانند غلاف الکترونی اتومهارا سوراخ کنند (باید به‌خاطر داشت که نوترونها هیچ اثری‌از عبور خود دراطاق ابر برجای نمی‌گذارند)؛ دیگر اینکه درآن‌هنگام که نوترونها در پایان کار به‌یك هسته تصادم پیدا می‌کنند، هیچ نیروی دافعه‌ای سبب توقف آنها نمی‌شود ؛ نتیجه آن خواهد بود که عملا هر نوترونی‌که درقشر ضخیمی ازماده شلیك شده باشد، زود یادیر هسته‌ای را در سر راه خود خواهد یافت وبدرون آن نفوذ خواهد کرد.



شکل ۲۳
تجزیهٔ خود به‌خودی یك نوترون وبه‌دست‌آمدن یك پروتون ویك الکترون.

ولی باید گفت که درست به علت همین قابلیت نفوذ نوترونها که سبب سهولت اسیر شدن[1] آنها می‌شود، نوترون آزاد در طبیعت

۱. همان‌گونه‌که درفصل گذشته دیدیم (صفحهٔ ۹۵) نوترون پس‌از دخول در هسته معمولا درآن باقی می‌ماند، وبه‌جای خود یك پروتون یایك ذرهٔ α بیرون می‌دهد یا اینکه درپایان‌کار انرژی اضافی خودرا به‌صورت اشعهٔ γ خارج می‌کند.

بسیار نادر است وعنصری به‌نام « نوتریوم » وجود ندارد. و این نکته را نیز باید دانست که یك نوترون آزاد نمی‌تواند بیش از نیم ساعت وجود داشته باشد، چه ازلحاظ عدم ثباتی‌که دارد به‌زودی یك‌بار منفی (یایك الکترون‌متعارفی) ازخود صادر می‌کند وبه‌صورت یك‌پروتون در می‌آید (شکل ۲۳).

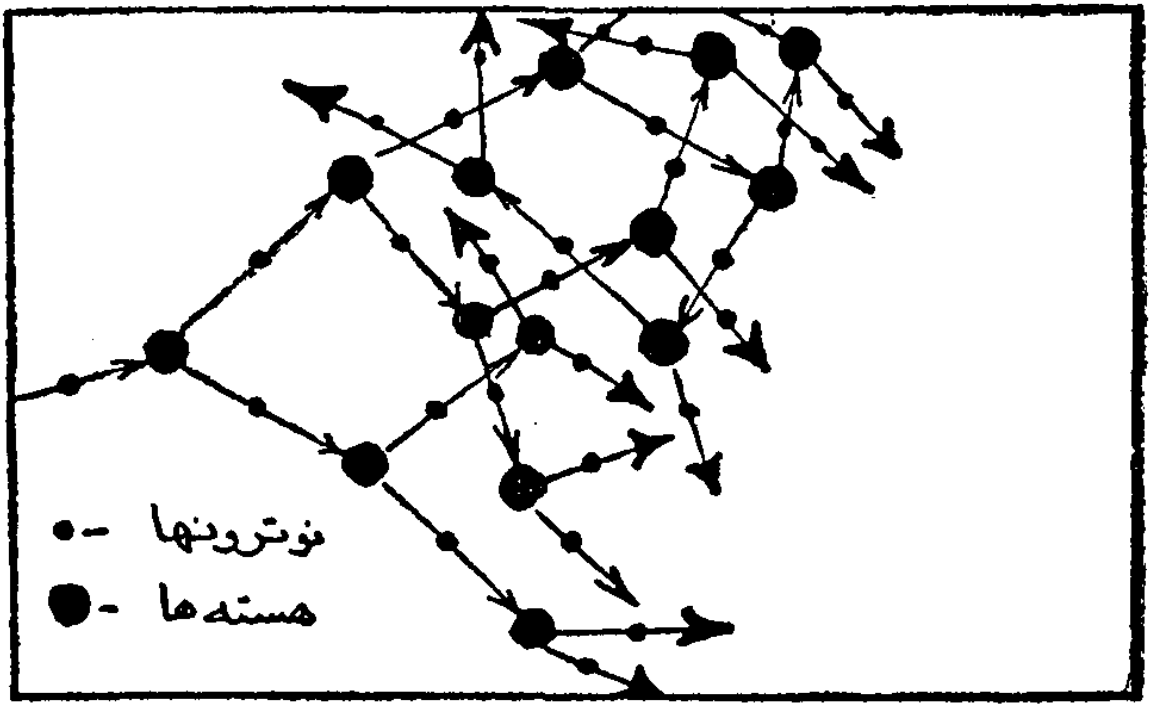
بنابراین برای به‌دست‌آوردن یك‌دسته نوترون که به‌کاربمباران کردن بخورد، ناچار ابتدا باید آنهارا از داخل یك هستهٔ عادی که معمولا دران وجود دارند استخراج کنیم، واین عمل تنها با بمباران کردن آن هسته به‌وسیلهٔ یك پروتون یا یك ذرهٔ α امکانپذیراست.ولی برای بیرون راندن یك نوترون از هسته ، خواه به وسیلهٔ بمباران با پروتون باشد یا به‌وسیله بمباران با ذرهٔ α ، چندین هزار ذرهٔ باردار ضرورت پیدا می‌کند، و به‌این ترتیب دوباره به‌همان اشکال نخستین برمی‌خوریم .

فعل وانفعالهای تصاعدی هسته

از بحثی که گذشت، نیك آشکار می‌شود که چرا تنها امید ما برای دست‌یافتن به‌نتایج عملی بمبارانهای با نوترون این است‌که فعل وانفعالات هسته‌ای خاصی را پیداکنیم که درانها **نوترونها در واقع خود به‌خود بتوانند زیاد شوند**. اگر چنان باشد که هر نوترونی‌که به هسته‌ای می‌رسد دویا بیشتر نوترون «تازه » ازان بکند وهریك از اینها به‌نوبه خود همین‌کاررا با هسته‌های دیگر انجام دهند، به‌سرعت عدهٔ نوترونهای کارگر به‌صورت یك‌تصاعد هندسی زیاد می‌شود (شکل ۲۴) و راه حلی برای مسئله به‌دست می‌آید. وضعی‌که دراینجا پیش می‌آید تا حدی قابل تشبیه با وضع ازدیاد نسل آدمی است. درست همان‌گونه‌که ازدیاد عدهٔ جمعیت بسته به‌این است که هرخانواده به‌طور متوسط کمتراز دوفرزند نیاورد، برای ازدیاد نوترونها نیز لازم است که از هر هسته‌ای‌که باتلاقی‌نوترونی ازنسل سابق « بارور شده » است کمتر از دو نوترون صادر نشود.

تا ۱۹۳۹ چنین تصور می‌شد که تکثیری بدین طریق در

نوترونها صورت نمی‌گیرد، وفعل وانفعالات درون هسته یك به‌یك است، یعنی هر ذره‌ای که در هسته وارد شود بیش از یك ذره ازان بیرون نمی‌فرستد. همان‌گونه که درفصل سابق یاداور شدیم، آزمایشهای تازهٔ **هان و مایتنر** که با بمباران اورانیوم و توریوم به‌وسیلهٔ نوترون‌صورت گرفت، ثابت کرد که هسته‌های این عناصر بسیار شکننده‌تر ازهسته‌های عناصر دیگر است. دران‌هنگام که این هسته‌ها با نوترون تصادم کنند، قابل آن هستند که به دوجزء بزرگ تقسیم شوند، واین شکافته شدن همراه است با خارج شدن قسمتهای کوچکتری ازهسته‌که‌معمولا دو یا سه وگاهی چهار نوترون است. این درست همان حالت ازدیاد تصاعدی است که ما به‌جستجوی آن بودیم و می‌بینیم که در عمل واقع می‌شود. اگر این فعل و انفعالات هسته‌ای مناسب مورد استعمال قرار



شکل ۲۴

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

گیرد، ممکن است مارا به‌کشف طریقه‌ای برای آزادنمودن انرژی زیر اتومی به‌مقدار زیاد راهنمایی کند.

بلافاصله پس‌ازبحثی که گذشت دوسؤال پیش می‌آید. نخستین

سؤال ایـن استکه چـرا تکه اورانیومی که در آزمایشگاه با نوتـرون بمباران‌می‌شود یکباره منفجر نمی‌شود، وکسانی‌را که دران‌آزمایشگاه به‌سر می‌برند وهمچنـین مردمی را که صدها میل ازان فـاصله دارند نمی‌سوزاند. به‌صـورت نظری این مطلب مسلم است کـه چنین فعل و انفعال تصاعدی همین که آغاز شد، تمام انـرژی موجود در یك اتـوم اورانیوم (10^{18} ارگ برای هرگرم که معادل است با انرژی انفجار یك تون دینامیت!) در کسر کوچکی از ثانیه آزاد می‌شود، به‌صورت یك انفجار مدهش درخواهد آمد.

نخستین پاسخ این سؤال مهم آن است که اورانیوم متعارفی که در آزمایشگاهها به‌اختیار ماست **تر** است، و ایـن تری‌البته به‌معنای عادی کلمه تری نیست، بلکه مقصود آن است که قسمت فعال آن بـا مقدارعظیمی از مادهٔ غیرفعال مخلوط است(آن‌را می‌توان به‌چوبی‌تشبیه کرد که از آب اشباع شده باشد)، وهمین امر سبب می‌شود که‌آن‌تری قسمت عمدهٔ نوترونهای تازه‌تولیدشده را جذب کند و از میدان فعالیت مفید خارج سازد. می‌دانیم که اورانیوم متعارفی مخلوطی است از دو همجای U_I و U_{II} (به‌شکل ۱۶ رجـوع شود) که اوزان اتـومی آنها به‌ترتیب ۲۳۸ و ۲۳۵ است . همجای سبکتر U_{II} درمخـلوط تنها برنسبت ۷ر. درصد وجـود دارد، و قطعـی است که آنچه بـاعث شکافته شدن هسته‌ها وخارج شدن نوترونها می‌شود همین همجای سبك است. همجای سنگینتر آن که ۳ر۹۹ درصد مخلوط را می‌سازد نیز نوترونهای تابنده را می‌گیرد، ولی عوض اینکه اتومهای آن تجـزیه شود و انـرژی عظیم بیـرون بفرستد ، این نوتـرونها را درخود نگاه می‌دارد ومازادانرژی‌را به‌شکل اشعهٔ γ خارج می‌کند. به‌این‌ترتیب‌است که تنها عدهٔ کمی از نوترونهای تولید شده می‌تواند در عمل ازدیـاد تصاعدی نوتـرونها شرکت کنـد، و برای آنکه این ازدیـاد تصاعدی صورتپذیر شود، لازم است که همجای سبك را ازهمجای سنگین جدا کنیم، و این کاری است که با وسائل آزمایشگاهی موجود اگرممکن نباشد لااقل بسیار دشواراست. روش تازه‌ای‌که برای‌جداکردن همجاها

به‌کارمی‌رود، عبارت‌ازاین‌است‌که‌بگذارندهمجای سبکتر ازجدارمتخلخلی نفوذ وتراوش‌کند وبانفوذهای متوالی غلظت آن‌درمخلوط زیادترشود.[1]

کار جداکردن همجاهای اورانیوم اکنـون در آزمایشگاههای متعدد مورد آزمایش است وممکن‌است به‌زودی نتایج جالب‌توجهی از آن به‌دست آید.[2] باوجود این بایدگفت که هیچ جای ترس آن نیست که‌آزمایشگاهی که یك‌روز از عهـدهٔ به‌دست آوردن U_{II} بسیار غلیظ برآمده باشد، باشهری که درآن‌قرارگرفته‌یکباره درنتیجهٔانفجارزیر- وروشود وازبین‌برود. واین بدان‌جهت است که به‌احتمال کلی به‌موازات زیاد شدن منظم غلظت همجای سبکتر اورانیوم، به‌آهستگی برسرعت آزادشدن انرژی زیر اتومی افزوده خواهد شد، وپیش‌ازآنکه حرارت حاصل شده به‌حدی برسد که ایجاد خطر کند، عمل جداشدن همجاها ازیکدیگر متوقف می‌شود وخطرانفجار ازبین می‌رود.[3] لااقل می -

---

۱. نسبت تراوش‌ازمیان دیوارهای‌متخلخل‌اساساً بسته‌به‌اختلاف وزن‌اتومی‌است، وهرچه همجا سبکترباشدآسانتر ازجدارعبور می‌کند. ولی‌کمی‌اختلاف‌اوزان اتومی‌این‌دوهمجا (که‌کمترازیك درصداست)سبب آن می‌شود که جدا شدن دوهمجا ازیکدیگربسیاربه‌کندی‌صورت گیرد.

۲. در پانـزدهم مارس ۱۹۴۰ خبـر این جدا شدن به وسیله آقایـان نیر O. Nier و بوث E. T. Booth ودنیـنگ - J. R. Dunning و گـروس A. V. Grosse انتشار یـافت ، ولی مقدار جدا شده بسیار ناچیز بود (۰٫۰۰۰،۰۰۰،۰۰۱ گرم).

۳. این‌عمل خود به‌خود اتفاق می‌افتد، چه حرارتی‌که از فعل و انفعالات نتیجه می‌شود تمـام ظروفی را که عمل جدا شدن همجاهـا درانها صورت می‌گیرد آب‌خواهد کرد. این‌مطلب‌را باید به‌خاطرسپرد که عمل انفجار هسته مستلزم آن نیست که منبع نوترونی در اختیار باشد تا آغـاز کار به‌وسیلهٔ آن صورت گیرد. واقـع امر آن است کـه نوترونهایی برحسب تصادف ازنزدیکی اورانیوم می‌گذرد (مانند آنچه درضمن اشعه کیهانی به‌زمین رسد) وبه‌همین‌جهت هر آن ممکن است جرقه شروع عمل بزند وجداشدن همجاهارا آغازکند.

توانیم آرزومند باشیم که آن‌حادثه به‌این‌صورت اتفاق بیفتد.

دومین نکته مهم که از لحاظ امکان ادامه خودبه‌خودی عمل ازدیاد تصاعدی نوترونهای‌اورانیوم پیش می‌آید، مربوط است به‌مقدار اورانیومی که برای این‌کار ضرورت دارد. اگر قطعه اورانیوم کوچك باشد، بیشتر نوترونهایی‌که در اندرون آن تولید می‌شود، پیش‌ازانکه امکان برخورد باهسته‌ای پیدا کنند از سطح آن تکه اورانیوم خارج می‌شوند واز میدان عمل می‌گریزند. در چنین صورتی پیشرفت عمل ازدیاد تصاعدی نوترونها به‌همان‌دلیلی متوقف می‌شودکه اگر درقبیله‌ای هرچه نوزاد به‌دنیا بیاید درجنگل مجاورگم شود، ازدیاد نفری افراد این‌قبیله غیر ممکن می شود. چون هیچ دیواری وجود نداردکه از گریختن نوترونها در فضای مجاور جلوگیری به عمل آورد ، ناچار بایستی تکه اورانیوم آن اندازه بزرگ باشدکه نوترونی‌که درجوف‌آن ایجاد شده مطمئناً بتواند پیش‌ازانکه به‌سطح اورانیوم برسد باهسته ی تلاقی‌کند. واین خود مستلزم آن است‌که **چند صد کیلو اورانیوم خالص ۲۳۵** در اختیار باشدکه به‌دست آوردن آن بالخاصه به‌صورت همجاهای جداگانه کارآسانی نیست.

بهای انرژی اورانیوم

فرض‌کنیم که این دو اشکال ـ یعنی جداکردن همجاها به‌مقدار زیاد و نگاهداری نوترونهای مؤثر ـکه درراه استفادهٔ عملی از انرژی زیر اتومی اورانیوم (و خواهر آن توریوم) وجود دارد، با ابتکارات فنی ازمیان برداشته شود، و بتوانیم موتوری را با «سوخت اورانیوم» به‌راه بیندازیم؛ بایددید انرژی که ازاین‌راه به‌دست می‌آید به‌چه‌قیمت تمام می‌شود؟

اورانیوم مادهٔ ارزانی نیست؛ بنابرنرخ فعلی بازار جهان بهای یك‌رطل (۴۵۴گرم) اکسید اورانیوم‌که ۹۵ درصد اورانیوم دارد دو دولار است، واین قیمت معادل قیمت یك‌تون زغال درسرمعدن است. و چون تنها ۷ر. درصد از اورانیوم از لحاظ تولید تصاعدی نوترون فعال‌است، انرژی زیر اتومی‌کلی که ازیك‌رطل اکسید اورانیوم به‌دست

می‌آید ۳×۱۰^{۱۸} ارگ خواهد شد. از طرف دیگر یك‌تون زغال (۹۰۰،۰۰۰) گرم که همان قیمت یك‌رطل اکسید اورانیوم را دارد، می‌تواند ۳×۱۰^{۱۷} ارگ انرژی تولیدکند، بدان سان‌که **انرژی زیر اتومی که ممکن‌است از اورانیوم به‌دست‌آید در حدود ۱۰ بار ارزانتر از انرژی زغال خواهد بود.**

این نکته‌را باید افزود که اگر اورانیوم از لحاظ تولید انرژی جانشین زغال‌شود ومقدار مصرف به‌حال حاضر باقی بماند، تمام ذخایر اورانیوم موجود برروی زمین‌درمدتی‌کمتر ازیك قرن به‌مصرف خواهد رسید .

تجدید نظر دربارهٔ آنچه گذشت: ساختمان اتوم

بگذارید باردیگر، برای آخرین‌مرتبه، نظری به‌ژرفنای ماده بیندازیم وبه‌اختصار نتایج عمده‌ای‌را که درضمن سه‌فصل‌گذشته به‌آنها رسیدیم دوباره ازنظربگذرانیم. ماده که‌دراولین نظرباتوجه به‌تجربیات روزانه آن اندازه یکنواخت به‌نظر می‌رسد، درواقع از دانه‌های بسیار بسیار ریزی ساخته شده که دانشمندان به‌آنها نام مولکول داده‌اند . هیچ میکروسکوپ قوی هم نمی‌تواند این دانه‌هارا به‌صورتی در آورد که ما بتوانیم آنهارا ببینیم، و برای اثبات وجود و امکان مطالعهٔ در خواص آنها روشهای عالمانه وبسیاردقیق فیزیك جدید ضرورت دارد.

مثلا درهراینچ مکعب آب ۶۰۰،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰ (۲۳صفر) مولکول H_2O وجود دارد وهمه‌آنهاحرکت حرارتی شدید وبینظمی دارند که می‌توان آن حرکت‌را به‌حرکت ماهیهای تازه صید شده‌ای که درسبد ماهیگیری روی‌هم ریخته‌اند تشبیه‌کرد. این حرکت مولکولی، به‌تدریج‌که ماده سردتر می‌شود، کندتر می‌گردد، ولی‌برای آنکه این‌حرکت کاملا ازبین برود لازم است درجه حرارت به ۴۵۹ درجه فارنهایت زیرصفر برسد. ازطرف دیگر چون درجه حرارت‌زیاد شود سرعت حرکت مولکولها افزایش پیدا می‌کند، و در آخر کار به‌جایی می‌رسد که مولکولها از یکدیگر جدا می‌شوند. در این‌حالت می‌گوییم که مولکولها به صورت گاز یا بخار درآمده‌اند و با آزادی

کمابیش بیشتری درفضا حرکت دارند، وباذرات دیگری‌که در سرراه آنها واقع باشند تصادم فراوان پیدا می‌کنند. به‌همان اندازه که اجسام شیمیایی گوناگون موجوداست، انواع مختلف مولکول نیز وجود دارد (صدها هزار نوع) ، ولی چون مولکول را دقیقتر مورد مطالعه قرار دهیم خواهیم دیدکه هرمولکول همیشه ازترکیب عدهٔ معدودی اجزاء مرکب‌کنندهٔ کوچکتری ساخته شده که‌آنهارا اتوم می‌نامند. تنها ۹۲ نوع اتوم وجود دارد که هریك نمایندهٔ یکی از ۹۲ عنصر شیمیایی شناخته شدهٔ تازمان حاضر است، وباترکیب این اتومها به‌اشکال مختلف است که مرکبات بی‌اندازه فراوانی که علمای شیمی آنهارا می‌شناسد فراهم می‌شود. جابه‌جاشدن اتومها درمیان مولکولهای مختلف چیزی است که فعل وانفعالات شیمیایی‌را سبب می‌شود و تبدیل مرکبات به یکدیگر نتیجه‌آن‌است. ولی با همه‌کوششهای کیمیاگران قرون وسطی اتومها در برابر خواهش این کیمیاگران که می‌خواستند آنهارا به یکدیگر مبدل سازند سخت مقاومت نشان دادند، وهمین امر سبب‌آن شد تا علمای شیمی به‌این نتیجه غلط برسند که اتوم همان‌گونه که از معنی نام یونانی آن بر می‌آید (یعنی تقسیمناپذیر) حقیقتاً آخرین حد ماده است وتقسیم وتجزیه وشکستن آن امکان ندارد.

ترقیات مهم فیزیك این‌تصور نادرست‌را که‌درطول قرن‌گذشته مورد قبول‌بود ازمیان‌برداشت، وماکنون می‌دانیم‌که‌اتوم عملاً دستگاه میکانیکی پیچیده‌ای است که‌از یك‌هستهٔ مرکزی وعده‌ای ازالکترونها که‌درتحت تأثیر نیروهای‌برقی برگردآن هسته درحال چرخیدن‌هستند تشکیل شده. ازان‌پس عنوان غیرقابل تقسیم بودن اتوم به میراث به هستهٔ آن رسید، ولی این دژ مستحکم نیز که آخرین نمایندهٔ فکر دموکریتوسی‌بود درنتیجهٔ پژوهشهای دامنه‌دار وپیگیر **لوردراذرفورد** سر تسلیم فرود آورد.

این‌دانشمند درسال ۱۹۱۹ نخستین هستهٔ نیتروژن را به‌وسیلهٔ بمباران کردن باگلوله‌های بسیار ظریفی به‌نام ذرات α شکست، ودر بیست سال پس‌ازان تاریخ علمی که اکنون به‌نام فیزیك هسته نامیده می‌شود ترقیات فراوانی پیدا کرد. چند دوجین فعل وانفعالات هسته‌ای

تاکنون تولید شده وباتوجه‌به‌جزئیات مورد تحقیق‌قرار گرفته، واکنون اطلاعاتی که ما دربارهٔ هسته داریم بسیار بیش از اطلاعاتی است که‌سی چهل سال پیش دربارهٔ خود اتوم داشته‌اند.

دواختلاف بزرگ میان فعل وانفعالات هسته‌ای وفعل‌وانفعالات شیمیایی عادی که میان مولکولها صورت می‌گیرد موجود است: یکی اینکه درفعل‌وانفعالات هسته‌یی‌انرژی بسیارعظیم‌وشگرفی آزادمی‌شود، ودیگر آنکه عملی ساختن این‌فعل وانفعالات هسته‌ای به‌مقیاس‌بزرگ دشواریهای فراوانی در بردارد. حقیقت امر این‌است که چون زره الکترونی محیط برهسته نسبت به‌حجم هسته بسیار ضخیم است، ازمیان گلوله‌هایی که برای ترکاندن هسته مصرف می‌شود عدهٔ بسیار ناچیزی می‌توانند ازاین‌زره بگذرند وبه‌هدف اصابت کنند؛ درمیان هزار گلوله که‌پرتاب شودتنها احتمال آن‌هست‌که‌یکی به‌هسته بخورد وتغییروتبدیلی رادرآن ایجاد کند. درست است که‌درسالهای اخیر بااکتشاف نوترونها وفعل وانفعالات تصاعدی و زنجیری برای تولید نوترونهای تازه امید دست یافتن به ذخیرهٔ غول‌آسای انرژی موجود درهسته زیادتر شده، ولی باهمهٔ ین احوال بایدگفت که‌این کار هنوز ازمرحلهٔ آرزوتجاوز نکرده است.

گرچه‌تحقیق ومطالعهٔ‌درخواص شکافته‌شدن‌هسته اتومهای‌اورانیوم وتوریوم مارا به‌حل مسئله بسیار نزدیك کرده است، ولی توجه به‌این نکته نیزلازم است که این دوعنصر از لحاظ ناپایداری حالت استثنایی دارند، وازآن گذشته مقدار آنها درزمین بسیارکم است. مسئلهٔ اساسی اینکه چگونه می‌توان انرژی هستهٔ سایر عناصری را که‌به‌مقدار زیاد وجود دارند آزاد کرد، هنوز دنبال می‌شود وراه حلی برای آن پیدا نشده .

باوجود این در فصل آیندهٔ کتاب که خوانندهٔ تنگ حوصله بالاخره به‌موضوع اصلی بحث یعنی خورشید بازخواهد گشت، خواهیم دیدکه‌تبدل عناصرمتعارفی‌بامقیاس بزرگ که‌حتی بابمبارانهای‌مصنوعی بسیار شدید درسطح زمین امکانپذیر نیست، درخورشید صورت می‌گیرد واین‌درنتیجهٔ درجهٔ‌حرارت شدیدی‌است که‌به‌هیچ‌وجه درآزمایشگاههای

زمینی به‌آن درجه حرارت دسترس نداریم. ونیز خواهیم دید که‌همین تبدلات تنها عامل تولید روشنی وگرمی آفتاب وتولید انرژی تشعشعی است که‌ازستارگان دیگر درفضا پراکنده می‌شود.

برای اطلاعات بیشتر به‌قسمت ضمیمهٔ کتاب که تحت عنوان (بومب اتومی) نوشته شده مراجعه شود.

فصل پنجم

کیمیای خورشید

انرژی زیر اتومی و گرمی خورشید

●

اکتشاف ذخیرهٔ بسیار عظیم انرژی که ممکن است با تبدلات هسته به دست آید، همچون مفتاحی است که به کومك آن می‌توانیم راه حل ممکنی برای معمای قدیمی مربوط به منبع تمام نشدنی تشعشعات خورشید پیدا کنیم. پیش‌از این‌گفتیم‌که‌فعل وانفعالات هسته‌ای که‌سبب تبدل عناصر به یکدیگر می‌شود، معمولا باآزاد شدن مقداری انرژی همراه است که‌چندین ملیون باربزرگتر ازانرژی آزاد شدهٔ درفعل و انفعالات شیمیایی انجام شدهٔ میان مولکولهاست. به‌این ترتیب اگر خورشیدی بازغال ساخته شده باشد، درعرض مدت‌پنج شش‌قرن‌می‌سوزد ونابود می‌شود، ولی خورشیدی که‌انرژی خودرا ازسرچشمهٔ زیر اتومی می‌گیرد بلیونها سال می‌تواند بماند وپرتو افشانی‌کند.

این‌رانیز می‌دانیم‌که‌عناصر رادیو آکتیو متعارفی مانندورانیوم

وتوریوم آن اندازه فراوان نیستندکه بتوان انرژی بی‌اندازه بزرگی راکه در خورشید تولید می‌شودبه‌حساب آنهاگذاشت؛[1] تنها راهی‌که‌می‌ماند آن‌است که‌قبول‌کنیم‌درجرم‌خورشیدعناصر ثابت‌متعارفی‌به‌یکدیگر تبدیل می‌شوند ومنبع‌انرژی خورشید همین‌تبدلات است. به‌این‌ترتیب بایدچنان تخیل کردکه داخل‌جرم‌خورشید همچون آزمایشگاه‌کیمیاگری غول‌آسایی‌است که‌در آن‌تبدل‌عناصر مختلف به‌همان‌آسانی‌صورت‌می‌گیردکه‌در آزمایشگاه‌های زمینی مافعل وانفعالات متعارفی میان مولکولها صورت‌پذیر است.

آیا چه‌چیز سبب تسهیل شگفت انگیزی در تبدلات عناصر به یکدیگر درخورشید می‌شود، وباعث آن می‌گردد که تجزیهٔ هستهٔ‌اتوم در آن به‌مقیاس بزرگ‌انجام پذیرد، واین‌اندازه انرژی زیر اتومی آزاد شود؛ اگر آنچه‌را درفصل اول دربارهٔ شرایط فیزیکی خاص قسمت مرکزی خورشید گفته شدبه‌خاطر داشته‌باشیم، بیدرنگ متوجه‌می‌شویم که‌مشخصترین خاصیت آن قسمت خورشید درجهٔ حرارت بسیار زیاد آن است که‌در اوضاع واحوال زمین حتی نزدیك شدن به‌چنان درجه حرارت امکان ندارد. آیا همین زیادی درجهٔ حرارت نیست که عامل اصلی ایجاد تبدلات هسته‌ای خورشید به مقدار زیاد می‌شود؛ می‌دانیم که در تمام فعل و انفعالهای شیمیایی میان مولکولها هرچه درجهٔ حرارت بالاتر رود فعل وانفعال سریعتر و شدیدتر انجام می‌شود؛ حالا که‌یك پاره چوب یازغال چون درکوره‌های متعارفی چندصد درجه‌گرم شود می‌سوزد، چرا نباید توقع آن‌را داشته باشیم که چون ماده‌ای در مرکز آفتاب چند ملیون درجه‌گرم شود «سوختن» به‌مفهوم هسته‌ای‌در آن امکانپذیر باشد؛

فعل وانفعالات حرارتی هسته

نخستین بار دودانشمند جوان به‌نامهای **رابرت اتکینسون**[2] و

---

۱. باوجود این‌باید گفت که این عناصر آن اندازه هستند که بتوانیم ازلحاظ حرارتی که تولید می‌کنند آنهارا مسبب ومسئول حالت سعیر گداختهٔ مرکزی کرهٔ خود بدانیم.

۲. Robert Atkinson

فریتزهوترمنس[1] درسال ۱۹۲۹ برای این سؤال بسیار مهم جوابی پیشنهاد کردند. توضیح این دو دانشمند آن بود که می‌گفتند، دردرجهٔ حرارت بسیار زیادی که در درون خورشید وجود دارد، انرژی جنبشی حرکت حرارتی ذرات به‌قدری شدید می‌شود که‌درنتیجهٔ آن تصادم‌میان ذرات ماده که‌بدون انتظام به‌این طرف و آن طرف حرکت می‌کنند، به اندازهٔ گلوله‌های اتومی در آزمایشهای بمبارانی متعارفی، اثر تخریبی برروی هسته پیدامی‌کند. واقع امر آن‌است‌که دردرجهٔ‌حرارت ۲۰ملیون انرژی جنبشی‌متوسط‌حرکت حرارتی‌درحدود ۵×۱۰^{-۹} ارگ‌می‌شود که‌از مقدار $۱۰^{-۸}$ ارگ‌که در آزمایشگاههای ماهمراه‌باتبدلات مصنوعی هسته‌است چندان دور نیست. ولی دران حین که‌روش عادی بمباران‌را می‌توان به‌حملهٔ یك ردیف سرباز تشبیه کرد که باسرنیزه به‌جان عدهٔ نسبتاً زیادی ازمردم‌افتاده‌اند، درمورد فعل‌وانفعالات حرارتی هسته‌ای این‌حمله تقریباً شبیه است به‌جنگ تن به‌تنی که درتمام نقاط میدان نبرد باکمال شدت وحرارت صورت می‌گیرد.

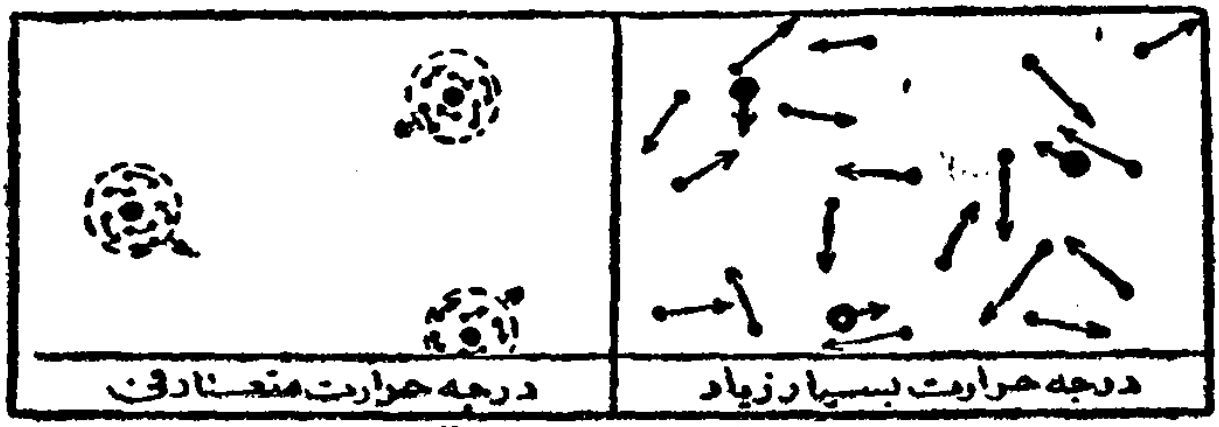
به‌این نکته نیز بایداشاره‌شود که‌در درجه حرارت بسیارزیادی که‌فعل وانفعالات حرارتی هسته دران اتفاق می‌افتد، دیگر ماده به صورت اتوم‌ومولکول به‌معنی حقیقی این کلمات‌نیست. حتی دردرجات پایینتر ازاین حد هم‌غلاف الکترونی اتومها در نتیجهٔ تصادمهایی که براثر حرارت پیش می‌آید کنده می‌شود، و ازان پس ماده به صورت مخلوطی از**هسته‌های برهنه** (اتومهای کاملا یونیده) متحرك به‌حرکت بدون انتظام والکترونهای بی‌بند وباری می‌شود که درمیان هسته‌ها به هرسو حرکت‌می‌کنند (شکل۲۵). هسته‌های «برهنه»که‌زره الکترونی آنها را حمایت نمی‌کند، دیگر مانعی برای تصادم حرارتی ندارد، و ضربه‌های شدیدی‌که مستقیماً بر آنها وارد می‌شود غالباً نتایج تخریبی به‌بار می‌آورد.

تصادمهای دائمی و پایدار که در نتیجه زیاد شدن درجهٔ حرارت پیش می‌آید، سبب آن می‌شود که‌فعل وانفعالات‌حرارتی

---

1. Fritz Houtermans

هسته‌را از بمبارانهای مصنوعی متعارفی بسیار مؤثرتر قراردهد، زیرا که‌درمورد بمبارانها انرژی گلوله‌هایی که‌به‌صورت مصنوعی شتاب پیدا کرده‌اند پس‌ازانکه از میان پوشش‌خارجی یکصدهزار اتوم‌گذشتند ازبین می‌رود ودیگر انرژی‌باقی نمی‌ماند. اگرمثلامخلوطی ازئیدروژن و لیتیوم‌را به‌اندازهٔ کافی گرم کنیم، تصادم حرارتی شدید میان ذرات این دوعنصر بدون توقف ادامه پیدا می‌کند تا آنگاه که‌همهٔ هسته‌های موجود درمخلوط به‌هلیوم تبدیل شود. انرژی زیراتومی که‌دراین‌مورد آزاد می‌شود آن‌اندازه است که‌می‌تواند موادرا به‌مقدار کافی گرم‌نگاه دارد تاعمل ادامه پیدا کند، به‌طوری‌که باید گفت تنها چیزی که‌مورد



شکل ۲۵
یونش گازها براثر حرارت

احتیاج است آن‌است‌که درابتدای‌کار درجهٔ حرارت‌را به‌اندازهٔ کافی‌بالا ببریم تافعل و انفعال بتواند آغاز شود و ازان پس خود به‌خود ادامه خواهد یافت.

درجهٔ حرارتی که‌برای فعل وانفعالات حرارتی هسته لازم است

برای‌آنکه مسئلهٔفعل وانفعالات حرارتی هسته‌را درمیان‌عناصر مختلف خورشید ازلحاظ اهمیتی که‌درزندگی خورشیددارند موردبحث قرار دهیم- وهمچنین برای بحث درامکان استفادهٔ عملی ازهمین‌عوامل برروی کرهٔ زمین-قبل ازهرچیزباید بدانیم درچه درجه حرارتی‌چنین

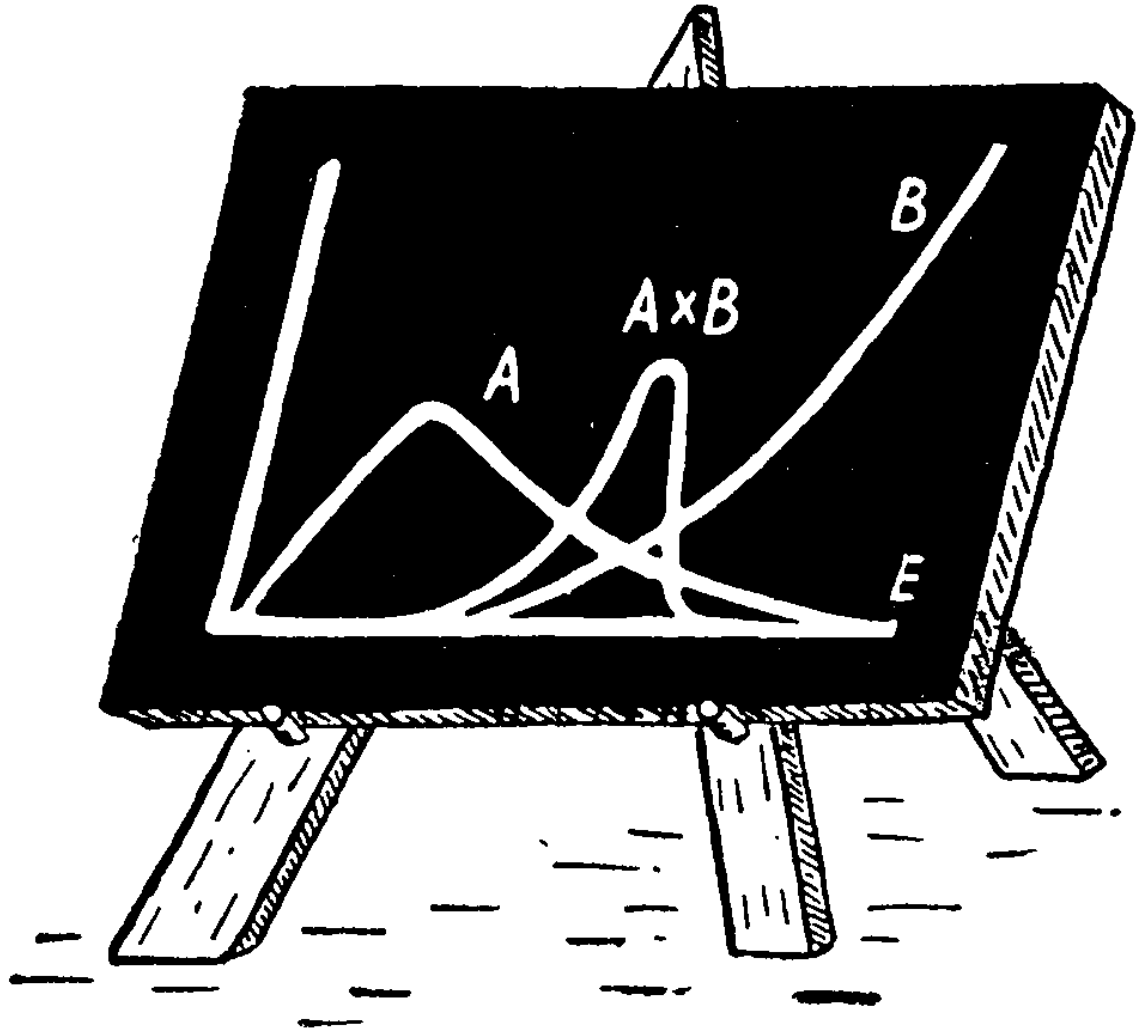
تبدلاتی ممکن است به‌مقدار نسبتاً زیاد وقابل ملاحظه صورت پذیرد.

همان‌گونه که‌دربمبارانهای عادی هسته‌که‌پیش‌ازاین به‌آنهااشاره کردیم بیان شد، در مورد فعل و انفعالات حرارتی هسته نیز اندازهٔ پیشرفت فعل‌وانفعال ومیزان آن‌بسته به‌امکان رخنه‌کردن درسنگرهایی است که‌دراطراف هسته‌های‌به‌هم برخورده وجود دارد. پیش‌ازاین‌اشاره کردیم که‌بنا برنظریهٔ‌مؤلف کتاب دربارهٔ تبدلات هسته‌ای می‌توان‌میزان احتمال این‌نفوذرا ازروی‌انرژی حرکتی وبار برقی‌ذراتی که‌به‌یکدیگر تصادم کرده‌اندازه گرفت. ونیزدیدیم که‌این احتمال به‌سرعت‌زیادی در نتیجهٔ ازدیاد انرژی ذرات تصادم دیده (یعنی ازدیاد درجهٔ حرارت مخلوط) ترقی می‌کند؛ ولی درصورتی که‌بار برقی‌آنها رشدکند اندازهٔ این‌احتمال به‌سرعت پایین‌می‌آید. بنابراین می‌توان‌چنین انتظارداشت که‌درحین گرم‌کردن مخلوطی ازانواع مختلف سبکترین‌هسته‌ها نخستین فعل‌وانفعال میان هسته‌هایی سبکتر صورت‌گیرد که‌بار برقی کمتری را حمل‌می‌کنند، فعل‌وانفعال میان ئیدروژن ولیتیوم که‌در بالا ذکر شدبه این ترتیب یکی ازآنها است که‌در اوایل کار اتفاق می‌افتد. به تدریج که‌درجهٔ حرارت مخلوط‌بالاتر می‌رود، می‌توان انتظار داشت که‌درمیان هسته‌های سنگینتر به واسطهٔ پروتونهای حرارتی نفوذهای موثرتری صورت گیرد وفعالیت میان ذرات α وعناصر سبك آغاز شود. درپایان کار که‌درجهٔ حرارت بسیار بالا می‌رود تصادم میان هسته های سنگین نیز حایز اهمیت می‌شود.

پس برای محاسبهٔ میزان بزرگی فعل وانفعال حرارتی درمیان هردو نوع معین‌ازهسته ازروی فورمول نفوذ، تنهادانستن انرژی‌جنبشی ذرات دردرجهٔ معین حرارت کفایت نمی‌کند. همان‌گونه که‌درفصل‌دوم دیدیم ذرات یك‌گاز داغ همه بایك سرعت درحرکت نیستند، بلکه‌این سرعت پراکندگی دامنه‌داری دارد که ازآن پیش ازاین به نام توزیع ماکسولی(صفحهٔ ۴۳) سخن‌گفتیم. درست‌است که‌عددذراتی که‌به‌صورت غیر طبیعی انرژی بسیار زیاد دارد نسبتاً کم‌است، ولی نباید فراموش کنیم که‌تأثیر وکارامدی تصادم‌به‌سرعت باازدیاد انرژی‌این تصادم‌افزایش پیدا می‌کند. پس‌اگر چه‌عدهٔ ذرات حامل انرژی بسیار کم باشد، در

ترازنامهٔ کلی تلاشی هسته اهمیت فراوان دارد.

درشکل (۲۶) منحنی A نمایندهٔ طرز توزیع ماکسولی انرژی حاصل ازحرکت حرارتی است (باشکل ۶ مقایسه کنید) که‌ازروی‌آن عدد نسبی ذرات گازی که‌اندازه های متفاوت انرژی (E) دارند معلوم می‌شود. ازطرف دیگر منحنی B قابلیت تجزیه وتلاشی (رخنه‌پذیری زره‌های هسته) ذرات را در برابر این انرژیها نشان می‌دهد. وبالاخره A×B که‌حاصلضرب این دومنحنی است نمایندهٔ مجموع اثر تجزیه و



شکل ۲۶

حد اکثر تجزیه وتلاشی (A×B) برای آن انرژی حرارتی صورت می‌گیرد که‌دران قابلیت رخنه کردن ذرات در زره‌های هسته (B) به اندازهٔ کافی زیاد باشد، ودر همان حال عدهٔ آن ذرات (A) بسیار کم نباشد.

تلاشی‌است (عدد ذرات ضرب درکارامد نسبی آنها). چنانکه از روی شکل دیده می‌شود حدنصاب تأثیر نظیراست بامقداری‌ازانرژی متوسط که‌برای آن عدد ذرات هنوز خیلی کم نشده‌است، وضمناً قابلیت نفوذ آنها اززره‌های هسته به‌اندازهٔ کافی زیاداست.

اتکینسون و هوترمنس ازترکیب قانون توزیع ماکسول با ـ فورمول رخنه‌پذیری مؤلف توانستند ثابت کنند که **میزان سرعت تجزیهٔ هسته متناسب است بادرجهٔ حرارت مخلوط و عدد اتومی عناصر موجود در مخلوط.**[1] ما با نوشتن فورمولهای ریاضی اسباب وحشت خواننده‌را فراهم نمی‌سازیم، بلکه نتایج عددی این‌فورمولها را که‌برای فعل‌وانفعال هسته‌ای‌خاصی به‌دست آمده ازنظراو می‌گذرانیم.[2]

برای این منظور فعل وانفعال میان ئیدروژن ولیتیوم را که چندبار از آن سخن گفته شده انتخاب کرده‌ایم، که از طرف دیگر از لحاظ مقدار زیاد انرژی که برای هرهسته پس می‌دهد و هم‌چنین از لحاظ بزرگی نسبت فعل و انفعالی که در آن صورت می‌گیرد، کارامدترین فعل و انفعال هسته‌ای به‌شمار می‌رود. یك‌گرم مخلوط که ازهفت جزو لیتیوم ویك جزو ئیدروژن ساخته شده باشد، اگر کاملابه صورت هلیوم درآید، $۲ر۲ \times ۱۰^{۱۸}$ ارگ انرژی زیر اتومی پس‌می‌دهد. ولی حتی در درجهٔ حرارت چندهزار (که بالاترین درجه‌ای‌است که درآزمایشگاهها ممکن است به‌دست‌آورد)، این‌فعل وانفعال‌حرارتی هسته چنان به‌کندی پیش می‌رود که برای تمام شدن‌آن بلیونها بلیون سال وقت لازم است. باچنین سرعت کم انرژی آزاد شدهٔ از یك تون مخلوط درمدت یك‌قرن ازچند ارگ تجاوز نخواهد کرد، واین مقدار

---

۱. به‌علاوه چون میزان سرعت تولید انرژی باحاصل ضرب چگالی مواد فعل وانفعال‌کننده متناسب است، ناچارچگالی ماده هم‌در میزان سرعت تولید انرژی مؤثر می‌شود.

۲. مقادیر عددی که در اینجا آورده‌ایم از روی فورمولهای اتکینسون وهوترمنس‌حساب‌نشده، بلکه مبنای محاسبه فورمول‌جدیدی است که از روی آخرین پیشرفتهای فیزیك جدید به‌دست آمده‌است.

انرژی حتی برای‌بلند کردن یك‌مگس مرده ازکف‌اطاق‌تاروی میز کار کفایت نمی‌کند. ولی در درجهٔ حرارت یك‌ملیون، انرژی حاصل‌شدهٔ‌از چندکیلوگرم مخلوط ئیدروژن ولیتیوم برای به‌کار انداختن موتوریك اتومبیل کافی‌خواهد بود. در درجهٔ‌حرارت مرکز آفتاب که ۲۰ملیون درجه‌است، مخلوط ئیدروژن ولیتیوم درظرف مدت چندثانیه به‌صورت هلیوم درمی‌آید وآزاد شدن انرژی دراین‌حالت به‌شکل انفجارمدهشی خواهد بود.

اگرهمین فورمول‌را برای‌تصادم میان‌پروتونهاباهسته‌های عناصر سنگینتر به‌کار ببریم، به‌این نتیجه می‌رسیم که حتی در درجهٔ حرارت مرکزی خورشید هم مثلا فعل و انفعال میان ئیدروژن و کلـور مـدت 10^{25} سال وقت می‌خواهد تانیمی‌از این‌مخلوط تبدل‌پیداکند، وزمانی باورنکردنی ومعادل 10^{250} سال(۱) لازم‌است تاپروتونها درهسته‌های سنگین سرب رخنه کنند. این‌نتیجه نیز به‌دست‌می‌آید که دراین‌درجهٔ حرارت توانایی رخنه نمودن ذراتα آن‌اندازه کم است که حتی‌برای تصادم باسبکترین هسته‌ها کافی نیست، وتنها هنگامی وجود این ذرات حایز اهمیت می‌شود که حرارت به۵۰ ملیون درجه‌برسد.

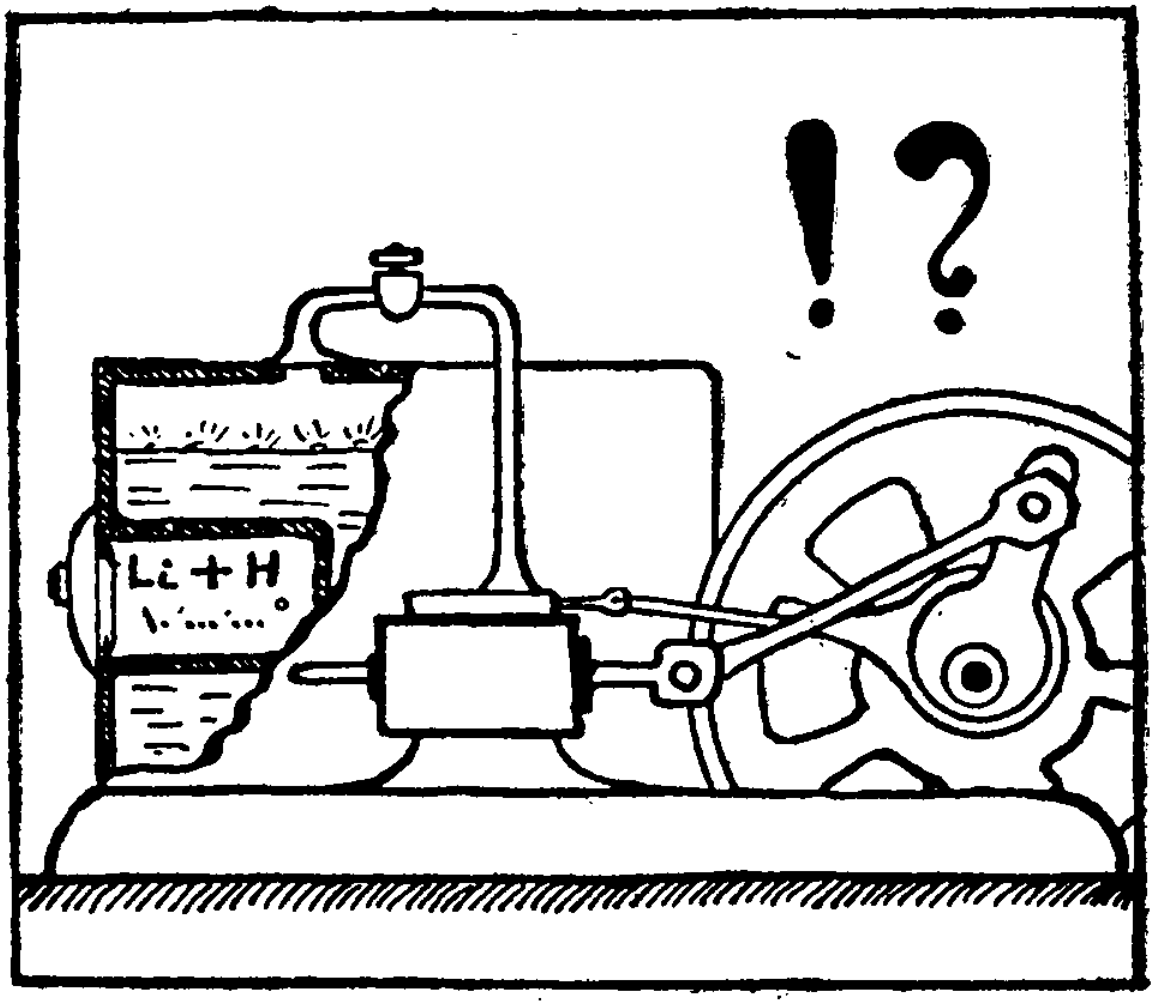
چگونه می‌توان یك «موتور زیر اتومی» ساخت؟

ممکن است خواننده‌ای پیش خود چنین فکر کندکه: «بسیار خوب! برای استفاده از این انرژی کافی است که کورهٔ ماشین بخاری را بامخلوطی ازئیدروژن ولیتیوم پرکنیم ودرجهٔ حرارت‌آن را به‌چند ملیون برسانیم. مگر این‌کار چه دشواری دارد؟» (شکل۲۷).

البته‌تهیه‌کردن یك‌ماشین‌بخارکهنه برای‌تجربه آسان‌است، ونیز تهیهٔ‌سوخت اتومی‌آن دشواری‌ندارد، چه ترکیب‌جامدلیتیوم ـ ئیدروژن LiOH را می‌توان ازبازار خرید. ولی آیا برای به‌دست‌آوردن درجهٔ حرارت چند ملیونی‌چه بایدکرد؟ هیچ راه شیمیایی، مثلا سوختن‌زغال نمی‌تواند چنین حرارت زیادی را سبب شود، و اگر بخواهیم کوره را بابرق گرم‌کنیم، سیم برق ـ حتی اگرازنسوزترین‌نوع آن‌باشد ـ پیش ازانکه به‌چند هزار درجه حرارت‌برسیم ذوب وبخار خواهد شد. برای

دیوارهای کوره نیز چنین‌سرنوشتی‌درپیش است، وهیچ وسیله‌ای‌نیست تابتوانیم گازهای فعل وانفعال را درحجم معینی محفوظ نگاه داریم. باذوب شدن دیوار کوره گازهای داغ انبساط پیدا می‌کند وناچار درجهٔ حرارت پایین می‌آید.

چون همهٔ این حوادث نامطلوب قبل ازان اتفاق می‌افتد که فرصت بالا رفتن درجهٔ حرارت به‌اندازهٔ لازم پیش بیاید، به‌دشواری می‌توان دریافت که‌چگونه می‌شود فعل وانفعالات حرارتی هسته را در اوضاع واحوال آزمایشگاهها ایجادکرد، وباید گفت که این معجزه از حدود امکانات فنی جدید خارج است.

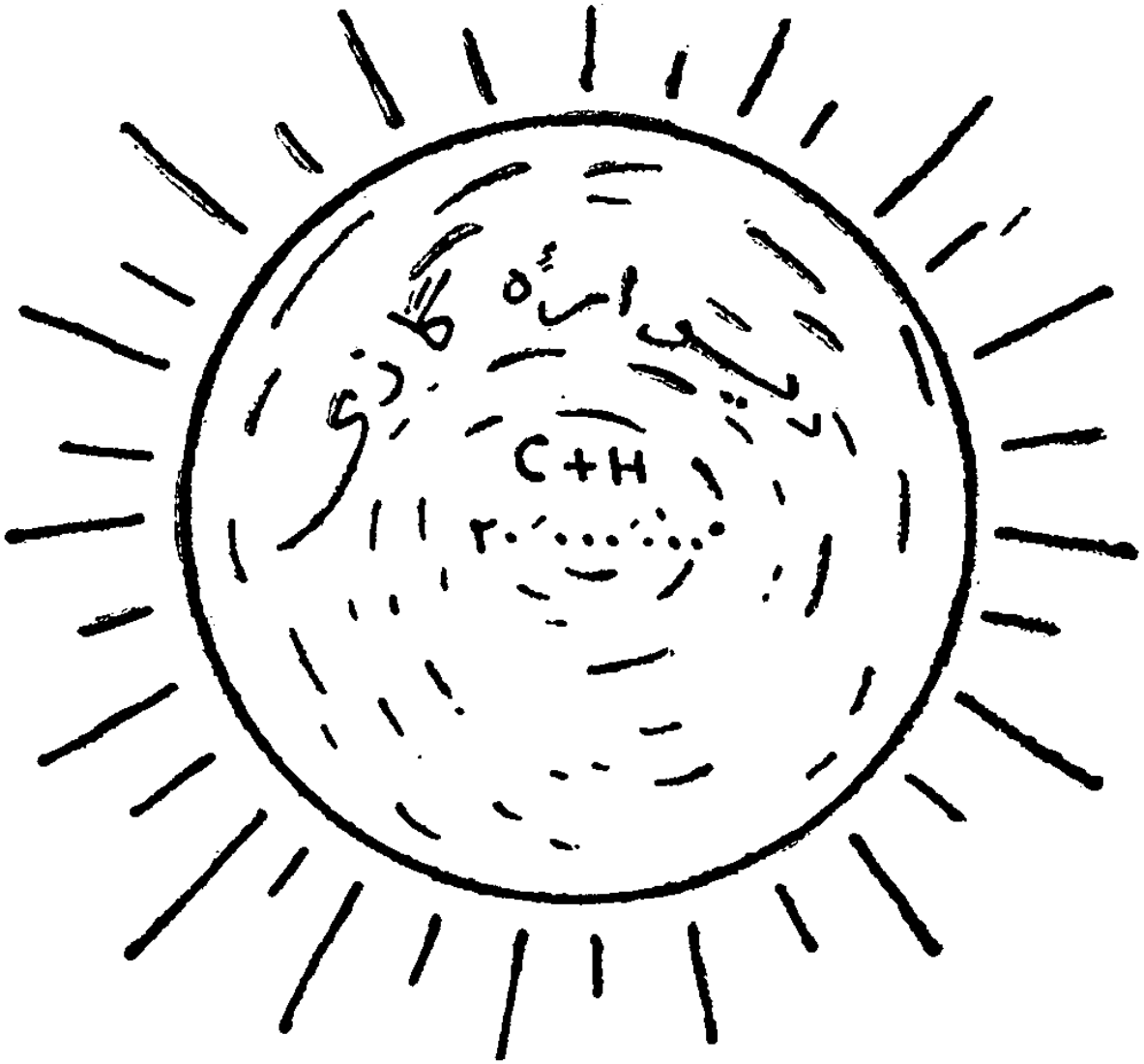


شکل ۲۷

موتورخیالی زیر اتومی. هیچ دیواری نمی‌تواند دربرابرچنین درجهٔ حرارتی مقاومت‌کند.

کورهٔ خورشید

این دشواریهای‌حل نشدنی که هنگام‌بحث دربارهٔ ساختن کوره‌های حرارتی هسته برروی زمین پیش می‌آید، درموردخورشید که‌خود به منزلهٔ یك کورهٔ غولپیکری است وجود ندارد . این‌کورهٔ فلکی‌عملا یك «دیوارهٔگازی» دارد که همان قشرهای خارجی جرم خورشید است که در نتیجهٔ نیروهای جاذبهٔ موجود میان ذرات درمجاورت یکدیگر نگاه داشته شده‌اند (شکل ۲۸). به علاوه نیروهای جاذبه وسیلهٔ آن بوده‌اند تادرجهٔ حرارت ابتدایی خورشید بدان اندازه فزونی یابد که



شکل ۲۸

مولد زیر اتومی‌خورشید. دیوارهای گازی به‌واسطهٔ نیروی جاذبه برجای خود نگاه داشته می‌شوند.

فعل وانفعالات حرارتی هسته امکانپذیر شود. در فصل اول دیدیم که خورشید درآغاز زندگی تودهٔ عظیمی ازگاز نسبتاً سرد بوده است که‌به تدریج براثر انقباضات تصاعدی ثقلی پیوسته گرم و گرمتر شده است. به‌محض آنکه درجهٔ حرارت مرکزی این خورشید در حال انقباض به اندازه‌ای رسید که برای آغاز شدن فعل وانفعالات هسته‌ای کافی بود، آزاد شدن انرژی زیر اتومی از انقباض بیشترجرم خورشید جلوگیری کرد، وخورشید به‌حالت پایدار فعلی‌خود درآمد.

به‌این‌نکته نیزباید توجه داشته‌باشیم‌که‌قشرهای خارجی‌خورشید خود مهمترین وسیلهٔ ممکن برای تنظیم انرژی آزاد شدهٔ در قسمت مرکزی آن‌است. اگر به‌دلیلی‌از میزان سرعت فعل وانفعالات حرارتی هسته درقسمتهای مرکزی خورشید کاسته شود، بلافاصله در قشرهای خارجی خورشید انقباض وتراکمی دست می‌دهد، وبراثر آن درجهٔ حرارت بالا می‌رود، ودر نتیجه اندازهٔ تولید انرژی به‌حال اول خود باز می‌گردد. واگر برخلاف تولید انرژی داخلی ازحد متعارف تجاوز کند، جرم خورشید منبسط می‌شود ودرنتیجه درجهٔ حرارت مرکزی پایین می‌آید وباز به‌حال عادی باز می‌گردد.

به‌این ترتیب باید گفت که‌خورشید تنها نمونهٔ «ماشین هسته‌ای» است که ممکن است وجود داشته باشد و به‌بهترین وجهی کار خود را انجام می‌دهد.

فعل وانفعالی که درخورشید صورت می‌گیرد

اینك می‌دانیم که باحرارتی که درمرکز خورشید وجود دارد، فعل وانفعالات حرارتی هسته درمیان پروتونها وهسته‌های‌عناصر سبك به‌اندازهٔ کافی سرعت دارد که بتواند انرژی لازم ازان به‌دست آید. بنا برآنچه ازنظریهٔ **ادینگتون** دربارهٔ ساختمان خورشید می‌دانیم، معلوم است که قسمت عمده‌ای از جرم خورشید (در حدود ۳۵ درصد آن) ئیدروژن است، واینك 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 حساب‌کنیم ونتیجه را باآنچه عملا

از روی مقدار تشعشعات خارج‌شدهٔ ازخورشید به‌دست می‌آید درمعرض مقایسه قراردهیم.

مثلا واضح است که فعل وانفعال ئیدروژن ـ لیتیوم ، از آن لحاظ که خیلی به‌سرعت انجام می‌شود، نمی‌تواند منبع تولید انرژی خورشید باشد ، چه همان‌گونه که دیدیم در ۲۰ میلیون درجه حرارت تبدیل لیتیوم به‌ئیدروژن درچند ثانیه تمام می‌شود، بدان‌سان که اگردر قسمت مرکزی خورشید مقدار قابل ملاحظه‌ای ازعنصر لیتیوم موجود باشد تمام انرژی‌زیر اتومی‌آن به‌صورت‌انفجار وحشتناکی آزاد خواهد شد وخورشید را پاره پاره خواهد کرد. بنابراین معلوم می‌شود که خورشید ما نمی‌تواند در داخل خود مقدار زیادی لیتیوم داشته باشد، واین درست به‌آن می‌ماند که اگرچلیکی به آهستگی مشغول سوختن باشد یقین حاصل می‌کنیم که درآن باروت وجود ندارد.[۱]

ازطرف دیگر آزاد شدن انرژی حرارتی هسته، مثلا در فعل وانفعال میان پروتونها وهستهٔ اکسیژن، آن اندازه به‌کندی صورت می‌گیرد که نمی‌توان اکسیژن را به‌عنوان منبع انرژی زیر اتومی‌خورشید به‌حساب‌آورد.

دکتر هانس‌بث[۲] که درسال ۱۹۳۸ پس از شرکت در کنگرهٔ فیزیك نظری واشنگتون که‌در آن به‌اهمیت‌فعل وانفعال هسته درتولید انرژی خورشید کاملا توجه پیداکرده بود به خانهٔ خود باز می‌گشت، درقطار باخود چنین می‌اندیشید که: «بالاخره نباید یافتن نوع فعل و انفعالی که باخورشید تطبیق‌کند چندان دشوار باشد. قطعاً من تا پیش ازانکه شام خود را صرف کنم مسئله را حل خواهم کرد.» پس‌ازانکه چنین تصمیم گرفت، تکه‌کاغذی برداشت و برروی آن مشغول نوشتن

---

۱. باوجود این‌مدارك طیفی‌نشان می‌دهد که در قسمتهای‌نسبتاً سردتر جو خورشید لیتیوم وجود دارد، وچون این‌عنصر نمی‌تواند در مرکز خورشید موجود باشد، بایدچنان‌نتیجه گرفت که تنها درقشرهای خارجی یافت می‌شود (به فصل هفتم مراجعه شود).

۲. Hans Bethe

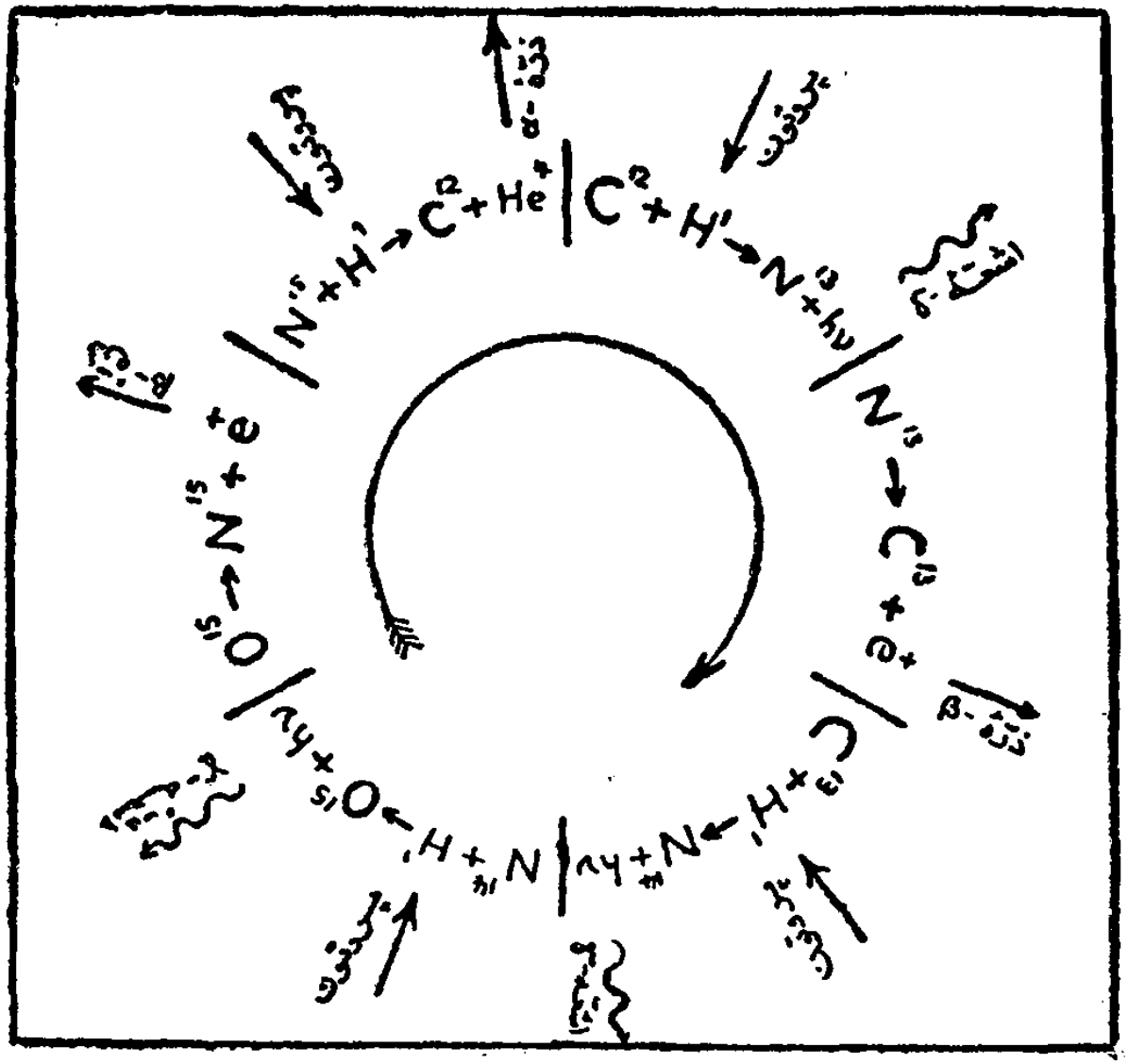
فورمولها وارقامی شد والبته این‌کار اومایهٔ تعجب‌کسانی بود که‌در قطار باوی همسفر بودند. یکی پس‌از دیگری فعل و انفعالات ممکن را از فهرستی که نوشته‌بود خط می‌زد، ودران هنگام که خورشید بیخبر از دردسری که برای این دانشمند فراهم ساخته بود به‌نقطهٔ فرورفتن در زیر افق نزدیك می‌شد، وی هنوز به حل مسئله موفق نشده بود. ولی هانس‌بث کسی نبود که به‌خاطر چند اشکال مربوط به‌خورشید از غذای مطبوعی چشم بپوشد. کوشش خود را دوچندان کرد، ودرست درهمان حین که پیشخدمت قطار مسافران را به‌واگون غذاخوری دعوت می‌کرد مسئله هم حل شده بود. مصادف باهمین زمان یك دانشمند آلمانی به نام دکتر **کارل‌فون‌وایتسزکر**[1] نیزهمان فعل و انفعال حرارتی هسته‌ای را که‌بث فکرکرده‌بود پیشنهاد کرد، واین‌دانشمندآلمانی نخستین‌کسی است که به‌اهمیت فعل وانفعالات حلقه‌ای درمسئلهٔ تولیدانرژی‌خورشید توجه‌پیدا کرده‌است.

اساس این اکتشاف عبارت از ان است‌که فعل وانفعال حرارتی هسته‌ای که مسئول تولید انرژی خورشید به‌شمار می‌رود تنها یك تبدل هسته‌ای نیست، بلکه عبارت‌است از یك‌رشتهٔ پیوستهٔ تبدلاتی‌که همهٔ آنها را روی‌هم **فعل و انفعال زنجیری** می‌نامند. یکی از مهمترین مظاهر این رشتهٔ فعل و انفعالات‌آن است که یك **زنجیر بستهٔ مدور** تشکیل می‌دهد، و دران پس ازطی شش مرحله دوباره به نقطهٔ عزیمت می‌رسیم. از روی شکل (۲۹) که نمایندهٔ این فعل وانفعال زنجیری خورشید است، به‌خوبی‌آشکار می‌شودکه **مهمترین‌عوامل شرکت کنندهٔ در این‌رشته هسته‌های کربون و نیتروژن است‌که با پروتونهای حرارتی تصادم پیدا می‌کنند.**

مثلا چون از کربون متعارفی (C^{12}) آغاز کنیم می‌بینیم که درنتیجه تصادم آن با یك پروتون همجای سبکتر نیتروژن (N^{13}) تشکیل می‌شود ودرضمن این فعل وانفعال مقداری انرژی زیر اتومی به‌صورت اشعهٔ γ آزاد می‌شود. این‌فعل وانفعال خاص را علمای فیزیك

---

1. Carl von Weizsäcker



شکل ۲۹
زنجیر حلقوی فعل وانفعالاتی که مسئول تولید انرژی خورشید شناخته شده .

هسته خوب می‌شناسند و درآزمایشگاهها با استعمال پروتونهایی که مصنوعاً شتاب و انرژی آنهارا زیاد کرده اند توانسته‌اند چنین فعل و انفعالی را تولید کنند. چون هستهٔ (N^{13}) ناپایدار است، از خود یك الکترون مثبت یا ذرهٔ مثبت β صادر می‌کند و به‌صورت هستهٔ پایدار همجای سنگینتر کربون (C^{13}) درمی‌آید که چنانکه می‌دانیم به‌نسبت بسیارکم‌همراه کربون متعارفی موجوداست. این کربون به‌نوبهٔ

خود چون باپروتون حرارتی دیگری تصادم پیداکند به‌صورت‌نیتروژن متعارفی(N^{14}) در می‌آید و اضافه بران تشعشع شدید γحاصل می‌شود. اکنون هستهٔ N^{14} (که از آن‌هم می‌توانستیم به سهولت توصیف دورهٔ زنجیری‌را آغازکنیم) ، با پروتون حرارتی‌دیگری (پروتون سومی) تصادم پیدامی‌کند وازان میان همجای ناپایدار اکسیژن (O^{15}) به‌دست می‌آید که به‌سرعت با خارج‌کردن یك الکترون مثبت به‌صورت ثابت (N^{15}) مبدل‌می‌شود. وبالاخره‌این(N^{15}) باگرفتن پروتون چهارمی به دوقسمت نامساوی منقسم می‌شود که یکی ازآنها (C^{12}) همان‌است که توصیف رشته زنجیر را ازان آغاز کردیم، و جزو دیگر هستهٔ هلیوم یا ذرهٔ α است.

به‌این ترتیب می‌بینیم‌که **هسته‌های‌کربون و نیتروژن دراین فعل و انفعال زنجیری پس‌ازانکه از بین می‌روند دوباره تولید می‌شوند و در واقع عنوان واسطه، یاچنانکه علمای شیمی می ـ گویند، عنوان کاتالیزوری دارند.** نتیجهٔ خالص این فعل و انفعال زنجیری آن‌است که ازچهار پروتون که به‌تدریج وارد حلقه شده یك هستهٔ هلیوم به‌دست‌آمده‌است. وبه‌این‌ترتیب می‌توان تمام حوادث‌حلقهٔ زنجیر را **به‌صورت تبدیل ئیدروژن به‌هلیوم در نتیجهٔ حرارت زیاد دانست که به‌میانجیگری‌کربون و نیتروژن صورت می‌گیرد.**

واضح است که اگر مقدار کافی ئیدروژن در خورشید موجود باشد، میزان سرعت دورهٔ تبدیل اصولا بسته به مقدار کربون (یا نیتروژنی) است‌که درجرم خورشید وجود داشته‌باشد؛ **بث**، با قبول‌اینکه نسبت‌کربون موجود درخورشید به‌جرم آن یك درصداست ودلایل فیزیك نجومی مؤید آن‌است، توانست ثابت کند که انرژیی‌که از فعل وانفعال زنجیری خورشید دردرجهٔ حرارت ۲۰ ملیون صورت می‌گیرد، **درست مطابق است باآن مقدار انرژی که عملا درنتیجهٔ تشعشع از خورشید صادر می‌شود.** و ازانجا که نتایج تمام فعل و انفعالات ممکن دیگر با شواهد فیزیك نجومی مطابقت ندارد، به‌طور قطع این مطلب را باید پذیرفت که مهمترین عامل اصلی مولد انرژی خورشید همان دورهٔ گردش کربون ـ نیتروژن است. این‌نکته را نیز

دراینجا باید اضافه‌کنیم که در درجهٔ حرارت درونی خورشید ۵ملیون سال وقت لازم‌است تا فعل وانفعال زنجیری‌که درشکل (۲۹) نمایانده شده بدان سان کامل شودکه درپایان این دورهٔ از زمان هرهسته‌کربون (یا نیتروژن) که وارد فعل وانفعال شده‌بود درست به‌همان حالت‌تازه و دست نخورده‌ای که با آن آغاز کرده بود بازگردد.

اینک‌که ازنقش اساسی‌کربون دراین‌جریان‌آگاه شدیم، می‌توان گفت‌که نظرقدیمی مبنی براینکه خورشید از زغال است چندان بیپایه نبوده، با این‌تفاوت‌که اکنون می‌دانیم که زغال بیش ازآنکه واقعاً کار «سوخت» را انجام دهد نقش مرغ افسانه‌ای ققنس[1] را بازی می‌کند .

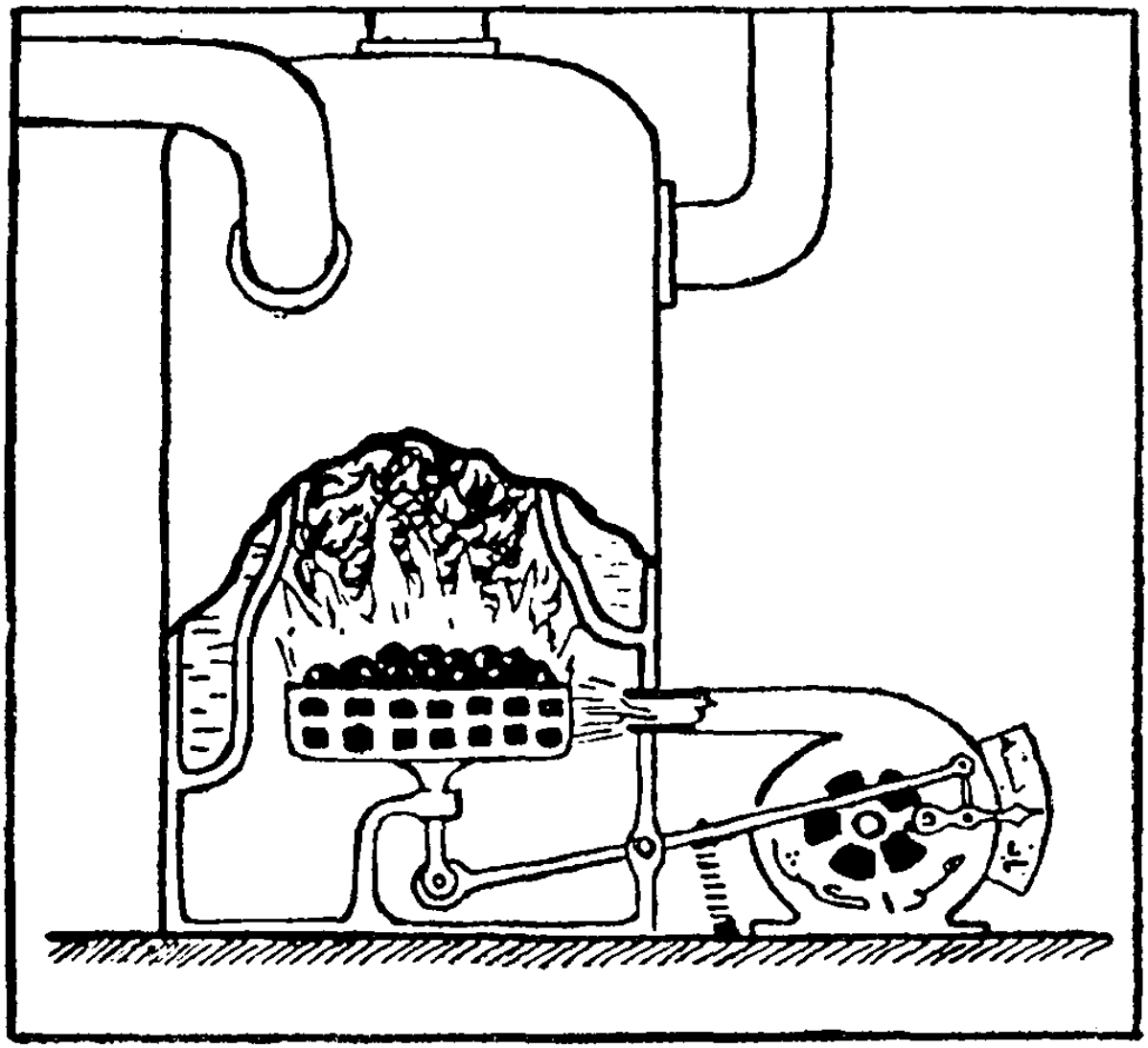
تحول خورشید

آیا این مصرف تدریجی « سوخت » ئیدروژنی چه تغییراتی درخورشید به‌بار خواهدآورد؛ درنظر اول چنان می‌نمایدکه ناچار این کیفیت باید منجر به‌آن شود که تدریجاً از میزان تولید انرژی در خورشید بکاهد، بدان سان که این ستاره هرلحظه به‌مرگ نزدیکتر و سردتر وبیفروغتر شود. ولی با پژوهشهای مؤلف ثابت شده که چنین نیست، وواقع امرآن‌است‌که درخشش خورشید به‌صورت ثابتی افزایش پیدا می‌کند.

زیرا میزان سرعت تبدلات حرارتی هسته تنها به مقدار عنصر فعل‌وانفعال (دراینجا ئیدروژن) بستگی ندارد، بلکه درجهٔ حرارتی که سبب فعل وانفعال می‌شود نیزدرآن مؤثر است. اگر فرض‌کنیم که کاهش مقدارکلی « سوخت » به‌علتی‌سبب **افزایش** درجهٔ حرارت شود، بازماندهٔ سوخت باشدت‌بیشتری خواهد سوخت، ودرجهٔ حرارتی‌خواهد

---

۱. Phœnix پرندهٔ افسانه‌ای مصری که تصور می‌کرده‌اند چون ۵۰۰سال ازعمرش می‌گذرد خودرا برتوده‌ای ازهیزم می‌سوزاند و ازخاکستر او مرغ دیگری برمی‌آید. در ادبیات بتپرستی ومسیحیت این مرغ به‌عنوان رمز مرگ و رستاخیز مکرر به‌کار رفته است.
(ترجمه از دایرةالمعارف کولومبیا.) . ـ م.



شکل ۳۰

کوره‌ای که چون زغال آن‌کمترباشد بهتر می‌سوزد

داد که از درجهٔ حرارت‌آغاز کار که « کوره » لبالب آکندهٔ از سوخت بوده بالاتر خواهد رفت. نظری به‌شکل (۳۰) این حقیقت را بهتر مجسم می‌سازد. درانجا شکل یك کورهٔ زغالی عادی را نمایش داده‌ایم که‌دستگاه دم و هواکش‌آن با سنگینی زغالهایی‌که برروی سه‌پایهٔ کوره ریخته شده باز وبسته می‌شود؛ هرچه وزن‌زغال روی سه‌پایه‌کمترباشد راه هواکش بهتر باز می‌شود وسوخت بهتر می‌سوزد وحرارت‌بیشتری تولید می‌کند.

چنین ترتیبی درکورهٔ جهنمی خورشید نیز وجود دارد، بااین

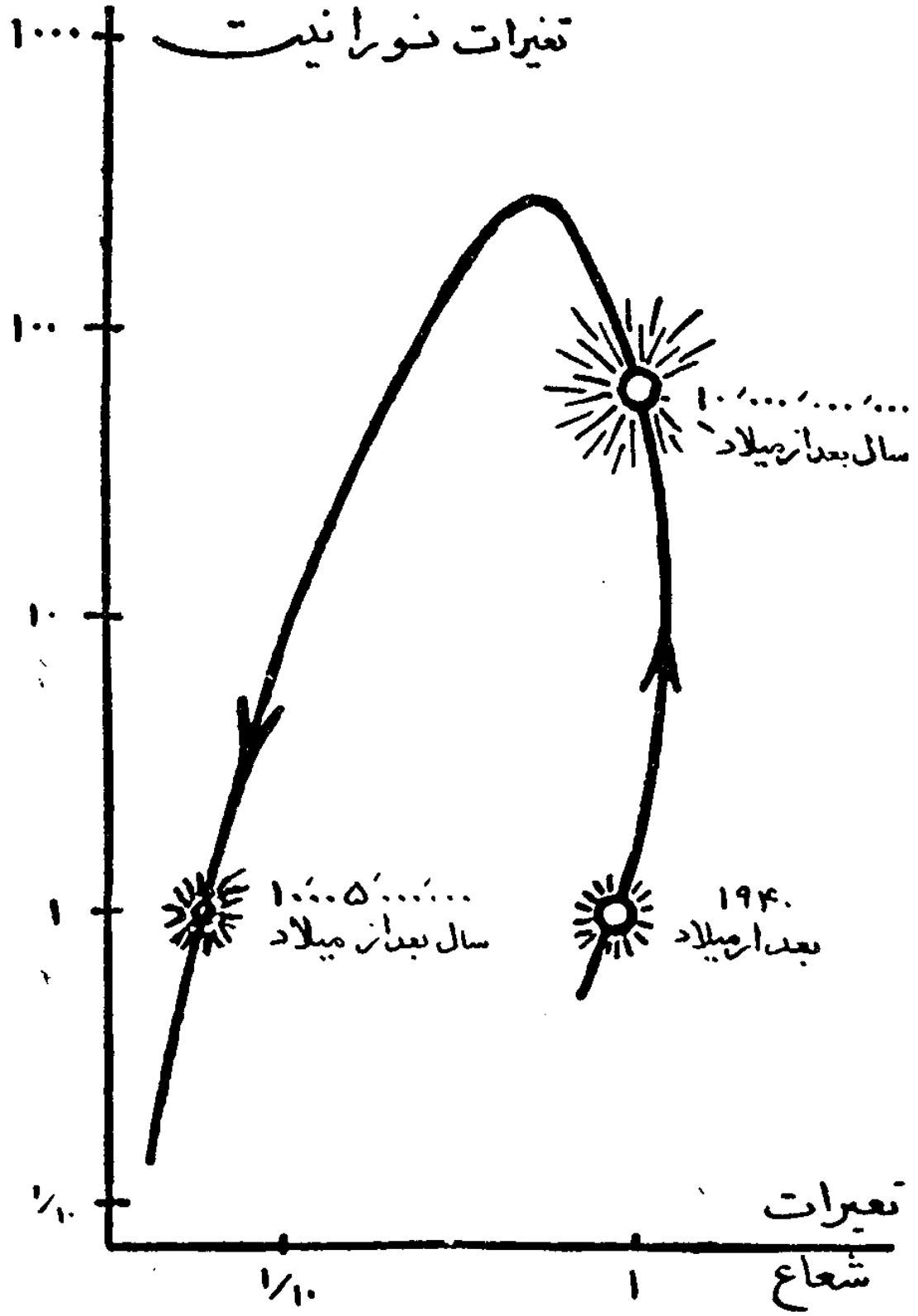
تفاوت کـه وسیلهٔ تنظیم، تغییر درجـه شفافیت ماده‌ای است کـه جسم خورشید ازآن تشکیل شده. هلیومی که در داخـل خورشید در نتیجهٔ مصرف شدن ئیدروژن تشکیل می‌شود، از ئیدروژنی که در آغـاز کار وجود داشت شفافیت‌کمتری‌دارد،[1] وانرژی آزاد شدهٔ در فعل‌وانفعالات حرارتی هسته درراه رسیدن به‌سطح خورشید با دشواریهـای بیشتری روبه‌رومی‌شود. هرچه بیشتر ئیدروژن به‌هلیوم مبدل شود پوشش‌قسمت مرکزی خورشید تیره‌تر می‌گردد ودرنتیجه‌انرژی بیشتری در قسمت مرکزی جمع‌می‌آید واین امر سبب می‌شود که به‌همین نسبت برمیزان سرعت تولید انرژی افزوده گردد.

محاسبه‌ای‌که به‌وسیلهٔ مؤلف بر اساس نظریهٔ مورد قبول‌دربارهٔ ساختمان درونی خورشید صورت گرفته، به‌این‌نتیجه رسیده است‌کـه : **تشعشع خورشید باگذشت زمان زیادترمی‌شود، ودران هنگام که مقدار ئیدروژن جرم خورشید نزدیك به‌اتمام است این انرژی تشعشعی تقریباً صدبرابر خواهدشد.** ونیز از همین محاسبات معلوم شده است‌که چون مقدار ئیدروژن خورشید کمتر شود، شعاع خورشید در ابتدای کارچند درصدی افزایش پیدا می‌کند وپس‌ازان به‌کندی‌طول این شعاع روبه تنزل خواهد رفت.

این نتایج را برروی شکل (۳۱) نمایش داده‌ایم وبرروی این شکل درخشندگی وشعاع حالات آیندهٔ خورشید بـا مقیاس لوگاریتمی ترسیم شده است. از اینجا معلوم می‌شود که تحقیق در مسئلهٔ تـولید انرژی درخورشید مارا به‌نتایجی‌رسانده است‌که کاملا با آنچه ازنظریهٔ رسمی کلاسی به‌دست می‌آید مخالف است. به‌جای آنکه بگوییم به‌علت کاهش فعل و انفعالات خورشید روزگاری همه‌چین یخ خواهد زد، باید گفت که، به‌علت شدت حرارت خورشید در آخرین مرحلهٔ تحول‌آن،

---

۱. در اوضاع واحوال موجود برروی زمین هلیوم وئیدروژن هردو شفافیت دارند، ولی با چگالی‌ودرجهٔ حرارت بسیار زیاد خورشید قشر ضخیم این‌گازها به‌شکل مؤثری تشعشعات را به‌خود جذب می‌کند ودرآنجا کدری هلیوم چندین برابر کدری ئیدروژن می‌شود.



شکل ۳۱

تحول خورشید. خورشید پس‌ازگذشتن از مرحلهٔ نورانیت شدید وارد مرحلهٔ‌انقباض سریع می‌شود وهمراه با این‌انقباض‌نورافشانی آن تنزل پیدا می‌کند.

حیات محکوم به‌فنا است.

به‌این ترتیب تشعشع خورشید صدبرابرمی‌شود، ودرجهٔ حرارت سطح زمین از درجهٔ حرارت جوش‌آمدن آب‌بالاتر می‌رود، واگر چه درچنان حرارتی سنگها وقشر جامد زمین به‌احتمال قوی‌ذوب نخواهد شد، ولی قطعاً آب دریاها و اقیانوس‌ها به‌حالت غلیان درخواهد آمد.

تصور این‌که درچنان اوضاع و احوال موجود زنـده‌ای بتواند برسطح زمین زنده بماند مشکل است، ولی احتمال‌نزدیك به‌یقین‌است که در مدت چند بلیون سال آینده علم و فن آن اندازه ترقی خواهد کردکه بتوانند زیرزمینهای مناسبی‌تهیه‌کنند تا انسان‌دران زیرزمینها به زندگی طبیعی خود ادامه دهد، یا اینکه نوع بشر بتواند به‌یکـی از سیارات دوردست که‌حرارت کمتری دارد مهاجرت کند وزندگی را در آن سیاره ادامه دهد. این نکته‌را نیز باید درنظر داشت که تغییرات در تشعشع خورشید ناگهانی صورت نمی‌گیرد، بلکه این تغییرات بسیار کند و آهسته پیش می‌آید. بنابرآنچه از محاسبه به‌دست می‌آید ، در تمام دوران معرفت‌الارضی کـه خورشید به‌اندازهٔ یك‌صدم از ذخیـرهٔ ئیدروژنی خودرا از دست می‌دهد، بالارفتن درجهٔ حرارت سطح زمین ازچند درجه تجاوز نخواهد کرد. بنابراین‌نتیجهٔ‌فعل‌وانفعالات حرارتی هسته که درخورشید حادث می‌شود چنان نیست که سبب پیدایش یـك فاجعهٔ آسمانی شود (فصل۹ دیده شود)، بلکه اوضاعی‌که پیش‌می‌آید قابل پیشبینی است ومحتمل است که با استعمار سیاره ای مانند نپتون از پیش‌آمدن روزگار سیاهی بـرای فرزندان آدمی جلوگیری به عمل آورنـد .

همین‌کندی در زیادشدن درجهٔ حرارت زمین به‌احتمال قوی با چنان تغییرات تدریجی درجهان مـوجودات زنده همراه خواهد بودکه زندگی بر سطح زمین هر روز بیش از پیش بـا ازدیاد درجهٔ حرارت سازگاری پیدا خواهدکرد. ولی چون هیچ موجود زنده‌ای که از لحاظ تکامل در درجات بالا قرار گرفته باشد نمی‌تواند در آب جوش زیست کند، بنابراین هرچه درجهٔ‌حرارت بالاتر رود انواع زنده بیشتردچار انحطاط وتنزل خواهند شد . پس احتمال کلی دارد که پیش‌از رسیدن

حرارت به‌درجات غیرقابل‌تحمل‌انواع‌عالی‌جانوران‌ازبین‌رفته‌باشند وتنها موجودات ذره‌بینی که ساده‌تر وپایدارترند بتوانند « شاهد » آخرین مراحل پرتوافکنی خورشید باشند.

پس ازان چه ؟

همان‌گونه که پیش‌ازاین گفتیم، ممکن‌است ماشینی حرارتی ساخت که هرچه سوخت‌آن‌کمتر باشد گرمای بیشتری پس‌بدهد، ولی دراین امرشك نیست‌که هیچ ماشینی نمی تواند بدون آنکه سوختی به آن برسد تولید حرارت‌کند؛ بنابراین به‌محض آنکه خورشید آخرین ذرهٔ ئیدروژنی را که دارد مصرف‌کرد، دیگر منبع انرژی زیر اتومی دراختیارنخواهد داشت. وچون ازاین منبع انرژی که مدت ده بلیون سال‌آنرا به‌راه می‌انداخت محروم بماند، ناچاراست ازهمان راه قدیمی تولید انرژی‌که درتمام‌این‌مدت ازان دست برداشته بود به‌تولید انرژی بپردازد . دران هنگام جرم خورشید دوباره به انقباض آغاز می‌کند ، ولی چون همان‌گونه که دیدیم انرژی ثقلی درمقایسهٔ با انرژی عظیمی که از راه فعل و انفعالهای هسته‌ای به‌دست می‌آید تقریباً هیچ است ، به‌همین جهت انقباض تدریجی‌آفتاب دراین دوره نسبت به‌انقباضی‌که‌در دورهٔ درخشان اتومی داشت بسیار سریعترخواهدبود. ازان لحظه به‌بعد جمع شدن و کوچك شدن حجم خورشید آغاز می‌شود، و پس‌از مدتی فروغ آن نیز رو به‌انحطاط می‌گذارد. به‌سرعت روشنایی آن به‌اندازهٔ فعلی‌می‌رسد ـ وسرعت دراینجا البته به‌معنی چندین ملیون سال‌است[1] ـ وهرچه‌خورشید به‌آخرین مرحلهٔ مرگ حرارتی خود نزدیکترمی‌شود بیفروغتر می‌گردد. از این مراحل مختلف پیشروی آفتاب به‌سوی سرنوشت خویش دریکی ازفصلهای‌آینده به‌تفصیل سخن خواهیم‌گفت.

---

۱ . چنانکه بر روی شکل (۳۱) می‌توان دید ، شعاع جرم خورشید درشاخهٔ نزولی خط سیرخود به‌طرف سرنوشت نهایی کمتر از شعاع فعلی‌آن‌است.

فصل ششم

خورشید در میان ستارگان

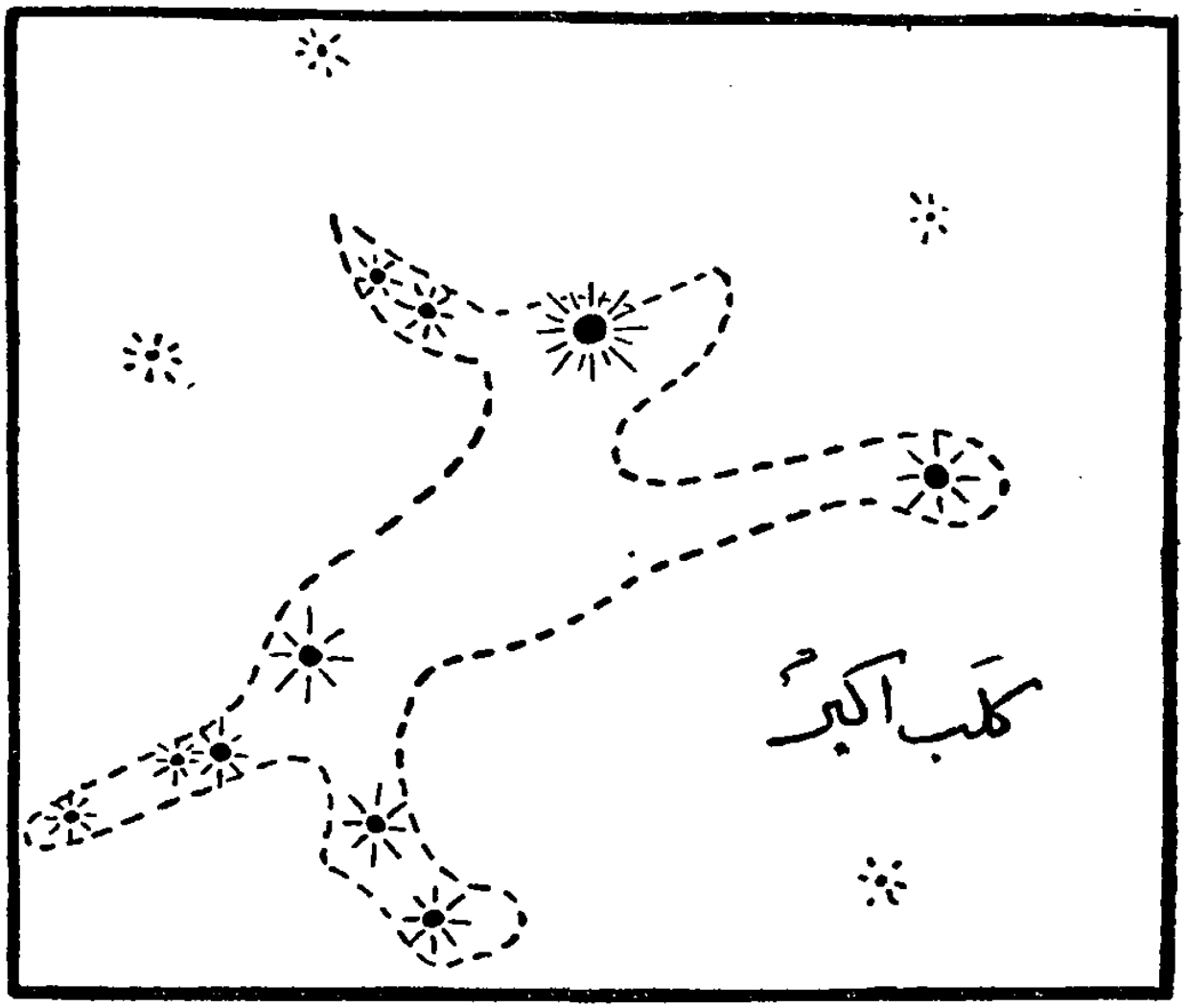
درخشندگی ستارگان چه‌اندازه است؟

●

در روزهای دور افتادهٔ کودکی شاید بیشتر ما چنان می‌پنداشتیم که ستارگان فانوسهای کوچك سیمینی هستند که برگنبد نیلگون فلك بالای سرما آویخته‌اند. در اوقاتی که مؤلف کتاب به‌کار تحقیق دربارهٔ منبع تشعشعات ستارگان مشغول بود، دشواریهای فراوانی‌که ظاهراً زیر پا گذاشتن آنها ناممکن می‌نمود، او را غالباً به عقب باز می‌گرداند و به‌یاد این نظریهٔ کودکانه می‌انداخت . ولی بدبختانه هیچ‌گاه در آنکه این فرضیهٔ زیبای کودکانه صحیح نیست شکی نمی‌توان کرد و پیوسته معلوم بوده است‌که ستارگان توده‌های غول‌آسایی هستند که از گازهای بسیار داغ فراهم آمده وباخورشید ماشباهت فراوان‌دارند. فاصلهٔ‌بسیار بسیار عظیمی که مارا ازستارگان‌دور نگاه می‌داردسبب‌آن است تاچنان پنداریم‌که این اجرام فلکی کوچك و ناچیزند. ولی مشاهدات نجومی

به‌ما اجازه می‌دهد که این‌فاصله‌های عظیم بین‌کواکب را اندازه بگیریم وروشنایی فعلی (یا مطلق) ستارگان گوناگون را باروشنایی خورشید خودمان مقایسه‌کنیم.

مثلا چشم درخشان صورت فلکی کلب اکبررا درنظرمی‌گیریم. کلب اکبر یکی ازصور فلکی است که منجمان باستانی ازتصویر چند ستاره به‌صورت سگی این‌نام را برروی آن گذاشته‌اند، همان‌گونه که دسته‌های دیگر ستارگان را باجانوران یا موجودات افسانه‌ای دیگری شبیه دانسته نامهای دیگری ازاین قبیل به‌آنهاداده‌اند. گرچه چشمی که نظر غیر شاعرانه به‌صورتهای فلکی داشته باشد هرگز چند ستارهٔ کلب اکبر را به‌شکل سگی نخواهد دید (شکل۳۲)، ولی چاره نیست



شکل ۳۲
صورت فلکی کلب‌اکبر

وباید احترام گذشتگان را نگاه داشت وهمین نامها را پذیرفت. چشم این سگ‌آسمانی درخشنده‌ترین ستاره ثابتی است که در آسمان دیده می‌شود وآن‌را به‌نام شعری (شعرای‌یمانی) می‌شناسند. علمای نجوم‌به‌ما خبرمی‌دهندکه‌این‌ستاره نسبت به‌زمین ۵۰۰،۰۰۰بارازخورشید دورتر است ـ یعنی‌تازمین ۵۲،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰ میل‌فاصله دارد ـ و اگر در فاصلهٔ خورشید قرار می‌داشت ستارهٔ شعری ۴۰ مرتبه بیش از خورشید به‌زمین گرمی وروشنی می‌فرستاد.

ستارگان نورانیتر دیگری نیز مانند ستارهٔ Y صورت دجاجه درآسمان هست که این یکی ۳۰،۰۰۰ بار ازخورشید ما درخشنده‌تر است، ولی ازلحاظ فاصلهٔ شگرفی که با زمین دارد روشنی ظاهری آن جلب توجه نمی‌کند. ازطرف دیگر ستارگانی که روشنایی مطلق (یا تشعشع کلی‌آنها) کمترازآفتاب باشد درآسمان کم نیست، وازان‌جمله است ستاره‌ای به‌نام «کروگر ۶۰ب»[1] (همهٔ ستارگان نام زیبای شعری را ندارند) که روشنایی مطلق آن۱۰۰۰ بار از خورشیدکمتر است. چون روشنایی خورشید خودمان را باروشنایی سایر ستارگان شناخته مقایسه کنیم ، به این نتیجه می‌رسیم که خورشید درمیان آنها عنوان **ستارهٔ متوسط نمونه**را دارد.

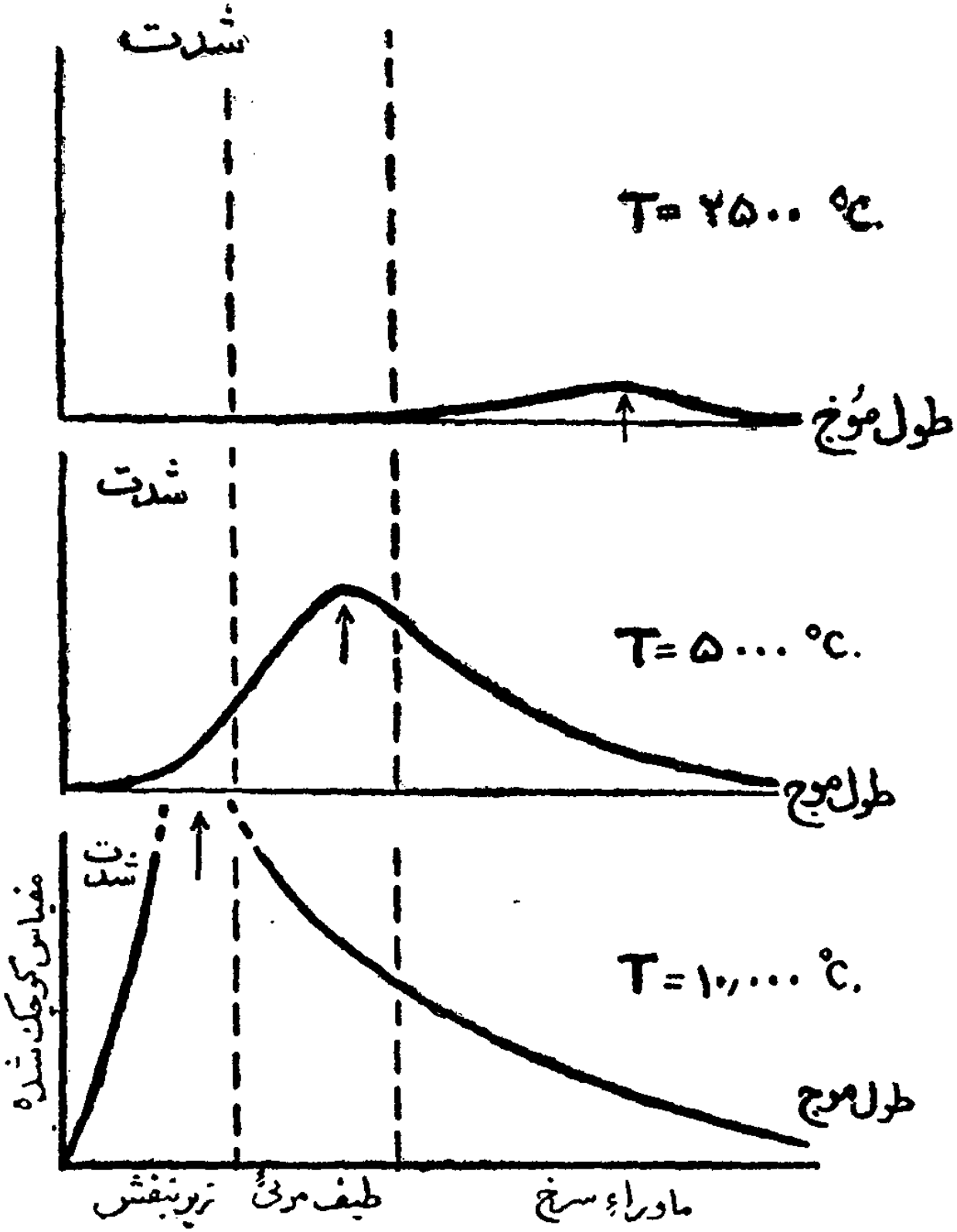
رنگ ستارگان وطبقه‌بندی طیفی آنها

هنگام تحقیق ومطالعهٔدرخواص فیزیکی‌ستارگان، نه‌تنهادانستن نورانیت مطلق آنها حایز اهمیت است، بلکه‌ترکیب طیفی نوری‌که از آنها صادر می‌شود وازان‌رو می‌توان درجهٔ حرارت سطحی این اجرام فلکی بی اندازه دور را اندازه گرفت، کمال اهمیت را دارد. در فصل اول دیدیم‌که درجهٔ حرارت سطح خورشید را می‌توان به‌آسانی ازمقدار تشعشعی‌که ازهرواحد سطح آن‌صادرمی‌شود تخمین‌زد. ولی بایددانست‌که دربسیاری ازستارگان دورنمی‌توانیم مستقیماً وسعت سطح آنهارا اندازه

---

۱. krueger60B یعنی‌جزء ب ازشصتمین ستارهٔ ثبت‌شدهٔ درفهرست کروگر.

بگیریم، چه‌ازلحاظ فاصلهٔ بسیارزیادی‌که دارند، حتی‌دردوربینهای‌بسیار



شکل ۳۳

تغییرات پیوستهٔ طیف صدوری بادرجهٔ حرارت(T)

نیرومند نیز فقط چون نقطه‌ای نورانی دیده می‌شوند.[1]

خوشبختانه از روی خواص دیگر تشعشعاتی‌که از اجرام گرم صادر می‌شود، حتی دران صورت هم که درخشندگی سطحی ستارگان‌را ندانیم، می‌توانیم درجهٔ حرارت آنها را اندازه‌بگیریم. می‌دانیم که‌همهٔ اجسام چون در تحت‌تأثیر حرارتی‌که پیوسته رو به‌ازدیاد است قرار گیرند،درابتداتشعشعات سرخ‌ازخود صادرمی‌کنند، وپس‌ازان رنگ تغییر می‌کند وبه‌صورت زرد وپس ازآن‌سفید درمی‌آید، وچون درجهٔحرارت بالاتر رود رنگ اشعهٔ صادرشده به‌طرف‌آبی‌میل‌می‌کند. این‌تغییررنگی که درنور صادر شده حاصل‌می‌شود نتیجهٔتغییراتی است‌که درشدت‌نسبی قسمتهای مختلف طیف صدوری بنابرتغییردرجهٔ حرارت پیش می‌آید. همان‌گونه که از شکل (۳۳) آشکار می‌شود، حد اعلای صدور نور با ازدیاد درجهٔ حرارت از ناحیهٔ سرخ طیف به‌ناحیهٔ بنفش آن‌انتقال پیدا می‌کند. بنابراین بامقایسهٔ رنگ نوری که ازستارگان مختلف صادرمی‌شود می‌توانیم اندیشهٔ نسبتاً کاملی دربارهٔ درجهٔ حرارت سطحی نسبی آنها پیداکنیم وبگوییم که ستارگان سرخ به‌طور نسبی سرد هستند و ستارگان آبی بسیارگرم.

وسیلهٔ حساستر دیگری برای تخمین درجهٔ حرارت ستارگان مطالعهٔ درخطوط تیره‌ای است (**به‌نام خطوط فران‌هوفر**) که‌درطیف پیوستهٔ ستارگان مختلف وازجمله خورشید ما دیده می‌شود. این‌خطوط تاریك در نتیجهٔ آن است که بعضی از تشعشعات نورانی به‌وسیلهٔ جو اطراف ستاره جذب می‌شود وجای‌آن در طیف تاریك می‌ماند. و چون نیروی جذبی اتومهای مختلف تااندازهٔ زیادی به‌درجهٔ حرارت بستگی دارد، شکل خطوط جذبی طیف ازیك‌ستاره به‌ستارهٔدیگر تغییر می‌کند، وازان رومی‌توانیم بانظرکردن به‌شکل‌طیف درجهٔ حرارت سطحی‌ستاره

---

۱ . تنها درمورد معدودی ازستارگان نزدیك وبزرگ است‌که به‌وسیلهٔ روش هوشمندانهٔ مایکلسن که بنیان‌آن بر«تداخل» قرار دارد می‌توان مستقیماً قطر ستارگان‌را اندازه گرفت.

را تخمین کنیم.[1]

درکار تحقیقات نجومی‌رسم این‌است‌که درجات حرارت رصدشدهٔ در ستارگان را به‌ده گروه‌تقسیم‌کنند که به نام طبقات طیفی«هاروارد»[2] نامیده می‌شود، وآنهارا درصفحهٔ تصویرVII پایان‌کتاب‌آورده‌ایم. این طبقات ده‌گانه را باحروف الفبانمایش‌می‌دهند، والبته‌ترتیب‌آنها مطابق ترتیب متعارفی حروف‌الفبایی‌است ، و برای آنکه این ترتیب به‌خاطر بماند جملهٔ لطیفی باآنها ساخته‌اند که علمای نجوم انگلیسی‌زبان ازبر دارند وآن‌جمله چنین‌است:

«Oh, Be A Fine Girl, Kiss Me Right Now ...»

ودراینکه آیاحرف S آخرین حرف نمایندهٔ این طبقات به‌جای کلمه «محبوبSweetheart»است ویابه‌جای کلمه«ماچ Smack»، مدتها است که میان علمای نجوم دو رصدخانهٔ هاروارد و یرکز[3] اختلافی وجود دارد و نتیجهٔ قطعی هنوزمعلوم نشده است.[4]

اگر طیف ستاره‌ای بنابرخواصی که دارد، میان دوتا ازطبقات ده‌گانهٔ فوق قرار گیرد، برای نمایاندن آن‌علامت‌اعشاری به‌کار می‌برند، مثلاًA_2 نمایندهٔ دودهم‌فاصلهٔ میانAوF است، وK_5 نمایندهٔ پنج دهم فاصلهٔK وM (به صفحهٔتصویرشمارهٔ VII پایان کتاب رجوع شود). در طبقه‌بندی هاروارد‌خورشید ما درطبقهٔ G (۶۰۰۰ درجه) واقع‌است و شعری در طبقهٔ A(۱۱،۲۰۰ درجه) و ستارهٔ ضعیف کروگر ۶۰ ب در طبقهٔ سرد M(۳۳۰۰ درجه).

---

۱. نظریه‌ای‌که بنابران ارتباط صحیح میان درجهٔ حرارت گاز جذب کننده وخواص طیف جذبی به‌دست می‌آید، نخستین‌بار به وسیلهٔ دانشمندی هندی به نام **مه ـ ناد ـ ساها** Meh - Nad - Saha با اتکای برنظریهٔ کوانتومی ساختمان اتوم بیان شده است.

۲. Harvard spectral classes

۳. Yerkes

۴. در صفحهٔ تصویر شمارهٔ VII طبقات طیفی O و S دیده نمی‌شود.

چون از روی طبقهٔ طیفی ستاره درجهٔ حرارت سطح آن‌را بدانیم، می‌توانیم بامقایسهٔ درخشندگی‌سطحی‌مربوط به‌این درجه‌حرارت بانورانیت مطلق ستاره، ابعادآن‌را اندازه‌بگیریم. ازاین راه معلوم‌شده است که‌ستارهٔ شعری ۱٫۸ برابر وستارهٔ دجاجه ۵٫۹ برابر خورشید ما هستند، درصورتی‌که ستارهٔ کروگر ۶۰ ب قطری‌مساوی نصف‌قطر خورشید دارد.

نمودار راسل

چون‌این چهارکوکب (یعنی‌آن‌سه‌ستاره وخورشید)را بایکدیگر مقایسه کنیم، به‌آسانی‌این مطلب‌دستگیر ما می‌شودکه‌نظم جالب‌توجهی وجود دارد، و ستارگان نورانیتر معمولا درجهٔ حرارت سطحی زیادتر وشعاع بزرگتر دارند. تحقیق مفصلتر دربارهٔ این ارتباط سبب‌شد که بتوانند ستارگان را به‌صورت قابل توجهی طبقه‌بندی کنند، و این خود در زمان حاضر مهمترین شالوده را برای نظریه‌های مربوط به‌خواص وتکامل ستارگان می‌سازد.

نخستین هفتهٔ‌ماه مارس ۱۹۱۳ برای ارصاد نجومی در دانشگاه پرینستون هفتهٔ بسیار نامساعدی بود. دران هفته بیشتر اوقات باران می‌بارید و آسمان‌پوشیدهٔ ازابرهیچ‌فعالیت رصدی‌را اجازه نمی‌داد. ولی آن‌حادثه به‌هیچ وجه مایهٔ ناراحتی‌پرفسور **هـ. ن. راسل**[1] مدیر رصد خانه نشد، بلکه برعکس این‌بیکاری برای او یك‌توفیق اجباری بود تا باآن وسیله بتواند رصدهای سابق خودرا منظم کند وفکری را که از چندماه پیش به‌خاطر وی رسیده‌بود در معرض آزمایش قرار دهد.

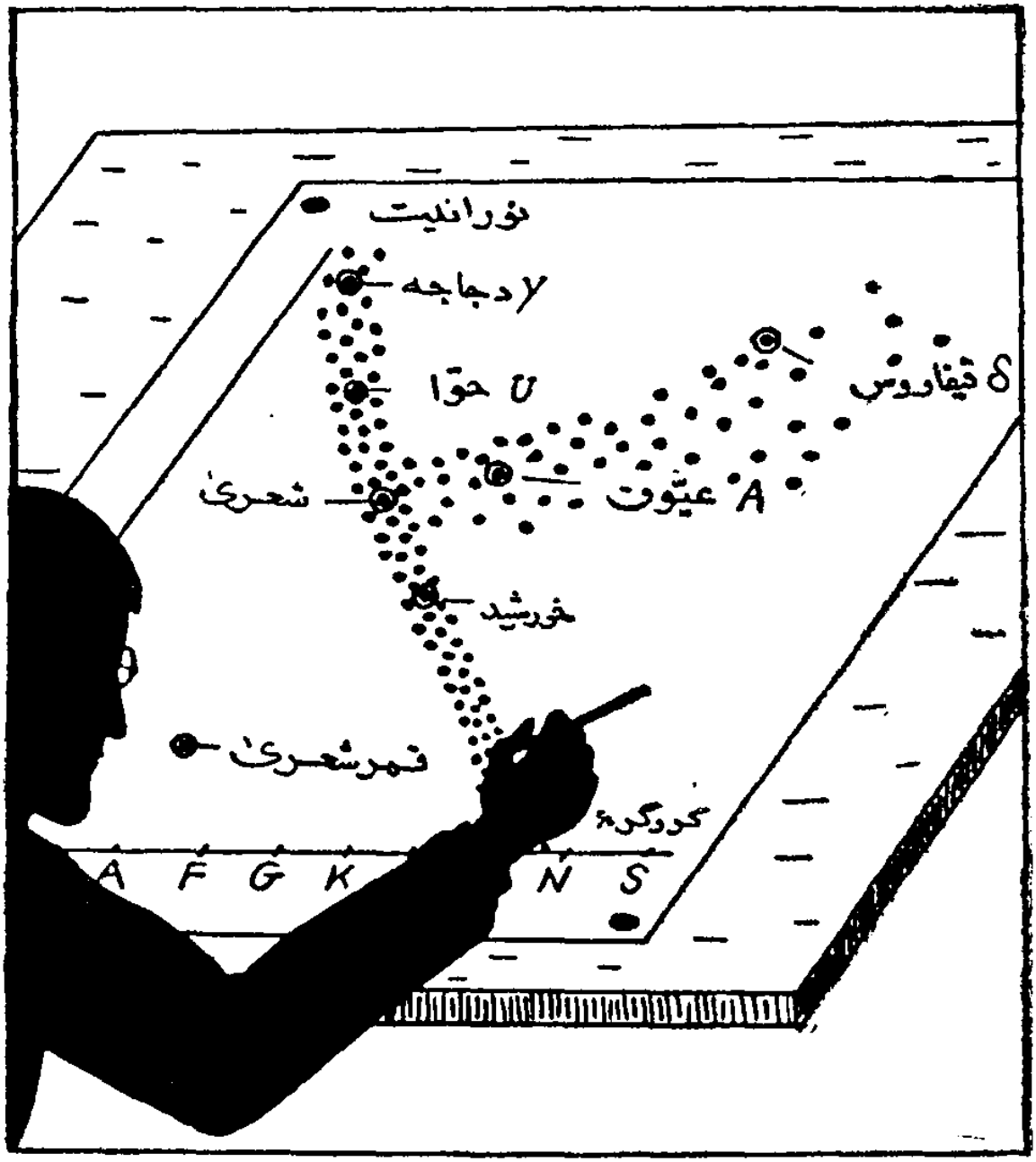
راسل برروی یك‌ورق‌کاغذ شطرنجی‌یك‌میلیمتری نموداری‌رسم کرد تا ارتباط میان نورانیت مطلق و طبقهٔ طیفی تمام ستارگانی را که این دو معلوم را دربارهٔ آنها به دست داشت آشکار سازد. چون دراینجا سر وکار وی باچند صد ستاره بود، البته کاری کـه می‌کرد خسته‌کننده به‌نظر می‌رسید، ولی‌دران هنگام که رسم نمودارنزدیك به‌تمام شدن بود

---

1. H. N. Russell

رفته رفته شکل خاص و جالب توجهی پیدا می‌کرد. شکل (۳۴).

دراین نمودار نوار باریکی ازطرف راست وپایین شکل آغاز می‌شود وبه‌طرف راست وبالای آن پیش می‌رود، واغلب نقاطی که‌برای رسم کردن نمودار به‌کار رفته دران قرار می‌گیرد، که ازان جمله است نقطه‌ای که‌خورشید ما را نمایش‌می‌دهد. تمام ستارگانی که به‌این **رشته**



شکل ۳۴

... شکلی که ازاجتماع نقاط به‌دست می‌آید رفته رفته صورت‌خاص وجالب توجهی پیدا می‌کند (نمودار**راسل**).

اصلی[1] تعلق دارند، چنانکه ظاهر است بایکدیگر ارتباط نزدیکی دارند، وتنها یك 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**»[2] و ستارگان آبی ودرخشندهٔ موسوم به«**غولهای آبی**»[3] قرار می‌گیرند.

ولی این نظم قابل توجه را چند حالت استثنایی به صورت برجسته‌ای در نمودار **راسل** شکسته بود. دران نمودار دونوع مشخص ستارگان دیده می‌شد که خیلی دور از رشتهٔ اصلی قرار گرفته بودند. یك‌دسته نقاط‌به‌صورت پراکنده‌درگوشهٔ طرف‌راست‌وبالای کاغذشطرنجی دیده می‌شد، واین نقاط نمایندهٔ ستارگانی بود که باوجود پستی نسبی درجهٔ حرارت سطح خودنورانیت مطلق بسیار زیادی دارند. ازانجا که درجهٔ حرارت سطحی پست نمایندهٔ شدت روشنی کمتری برای واحد سطح است، باید گفت که‌نورانیت کلی زیاد علامت آن است که‌بایستی قاعدتاً این‌گونه ستارگان‌حجمهای بزرگی داشته‌باشند. این دسته‌ستارگان را به‌نام «**غولهای‌سرخ**» می‌نامند ودرمیان آنهاکواکب معروفی‌همچون عیوق **وستاره‌های متغیر قیفاووس** وجود دارد (فصل۷ دیده‌شود).

گوشهٔ طرف‌چپ وپایین‌نمودار راسل‌راگروه دیگری‌ازستارگان غیر متعارفی اشغال می‌کند موسوم به «**کوتوله‌های سفید**»[4]. درجهٔ حرارت سطحی زیاد این ستارگان که بانورانیت کلی ضعیف آنها توأم است، دلیل آن‌است که‌حجم نسبی کوچکی دارند وچنانکه پس‌از این خواهیم دید این ستارگان تنها چند مرتبه از زمین ما بزرگترند.

بحث‌دربارهٔ این دوطبقهٔ «نابه‌هنجار»ستارگان‌را به‌دوفصل‌آینده بازمی‌گذاریم، واینك تمام‌توجه خودرا تنها به ستارگان هنجاری رشتهٔ اصلی نمودار راسل معطوف می‌داریم.

---

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

جرم ستارگان

اطلاعات مربوط به‌جرم ستارگان ازمسائل بسیار مهم به شمار می‌رود، ولی درعین حال این‌قسمت ازمعلومات نجومی ضعیفترین‌نقطهٔ نجوم مشاهده‌ای محسوب می‌شود. تنهاراهی که برای تخمین جرم یك ستاره دردست داریم آن‌است که‌حرکت جسم دیگری را که‌برگرد آن دوران می‌کند مورد مطالعه قرار دهیم. مثلا باتحقیق درگردش زمین به‌دور خورشید می‌توانیم جرم‌جسمی‌را که‌درمرکز منظومهٔ ماقرار دارد اندازه بگیریم. اگرچه امکان آن‌هست که اغلب منظومه‌های کوکبی دیگر نیز مانند منظومهٔ شمسی ماباشند، ولی فاصلهٔ عظیمی که مارا از ستارگان جدا می‌کندمانع آن‌است که‌بتوانیم سیارات متعلق به‌همهٔ‌آنها را ببینیم وحرکت آنهارا درمعرض مطالعه قرار دهیم.

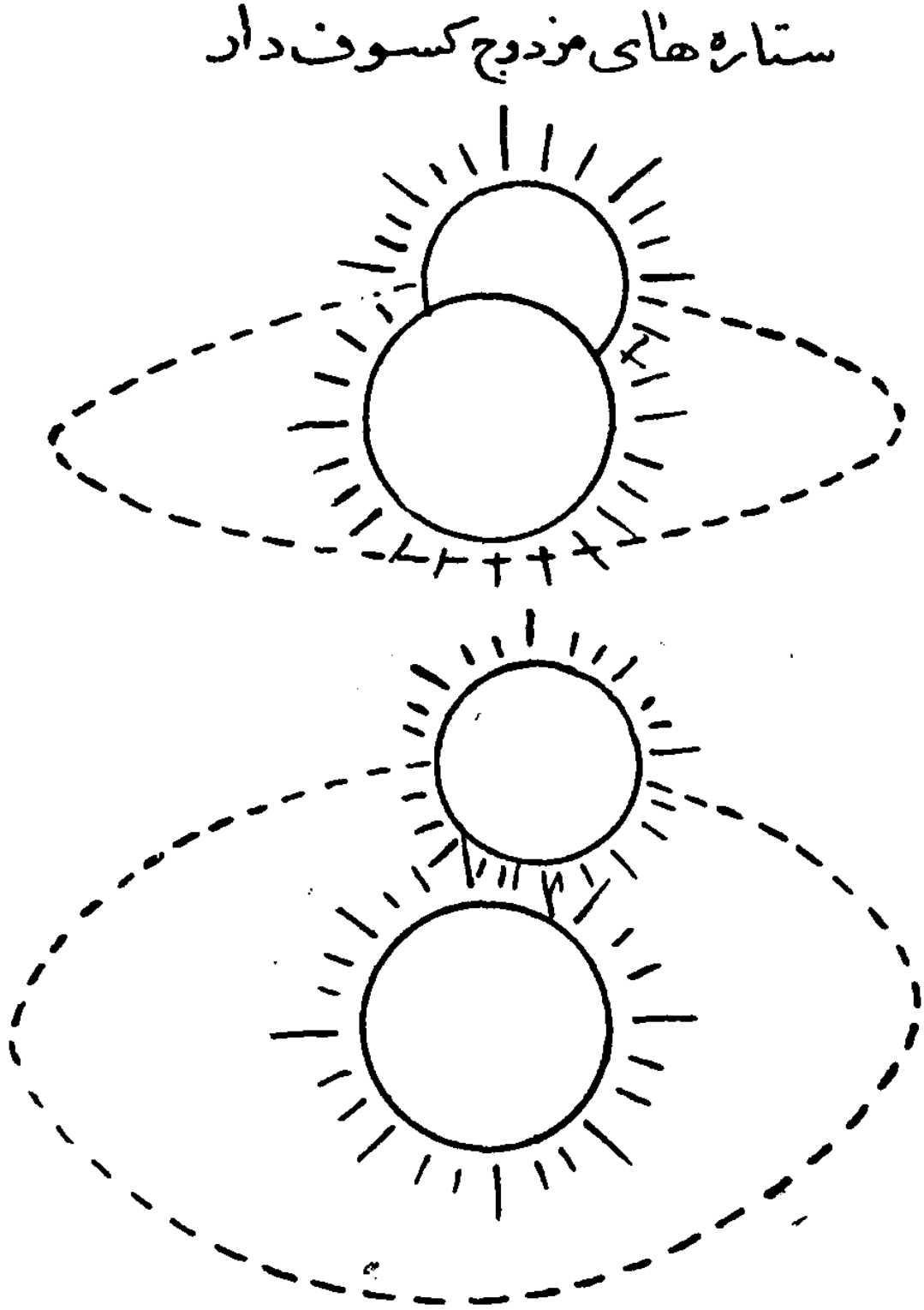
خوشبختانه عدهٔ زیادی ستاره موجوداست که‌جفت‌جفت زندگی می‌کنندوآنهارا **منظومه‌های مزدوج یا دوستاره‌ای** می‌نامند (شکل ۳۵). درچنین حالات بایستی حرکت نسبی هریك ازدوستارهٔ مزدوج مستقیماً مطالعه شود، تاازروی دورهٔ گردش آنها جرم نسبی هریك به دست‌آید،[1] ولی ازآنجا که‌تخمین جرم مستلزم‌آن است که‌اطلاع‌کاملی دربارهٔ تمام عوامل حرکت داشته باشیم، درحال حاضر تنها جرم چند دوجین‌ستاره باقطعیت‌کافی معلوم شده‌است. باوجود این همین‌معلومات محدود به‌ما اجازه می‌دهد که در خصوص ارتباط میان جرم و نورانیت ستارگان نتایج جالب توجهی به‌دست آوریم.

نخستین بار این مطلب به‌وسیلهٔ **سرآرترادینگتون**[2] اظهارشد که**نورانیت ستاره‌هاتابع معینی ازجرم آنهااست، واین نورانیت**

---

۱. ازلحاظ قابل‌مشاهده‌بودن ستارگان مزدوج آنهارا به‌دوطبقه تقسیم می‌کنند: یکی**مزدوجهای بصری** که‌در دوربین آسمانی جداازیکدیگر دیده می‌شوند، ودیگر **مزدوجهای طیفی** که‌بادوربین دوتا دیده نمی‌شوندوتنها درنتیجهٔ **اثردوپلر** که‌ازاین گونه ستارگان برروی طیف آنها ظاهر می‌شود به‌وجود آنها پی‌می‌برند.

۲. Sir Arthur Eddington



شکل ۳۵

ستارگان مزدوج. اگر سطح مدار دوستاره به‌اندازه کافی مایل باشد،این مجموعه باکسوفی که‌پیدا می‌کند متغیر می‌شود.

با زیادشدن جرم به‌سرعت ترقی می‌کند. مثلا اگر ستاره‌هایی‌را که پیش‌از این نام‌بردیم مورد بحث قراردهیم، معلوم می‌شود که**y** دجاجه (که نورانیتی ۳۰،۰۰۰ برابر خورشید دارد) **۱۷** مرتبه بزرگتر از خورشید است، و ستارهٔ شعری (بانورانیتی ۴۰ برابر خورشید) تنها **۲ر۴** مرتبه سنگینتر ازخورشید است، وستارهٔ ضعیف کروگر ۶۰ب (بانورانیتی معادل ۰ر۰۰۱ نورانیت خورشید) جرمی معادل یك دهم جرم خورشید دارد.

چون تشعشع کلی ستارگان سریعتر ازجرم آنها زیاد می‌شود، بنابراین انرژی که‌ازهرگرم جرم به‌دست می‌آید در ستارگان سنگین بیشتر ازستارگان سبك خواهدبود. ازارقامی که‌در بالاذکر شد به‌خوبی واضح می‌شود که‌تولید انرژی باواحد جرم درستارهٔ **Y** دجاجه و ستارهٔ شعری وستارهٔ کروگر ۶۰ب به ترتیب درمقایسهٔ باانرژی واحد جرم خورشید برابر خواهد بود با۱۸۰۰ و۱۵ و ۰ر۰۰۵ ولی اگر منبع انرژی درهمهٔ ستارگان فعل وانفعالات حرارتی هسته‌باشد که‌درخورشید دیدیم، اختلافی که‌دراندازهٔ آزادشدن انرژی درآنهادیده می‌شودناچار نتیجهٔ اختلاف اوضاع فیزیکی موجود درداخل آنها ومخصوصاًاختلاف درجهٔ حرارت مرکزی آنها خواهد بود.

فعل وانفعالات هسته‌ای درستارگان

در فصل اول دیدیم که تجزیه و تحلیل هوشمندانهٔ **ادینگتون** دربارهٔ شرایط تعادل‌کره‌های گازی غولپیکر راهی درپیش‌پای ماگذاشت وازآن رو توانستیم خواص فیزیکی مختلف مادهٔ سازندهٔ خورشیدرادر عمقهای مختلفی ازسطح آن فهم کنیم، ونسبت به درجهٔ‌حرارت‌وچگالی قسمت مرکزی مولد انرژی آن به‌نتایج معینی برسیم. همین روش را که‌آن اندازه درمورد خورشید سودمند افتاد، در مورد اوضاع و احوال داخلی ستارگان دیگر نیز می‌توان به‌کار داشت. حقیقت امر آن است که‌اگر جرم وشعاع (یادرجهٔ حرارت سطحی) وتشعشع کلی یك ستاره را دردست‌داشته باشیم، می‌توانیم ازراه محاسباتی که‌البته طول وتفصیلی دارد چگالی ودرجهٔ حرارت قسمت مرکزی آن‌را حساب کنیم. ازهمین

راه است که‌برای ستارگانی که‌نامشان‌را پیش‌از این بردیم جدول ذیل

ستاره	جرم (نسبت به‌خورشید)	چگالی مرکزی (نسبت به‌آب)	درجه حرارت مرکزی (صدبخشی)	انرژی‌تولید شده باواحدجرم ارگ / گرم • ثانیه
کروگر ۶۰ب	۰ر۱	۱۴۰	۱۴×۱۰^۶	۰ر۰۱
خورشید	۱ر۰	۷۵	۲۰×۱۰^۶	۲
شعری	۲ر۴	۴۱	۲۵×۱۰^۶	۳۰
Yدجاجه	۱۷ر۰	۶ر۵	۳۲×۱۰^۶	۳۶۰۰

تهیه شده، ودراین جدول مقدار انرژی به دست آمدهٔاز هرگرم مادهٔ ستاره نیز که از روی نورانیت مطلق و جرم آن حساب شده به‌نظر می‌رسد.

ازدوستون آخر این جدول اثرشگرف درجهٔ حرارت برتولید انرژی به‌خوبی آشکار می‌شود. **چون درجهٔ حرارت درداخل کوکب فقط از ۲۰ ملیون به۳۲ ملیون ترقی کند ، انرژی حاصل شده به‌وسیلهٔ واحدجرم در۱۸۰۰ ضرب می‌شود.** ولی‌این همان‌چیزی است که‌درمورد فعل وانفعالات حرارتی هسته انتظار آن را داریم، چه همان گونه که‌پیش از این دیدیم اندازهٔ این انرژی باقوهٔ بسیار بزرگی ازتغییر درجهٔ حرارت بالا می‌رود.

درفصل گذشته دیدیم‌که‌تولید انرژی درخورشیدکاملا نتیجه‌فعل و انفعال دوری کربون ـ نیتروژن است که دران به صورت پیوسته‌ای ئیدروژن موجود درجرم‌خورشید به‌هلیوم مبدل‌می‌شود. بنابراین‌طبیعی است که **فرض کنیم که فعل و انفعال دوری مشابهی برای تولید انرژی درستاره های دیگر رشتهٔ اصلی نمودار راسل نیز صورت می‌گیرد.** محاسبه نشان‌می‌دهد که‌مقدار انرژیی که‌بافعل وانفعال‌دوری

حرارتی هسته بادرجهٔ حرارت وچگالی ثبت شدهٔ درجدول فوق به‌دست می‌آید، بانورانیتی که‌ازاین‌ستاره‌ها مشاهده می‌شودبسیار متناسب‌است. **بنابراین سیاره‌های هنجاری نیز مانند خورشید با انرژی زیر اتومی آزاد شده درتبدیل ئیدروژن به‌هلیوم‌زنده می‌مانند.**

فعل‌وانفعال رقیبی درستارگان سبکتر

باوجود این بایددانست که‌گرچه‌دورهٔ کربون ـ نیتروژن‌برای اغلب ستارگان دررشتهٔ اصلی حایز درجهٔ اول اهمیت است، در مورد کواکب نسبتاً سبکتر مانند کروگر ۶۰ب فعل و انفعال دیگری باآن رقابت می‌کند. درجهٔ حرارت مرکزی‌این‌ستارگان «سرد» به‌طور نسبی پایین است وپروتونهای حرارتی کند به‌سختی می‌توانند در هسته هـای سنگین موادی چون کربون ونیتروژن نفوذ کنند.درچنین وضعی لازم است امکان وجود فعل وانفعال دیگری درنظر گرفته شود، وآن‌فعل و انفعالی‌است که میان خود پروتونها صورت می‌گیرد وبه‌اثرمیانجی هیچ عنصر سنگینی احتیاج ندارد. این‌فعل وانفعال که‌نخستین بار به‌وسیلهٔ عالم فیزیك جوان امریکایی به‌نام **چارلزکریچفلد**[1] مورد مطالعه قرار گرفت، عبارت است **از ساخته شدن یك مولکول ئیدروژن سنگین یادوترون** (فصلهای ۲و۳ دیده‌شود) **درنتیجهٔ برخورد دوپروتون حرارتی بایکدیگر**، که‌آن را چنین میتوان نوشت:

$$_1H^1 + {}_1H^1 \rightarrow {}_1D^2 + e^+ \quad (\text{الکترون مثبت})$$

که معمولا پس‌از آن هستهٔ دوتریوم تازه تولید شده به‌هستهٔ سنگینتر هلیوم مبدل می‌شود:

$$_1D^2 + {}_1H^1 \rightarrow {}_2He^3 + \text{تشعشع و غیره}^2$$

---

۱. Charles Critchfield

۲. مقصود از «وغیره» دراینجا اشاره به‌این نکته‌است که در دنبال این فعل وانفعال یك‌رشته فعل وانفعالات دیگر اتفاق می‌افتد و در نتیجهٔ آنها هلیوم متعارفی $_2He^4$ به‌دست می‌آید.

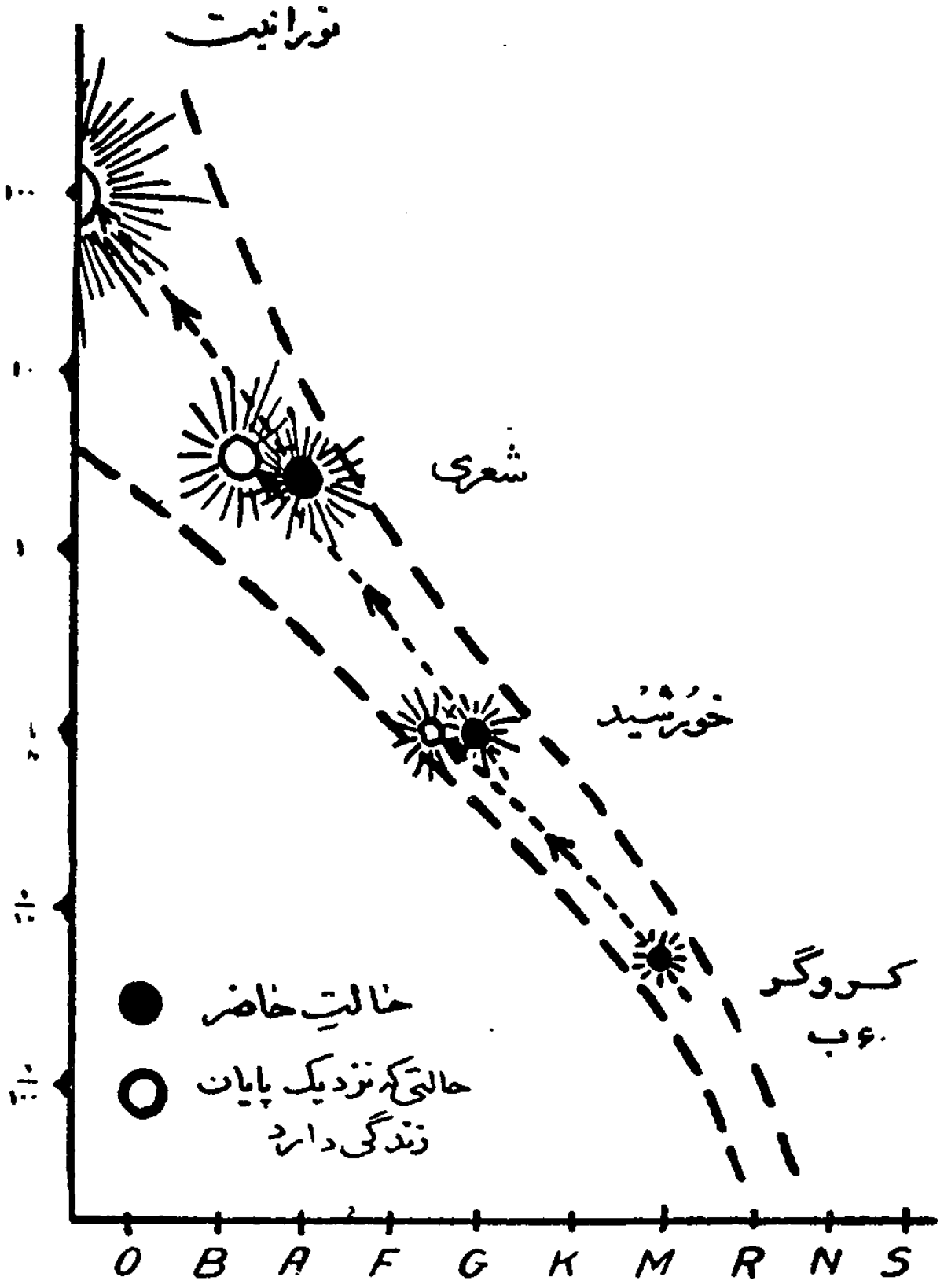
محاسبهٔ صحیح نشان‌می‌دهد که‌در درجهٔحرارتی که‌تا۱۵ ملیون درجه‌تنزل کرده‌باشد، این فعل‌وانفعال به‌اندازهٔ دورهٔ نیتروژن-کربون حایز اهمیت است، ودردرجات حرارت کمتر ازان این فعل وانفعال اهمیت درجهٔ اول را پیدا می‌کند . بنابراین برای هرستاره سبك و ضعیف موجود دررشتهٔ اصلی‌که‌درجهٔ حرارتی مساوی با۱۵ ملیون‌درجه یاکمتر ازآن دارد، کیفیت تولید انرژی باآنچه درستاره های روشنتر مانند خورشید یاشعری اتفاق می‌افتد، کمی تفاوت دارد.

نشو ونما ودورهٔ زندگی ستارگان

درفصل‌گذشته به‌این مطلب اشاره‌کردیم که‌بنا برتحقیقات مؤلف در تحولات آیندهٔ خورشید این نتیجهٔ شگفت انگیز به‌دست می‌آید که دران هنگام که‌مقدار ئیدروژن خورشید رو به‌تنزل است‌درجهٔ حرارت وتشعشع‌کلی آن روبه‌ازدیاد می‌گذارد. این‌مطلب درنمودار **راسل**‌چنان مجسم می‌شود که‌نقطهٔ نمایندهٔ خورشید به کندی به‌طرف بالا وچپ در حرکت‌باشد وازوضع‌حاضر خودبه‌تدریج به‌وضع ستارهٔداغتر وروشنتری درآید.

نتایج چنین محاسبات‌را درشکل (۳۶) نمایش‌داده‌ایم که‌درآن خط سیر تحول تدریجی خورشید خودمان ودوستارهٔ دیگر رشتهٔاصلی (یعنی شعری وکروگر ۶۰ب) دیده می‌شود. چنانکه می‌بینیم خط سیر پیشرفت عمر ستارگان کمابیش برروی‌نوارنمایندهٔ رشتهٔ اصلی‌ستارگان به‌طرف بالا می‌رود، وپس‌ازآنکه تشعشع اصلی برنسبت ۱۰۰ افزایش یافت، منحنی مسیر به‌خم شدن‌به‌طرف نورانیتهای کمتر آغاز می‌کند. به‌این ترتیب پس‌از۱۰ بلیون سال خورشیدما به‌اندازهٔ درخشندگی‌فعلی ستارهٔ شعری روشنی پیدا می‌کند، ودرآن زمان نورانیت خودشعری به اندازهٔ نورانیت کنونی ستاره U حواء خواهد شد.

ولی‌معنی‌این‌بیان‌آن‌نیست‌که‌آسمان‌سال۱۰،۰۰۰،۰۰۱،۹۶۸ پس‌از میلاد درخشنده‌تراز‌آسمان ۱۹۶۸ میلادی خواهد شد، چه در عین آنکه برنورانیت پاره‌ای ازستاره‌ها افزوده‌می‌شود، ازنورانیت‌آنها که‌اکنون درمراحل پیری به‌سر می‌برند وئیدروژن خود را تمام وکمال



شکل ۳۶

تغییرات آیندهٔ نورانیت وطبقهٔ طیفی سه ستاره بنا برنظریهٔ نشوونما و تکامل ستارگان.

به‌مصرف رسانده‌اند کاسته خواهد شد، وچنین ستارگان به‌صورت مرده وتاریك درخواهند آمد. ازاین لحاظ مهاجرت ستارگان برروی‌نمودار راسل بیشتر شبیه به‌تغییرات سنی است که در اجتماعات بشری پیش می‌آید، وچنان است که‌پیوسته جوانان وبالندگان جای پیران وکسانی را که‌درشرف مردن هستند می‌گیرند. ولی درست همان‌گونه که‌درمورد اجتماع بشری ممکن است براثر پایین آمدن نسبت موالید تغییرات نسلی یاقرنی در جمعیت ایجاد شود، اجتماع ستارگان نیز ممکن است ازاثرعواملی که‌درتشکیل ستاره‌های نوکارگر می‌شود متأثرگردد. اگر همان‌گونه که بسیار محتمل است (فصل ۱۲ دیده شود) «نسبت تولد ستارگان» باازدیاد عمر جهان تنزل یابد، می‌توان تصور کرد که‌شکل کلی آسمان به‌تدریج که‌جهان پیرتر می‌شود تغییر پیدا کند.

بایدگفت که‌ستارگانی که‌جرمهای‌مختلف دارندبرروی خط سیر تحول زندگی خویش باسرعتهای مختلف حرکت می‌کنند. آنها که سنگینتر و بنا برآن نورانیترند، ئیدروژن خودرا سریعتر ازستاره‌های سبکتر مصرف می‌کنند. بنابراین‌اگر دوستاره باجرمهای مختلف دریك زمان آغاز زندگی کرده‌ومقادیر متساوی ئیدروژن داشته باشند، درآن هنگام که‌ستارهٔ سنگینتر می‌میرد ستارهٔ سبکتر برشاخه‌صعودی زندگی خویش روبه‌بالا درحرکت است. مثلا ستارهٔ شعری که سوخت خودرا ۱۵ بار سریعتر ازخورشید می‌سوزاند ۱۵ بار زودتر ازخورشید به‌پایان زندگی خود نزدیك خواهد شد، وبه دشواری می‌توان انتظار داشت که‌درخشنده‌ترین ستارگان‌رشتهٔ اصلی (یعنی‌غولهای آبی)عمری بیش از چند ملیون سال پیدا کنند.

تحول ستارگان وارتباط میان جرم و نورانیت

خواننده‌ای که به‌دقت آنچه‌را دراین فصل آمده خوانده است، شاید چنین اعتراض‌کند که: «همان‌گونه که‌پیش‌از این اشاره کرده‌اید میان جرم ونورانیت ستارگان مختلف ارتباطی موجود است. ولی اگر درطول مدت نشو ونمای ستاره بناباشد که‌نورانیت آن درضریب ۱۰۰ ضرب شود، بایستی ستارگانی بتوان یافت که از حیث جرم برابر ولی

از لحاظ نورانیت مختلف باشند، یـابرعکس ستارگان دیگری ازحیث جرم مخالف وازلحاظ نورانیت یکسان باشند. آیا به‌این ترتیب نمی‌توان مدعی شد که ارتباط کشف‌شده‌ازروی تجربهٔ میان جرم ونورانیت که **ادینگتون** آن‌را تقریرکرده، بانظری که‌دربارهٔ تحول ستارگان‌ابراز شده تناقض دارد؟»

برای فرار ازاین تصور که‌ظاهراً جنبه تناقضی درآن مشاهده می‌شود، بایستی نخست‌متوجه سرعتی باشیم که‌هرستاره باآن ازمراحل مختلف پیشرفت وتکامل خویش‌عبور می‌کند، چه‌اگرنتیجه چنان‌به‌دست آید که‌اغلب ستارگان درمرحلهٔ مشابهی ازتکامل به‌سر برند، مسئله به آسانی حل خواهد شد. پیش از این دیدیم که ماشین مولد انرژی در داخل ستارگان دارای این خاصیت است که‌هروقت سوخت کمتر بـاشد تندتر می‌سوزد. پس درعین آن‌که ستاره در مراحل پایین تکامل حیاتی خود ئیدروژن‌را کم می‌سوراند، چون‌به‌مراحل نهایی‌نزدیك شودمصرف شدن به‌درجهٔ بیشتری صورت می‌گیرد. نورانیت عـالی که مشخص این مراحل نهایی‌است طبیعتاً مستلزم‌آن است که‌انرژی زیراتومی به‌مقدار بیشتری‌آزاد شود وبنابرآن ئیدروژن زیادتری به‌مصرف برسد. ازاینجا نتیجه می‌شود که‌هرستاره مدت زمان درازتری درمراحل ابتدائی‌به‌سر می‌برد ودرمراحل نهایی‌باسرعت نسبتاً بیشتری پیش می‌رود.

مثلا محاسبه نشان می‌دهد که‌خورشید ما ۹۰ درصد ازعمرخودرا برای پیمودن قسمت اول مسیر زندگی خود به‌مصرف خواهد رساند (و دراین مدت نورانیت باضریب ۱۰ بزرگ می‌شود) و فقط ۱۰ درصد دیگر برای پیمودن باقی مانده مسیر است (که‌دران نورانیت از ۱۰ به ۱۰۰ می‌رسد). نتیجه‌ای که‌به‌دست می‌آید آن‌است که احتمال یـافتن ستاره‌ای درنخستین مراحل عمرآن بسیار زیادتر ازاحتمال یافتن آن درمراحل آخر عمر می‌شود. همین‌طور دراجتماع نادر وعجیبی که‌ایام کودکی ۹۰ در صد تمام دوران زندگی را اشغـال کند، آنچـه می‌توان انتظار داشت این‌است که‌هرچه ببینیم کودك باشد واجتماع را اجتماعی ازکودکان بدانیم. بنابراین تنها عدهٔ کمی ازستارگان که برای ساختن منحنی ارتباط میان جرم ونورانیت مورد استفاده قرار می‌گیرندممکن

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

دلیل دوم‌براین‌که اغلب ستارگانی‌که‌مورد تحقیق قرارگرفته‌اند درمرحلهٔ مشابهی ازرشد خود قرار دارند این‌است که **جهان ستارگان هنوز بسیار جوان است**. خورشید ما ۱۰ بلیون سال دیگر می‌خواهد تاتمام سوخت خودرا بسوزاند وبه‌پایان دورهٔ تکامل‌ئیدروژنی خودبرسد. ازطرف‌دیگر علایم مشخصی‌دردست است (فصلهای ۱۱و۱۲ دیده‌شود) که‌تمام جهان ستاره‌ای بیش از۲ بلیون‌سال نیست که‌ساخته شده. واضح است که‌درطول این‌دورهٔ «کوتاه» ستارگانی که‌ازحیث شدت قابل‌مقایسه باخورشید ما هستند نمی‌توانسته‌اند به‌درجهٔ زیادی از سیر تکاملی خود رسیده‌باشند. تنهاستارگان درخشنده‌ترکه‌بالنتیجه‌زندگی خودراسریعتر ادامه می‌دهند ودر قسمت فوقانی رشتهٔ‌اصلی نمودار **راسل** قرار دارند، اززمان تشکیل خودتغییرات عظیمی پیداکرده‌اند، وفقط درهمین‌ناحیه است که‌می‌توان انحرافات قابل توجهی دررابطهٔ میان جرم ونورانیت را عملا مشاهده کرد.

جوانی وپیری ستارگان

ماتاکنون تنها آن قسمت ازسیر تکاملی‌حیات ستارگان‌را مورد مطالعه قرار دادیم که‌درنتیجهٔ مصرف شدن ئیدروژن در فعل و انفعال هسته‌ای به‌واسطهٔ درجات حرارت زیاد صورت می‌گیرد، ولی آیاپیش‌از آنکه‌درجهٔ حرارت‌داخلی ستاره‌به۲۰ ملیون‌برسد تافعل وانفعال دوری نیتروژن ـ کربون بتواند حادث شود، حالت حیاتی ستاره ازچه قرار است؟ وآیا پس‌ازآنکه تمام ئیدروژن اصلی آن به‌مصرف رسید ودیگر انرژی زیر اتومی درآن باقی نماند چه حادثه‌ای پیش‌خواهد آمد؟ آیا کسی می‌تواند درآسمان ستاره‌هایی‌را پیدا کند که یادر مراحل کودکی خویش باشند ویاتمام عمررا پشت سر گذاشته ودر مراحل کهولت‌سیر کنند؟

این سؤالات وجود دودسته‌ستارگان «نابه‌هنجار وغیر متعارفی»

را بیاد می‌آورد که‌دستگاه تکامل ئیدروژنی باآنها مناسب درنمی‌آید، وچنانکه دیدیم آنهارا به‌نام‌غولهای‌سرخ وکوتوله‌های سفید نامیده‌اند. اکنون بهتراست که‌توجه‌خودرا به‌این دودسته که‌محتمل است‌نمایندگان خردسالی وسالخوردگی ستارگان بوده باشند معطوف‌داریم.

فصل هفتم

غولهای سرخ و جوانی خورشید

بعضی از غولهای سرخ برجسته

●

دیدیم که ستاره‌های معروف به « **غول سرخ** » حجم بسیار بزرگ دارند ودرجهٔ حرارت سطح آنهاکم است. نمونهٔ برجسته‌ای ازاین‌طبقهٔ خاص ستارگان را می‌توان درستاره عیوق (یاα ممسك الاعنة) مشاهده کرد، وبه‌احتمال قوی خوانندگانی که به تماشای آسمان درشب علاقه دارند این ستاره را می‌شناسند . مشاهدات تلسکوپی نشان می‌دهد که عیوق مجموعه مزدوجی است که دوستارهٔ سازندهٔ آن برگرد یکدیگر دوران می‌کنند.

ستارهٔضعیفتر این مجموعه (موسوم به‌عیوقB)[1] یکی ازستاره‌های متعارفی است که‌دررشته اصلی نمودار ***راسل***جای دارد، ولی‌ستارهٔ

---

1. Capella B

درخشانتر وبزرگتر (یاعیوق**A**)[1] در مقایسه باستارگان دیگر دارای خواصی غیر عادی‌است. قطر این غول ۱۰ برابرقطر خورشید وتشعشع آن بیش از۱۰۰ برابر تشعشع خورشید است. درمورد ستارهٔ هنجاری واقع دررشتهٔ اصلی که‌دارای این اندازه نورانیت باشد انتظار ماچنان است که درجهٔ حرارت سطحی بلندی نیز داشته باشد، ولی مشاهدات آسمانی نشان می‌دهد که‌عیوق **A** تقریباً درطبقهٔ طیفی خورشید ماقرار دارد، یعنی سرختر ازان اندازه‌ای است که‌باید باشد.

درشکل(۳۷) که‌نمایندهٔ گوشهٔ طرف‌راست‌وبالای نمودار**راسل** است، مشاهده می‌شود که‌این ستاره دور از رشته اصلی واقع شده وآن را می‌توان نمونهٔ برجسته‌ای از غولهای سرخ دانست.[2] باتخمین جرم آن (از روی حرکت نسبی دوستاره‌ای کـه این مجموعـه را می‌سازد) معلوم شده‌است که‌این‌جرم تنها ۴برابرجرم خورشید است، بدانسان‌که **چگالی متوسط ستارهٔ عیوق A به‌اندازهٔ ۲۵۰ مرتبه‌کمتر ازچگالی خورشید** یا۰٫۰۰۵ چگالی آب می‌شود. این‌چگالیهای پست‌مشخص غولهای سرخ است ونشان‌می‌دهد که‌در این‌دسته ازستارگان مادهٔ‌سازندهٔ کوکب بسیار رقیقتر ازمادهٔ سازندهٔ ستارگان رشتهٔ اصلی است.

یك‌نمونهٔ برجسته‌تر ازغولهای سرخ ستارهٔ دیگری است که‌آن نیز درهمان صورت فلکی‌که‌عیوق درآن واقع است قرار دارد. نام‌این ستاره ζ ممسك‌الاعنة ^{3}K است که‌جرمی ۱۵ برابر خورشید دارد ولی قطر آن ۱۶۰ برابر خورشید وبنا براین **چگالی‌متوسط آن‌فقط به اندازهٔ ۰٫۰۰۰،۰۰۵ چگالی آب است.**[4] گرچـه این ستاره ۵۶

---

۱. Capella A

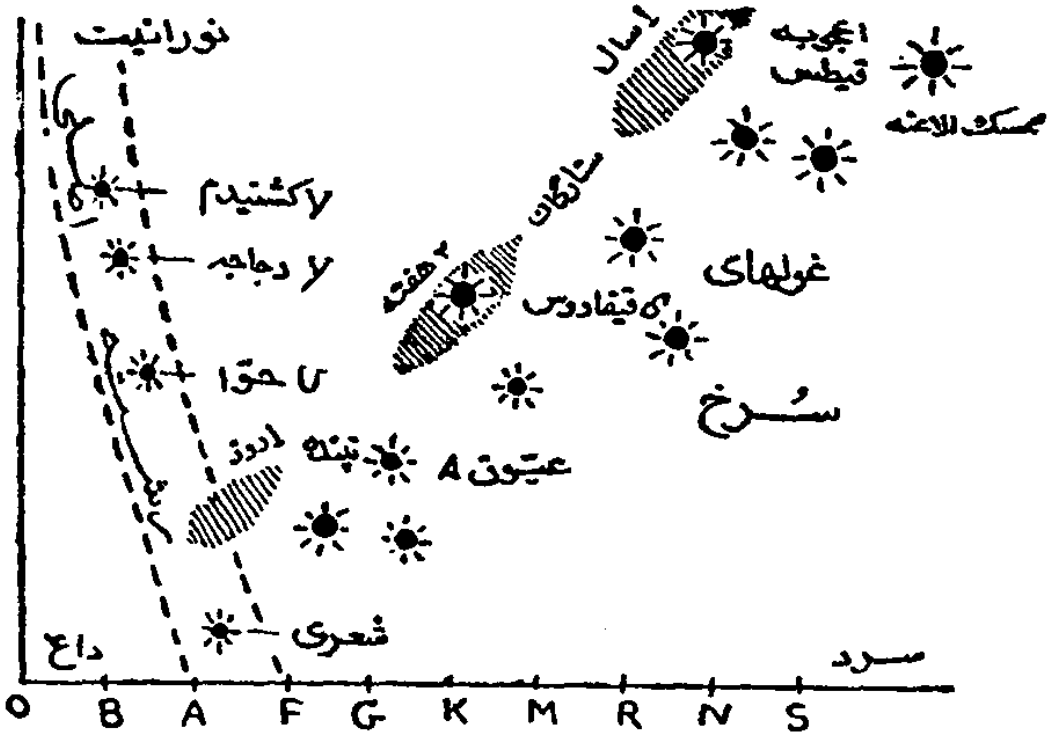
۲. ستارهٔ عیوق **A** کاملا سرخ نیست بلکه رنگ‌آن به زردی مایل است. باوجود این‌بایدگفت که‌این ستاره **سرختر** ازستارهٔ‌متعارفی است که همین اندازه نورانیت داشته باشد.

۳. ζAurigæ K

۴. در قسمت مرکزی این ستـاره چگـالی به ۱۴٫۰۰۰ می‌رسد.

بار نورانیتر ازعیوق A است، باوجود این متعلق بهطبقهٔ طیفی سردM است ودرمقایسهٔ باسایر ستارگان کاملا سرخ بهنظر می‌رسد.

ولی جالبترین حالت ستارگان غول سرد بهتازگی‌با رصدی که بهوسیلهٔ رصدخانهٔ یرکز ازستارهٔ ε ممسك‌الاعنة شده بهدست آمده‌است (باید درنظر داشت کـه صورت فلکی ممسك‌الاعنة امتیـاز خاصی برای غولهای سرخ ندارد، ومؤلف درانتخاب مثالهای خود ازاین‌صورت نظر خاصی نداشته است، واین برحسب تصادف است که‌نام چند غول سرخ ازاین صورت فلکی دراین کتاب آمده). ازاین رصد معلوم شده است که این ستـاره مجموعهٔ مزدوجی است که یکـی از سازنده‌هـای آن (εممسك‌الاعنةI) به‌اندازه‌ای‌بزرگ وسرداست‌که‌قسمت عمدهٔ‌تشعشعاتی که‌ازآن صادر می‌شود اشعهٔ مـاوراءِ سرخ است و به همین جهت آن‌را باعلامت I که‌حرف اول کلمه Infrared به‌معنی مـاوراءِ سرخ است نمایش‌می‌دهند. درطبقه‌بندی طیفی‌هاروارد برای ستارگانی که‌این‌اندازه

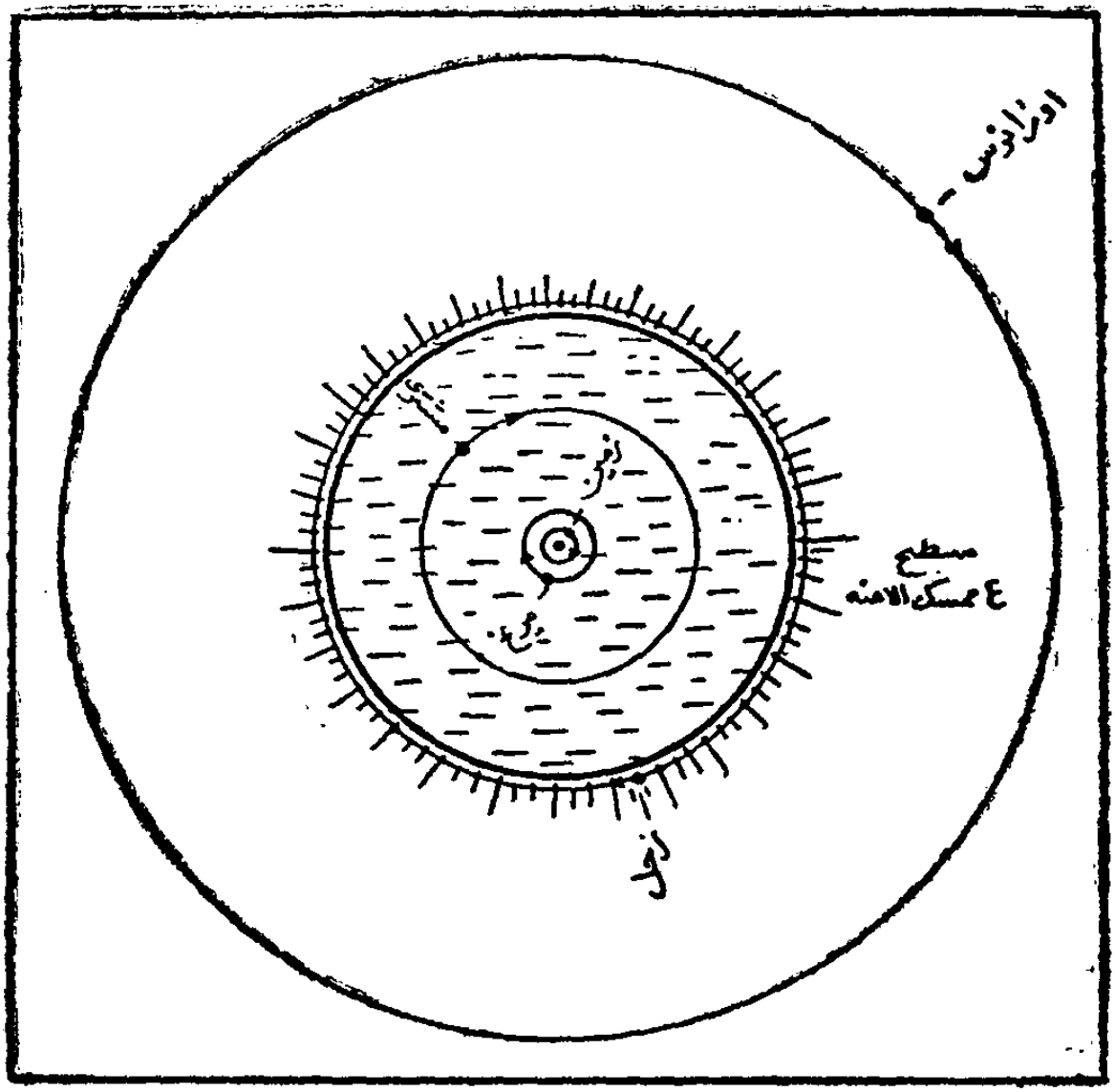


شکل ۳۷

قسمت فوقانی نمودار راسل که‌دران وضع‌غولهای سرخ وناحیهٔ ستارگان تپنده نموده شده.

درجهٔ حرارت کم دارند (۱۷۰۰ درجه محلـی پیشبینی نشده و بهمین جهت باید آنرا «طبقهٔ I» بنامیم.

باآنکه این ستاره جرمی ۲۵ بـار بزرگتر از جرم خورشید دارد، قطر آن ۲۰۰۰ برابر خورشید است. این ستاره به اندازه‌ای بزرگ است که‌تقریباً منظومهٔ شمسی مارا تانزدیك مدار زحل درخود جای می‌دهد وتنهـا اورانوس بیرون آن می‌افتد (شکل۳۸). چگـالی متوسط مربوط به‌این‌حجم‌نسبت به‌آب‌فقط۰۰۰،۰۰۰،۰۰۳ر۰ است.



شکل ۳۸

حجمهای نسبی ستاره ع ممسك‌الاعنةI ومنظومهٔ شمسی.

ولی باید درنظر داشت که‌ما تنها از چگالی متوسط سخن می‌گوییم. درهرجرم گازی بانزدیك شدن به‌مرکز آن چگالی افزایش‌پیدا می‌کند، ومخصوصاً درمورد غولهای سرخ‌ثابت شده است که‌این‌افزایش چگالی بسیار زیاد است.

درون غولهای سرخ

برای اطلاع یافتن ازاوضاع واحوال فیزیکی موجود در داخل غولهای‌سرخ همان روشی‌را می‌توانیم به‌کار بریم که‌درمورد خورشید و ستارگان دیگر رشته اصلی به‌کار می‌بردیم. چون ازرصدهای مستقیمی که‌نسبت به‌اوضاع سطحی می‌توان‌به‌دست‌آورد قدم به‌قدم به‌نواحی‌عمیقتر ستاره پیش رویم، درپایان کار می‌توانیم درجهٔ حرارت وچگالی وفشار درنواحی مرکزی ستاره‌را به‌دست آوریم.

ازتحقیقاتی‌که‌شده‌این مطلب‌به‌اثبات رسیده است که‌اگرچه‌درجهٔ حرارت مرکزی غولهای سرخ ازدرجهٔ‌حرارت سطحی‌آنها بیشتراست، ولی این درجهٔ حرارت از درجهٔ حرارت مرکزی خورشید و ستارگان هنجاری‌دیگرکمتراست. مثلادرموردستارهٔ عیوق A درجهٔ‌حرارت‌مرکزی ۵ ملیون (در مقابل ۲۰ ملیون خورشید) بـه دست می‌آید، و برای ζ ممسك الاعنة k این درجـه فقط ۲ر۱ ملیون است. درجهٔ حرارت مرکزی‌ستارهٔ غول‌رقیق‌شدهٔ ζ ممسك‌الاعنة I به‌احتمال‌قوی‌ازیك‌ملیون هم‌کمتر است.

البته بامقایسهٔ به‌درجات‌حرارت زمینی درون‌این ستاره‌هابسیار داغ وسوزان است، ولی‌باچنین درجاتی فعل‌وانفعالهای حرارتی‌معدودی درهسته‌ها صورتپذیراست. مخصوصاً فعل‌وانفعال دوری‌کربون- نیتروژن **بث** که سرچشمهٔ انرژی خورشید ما ودیگر ستارگـان هنجاری است، عملا درچنین «یخبندان هسته‌ای» متوقف می‌شود وهیچ انرژی از این راه آزاد نخواهد شد. در مورد فعل و انفعال دوترونی **گریچفلد** نیز چنین است.

برای یافتن منابع زیراتومی انرژی که‌متناسب باچنین‌ستارگان نسبتاً سرد باشد، باید متوجه تبدلاتی ازهسته‌شویم که‌دردرجات حرارت

پستتر ازدو درجه‌ای که‌دربالا ذکر کردیم می‌تواند صورت بگیرد. این مسئله‌درسال ۱۹۳۹ به‌وسیله مؤلف کتاب‌وهمکار وی دکتر **ادوارد تلر**[۱] درمعرض تحقیق‌قرار گرفت‌ونتیجه‌ای که‌به‌آن‌رسیدیم برای بیان‌کیفیت تولید انرژی درغولهای سرخ رضایتبخش است.

فعل وانفعالهای عناصر سبك

همان‌گونه‌که‌دیدیم‌فعل‌وانفعالاتی‌که‌به‌آسانی آغازمی‌شودهمانهاست که میان پروتونها وهسته‌های عناصر سبك درسلسلهٔ دوری عناصراتفاق می‌افتد.[۲] شش فعل وانفعالی که‌پس‌از این آورده‌ایم فهرست کاملی‌است ازتمام تبدلات‌هسته‌ای که‌امکان‌دارد درعناصرسبکتر ازکربون‌ونیتروژن حادث شود.

$$(۱)\quad {}_{۱}D^{۲} + {}_{۱}H^{۱} \rightarrow {}_{۲}He^{۳} + \text{تشعشع}$$

$$(۲)\quad {}_{۳}Li^{۶} + {}_{۱}H^{۱} \rightarrow {}_{۲}He^{۴} + {}_{۲}He^{۳}$$

$$(۳)\quad {}_{۳}Li^{۷} + {}_{۱}H^{۱} \rightarrow {}_{۲}He^{۴} + {}_{۲}He^{۴}$$

$$(۴)\quad {}_{۴}Be^{۹} + {}_{۱}H^{۱} \rightarrow {}_{۳}Li^{۶} + {}_{۲}He^{۴}$$

$$(۵)\quad {}_{۵}B^{۱۰} + {}_{۱}H^{۱} \rightarrow {}_{۶}C^{۱۱} + \text{تشعشع}$$

$$(۶)\quad {}_{۵}B^{۱۱} + {}_{۱}H^{۱} \rightarrow {}_{۲}He^{۴} + {}_{۲}He^{۴} + {}_{۲}He^{۴}$$

با معلوماتی‌که ازفیزیك هسته دراختیار داریم می‌توانیم اندازه ومیزان آزادشدن انرژی را برای هریك ازاین فعل وانفعالات حساب کنیم وبه‌این نتیجه برسیم که **این‌فعل‌و انفعالات سه‌نوع کاملامتمایز از یکدیگر ند.**

نوع اول فعل وانفعال بی‌اندازه سریع است که میان دوتـرونها وپروتونها صورت می‌گیرد (۱). چون هردو قسم ذراتی‌که به‌کارمی‌افتند

---

۱. Dr. Edward Teller

۲. البته این‌فعل وانفعالات شامل فعل‌وانفعال پروتون-پروتون که‌مولد دوترون است‌وازلحاظ کمی احتمال صدور الکترون‌بالنسبه‌کند صورت می‌گیرد، نمی‌شود.

بار برقی‌کوچك دارند، دراین‌نوع فعل‌وانفعال حتی در درجات‌حرارت پایین مانند یك ملیون درجه انرژی به‌نسبت زیادی آزاد می‌شود.

نوع دوم شامل فعل وانفعالات کندتر دوهمجای هلیوم (۲و۳) وفعل وانفعال بریلیوم (۴) وفعل و انفعال همجای سنگینتر بور (۶) می‌شود. درجهٔ حرارتی‌که برای این‌نوع فعل‌وانفعالات لازم است میان ۳ و۷ ملیون درجه‌است.

نوع سوم شامل فعل وانفعال‌کندتر همجای سبك بور است (۵) که درجهٔ حرارتی‌کمی خفیفتر از درجهٔ حرارت مرکزی‌ستارگان رشتهٔ اصلی لازم دارد. میزان ونسبت ایجاد انرژی دراین حالت ازان جهت کم است که دراین نوع فعل وانفعال اشعهٔ γ خارج می‌شود، واین خود از احتمال تولید انرژی می‌کاهد. این مسئله به‌خوبی شناخته شده که احتمال صادرشدن اشعه γ میلیونها بار کمتر از پرتاب شدن یك پارهٔ هسته‌ای است، به‌طوری که اگر بخواهند دراین‌نوع فعل و انفعال میزان و اندازهٔ تولید انرژی را به صورت قابل ملاحظه‌ای درآورند لازم است که عمل بمباران‌را با افزودن درجهٔ حرارت شدیدترکنند.[۱]

موجود نبودن عناصر سبك درخورشید

ازانجا که آزاد شدن انرژی به‌وسیلهٔ سه‌نوع فعل و انفعالی که ذکر کردیم در درجات حرارت نسبتاً کم آغاز می‌شود، ممکن است چنین توقع داشته باشیم که در درجهٔ حرارت مرکزی خورشید (۲۰ ملیون درجه) انرژی به‌میزان ونسبت شگرفی خارج شود . البته با

---

۱ . خواننده ممکن است به‌این نکته توجه کرده باشد که در نخستین فعل وانفعال فهرست ما (D-H) نیز اشعهٔ γ حاصل می‌شود وبا وجود این ازهمهٔ فعل وانفعالات دیگر سریعتر است. علت آن‌است که در این حالت رخنه پذیری‌فراوان حصار هسته‌که نتیجهٔ‌کمی‌بارهای برقی است، این صادرشدن اشعهٔ γ را جبران می‌کند. اگرفعل وانفعال D-H می‌توانست بدون تولید تشعشع صورت بگیرد احتمال وقوع آن ملیونها بار بیش‌ازان چیزی می‌شد که فعلا وجود دارد.

چنین درجهٔ حرارتی در قسمت مرکـزی خورشید، اگر مقادیر قـابل ملاحظه‌ای از این گونه عناصر سبك وجود می‌داشت، آزاد شدن انرژی ناچـار سبب انفجار جرم خورشید می‌شد. بنابراین بایـد چنین نتیجه گرفت که**این عناصر «خطرناك» درداخل خورشید وجود ندارد، واگردر دوره‌های نخستین تکامل آن چنین عناصری درخورشید وجود داشته درهمان زمانهای بی‌اندازه دور که درجهٔ حرارت مرکزی خورشید از درجهٔ حرارت فعلی بسیار کمتر بوده ، این عناصر به‌مصرف رسیده است.**

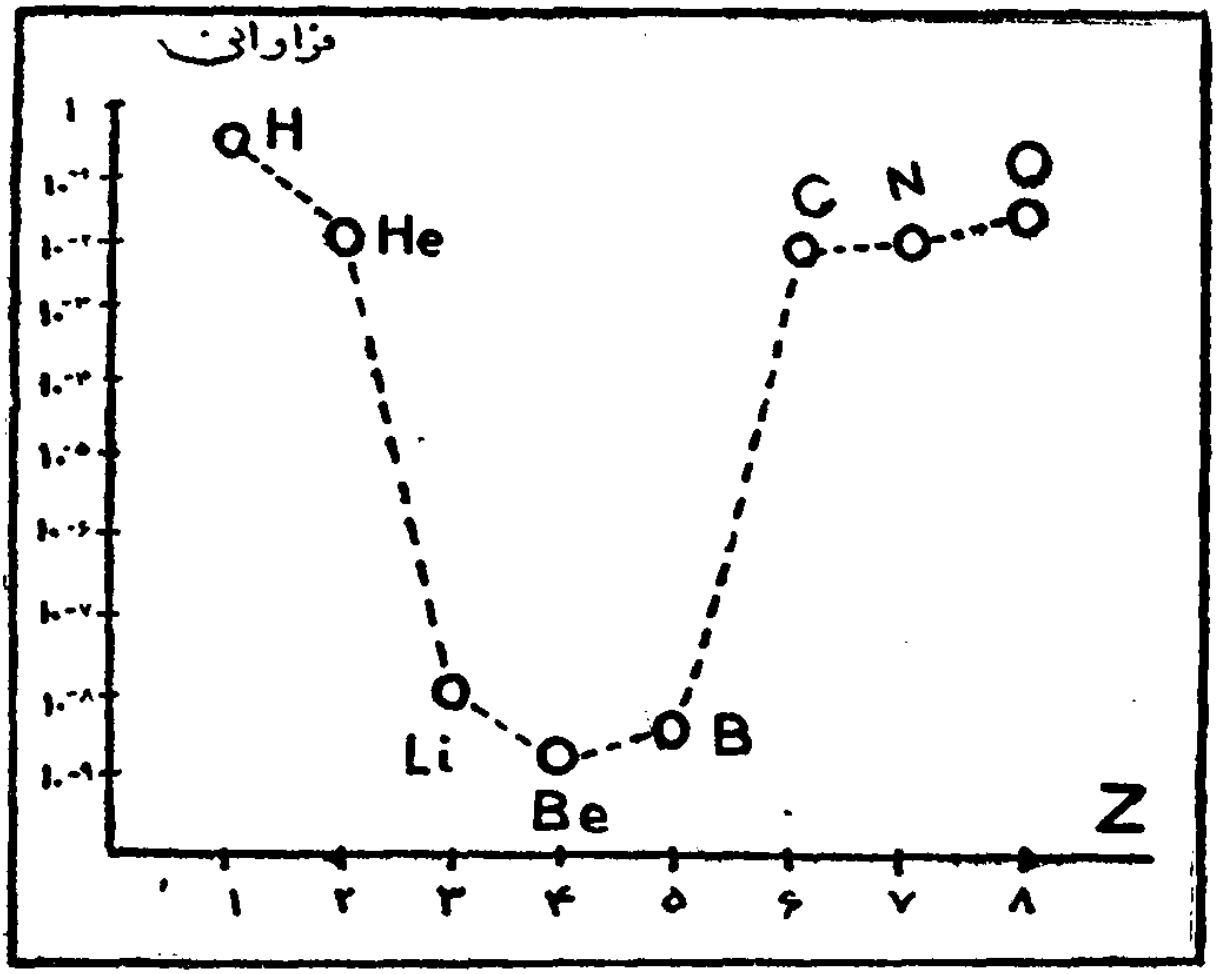
باوجود این تجزیه و تحلیل طیف خورشید ظاهراً چنان نشان می‌دهدکه مقدارکمی لیتیوم وبریلیوم وحتی بور هنوز در **جو** خورشید وجود دارد. وجود این عناصر در زمین خود دلیل آن‌است که درآن هنگام که سیارهٔ ما ازجرم اصلی خود جدا شده لااقل درقشر خارجی خورشید چنین عناصری وجود داشته‌است. ولی حتی برروی زمین هم این عناصر بسیار کمیاب است (همان‌گونه کـه در شکل **۳۹** می‌توان دید)، و این‌خود مؤیدآن است‌که این عناصر در اوایل تاریخ پیدایش جهان از میان رفته‌اند.

اختلافی که میان ترکیب شیمیایی قسمت داخلی وقشر خارجی خورشید ما وسایر ستارگان وجود دارد، برای بحث و تحقیق درمنشأ عناصر شیمیایی وهمچنین در مورد رسیدگی به‌مسائل مربوط به‌مراحل ابتدایی نشو ونمای جهان بسیار سودمند واقع می‌شود.

فعل وانفعالات عناصر سبك درغولهای سرخ

اکنون به‌مسئلهٔ اصلی‌مورد بحث خود یعنی منشأ انرژی‌غولهای سرخ باز می‌گردیم. پیش‌ازاین دیدیم که فعل وانفعالات میان‌ئیدروژن وعناصر سبك دیگر در درجات حرارت میان یك‌ملیون و ۲۰ ملیون صورت می‌گیرد، واین‌حدود حرارت همان‌حدود درجات‌حرارت‌مرکزی ستارگان مختلفی است که به‌نام غول سرخ نامیده می‌شوند.

بنابراین طبیعتاً چنین نتیجه می‌گیریم کـه این ستارگان هنوز درحال « سوزاندن » ذخیرهٔ خود ازعناصر سبکی هستندکه درخورشید



شکل ۳۹

تصویر نمایندهٔ فراوانی نسبی عناصر سبك در عالم که ازان‌رو معلوم می‌شود لیتیوم و بریلیوم و بور به‌مقدار کم وجود دارد. ازتحقیقی که نسبت به‌احجار آسمانی وجو اطراف ستارگان به‌عمل آمده نیز چنین منحنیی پیدا شده است.

ما مدتها پیش تمام شده است. محاسبه نشان می‌دهد که اگر کسر چند درصد کوچکی ازان عناصر درقسمت مرکزی غولهـای سرخ موجـود باشد، برای تولید انرژی که از راه تشعشع آنهـا ظاهر می‌شودکفایت می‌کند .

وچون‌درجات حرارت مرکزی این‌ستارگان حدود وسیعی‌دارد، بایستی برای هرحالت خاص فعل و انفعال مخصوصی را مسئول تولید انـرژی دانست . مثـلا سردترین غولهای سرخ مـانند ε ممسك‌الاعنة

I وهمسایگان آن درنمودار **راسل** منحصراً از دولت سر فعل وانفعال دوتریوم ـ ئیدروژن زندگی می‌کنند، و ذخیرهٔ لیتیوم وبریلیوم وبور آنها هنوز دست نخورده‌است. ازطرف دیگر ستارگانی مانند عیوق **A** و ع ممسك‌الاعنة ظاهراً ذخیره دوتریوم خودرا تمام کرده‌اند واکنون مشغول مصرف‌کردن باقی عناصرسبکی‌که ذکر شد می‌باشند؛ وبالاخره آن دسته ازغولهای سرخ که درنزدیکی رشتهٔ اصلی ستارگان درنمودار راسل واقعند، برای تولید انرژی همجای بور B^{10}_{5} را مصرف می ـ کنند وآمادهٔ آن هستند که به‌محض آنکه سوخت هسته‌ای سبك آنها تمام شود به‌جرگهٔ ستاره‌های هنجاری درآیند.

درشکل (۴۰) به‌صورت‌نظری قسمتهای مختلف نمودار راسل را برحسب نوع خاصی ازفعل وانفعال هسته‌ای‌که درآنها بیشتر اهمیت دارد نمایش داده‌ایم . چنانکه می‌بینیم در عین آنکه در رشتهٔ اصلی به‌استثنای قسمت تحتانی آن[1] تنها یك نوع معین از تولید انرژی در کار است (دورهٔ‌کربون ـ نیتروژن)، ناحیهٔ غولهای سرخ مشتمل‌است بر انواع گوناگون ستارگانی که سوختهای متفاوتی درکوره‌های خود می‌سوزانند. قسمتهایی‌که‌نمایندهٔ فعل‌وانفعالات مختلف مربوط به‌عناصر سبك است ممکن‌است غالباً یکدیگر را بپوشانند، به‌طوری‌که دربعضی از ستارگان دو یاچند نوع عنصر به‌طور متساوی درتولید انرژی حایز اهمیت باشد .

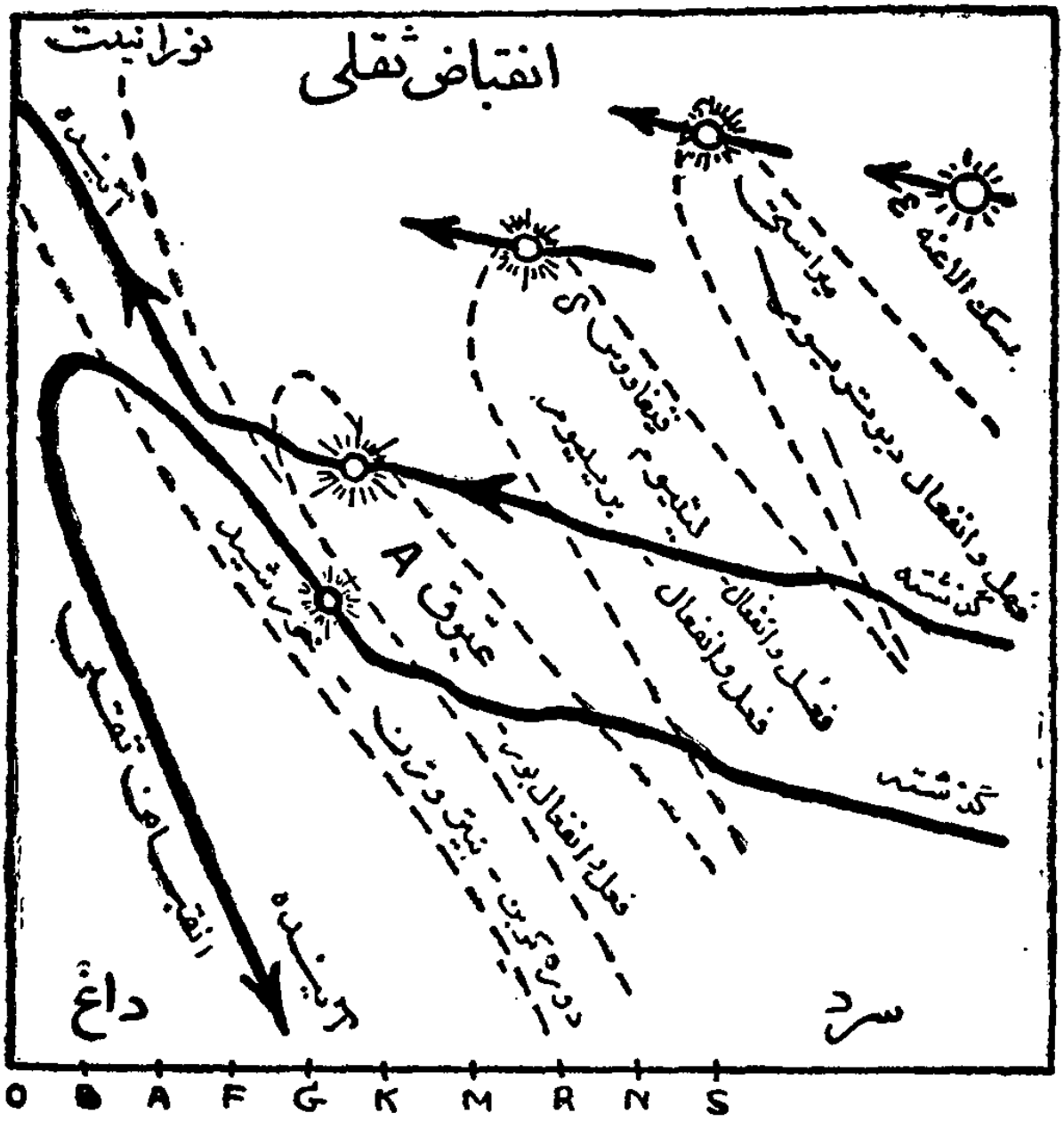
تکامل غولهای سرخ

فعل و انفعالهای عناصر سبك‌که سبب تولید انرژی در غولهای سرخ می‌شود، از یك لحاظ بافعل و انفعالی‌که در خورشید صورت می‌گیرد اختلاف‌اساسی دارد. عوامل این فعل وانفعالات دارای‌آن‌خاصیت « ققنوسی » دورهٔ کربون ـ نیتروژن نیستندکه دوباره زنده شوند و دور خودرا از سرگیرند، بلکه هسته‌ای که در اینجا وارد کار می‌شود هرگز به‌صورت اول خود باز نخواهد گشت. در آنجاهسته‌های کربون‌و

---

۱. صفحهٔ ۱۴۸ دیده شود.

نیتروژن درعمل‌تبدل‌ئیدروژن به‌هلیوم‌عنوان‌میانجی یاکاتالیزور داشت، ودر اینجا هسته‌های دوتریوم و لیتیوم و بریلیوم و بور در ضمن عمل



شکل ۴۰

نواحی فعل وانفعالات مختلف درنمودار راسل وخط سیرتکاملی خورشید و عیوق.

تولید انرژی به‌کلی ازمیان می‌رود. درنتیجه زمانی‌که هرستاره دردورهٔ « غول سرخی » به‌سر می‌بـرد بسیار کوتاهتر از زمانی خواهد شد که

دررشتهٔ اصلی صرف می‌کند[1]، وتمام مدتی‌که‌درمراحل مختلف«کودکی ستاره» می‌گذرد تنها کسرکوچکی از دوران عمرآن است.

اکنون می‌توانیم تصوری کلی در بارهٔ مراحل نخستین تکامل ستارگان پیدا کنیم، که نشو ونمای گذشتهٔ خورشید نیز عنوان حالت خاصی از این صورت کلی‌را دارد. مطابق این تصور، هرستاره درآغاز زندگی خود به‌صورت کرهٔ غول‌آسای گازی رقیق و سردی است که از مخلوطی از عناصر مختلف شیمیایی تشکیل شده است. جاذبهٔ ثقلی موجودمیان قسمتهای مختلف این‌کرهٔ گازی سبب آن می‌شودکه رفته رفته‌منقبض شود و درجهٔ حرارت مرکزی آن بالا رود. به محض آنکه درجهٔ حرارت مرکزی به‌حدود یك ملیون برسد، نخستین فعل‌وانفعال هسته‌ای ـ یعنی فعل و انفعال میان دوتریوم و ئیدروژن ـ در قسمت درونی ستاره‌آغاز می‌شود. انرژی‌زیر اتومی‌آزاد شده ازانقباض جدید کره جلو می‌گیرد، و تا مدتی که‌آن‌اندازه‌دوتریوم‌موجود باشد که این فعل وانفعال بتواند ادامه پیدا کند،ستاره‌حالت کمابیش ثابت وپایداری پیدا می‌کند.

ولی به‌محض آنکه دوتریوم به‌قدری کم شود که نتواند انرژی کافی برای‌تشعشع ایجاد کند، دوباره عمل انقباض ستاره آغازمی‌گردد. پس از این، عمل انقباض کوکب پیش می‌رود تا به‌حدی که حرارت حاصل شدهٔ از آن برای به‌راه افتادن فعل و انفعال میان ئیدروژن و لیتیوم کفایت کند؛ و چون چنین شد عمل انقباض بار دیگر متوقف می‌گردد.

به‌این ترتیب با انتقال از فعل و انفعالی به‌فعل و انفعال دیگر درجهٔ حرارت مرکزی ستاره و نورانیت آن پیوسته افزایش می‌یابد، واز حالت غول سرخی به‌حالت رشتهٔ اصلی نزدیك می‌شود، و در این حالت اخیر است که عمل میانجی کربون ونیتروژن در فعل و انفعال

---

۱. ازان جهت که حالت مربوط به‌رشتهٔ اصلی آن اندازه طول می‌کشدکه ئیدروژن وجود دارد، وچنانکه معلوم است ئیدروژن قسمت مهمی (۳۵ درصد) از جرم ستارگان را می‌سازد.

صورت می‌گیرد. وچون مقدار اصلی عناصر سبك درجسم ستاره‌ها بیش از کسر یك درصد جرم هرستاره نیست، بامصرف شدن و « سوختن » کامل این عناصر درتمام دوران غول سرخی تنها مقدار مختصری از ئیدروژن کوکب‌کم می‌شود. درآن هنگام که ستاره وارد رشتهٔ اصلی شد وحرارت مرکزی آن‌به‌حدی رسید که دورهٔ کربون- نیتروژن به‌راه افتاد ، مصرف شدن ئیدروژن به صورت مداوم آن اندازه ادامه پیدا می‌کند تاآخرین اتوم ئیدروژن نابود شود. ازاین به‌بعد انقباض‌آخری پیش می‌آید وبه‌این ترتیب ستاره می‌میرد.

این سه‌مرحلهٔ مختلف سیرتکاملی توسط مؤلف برای دو ستاره حساب‌شده وآنهارا برروی شکل (۴۰) نمایش داده‌ایم. منحنی‌فوقانی مربوط است به‌ستاره عیوق A که درزمان حاضر درحالت غول سرخی به‌سر می‌برد. چنانکه درآن شکل دیده می‌شود هنگامی که این ستاره وارد رشتهٔ اصلی شود، نورانیت آن چندین برابرنورانیت‌کنونی‌خواهد شد، وپس‌ازان به‌صورت یکی‌ازستاره‌های بسیار روشن‌آسمان درخواهد آمد. منحنی زیرین متعلق به‌خورشید خود ماست، ونشان می‌دهد که این ستاره بایستی در دوران گذشته خود به‌صورت غول سرخ کوچکی بسیار کم‌نور ترازانچه اکنون‌هست بوده باشد. ستارگانی که درمراحل نخستین زندگی خود از مرحلهٔ نخستین خورشید کوچکتر باشند ، به اندازه‌ای نورانیت ودرجهٔ حرارت سطحی آنها کم است‌که عملا غیرقابل رؤیت خواهند بود.

ستاره‌های تپنده[1]

از روی رصدهای قدیمی معلوم شده‌است که نورانیت پاره‌ای‌از ستارگان ثابت نیست، بلکه در فواصل منظم زمانی کم و زیاد می‌شود. دربسیاری ازحالات توضیح علت این تغییر نورانیت به‌این‌ترتیب می‌شود که این ستاره‌ها عملا مزدوج هستند و دوکوکب سازندهٔ این مجموعه درسطحی متوازی با امتداد رؤیت ما قرار دارند. واضح‌است‌که درچنین

1 . Pulsating Stars

حالتی یکی ازدوکوکب مجموعه گاه به‌گاه درمقابل دیگری واقع می‌شود واین‌کسوفهای مکرر جزئی کوکبی که پنهان می‌شود سبب کاهش شدت نور می‌گردد.

درقسمت فوقانی شکل (۴۱) تصویر نظری این **متغیرکسوفی** وهمچنین تغییرات نوری را که ازروی‌هم افتادن دو کوکب مشهود می‌شود رسم کرده‌ایم. منحنی تغییر نورانیت برحسب زمان شکل‌مشخصی دارد ونشان می‌دهد که چگونه نورانیت ثابت به‌صورت متناوب با یك حداقل کمابیش برجسته قطع می‌شود.

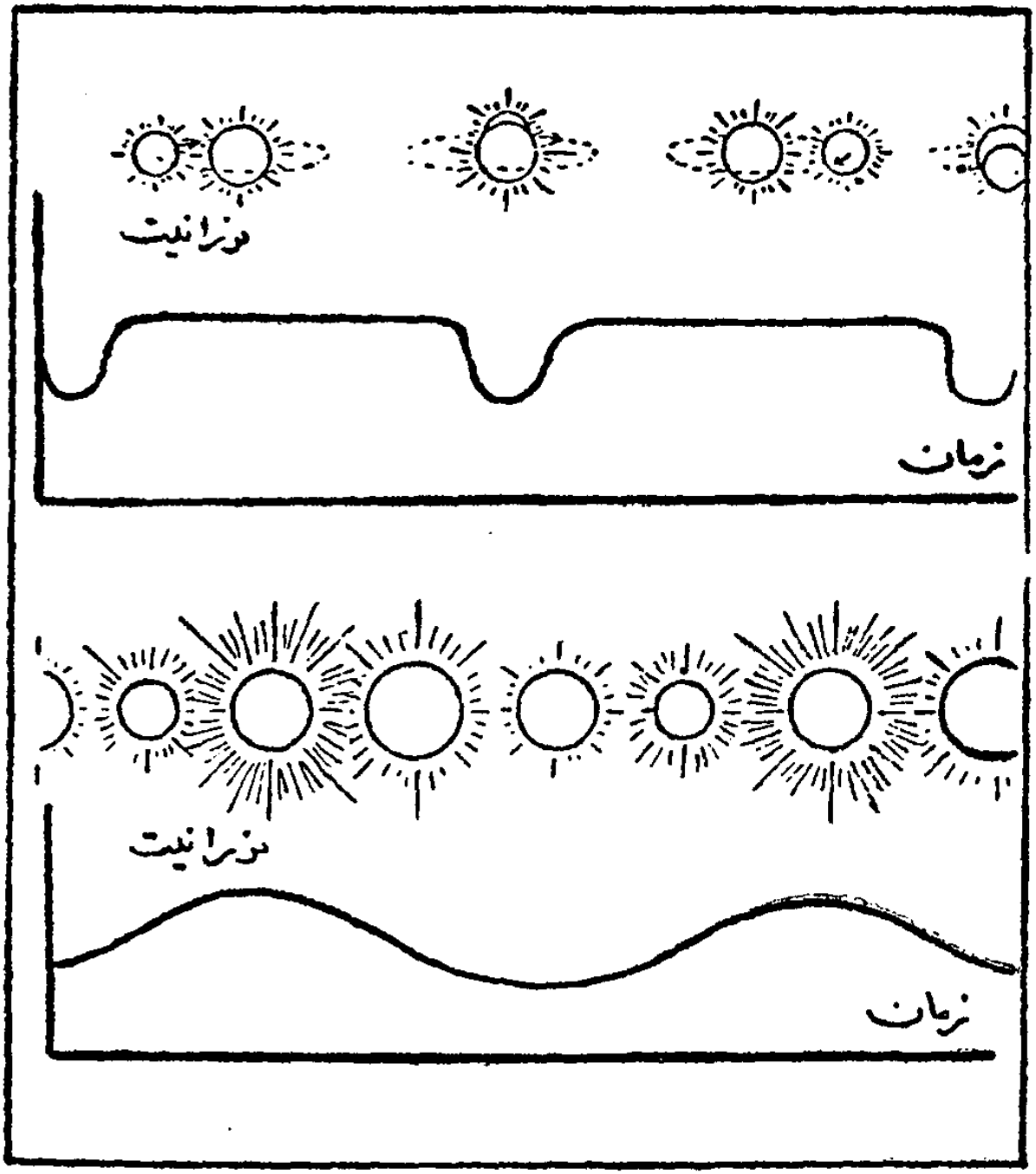
ولی مشاهدهٔ دقیق آسمان نشان می‌دهد که ستاره‌های متغیر دیگری نیز موجود است‌که با این‌فرض‌ساده نمی‌توان علت‌تغییرنورانیت آنهارا بیان کرد. در این دسته ستارگان که معمولا به‌نام « متغیرهای قیفاووسی » نامیده می‌شوند (ازان جهت که اولین نمونهٔ تحقیق شدهٔ آنها کوکبی درصورت فلکی قیفاووس بوده است)، تغییرنورانیت‌بسیار ملایم و منظم صورت می‌گیرد، بدان‌سان که این تغییررا می‌توان بایك منحنی جیبی معمولی به‌خوبی نمایش داد (نیمهٔ زیرین شکل ۴۱) . خصوصیت شبه‌آونگی وآهنگدار نوسانات نور دراین دسته ازستارگان این فکررا ایجاد کرده‌است‌که بایستی قطر چنین‌کواکب میان حداعلی و حداسفلی حالت **ضربان و تپش منظمی** داشته‌باشد وکم وزیاد شود. مشاهدهٔ اثر دوپلر[1] در خطوط طیفی متغیرهای قیفاووسی عملا ثابت کرده است‌که این ستارگان به‌اصطلاح «نفس می‌زنند» یعنی قشرهای

---

۱. اثر دوپلر که پیش‌از این‌هم به آن اشاره شد، مربوط است به‌این‌که رنگ نوری‌که ازمنبع روشنی صادر می‌شود برحسب اینکه‌آن منبع نسبت به‌شخص بیننده درحرکت باشد تغییرپیدا می‌کند. در منبع نوری که‌ازبیننده دورشود تمام خطوط طیف‌به‌طرف ناحیهٔ قرمزمنتقل می‌شود، و در منبعی که به‌شخص بیننده نزدیك می‌شود انتقال خطوط به‌طرف ناحیهٔ بنفش است. به‌این‌ترتیب با مقایسهٔ طیف سطح کوکبی با طیف منبع نورانی زمین می‌توان انتقال متناوب خطوط طیف ستاره را درصورتی‌که به‌ما نزدیك ویا ازما دور شود کشف کرد.

سطحی آنها به‌شکل منظم ومتناوب بالا وپایین می‌رود.

توجه به‌این مطلب کمال اهمیت‌را داردکه در مجموعه‌های‌متغیر کسوفی غالباً کواکب سازندهٔ مجموعه از دستهٔ ستارگان متعلق به‌رشتهٔ



شکل ۴۱

ستاره‌های متغیر کسوفی و تپنده و منحنیهای تغییر نورانیت مربوط به هریك.

اصلی هستند، درصورتی که نمود ضربان انحصاراً درمیان غولهای سرخ قابل مشاهده است. ستاره‌هـای تپنده (یا ضرباندار) گروه مشخصی را می‌سازند ودر نمودار **راسل** نوار باریکی را (شکل ۳۷ دیده‌شود) در قسمت فوقانی ناحیه‌ای‌که معمولا محل قرار گـرفتن ستاره‌های سرد و رقیق است اشغال می‌کنند.

نظریهٔ مربوط به‌ستاره‌های تپنده

نظریهٔ ریاضی مربوط به‌ضربان کرهٔ گازی نخستین‌بار به وسیلهٔ **ادینگتون**بیان شده‌است، وبه‌وسیلهٔ این‌نظریه ارتباط میان‌دورهٔ ضربان متغیر قیفاووسی ازیك‌طرف وبزرگی هندسی وجرم ستاره ازطرف‌دیگر آشکار می‌شود. قانون‌تپش ستاره‌ها کاملا باقانونی که‌برنوسانات‌آهنگدار پیانو یا ویولون‌حکومت می‌کند شباهت‌دارد. در این‌آلات‌موسیقی‌ارتفاع صوت(یاعدهٔ‌نوسانات) اصولاوابسته‌به‌درازی‌وهمچنین‌جرم(کلفتی‌ونازکی) تاری‌است که‌مرتعش می‌شود. تار درازتر صوتی می‌دهدکه از صوت تار کوتاهتر بمتر است، واگر دوتار دارای یك‌طول باشند آنکه سنگینتر (کلفتتر) است صوت بمتری‌خواهد داشت. دورهٔ‌ضربان وتپش‌ستاره‌های گازی نیز به‌وجه مشابهی باازدیاد حجم وجرم‌آنها کوتاهتر می‌شود.

ازنظریهٔ ادینگتون چنان برمی‌آیدکه‌دورهٔ ضربان درست‌باریشهٔ دوم چگالی متوسط نسبت معکوس دارد، بدانسان که هرچه جرم‌ستاره رقیقتر باشد ضربان آن‌کندتر می‌شود. وچون معلوم شده است که در خانوادهٔ غولهای سرخ چگالی متوسط بازیاد شدن‌جرم ونورانیت تنزل می‌کند، چنان‌نتیجه می‌گیریم که **ستاره‌های سنگینتر ودرخشنده‌تر باید دورهٔ‌ضربان طولانیتری داشته باشند.** این رابطه که نخستین بار به‌وسیلهٔ **ه . شیپلی**[1] منجم هـاروارد بنابرمعلومـات رصدی مقرر گردید، درعلم نجوم اهمیت فراوان دارد. درشکل (۳۷) دورهٔ‌ضربان وابسته به‌قسمتهای مختلف ناحیهٔ غولهای سرخ درنمودار **راسل** رانشان داده‌ایم؛ این‌مدت ضربان از چند ساعت تاچند سال بـرحسب ستارگان

---

1. H. Shapley

مختلف تغییر می‌کند.

سه‌گروه ستارهٔ تپنده

تحقیق مفصلتر دربارهٔ عدهٔ زیـادی از ستاره‌های زننده به‌این نتیجه رسیده است که همهٔ اندازه‌های‌مختلف دورهٔ ضربان به‌یك‌نسبت وفراوانی دیده نمی‌شود، واین‌گونه ستاره‌ها را از روی دورهٔ ضربانشان می‌توان به‌سه گروه تقسیم کرد. گروه اول را به‌نام **متغیرهای کوتاه مدت** می‌نامند که دورهٔ نوسان نورانیت در آنها میان شش ساعت ویك روز است. ستارگان معدودی نیز هستند که دورهٔ ضربانشان میان یك روز ویك‌هفته است، ولی‌عدهٔ بیشترآنها است‌که برای یك‌ضربان‌کامل مدتی وقت میان یك تاسه هفته‌صرف می‌کنند. این‌گـروه دوم مشتمل است برخود ستارهٔ معروفδ قیفاووس، وستارگانی‌که‌در این گروه‌قرار می‌گیرند و معمولا به‌نام **قیفاووسیهای متعارفی** (یاهنجاری) نامیده می‌شوند. گروه سوم عدهٔ کثیری از ستاره‌های زننده را شامل می‌شودکه دورهٔ ضربان آنها در حوالی یکسال است. این‌متغیرهای دراز مدت‌را به‌نام متغیرهای اعجوبهٔ قیطسی یامیراستی[1] می‌نامند واین‌به‌مناسبت اسم ستارهٔ میراستی (میرا یعنی شگفت‌انگیز) است که‌درصورت‌فلکی‌قیطس قرار دارد ونمایندهٔ این‌گروه به‌شمار می‌رود.

درشکل (۳۷) وضع این سه‌گروه را برنمـودار راسل باخطوط سایه‌دار نمایش داده‌ایم. توضیح دربـارهٔ این‌گروهبندی ستارگان تپنده به‌سه‌گروه متمایز ازیکدیگربرشالودهٔ نظریهٔ مربوط به‌تولید انرژی در غولهای سرخ است که درفصـل گذشته به اطلاع خواننده رساندیم. در آنجا دیدیم‌که سه‌نوح مشخص فعل وانفعال هسته‌ای مسئول تولید انرژی در این دسته ازستارگان است، وبنابراین طبیعی‌است‌که **این سه‌گروه را متناظر باسه‌شکل مختلف تولید انرژی فرض‌کنیم.**

اگر ناحیه‌ای را که‌درشکل (۳۷)بااین سه‌گروه ستارگان‌تپنده اشغال شده باشکل(۴۰) مقایسه‌کنیم‌که‌دران وضع‌ستاره‌ها را درمراحل

---

1. Mira Ceti

مختلف زندگی وفعل وانفعالات هسته‌ای نشان داده‌ایم، بیدرنگ‌متوجه خواهیم شد کـه ارتباطی‌که بین دوکیفیت دراینجا پیشنهـاد شده کاملا درست است. در واقع دورهٔ تغییر دراز مدت مخصوص ستارگانی‌است‌که انرژی خود را از فعل و انفعال دوترون-پروتون به دست می‌آورند، و متغیرهای قیفاووسی لیتیوم وبریلیوم وبورسنگین « می‌سوزانند » و متغیرهای کوتاه مدت انحصاراً باهمجای سبکتر بور زندگی می‌کنند.

به‌این ترتیب است که ضربان مشاهده شدهٔ در غولهای فلکی‌را می‌توان باتوالی عناصردر دستگاه تناوبی عناصردارای ارتباطی مستقیم وساده دانست.

علت تپش

چرا ستاره‌ها می‌تپند ومخصوصاً چرا این‌خاصیت تپش وضربان تنها در ناحیهٔ باریکی ازنمودار **راسل** دیده می‌شود؟ البته علل زیادی می‌تواند سبب شود که ستارهٔ گازی ازحالت تعادل خارج شود. گذشتن دوستاره از نزدیك یکدیگر یاانفجار تصادفی کوچکی در داخل‌کوکب ممکن است به‌آسانی سبب چنین امری بشود. ولی اگر علت این باشد درآن‌صورت باید ضربان یك نمود تصادفـی شود وبه‌یك طبقهٔ خاص از ستارگان در نمودار راسل منحصرنماند. کوچکی ناحیه‌ای که ستارگان زننده‌را شامل می‌شود دلیل برآن‌است که در اینجاسر وکار ما باشرایط خاصی است که‌تنها یك بار درتمام دوران تکامل حیاتی هرکوکب‌حادث می‌شود.

هنوز خصوصیات وشرح شرایطی که باوجودآنها ناپایداری این اجسام غول‌آسای فلکی‌حاصل می‌شود معلوم نیست، ولی بنا به‌فرضیه‌ای که به‌وسیلهٔ مؤلف طرح شده **ضربان ستاره نتیجهٔ تصادمی است که میان نیروهای مولد انرژی هسته‌ای و نیروهای مولد انرژی ثقلی در مرکز آن ستاره صورت می‌گیرد.** ایـن مطلب را می‌توان اثبات‌کرد که‌آن‌ناحیه ازنمودار راسل که به‌وسیلهٔ ستارگان تپنده‌اشغال شده، دارای این خصوصیت است که مقدار انرژی آزاد شدهٔ درفعل و انفعالات حرارتی هسته ومقدار انرژی‌آزاد شده درنتیجهٔ انقباض ثقلی

جرم کوکب تقریباً ازلحاظ انـدازه بایکدیگر برابر است . بنابراین می‌توان گفت که در ایـن حالت ستارگان «نمی‌دانند از دو راه تولید انرژی انتخاب کدام یك بهتر است و میان این دوامکان حالت نوسانی دارند.» ولی این نظریهٔ جالب‌توجه هنوز محتاج آن‌است که از راههای دیگری تأیید شود ، وپیش از آنکه محاسبات دراز وملالاوری صورت گرفته باشد نمی‌تواند به‌عنوان نظریهٔ قطعی مورد قبول واقع شود.

فصل هشتم

گوتوله‌های سفید و احتضار خورشید

پایان سیر تکاملی ستارگان

●

درفصلهای گذشته دیدیم که درآیندهٔ بسیار دور ودران هنگام که همهٔ منابع انرژی زیر اتومی خورشید بمصرف رسیده باشد، این نیر فلکی به‌آخرین انقباض خود شروع خواهد کرد. انرژی ثقلی که درضمن این‌عمل تولید خواهد شد تامدتی خورشید را گرم ودرخشان نگاه خواهد داشت، ولی به تدریج که‌کار انقباض به‌پایان خود می‌رسد شدت تشعشعات خورشید نیزرو به‌کاهش خواهد رفت، وپس‌از یك‌مدت طولانی دیگری خورشید ما به‌صورت یك‌پارچه مادهٔ بیجانی درخواهد آمد که یخهای ابدی‌آن‌را می‌پوشاند ومنظومهٔ یخ‌بستهٔ سیارات‌گرداگرد آن‌قرار دارند.

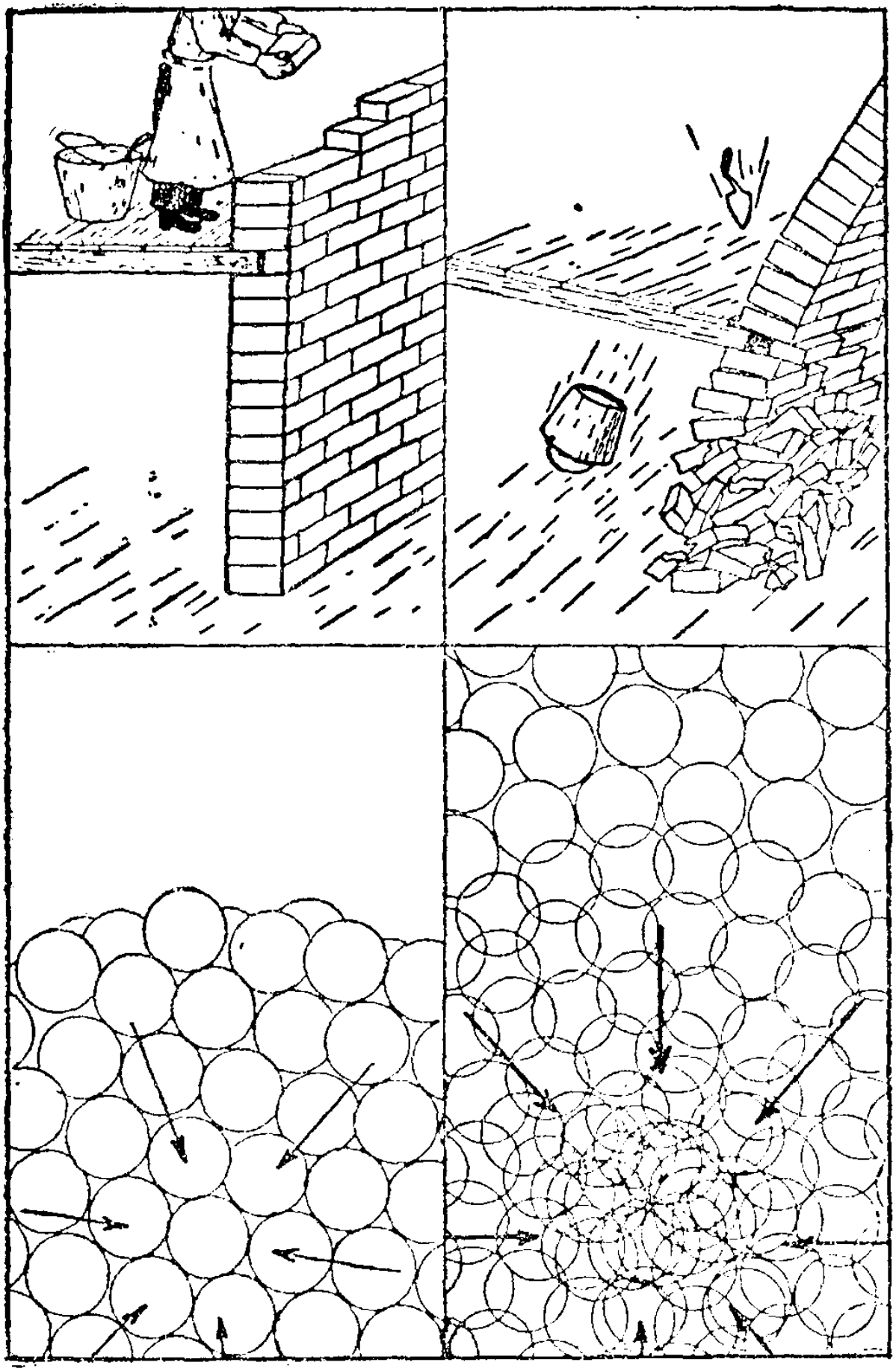
هنگامی‌که از«خورشید مرده» سخن به‌میان می‌آوریم، به‌قیاس چنان می‌پنداریم‌که خورشید درآن زمان به‌صورت یك‌کرهٔ سنگی شبیه

بسیارهٔ خود ماخواهد شد، منتهی حجم آن بسیار بیشتراز زمین خواهد بود. وبازچنان تخیل می‌کنیم که قشرسنگی خارجی خورشید ازسنگهای خارا وبازالتی است که علمای زمینشناسی خوب آنها را می‌شناسند، و قسمت مرکزی آن حالت گداخته‌ای دارد که تامدتها پس ازتشکیل قشر جامد خارجی خورشید این هستهٔ گداختهٔ مرکزی به همان حال باقی خواهد ماند. ولی درست به‌همان علت چندین‌بار بزرگتر بودن خورشید از زمین بایدگفت که این مقایسه وتشبیه درست نیست، چه اطلاعاتی که هم اکنون ازخواص ماده داریم نشان می‌دهدکه قسمت مرکزی خورشید درحالی خواهد بود که باقسمت مرکزی زمین و سیارات دیگر تفاوت فراوان دارد.

فروریختن ماده

برای آنکه بفهمیم چه علتهای فیزیکی مانع آن‌است که چنین «خورشید خارایی» تشکیل شود بهتر آن است که مثالی بزنیم. فرض کنید مهندس دیوانه‌ای مشغول ساختن خانه‌ای باشدکه عدهٔ طبقات آن نامحدود است. به‌تدریج که ساختمان بالاتر می‌رود، این مهندس مصالح بنایی تازه‌ای به‌بالای آن می‌فرستد وطبقهٔ تازه‌ای روی طبقات فوقانی می‌سازد. حتی برکسانی هم که بااصول مهندسی ساختمان آشنایی ندارند این حقیقت مسلم است که چنین ساختمانی دیر یازود سبب فاجعه‌ای خواهد شد. دیوارهای زیرین در تحت فشار طبقه‌های فوقانی درخواهد رفت و همه ساختمان به‌صورت توده‌ای فرو می‌ریزد که ارتفاع آن حتی ازارتفاع نخستین طبقهٔ عمارت هم‌کمتر خواهد بود. اگرمهندس ما حدی‌رابرای مقاومت مصالح ساختمانی درنظرنگیرد وبه‌ساختمان خود ادامه دهد، به محض آنکه فشار بردیوارهای‌عمارت از این‌حد تجاوزکند ساختمان‌فرو می‌ریزد و منهدم می‌شود.

درمورد اجرام غولپیکر فلکی‌که ازمادهٔ‌جامد ساخته شده‌باشند نیز چنین اشکالاتی پیش‌می‌آید. وزن قشرهای خارجی‌چنین‌اجرام‌فلکی فشار شگرفی‌را درنواحی مرکزی آنهاایجاد می‌کند وباید امکان این‌امر را درنظر بگیریم که اگر فشار ازحدی تجاوز کند مقاومت ماده درهم



شکل ۴۲

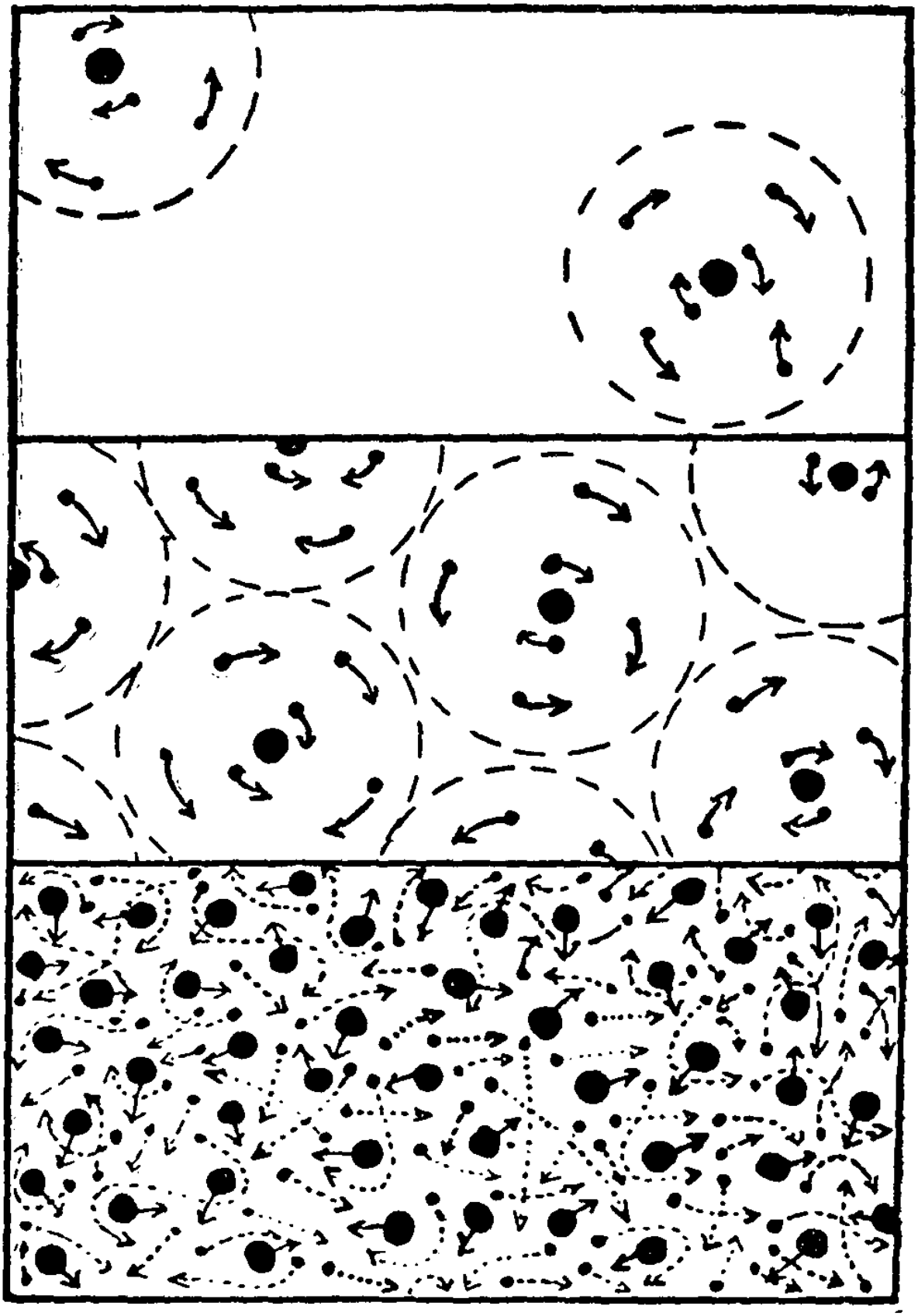
فروریختن آجرها واتومها در تحت‌تأثیر فشارهای بسیار زیاد.

خواهدشکست. همین‌مسئله‌است‌که ابعادهندسی‌ستاره‌های‌سرد رامحدودبه حدودی‌می‌سازد که چون‌ازان حدتجاوزشود فروریختنی‌شبیه فروریختن یك ساختمان صورت خواهد گرفت (شکل ۴۲).

ممکن است خواننده‌ای چنین بگوید که: «این دو حالت با یکدیگر شباهتی ندارد. درمورد ساختمان که فشار ازفوق به‌تحت زیاد می‌شود دیوارها به‌اطراف‌خود می‌ریزند ولی‌درمورد کرات فلکی‌ماده‌ای که‌در قسمت مرکزی قرار گرفته ازهمه‌سو فشار می‌بیند وچنانکه‌آشکار است طرفی وجود ندارد که‌ویرانی وفرو ریختن‌ازآن طرف صورتپذیر شود.»

این مطلب کاملا درست‌است، ولی بایدگفت که‌یك جهت برای فرو ریختن وجود دارد که از نظر خواننده پوشیده مانده است. نباید فراموش کنیم که‌ماده ازعدهٔ زیادی اتومهای مجزی از یکدیگر ساخته شده، وحالت جامد ماده نمایندهٔ صورتی است که باآن صورت اتومها نزدیکتر به یکدیگر بسته بندی شده‌اند. ولی این‌را نیز می‌دانیم که اتومها کره‌های‌صلبی بدان‌گونه که **دموکریتوس** آنهارا تصور می‌کرده نیستند، بلکه‌منظومه‌هایی هستند که‌ازقشرهای الکترونی محیط‌برهسته تشکیل شده. درتحت اثر فشارهای متعارفی نیروهایی‌که‌میان قسمتهای مختلف سازندهٔاتوم وجود دارد باکمال سرسختی‌مانع آن‌است که‌اتومی بتواند دراتوم همسایهٔ خود فرو رود وبه‌همین جهت‌است که‌تفاوت فشار نمی‌تواند عملا تغییری‌درچگالی جسم‌جامد ایجاد کند. ولی‌هرمقاومت حدی دارد، واگر فشار ازحدودی تجاوز کند ـ که‌البته‌این حدبااتومهای مختلف تفاوت مختصری پیدا می‌کند ـ زره‌های الکترونی هسته پاره و **اتوم کوبیده می‌شود**، و درست حال تخم مرغهایی را پیدا می‌کند که درته زنبیلی قرار دارند و سنگینی آن زنبیل از حدود متعارفی خارج است.

دراین‌صورت الکترونهای متعلق به‌یك اتوم وارد الکترونهای اتوم دیگر می‌شود ودیگر سخن از منظومهٔ الکترونی اتومها مفهومی نخواهد داشت. به‌جای آنکه قشرهای الکترونی منظم برمحیط هسته وجود داشته‌باشد، «اتوم کوفتهٔ» مامخلوط عجیبی از هسته‌های برهنه و



شکل ۴۳
حالتهای گازی وجامد (یامایع) وکوفتهٔ ماده.

الکترونهای بی‌بندوبار خواهد بود که‌باکمال بینظمی به‌این طرف وآن طرف فضاحمله می‌کنند (شکل ۴۳).

صلابت‌حالت جامدماده که‌نتیجهٔ نفوذناپذیری قشرهای مجزای الکترونهای اتوم است از میان می‌رود و ازدیاد فشار خارجی سبب آن می‌شود که‌چگالی ماده نیز افزایش پیداکند، **بنابراین درتحت‌فشاری که به‌اندازهٔ کافی زیادباشد، حالت جامد (ومایع) ماده به مفهوم معمولی‌این‌کلمات دیگروجودنخواهدداشت، وماده‌دوباره‌خاصیت تراکمپذیری خودرا به‌دست می‌آورد.**

خواص ماده درحالت به‌هم کوفتگی

حالتی ازماده که‌درآن چون فشار زیاد شود ماده‌تراکم پیدامی‌کند، واگر فشار ازمیان برود ماده می‌تواند به‌شکل نامحدودی انبساط پیدا کند، درفیزیك‌به‌نام«حالت‌گازی» نامیده می‌شود، **وبه‌این ترتیب می‌توان ماده‌را در حالت کوفتگی که پیش‌از این شرح دادیم به صورت نوعی ازگاز تصور کرد.**

البته باید درنظر داشت که این‌گاز شباهتی باگاز فیزیك‌رسمی ندارد واز تراکمپذیری گذشته باید آن‌را بافلز سنگین گداخته شبیه دانست. ازلحاظ ساختمان داخلی نیز این‌حالت تازهٔ ماده باگازمتعارفی تفاوت دارد، بدین معنی که مجموعه‌ای از اتومها یامولکولهای جدا از یکدیگر نیست، بلکه مخلوط نامنظمی‌است که‌ازپاره‌های‌سریع‌الحرکت اتومی ساخته شده.

به‌این‌نکته نیز باید توجه کرد که درست همان‌گونه که **صلابت** اجسام جامد متعارفی نتیجهٔ حرکت الکترونهای اتوم در طول مدار کوانتومی آنهاست، همان‌گونه خواص ارتجاعی‌مادهٔ کوفته اصولا مربوط به‌قسمت الکترونی مخلوط است وپارهٔ هسته‌ای مخلوطرا درآن‌تأثیری نیست. چون الکترونها (درنتیجهٔ فقدان فضابرای حرکت) ناچار شوند که‌ازمسیر عادی خود خارج شوند، انرژی حرکتی نقطهٔ صفر خود را (صفحهٔ ۱۸۰) که‌مسئول فشاراین‌نوع جدید ازگاز است نگاه‌می‌دارند. بدین ترتیب همان حرکت نقطهٔ صفر که‌مانع سقوط الکترونها برروی

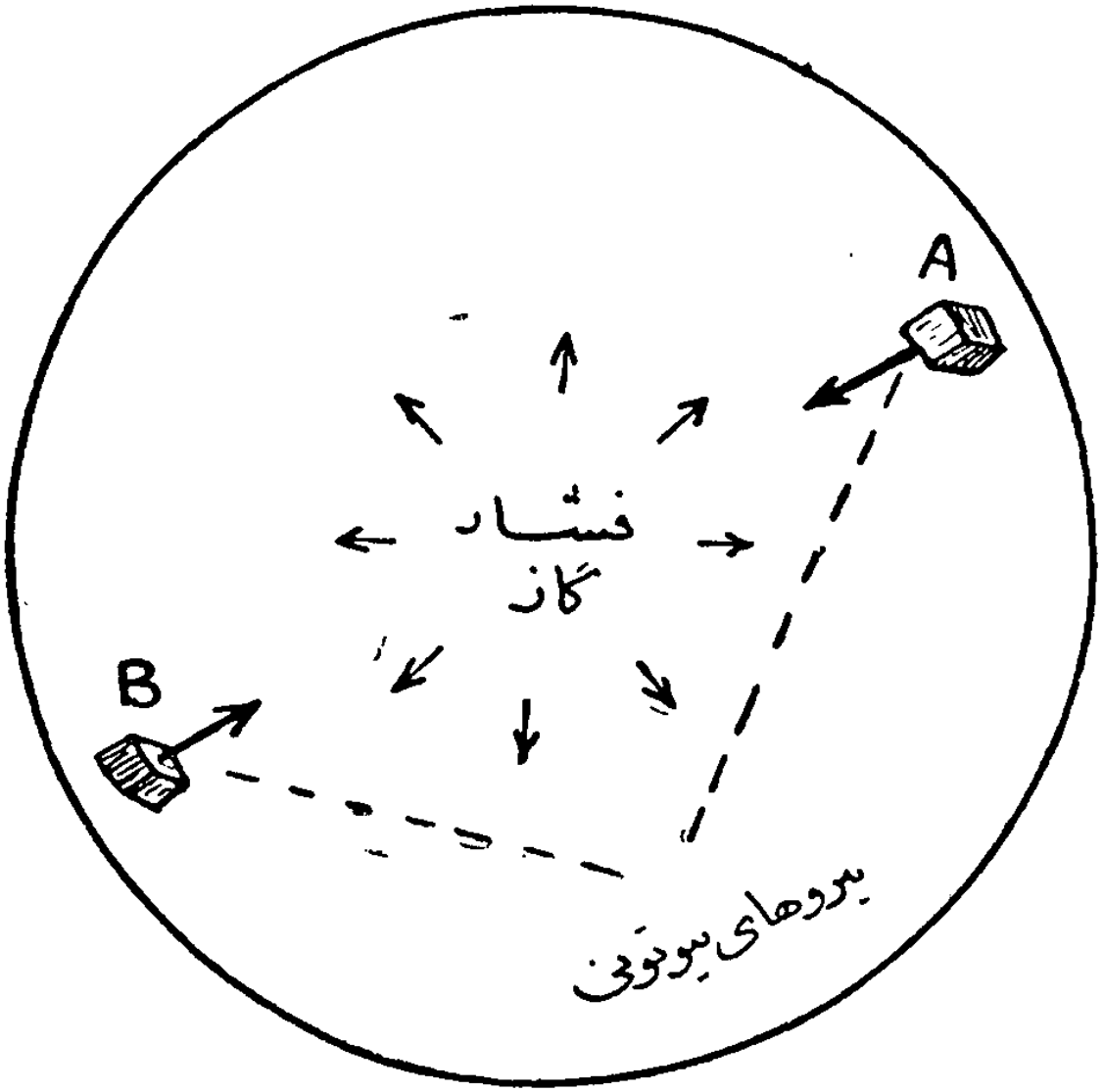
هستهٔ اتوم می‌شود وبالنتیجه وجود اتوم‌را محفوظ نگاه می‌دارد، سبب ایجاد فشار زیاد حالت مادهٔ کوفته (حتی در درجات حرارت پـایین) می‌شود.

خواص این **گاز الکترونی**را نخستین‌بار فیزیکدان ایتالیایی **انریکوفرمی** مورد مطالعه قرار داد وبه‌همین جهت غالباً این‌گاز راگاز **فرمی** می‌نامند. فرمی مخصوصاً این مسئله را اثبات کرد که **فشار یك گاز الکترونی وبنابران‌فشار مادهٔ‌کوفته باسرعتی کمتر ازازدیاد چگالی آن‌زیادمی‌شود وباعکس قوهٔ ۵ر۳ حجمی که گاز اشغال می‌کند متناسب است.**

بزرگترین تخته‌سنگ چه‌اندازه می‌تواندباشد؟

ازبحثی که‌پیش‌ازاین گذشت آشکار می‌شود که‌چرا اجسام‌سردی را که‌به‌آن اندازه بزرگ باشند که‌فشار مرکزی‌را ازحد**کوفتگی اتوم** تجاوز دهند نمی‌توان به‌صورت تخته‌سنگهای غولپیکر تصور کرد،چه‌در این‌صورت مادهٔ موجود درداخل آنها خاصیت جامدی‌را ازکف می‌دهد وازاین‌لحاظ خواصی مانند خواص گازها پیدا می‌کند. بنا براین برای جواب‌گفتن به‌پرسشهای‌مربوط به‌حجم‌چنین‌جرم فلکی‌فرو ریخته‌بایستی درشرایط تعادل میان فشار الکترونهای گاز فرمی که‌داخل آن جرم‌را پر می‌کند ، بانیروهـای جاذبهٔ ثقلی موجود میان اجزاء مختلف این جرم که‌می‌خواهند شعاع آن‌را به‌تدریج‌کوچکتر کنند، به‌تفصیل‌بیشتری سخن گفته شود.

فرض‌کنیم کرهٔ غولاسایی‌ازمادهٔ کوفته‌باجرم وشعاع معین‌موجود باشد که‌درآن فشار گاز بانیروهای ثقلی به‌حال تعـادل باشد. آیا اگر بدون دست‌زدن به‌شعاع این‌کره جرم آن‌را دوبرابر کنند چه حادثه‌ای پیش خواهدآمد؟ نیروی‌کلی‌ثقل که‌می‌خواهد کره‌رامتراکم کندترکیبی است ازنیروهای جاذبه‌ای که‌میان قسمتهای مختلف این‌جسم مثلامیان دوقسمت حجمی **A**و**B** وجود دارد (شکل ۴۴). درآن هنگام که‌جرم کره دوبرابر شود، مقدار جرمی که درهریك ازدو حجم **A**و**B** موجود است نیز دوبرابر می‌شود. بنا برقانون جـاذبهٔ **نیوتون** نیروی جـاذبه



شکل ۴۴
تعادل‌میان فشار گاز ونیروهای‌ثقلی درکرهٔ بزرگی ازگاز.

باحاصل‌ضرب جرمهایی که‌دریکدیگر تأثیر می‌کنند متناسب است. به این‌ترتیب بادوبرابر شدن جرم نیرویی که‌سبب فشردن وانقباض کره است چهار برابر خواهد شد. ازطرف دیگر بنا به قانون فرمی (صفحهٔ ۱۸۰) فشار گاز الکترونی که‌داخل کره‌را پرکرده باضریبی کمتراز ۴(۱۷ر۳=۲۵/۳) ترقی می‌کند. درنتیجه تعادل به‌نفع‌نیروهای‌ثقلی گسیخته می‌شود وکره آن‌قدر انقباض پیدامی‌کند تاباشعاع جدیدی که دارا می‌شود دوباره تعادل برقرارگردد.

ازاینجا معلوم می‌شود که‌مادهٔ کوفته مادهٔ مناسبی‌نیست که‌باآن

بتوانیم اجسامی به ابعاد بزرگ‌بسازیم، وهرچه ماده بیشتر باشد ابعاد نهایی کمتر خواهد بود. **به‌این ترتیب مقاومت محدود اتومها در مقابل فشارهای زیاد، حدی در برابر حجم سنگهای غول‌آساقرار می‌دهد؛ اجسامی‌را که‌جرمشان ازحدمعین‌تجاوز کرده باشدنمی‌توان اصولا به‌عنوان اجسام جامد تصور کرد، وهرچه جرم‌آنها زیادتر شود ابعاد هندسی آنها کمتر خواهد شد.**

مشتری به‌عنوان بزرگترین پاره‌سنگ

برای یافتن بزرگترین جرمی که‌یك جسم باداشتن چنان جرم هنوز می‌تواند به‌حالت جامد به‌معنی عادی این کلمه بماند، قبل‌از هر چیز باید اندازهٔ عددی فشاری‌را که‌برای کوفتن اتوم لازم است حساب کنیم، واین عمل از روی نظریهٔ کنونی درباب ساختمان ماده امکانپذیر است. بنابرمحاسباتی که‌به‌وسیلهٔ عالم فیزیك نجومی هندی **کوتهاری**[1] صورت‌گرفته، فشاربحرانی اتومکوب درحدود ۱۵۰ ملیون رطل‌براینچ مربع است .

اگر این‌رقم‌را بااندازهٔ ۲۲ ملیون رطل براینچ مربع که فشار نواحی مرکزی زمین است مقایسه کنیم، به‌این نتیجه می‌رسیم که‌کرهٔما آن اندازه سنگین نیست که‌بتواند باوزن خودسبب کوفتن اتومهاشود. تنها برای ستارهٔ مشتری بزرگترین سیارهٔ منظومهٔ ما (۳۱۷ مرتبه سنگینتر اززمین) است که‌فشار درونی به‌حد فرو ریختن ماده نزدیك می‌شود، و باید چنان توقع داشت که اتومهای ناحیهٔ درونی این‌جرم غولپیکر اگرهنوزهم کوفته‌نشده، درشرف آن‌باشد که‌براثروزن‌شگرف قشرهای خارجی به‌این‌حالت درآید.

تمام اجسام جامدی که‌جرم‌بیشتری ازمشتری داشته‌باشندناچار سرنوشتشان آن‌است که‌ویرانی وفروریختگی کامل درونی پیدا کنند، وبایدچنان انتظار داشت که‌حجم نهایی آنها ازحجم‌مشتری کمتر شود. **به‌این‌قرار مشتری ازلحاظ هندسی نمایندهٔ بزرگترین پارهٔ مادهٔ**

---

1. D.S. Kothari

سردشده‌ای است که اصولا می‌تواند درجهان وجود داشته باشد، «خورشید مرده» علی‌رغم جرم بزرگی که‌دارد (یادرست به علت همین بزرگی جرم) قطری بسیار کوچکتر ازمشتری ودر حدود قطر زمین خواهد داشت (شکل ۴۵ دیده شود).

ارتباط میان جرم و شعاع اجرام ویران شده

برای یافتن‌اندازهٔ صحیح شعاع‌ستارگان فروریخته ازروی‌جرمی که دارند، البته محاسبات ریاضی مفصلی لازم می‌شود. دراین محاسبات نه‌تنها جرم درنظر گرفته می‌شود، بلکه ساختمان شیمیایی جرمی که مورد بحث است نیز بایدمنظور شود؛ چه‌همان‌گونه که‌پیش ازاین‌دیدیم فشار حالت کوفتهٔ ماده ازروی عدهٔ الکترونهای آزادی به‌دست‌می‌آید که‌نتیجهٔ شکستن اتومها می‌باشند، وازطرف دیگر وزن طبقات‌خارجی که می‌خواهد جرم ستاره‌را منقبض کند از روی جرم هسته‌های برهنهٔ اتومی‌که درضمن‌همین‌عمل‌شکسته شدن تولید می‌شود تعیین‌می‌گردد. به این ترتیب تعادل میان این دونیروی متقابل اساساً بسته به‌جرمی است که‌باید به‌وسیلهٔ فشار هرالکترون آزاد تحمل شود، واین عامل البته‌به عناصر شیمیایی مختلف تفاوت پیدا می‌کند.

مثلا درمورد ئیدروژن درمقابل هرالکترونی که از اتوم کوفته شده آزاد می‌شود یك‌جرم پروتونی به‌دست می‌آید، درصورتی که‌برای هلیوم دوالکترون بایستی هسته‌ای را به‌جرم ۴ تحمل کنند، بدان‌سان که**جرم برای هرالکترون درحالت هلیوم‌دوبار بزرگتر ازجرم برای الکترون درحالت ئیدرژون می‌شود.** به‌این‌ترتیب واضح می‌شود که‌ستارهٔ ویران شده‌ای که‌ازهلیوم خالص ساخته شده باشد، برای آنکه به‌حال تعادل درآید، باید آن‌اندازه منقبض شود که‌شعاع آن از شعاع ستارهٔ ئیدروژنی کمتر شود.

تفاوت بزرگ ضریب دوکه میان ئیدروژن کوفته وهلیوم‌کوفته دیده می‌شود، تقریباً به‌همان‌اندازه بزرگ است که‌اگر درسلسلهٔ تناوبی عناصر پیش رویم همیشه‌چنین ضریبی‌راخواهیم یافت. چه‌درتمام‌عناصر سلسلهٔ تناوبی نسبت وزن اتومی (جرم) به‌عداتومی (عدهٔ الکترونها)

همیشه یاهمان نسبت هلیوم یاکمی بیشترازان است (مثلا برای کربون $\frac{A}{Z}=\frac{۱۲}{۶}=۲$ است؛ برای‌اکسیژن $\frac{A}{Z}=\frac{۱۶}{۸}=۲$؛ برای آهن $\frac{A}{Z}=\frac{۵۶}{۲۶}=۲٫۱۵$). ازاینجا نتیجه می‌گیریم که‌اجرام ویران شدهٔ فلکی اگر ازچیزی جز هلیوم‌خالص هم ساخته‌شده‌باشند، تقریباً همان شعاع مربوط به‌حالت هلیومی‌را خواهند داشت.

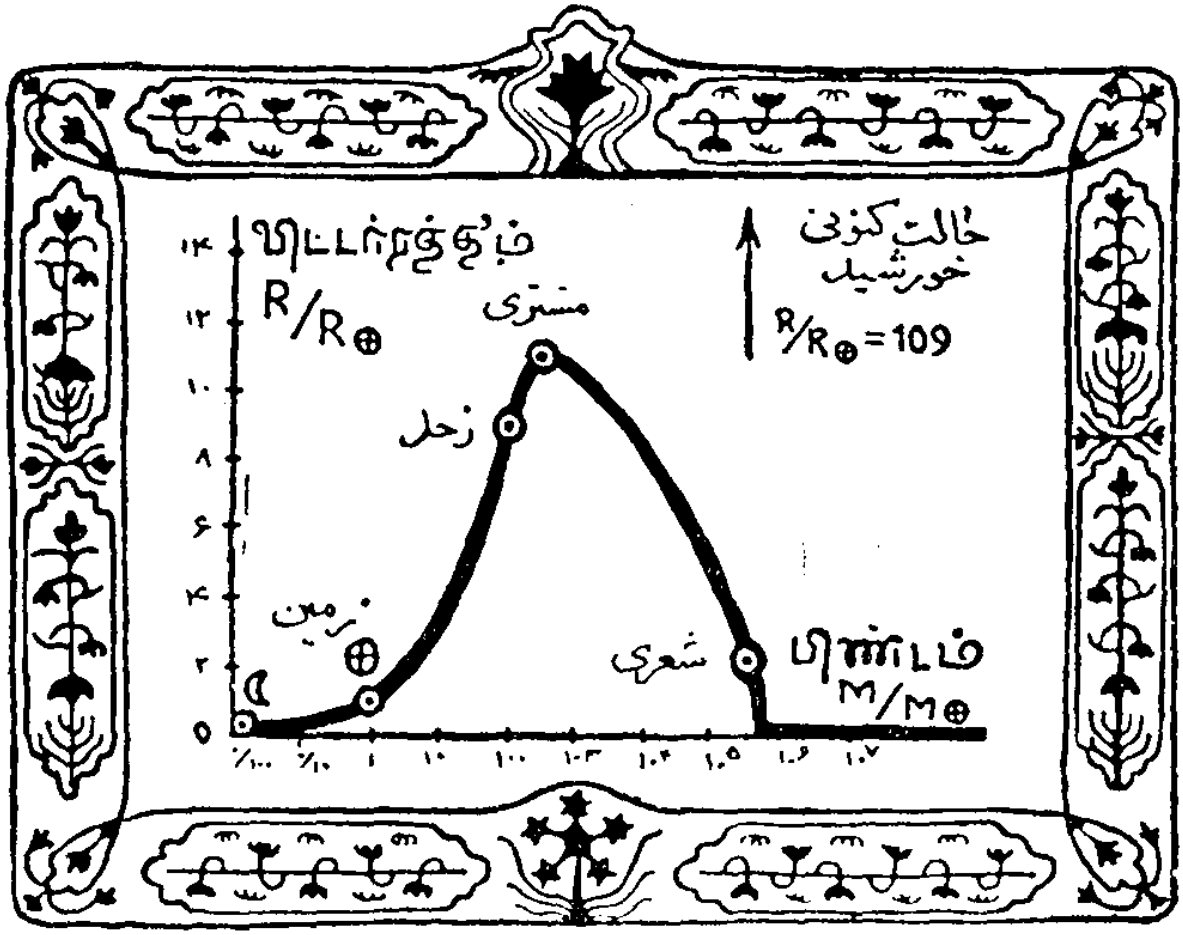
ازفصول گذشته چنین به‌دست آمد که حالت ویران شدهٔ ستاره بایستی نمایندهٔ آخرین مرحلهٔ زندگی وتکامل آن‌باشد، وازهمین جا نتیجه می‌شود که‌ئیدروژن موجود درقسمت مرکزی آن بسیار ناچیز و درحدود صفر خواهد بود[1]، واین به‌نوبهٔ خود چنین معنی می‌دهد که

---

۱. درمسئلهٔ خاص‌مربوط به‌محتوی ئیدروژنی ستاره‌های‌ویران شده عقیدهٔ غالب منجمان‌بانظر مؤلف که دربالا به‌آن اشاره‌شد اختلاف دارد. آنچه ظاهراست این‌است که تجزیهٔ طیفی وجود مقادیر قابل ملاحظه‌ای ازئیدروژن را درجو ستارگان معروف به«کوتوله‌های سفید» نشان می‌دهد، وچنانکه پس‌از این‌خواهیم دید این دسته از ستارگان یاویران شده‌اند ویا در شرف ویرانی هستند. از روی همین واقعیت مشاهده‌ای است که تصور می‌کنند در قسمت مرکزی این ستارگان نیز بایستی مقدار فراوانی ئیدروژن موجود باشد. باوجود این، گذشته ازانکه به دشواری می‌توان دریافت که چگونه ستاره‌ای که مقدار کافی ئیدروژن دارد ومی‌تواند فعل وانفعال حرارتی هستهٔ خودرا ادامه دهد عمل انقباض خودرا آغاز می‌کند، فرض وجود مقدار زیادی ئیدروژن درقسمت‌مرکزی‌کوتوله‌های‌سفید بااطلاعاتی‌که‌دربارهٔ تبدلات هسته‌داریم متناقض می‌شود . به آسانی می‌توان حساب کرد **که اگر مقدار قابل ملاحظه‌ای‌ئیدروژن درمرکزکوتوله‌های سفید باشد، عمل‌تشکیل دوترون‌از دواتوم ئیدروژن** (همان‌گونه که‌درفصل۵ دیدیم) **بایستی سبب آزادشدن انرژیی شود یك‌ملیون برابر تشعشعی که فعلا از چنین ستاره‌ها مشهود است.** بنا براین بایدگفت که وجود ئیدروژن←

نبایستی به‌نوع اتومهایی که‌در ستاره‌است توجه داشته‌باشیم، وشعاع یك ستارهٔ ویران شده تنها تابع جرم‌آن می‌شود وبس.

درشکل (۴۵) نموداری ازچنین‌محاسبات‌را (درمورد ستارگانی که محتوی ئیدروژنی آنها صفر است) نشان داده‌ایم . این محاسبات به



شکل ۴۵

ارتباط میان شعاع و جرم اجرام سرد فلکی بنا برمحاسباتی که به‌وسیلهٔدانشمندان فیزیك نجومی‌هندی چاندراسکهار وکوتهاری صورت گرفته. توجه داشته باشید که برای جرمهای بزرگتر از ۴۶۰،۰۰۰ برابر جرم زمین شعاع صفر می‌شود!

←درجو ستارگان ویران‌شده تنها امری است که‌به‌سطح آنهابستگی‌دارد، واگر این مشاهده را دلیل آن‌بگیریم کـه در مرکز این ستاره‌ها نیز ئیدروژنی وجود دارد همان‌اندازه اشتباه کرده‌ایم که اگر بادیدن نقشهٔ جهاننماچنان تصور کنیم که‌دوسوم‌تمام کرهٔزمین‌ازآب‌ساخته شده‌است.

وسیلهٔ عالم فیزیك نجومی هندی **چاندراسکهار**[1] صورت گرفته وتحقیق کامل دربارهٔ حالت ویرانی ستارگان ازکارهای مشخص اواست. چنانکه می‌بینیم درستارگانی که جرمی کمتر ازمشتری دارند، حجم برنسبت مستقیم جرم افزایش پیدا می‌کند، واین چیزی است که درحالت اجسام غیر ویران شده بایستی انتظار داشت. ولی برای جرمهای بزرگتر وضع اساساً تغییر پیدا می‌کند، ودرنتیجهٔ ویران شدن ماده درقسمت داخلی حجم جسم با زیاد شدن جرم بنای کاهش را می‌گذارد. آنچه مخصوصاً ازروی این منحنی به‌دست می‌آید آن است که شعاع «خورشید مرده» ده مرتبه کوچکتر ازشعاع مشتری می‌شود ودرحدود شعاع زمین درمی‌آید. **چگالی متوسط خورشید دربازپسین مرحلهٔ تکامل ۳ملیون برابر چگالی آب خواهد بود.**

به‌علت تراکمپذیری عظیم حالت کوفتهٔ ماده، چگالی این جسم بی‌اندازه فشرده یکنواخت نخواهدبود (همانگونه که مثلادرکرهٔ زمین ماهست) وهرچه به‌طرف مرکز نزدیك شویم این چگالی به‌سرعت افزایش پیدا خواهد کرد. مطابق محاسبات **چاندراسکهار** چگالی مرکزی در این حالت درحدود ۱۰ برابر چگالی متوسط خواهدبود، بدان سان که **هرسانتیمتر مکعب ماده درقسمت مرکزی خورشید مرده درحدود ۳۰ تون وزن خواهدداشت.** دران هنگام که خورشید به‌پایان زندگی خود رسیده باشد، درزیر قشر ضخیم یخ ابدی که سطح خورشید مارا می‌پوشاند، اوضاع واحوال به‌قراری خواهدبود که شرح آن گذشت.

کوتوله‌های سفید

ممکن است خواننده بالهجهٔ شکالودی چنین بگوید: « این صورتی که شرح آن‌را بیان داشتید بسیار جالب توجه است، ولی گواه صحت این نظریه چیست؛ بجز ماشین زمان آقای **ه . ج . ولز**[2] هیچکس نمی‌تواند بلیونها سال زیست کند وشاهد صحت این پیشگویی باشد. ولی اگر

1. Chandrasekhar
2. H. G. Wells

خود بتوانیم خورشید مرده یا درحال احتضاری را به‌چشم ببینیم بهتر این گفته‌هارا باور خواهیم کرد. »

ما البته به‌هیچ‌وجه نمی‌توانیم حالت مرگ فعلی خورشید خودمان را به‌خواننده نشان دهیم ، و نیز امید آن نداریم که دیدن ستارگان مرده امکانپذیر باشد، زیرا چنین ستارگان هیچ نوری‌ازخود خارج نمی‌کنند؛ ولی می‌توانیم به‌اطراف خود نگاه کنیم و در میان ستارگانی‌که تمام ئیدروژن خودرا به‌مصرف رسانیده‌اند دنبال ستاره‌ای بگردیم که خرده خرده دارد به‌حال سکرات مرگ نزدیك می‌شود . به‌این‌ترتیب شواهد زیادی برای وجود ستارگانی ویران شده خواهیم یافت که هنوز به‌آخرین مرحلهٔ زندگی خود نرسیده و از راه انقباض تدریجی با انرژی ثقلی که آزاد می‌شود به‌زندگی خود ادامه می‌دهند. وسیلهٔ تشخیص چنین ستاره‌ها از ستارگان دیگر که هنوز زنده هستند دراین است که **نورانیت نسبتاً ضعیف دارند وشعاع آنها ازحدود متعارف بسیار کوچکتر است، و این خود نمایندهٔ چگالی زیاد آنها است** .

نخستین و برجسته‌ترین نمونهٔ این حالت مرگالودهٔ ستارگان ستارهٔ «مصاحب شعری» است. پیش‌ازاین دیدیم که ستارهٔ شعری یکی از ستارگان هنجاری است‌که دررشتهٔ اصلی جای دارد و درتمام خواص خود باخورشید ما شبیه‌است. اکنون خود ستارهٔ شعری مورد توجه ما نیست بلکه از ستارهٔ دیگری ۱۳،۰۰۰ بار ضعیفتر ازآن‌که همچون خاشاکی درچشم کلب اکبر است ودرنزدیك شعری جای دارد و برگرد آن می‌چرخد، بحث می‌کنیم. همین کمی نور و نزدیکی ستارهٔ شعری سبب آن بوده‌که این ستاره را تا سال ۱۸۶۲که **کلارك**[1] آن‌را کشف کرد کسی نشناخته باشد. نخستین دلیل وجود این‌ستاره ازراه مشاهدهٔ مسیر حرکت شعری به‌دست آمد، چه به‌جای آنکه این مسیر در میان ستاره‌های ثابت به‌شکل خط مستقیمی‌باشد ـ والبته هرکس نسبت‌به‌جرم آزادی‌که درحال حرکت باشد چنین انتظاری را دارد ـ این مسیر به

---

1 . Clark

صورت خط پیچ وتاب‌داری دیده می‌شد، و این خود علامت آن بود که جرم دیگری درحرکت آن مؤثراست وانحرافاتی درآن ایجادمی‌کند.

آنچه مایهٔ شگفتی منجمان‌شد این‌بودکه‌نوری‌که ازاین مصاحب تازه‌کشف شدهٔ شعری خارج می‌شد، به‌جای‌این‌که رنگ‌سرخ داشته‌باشد که‌متناسب‌با نورانیتهای‌ضعیف است، به‌شکل‌بسیار درخشانی سفیداست، واین خود نشان می‌دهد که درجهٔ حرارت سطحی این ستاره در حدود ۱۰،۰۰۰ درجه است . همین خاصیت تشعشعی کـه با نورانیت کلـی ضعیف ستارهٔ مصاحب شعری ترکیب شده بود سبب‌شد که این ستاره و ستاره‌های مشابه دیگری راکه پس‌ازآن کشف شده به‌نام **کوتوله‌های سفید** بنامند.

به‌آسانی می‌توان دریـافت که خصوصیات ستارهٔ مصاحب شعری با مطالب نظری که پیش‌ازاین در بارهٔ ستاره‌های در حال مرگ ذکر کردیم موافقت دارد. اگریك جرم فلکی باچنین درجهٔ حرارت سطحی زیاد (و بنابرآن خروج انرژی شدیدی ازواحد سطح آن) نورانیت مطلق بسیار کوچکی داشته باشد، باید چنین نتیجه بگیریم که ابعـاد هندسی آن درمقایسهٔ با ستارگان متعارفی بسیار کوچك است. از روی نورانیت کلی و درجهٔ حرارت سطحی مصاحب شعری به‌آسانی می‌توان تخمین‌کرد که وسعت سطح آن ۲۵۰۰بار وشعاع‌آن ۵۰بار کوچکتر از وسعت سطح وشعاع خورشید ماست.[۱]

---

۱ . اندازهٔ حقیقی شعـاع کوتولـه‌های سفید را عمـلا از روی درجهٔ حرارت سطحی‌آنها به‌دست نمی‌آورند، بلکه این‌کار با اندازه ـ گیری چیـزی که به‌نام **انتقال به طرف ناحیهٔ سرخ خطهای طیف** نامیده می‌شود وبا نظریه نسبیت **اینشتاین** درمـورد پوتانسیلهای ثقلی بلند پیشبینی شده به‌دست می‌آید. چون کوتوله‌های سفید جرم بزرگ وشعاع کوچك دارند، انتقال خطهای طیفشان قابل ملاحظه است و به آسانی اندازه گرفته می‌شود، واگرجرم معلوم باشد ازاین راه به‌راحتی شعاع‌کوکب‌را حساب می‌کنند. اندازه‌هایی‌که‌در این‌کتاب آمده منحصراً از همین‌راه حساب شده است.

از طرف دیگر جرم مصاحب شعری کـه از روی زمان دوران آن برگرد شعری تخمین می‌شود، تقریباً معادل‌جرم خورشید به‌دست می‌آید (۹۵ درصد آن) وبه‌این ترتیب **چگالی متوسط این ستاره به‌مقدارشگرف ۲۰۰،۰۰۰برابر چگالی آب بالغ می‌شود.** ازاین قرار همان گونه که نخستین بـار به‌وسیلهٔ **فولر**[1] بـه‌آن اشاره شده ، کوتوله‌های سفید در واقع حالت ویران شدهٔ ستارگان‌را نشان می‌دهند، و این همان چیزی است که ما پیش‌از این تنها باتوجه به‌نکات نظـری صرف پیشبینی کرده بودیم.

اگرجرم وشعاع مصاحب شعری را برروی منحنی نظری اجرام کوکبی ویران شده نقل‌کنیم (شکل ۴۵)، خواهیم دید که شعاع فعلی آن هنوز ۲ر۵ مرتبه ازشعاعی‌که درحالت نهایی‌خواهد داشت بزرگتر است. این‌واقعیت نشان‌می‌دهد که این‌کوتولهٔ سفیدخاص هنوزبه‌آخرین مرحلهٔ انقباض خود نرسیده، یا در اندازه گیری و تخمین فعلی شعاع آن لااقل به‌اندازهٔ یك ضریب دو اشتباه وخطا وجود دارد.

هنگام احتضار خورشید ما

شك نیست‌که‌پس‌ازچند بلیون سال‌که‌خورشید مراحل انحطاط خودراطی‌خواهدکرد، به‌همان صورتی‌دیده خواهد شدکه اکنون مصاحب شعری به‌آن‌صورت دیده می‌شود. درآن‌زمان بسیار دور قطر ظـاهری خورشید از زمین تقریباً به‌اندازهٔ قطر ظاهری‌فعلی مشتری خواهدشد، بدان‌سان کـه شخص‌ناظر نادانی درآن زمان خورشید را همچون ستارهٔ دور درخشانی تصور خواهدکرد.

با وجود این قطر ظاهری‌کوچك « ستارهٔ خورشید » نور آن هنوز به‌صورت قابل ملاحظه‌ای ازهرستارهٔ دیگر آسمان بیشتر خواهد بود. نوری که در هنگام نیمـروز از چنان خورشیدی به‌زمـین می‌رسد ۱۰۰۰ بار بزرگتر ازنوری خواهد بودکه با ماه تمام به‌زمین می‌تابد، ولی خود ماه به‌اندازه‌ای کـم نور می‌شود که شاید دیدن آن امکانپذیر

---

1. R. H. Fowler

نباشد. درجهٔ حرارت زمین تا ۲۰۰ درجه زیر نقطهٔ یخ بستن آب تنزل خواهدکرد (۳۲۸ ـ فارنهایت) وهرنوع زندگی برسطح زمین غیر ممکن خواهدشد. ولی ازاین سردی وتاریکی‌هیچ باکی‌نیست، چه همان‌گونه که درفصل ۵ دیدیم مدتها پیش از آنکه چنین روزی پیش بیاید ومدتها پیش‌ازانکه آخرین انقباض خورشید آغاز شود، درنتیجهٔ افزایش فعالیت خورشید هرچه 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 دربارهٔ آنها بحث کردیم ، از لحاظ مقایسهٔ بازندگی آدمی به‌اندازه‌ای کند پیش می‌رود که لااقل چند ملیون سال لازم است تاچنین تغییرات به‌صورتی درآید که‌قابل ملاحظه شود. بنابراین حتی درمورد خورشید خودما ـ وگرم شدن تدریجی‌وانقباض بعدی آن که سبب نهایت درجهٔ نورانیت می‌شود ـ این تغییرات طوری‌است که برای ساکنان زمین‌تنها از جنبه نظری محض جلب‌توجه می‌کند. ولی مشاهدهٔ آسمان حوادثی را نشان می‌دهدکه جنبهٔ فاجعه‌ای وناگهانی دارد، وتغییر کامل اوضاع واحوال یك ستاره را درمدت کوتاه چند روز وحتی چندساعت نشان می‌دهد .

بدون دلیل وعلامت قبلی **ممکن‌است ستاره‌ای ناگهان‌چنان**

درخشندگی پیداکند که روشنی آن چندصدهزار وگاهی چند بلیون برابر روشنی عادی‌آن شود. ستاره‌ای که پیش‌ازاین انفجار بسیار ضعیف وغیر قابل ملاحظه است ، ناگهان یکی از درخشنده‌ترین ستارگان آسمان می‌شود وتوجه منجمان وموهوم پرستان را به‌خودجلب می‌کند. ولی این شدت نورانیت زمان درازی درنگ نمی‌کند، و پس‌از آنکه ستارهٔ منفجرشده به‌سرعت به‌بزرگترین درخشندگی خود رسید، به‌تدریج روبه‌خاموش شدن می‌رود و درظرف مدت یك‌سال به‌حال‌عادی خود باز می‌گردد.

پیش‌ازانکه تلسکوپ اختراع شود، از لحاظ آنکه نور چنین ستارگانی به‌اندازه‌ای ضعیف است که باچشم تنها دیده نمی‌شوند، وضع چنان نبود که‌حالت ابتدایی این گونه‌ستارگان بتواند مورد مطالعه قرار گیرد، وبه‌همین‌جهت بوده است که این‌گونه ستارگان‌را به‌نام **نواختر**[1] که تاحدی گمراه کننده است نامیده‌اند . در تاریخ از چند نمونه از نواختران بسیار درخشنده ذکری به‌میان آمده است و بسیار احتمال دارد که « ستارهٔ بیت‌اللحم » نماینده یکی از این فاجعه‌های جهانی بوده باشد.

در زمان نزدیکتر به‌ما انفجار درخشانی در ماه نوامبر **۱۵۷۲** به‌وسیلهٔ منجم معروف دانمارکی **توکوبرائه**[2] مشاهده شده است، واین ستاره را در مرحلهٔ نهایت درخشندگی آن حتی به‌روزهم می‌توانستند ببینند. کمی پس‌ازآن نواختردرخشان دیگری درسال **۱۶۰۴** مشاهده شد که نام‌آن همراه با نام **یوهان‌کپلر**[3] مکتشف‌قانون حرکت سیارات است. پس‌ازاین دو انفجار درخشان آسمانی‌که نام دو نفر از مردان را درتاریخ نجوم به‌خاطر می‌آورد، آسمان به‌صورت نسبی‌آرام وبی‌انفجار ماند تا آنکه به‌سال **۱۹۱۸** نواختری با درخشندگی فراوان مشاهده شد که روشنی آن حتی از روشنی ستارهٔ شعرای یمانی‌هم بیشتر بود؛

---

1 . Novae
2 . Tycho Brahe
3 . Johann Kepler

این نواختر درصورت فلکی عقاب جای‌داشت ونخستین کوکبی ازاین قسم است که باجدیدترین وسایل رصدی زمان حاضر دربارهٔ آن‌تحقیق شده (صفحهٔ تصویر VIII ـ الف پایان کتاب) .

واضح است‌که ازاین نواختران قابل مشاهده گذشته ناچار عدهٔ زیادی انفجارهای آسمانی صورت می‌گیرد که به‌علت دوری زیادی که از ما دارند نور ضعیف آنها چنان نیست که باچشم دیده شود. تحقیقات منظمی که در زمان حاضر به‌وسیلهٔ عکسبرداری ازآسمان صورت می‌گیرد نشان می‌دهد که سالانه درمیان ستارگان منظومهٔ کواکب خود ما لااقل بیست انفجار از این‌قبیل صورت می‌گیرد.

طبقه‌بندی انفجارهای کوکبی

پیش‌از این دیدیم‌که نو اختران ازلحاظ درخشندگی ظاهری‌با یکدیگر تفاوت‌فراوان دارند، وبعضی ازآنها به‌اندازه‌ای هستند که‌روز روشن هم درآسمان دیده می‌شوند، درصورتی‌که بعضی دیگررا تنها با دوربینهای‌آسمانی می‌توان دید. قسمت عمدهٔ این‌اختلاف نتیجهٔاختلاف فاصله‌ای است که میان ما واین ستارگان منفجر شونده وجود دارد، و چون تصحیحی را که ازلحاظ فاصله لازم است درنظر بگیریم، تقریباً نورانیت آنها نزدیك به‌یکدیگر می‌شود و این نورانیت به‌طور متوسط در حدود ۲۰۰،۰۰۰ برابر نورانیت خورشید است.

با وجود این باید دانست که حالتهای استثنایی مانند ستارگان بیت‌اللحم یا **توکوبرائه** ازاین حدود بیرون است وآنها نورانیت بسیار عظیمتری داشته اند. مطالعه تمام حالات استثنایی تاریخی نواختران بسیار درخشنده سبب آن شده است که دونفر منجم به‌نامهای **باده** و **تسویکی**[1] به‌این نتیجه برسند که درمورد این دسته ازستارگان سروکار ما با **نوع خاص ومتفاوتی ازانفجارهای‌کوکبی** است، و این طبقه از ستارگان را به‌نام **فوق نواختر**[2] نامیده‌اند. حداعلای نورانیت فوق

---

1. W . Baade; F. Zwicky
2. Supernovae

نواختران به‌طور متوسط ۱۰،۰۰۰ برابر نورانیت نواختران عادی **و این نورانیت چند بلیون برابر نورانیت خورشید ما است** . به احتمال قوی بیشتر نواختران تاریخی درضمن همین طبقه جای دارند، وستارهٔ **کپلر** سال **۱۶۰۴** ظاهراً آخرین انفجار ازاین نوع‌است که‌در منظومهٔ کوکبی ما صورت‌گرفته.[۱]

تسویکی و باده همچنین از روی اطلاعات تاریخی چنین‌نتیجه گرفتند که **احتمال ظهور فوق نو اختر درمنظومهٔ کوکبی ما در حدود یك ستاره برای هرسه**قرن از زمان‌است. در طول مدت **۳۶۰** سال‌که ما رااز آخرین «فوق‌انفجار» جدا می‌کند، دیگر فاجعهٔ انفجاری مشابهی درمنظومه کوکبی ما مشاهده نشده، وباید به‌خود وعده بدهیم که نجوم جدید بتواند در سالهای آینده شاهد نمـود آسمانی دیگـری شبیه ظهور ستارهٔ بیت‌اللحم یا ستارهٔ **توکوبرائه** یا ستارهٔ **کپلر**باشد.

ممکن است خواننده پیش خود بگوید که: «روزگار چه‌شوخی بدی‌بامنجمان می‌کندکه فوق‌نواختران این‌اندازه به‌ندرت‌ظاهر می‌شوند، وشخص باید قرنها انتظار بکشد تاچنین نمودی‌را درآسمان تماشا کند. لابد باید دوهزار سال بگذرد تا ازمشاهداتی‌که از این انفجارات صورت می‌گیرد بتوانند چیز قابل توجهی به‌دست‌آورند!»

ولی خواننده باید بداند که وضع به‌این بـدی که خیال می‌کند نیست. همان‌گونه که درفصلهای آینده خواهیم دید منظومهٔ کوکبی ما که درحدود ۴۰ بلیون ستاره داردتنهامنظومهٔ این‌جهان بینهایت‌نیست. درفواصل بسیار بسیار دورتر ازفاصله‌ای‌که مارا از دورترین ستاره‌های منظومهٔ کوکبی‌خود ما جدا می‌کند، رصدهای‌نجومی‌وجود مجموعه‌هایی از ستارگان را نشان داده است که درفضای وسیع جهان‌آزادانه حرکت می‌کنند. این منظومه‌های کوکبی دور از زمین تنها به‌صورت ابرهای کم‌نوری به‌شکل کره یا بیضی دیده می‌شود، و منجمان آنها را به‌نـام

---

۱. نواختر عقاب ۱۹۱۸ نواختری هنجاری و نورانیت مرئی زیاد آن نتیجهٔ آن بوده‌که درفاصلهٔ نسبتاً کوتاهی اززمین قرار گرفته است .

سحابیهای خارج کهکشان[1] نامیده‌اند، و نویسندگانی که برای تودهٔ مردم کتاب می‌نویسند نام شایسته‌تر «جهانهای جزیره‌ای» را به آنها داده‌اند. از چند هزار از این منظومه‌های کوکبی بسیار دور که شبیه بمنظومهٔکوکبی کهکشان خود ما هستند تاکنون‌فهرست‌برداری‌کرده‌اند ودوربینهای‌بسیارقوی هنوزهم عدهٔ زیادتری ازاین «جهانهای‌جزیره‌ای» را درگوشه‌های‌دورتر جهان‌آشکار می‌سازند. **تسویکی** درضمن بازرسی فهرست سحابیهای خارج‌کهکشان پیش خود چنین اندیشید که اگراین مجموعه‌های‌اختری واقعاً بامنظومهٔ اختری خود ما شباهت دارند، ناچار باید نمود فوق نواختری نیز درآنها قابل مشاهده باشد، واگر درظرف مدت هر ۳۰۰ سال یك‌انفجار نو اختری صورت گیرد، ناچار پیش از آنکه تعطیلات تابستانی شروع شود فرصت آن‌را خواهیم‌داشت که یك چنین انفجاری را درآسمان تماشاکنیم.

دکتر تسویکی درضمن‌بازرسی فهرست سحابیهای‌خارج‌کهکشان چند صدتای‌آنها را که درمحلهای مناسبتری جای داشتند انتخاب کرد وهرشب ازآنها عکس برداشت وبه‌مطالعهٔ آنها اشتغال ورزید. درظرف مدت دوماه برای سحابیهایی که مورد مطالعهٔ وی بود هیچ تغییری‌پیش نیامد، ولی شب ۱۶ فوریه ۱۹۳۷ درخشندگی شدیدی دریکی‌از آنها مشاهده شد. درست معلوم نیست ـ مگرآنکه اثبات شود ـ که‌آیا دکتر تسویکی پس ازمشاهدهٔ اولین فوق نو اختر خود به‌شیوهٔ مردم‌همشهری خویش مشغول خواندن آوازهای محلی شده است یانه!

این‌درست‌یك فوق نو اختر ونمایندهٔ انفجاری‌بودکه درسحابی‌به

---

۱. استعمال نام «سحابی» یا «ابری» برای این اجرام فلکی مربوط به‌روزگاری است که آنها را شبیه سحابیهای حقیقی تصور می‌کردند وچنان می‌پنداشتند که عبارت ازگازهای نورانی حقیقی است که فضای میان ستارگان منظومهٔ اختری‌خود مارا اشغال می‌کند (صفحهٔ تصویر XI پایان‌کتاب‌دیده‌شود). اکنون بدون‌شك‌این‌نکته معین است‌که سحابیهای خارج کهکشان مجموعه‌ای از بلیونها ستاره است که‌از دور به‌این صورت‌دیده 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 بسیار پیش از آنکه تسویکی به تحقیقات خود آغاز کند وحتی پیش ازانکه فرزندآدم برروی کرهٔ زمین ظاهر شود واقع شده بود . نور برای پیمودن فاصلهٔ میان آن سحابی و زمین ۴ ملیون سال وقت می‌خواهد، ودر 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 صفحهٔ عکسی که برداشته بود بگذارد و کلیشهٔ آن در **نشریهٔ 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 شده‌است (صفحهٔ تصویر VIII- ب پایان کتاب دیده شود).

اندازهٔ احتمال منفجر شدن خورشید

هنگامی که می‌بینیم ستاره‌ای که کاملا آرام وغیرقابل توجه است وبه‌هیچ وجه تمایزی بابلیونها ستارهٔ دیگر ندارد ، ناگهان در ظرف مدت چندساعت دچار انفجار وحشتناکی می‌شود، ناچاراین فکرناراحت کننده به‌خاطر ما می‌رسدکه: آیا ممکن است خورشید ماامروز یافردا یاسال دیگر چنین بلایی به‌سرما بیاورد؟ اگریك روز شومی راخورشید برای نو اختر شدن انتخاب کند، درآن روز زمین (ونیز همهٔ سیارات دیگر) یکباره به‌صورت گاز رقیقی‌درخواهندآمد، واین‌حادثه باچنان سرعتی پیش‌خواهدآمد که هیچ‌کس حتی فرصت آنرا نخواهد کرد تا بفهمد که‌چه پیشامدی رخ‌داده است. تنها اگربرمنظومهٔ سیاره‌ای‌وابسته به‌ستارهٔ دوردستی منجمی وجود داشته باشد، ممکن است به‌وسیله‌ای‌از ظهور نواختر جدیدی آگاه شود ، و شاید به‌مطالعهٔ طیف این نواختر بپردازد. ولی پیش‌از آنکه چنین تجربهٔ دردناکی پیش‌آید، بهتر آن است که در بارهٔ درجهٔ احتمال وقوع آن بحث کنیم و ببینیم که آیا

می‌شود ازپیش تاریخ حدوث چنین فاجعه‌ای را پیشگویی کرد یانه.[1]

درآغاز کار باید چنان بپذیریم که **احتمال اینکه خورشیدما روزی حالت نواختر عادی پیدا کند بسیارکم است.** چه‌همان‌گونه که دیدیم سالانه بیست ستاره از منظومهٔ اختری ما منفجر می‌شود ، و چون جهان ما در حدود دو بلیون سال عمر دارد (فصل ۱۲) چنان نتیجه می‌شود که در این‌مدت ۴۰ بلیون ستاره منفجر شده است (مگر آنکه چنان فرض‌کنیم که‌انفجار در زمان حاضر بیشترصورت می‌گیرد واین خود احتمالی است که بعید به‌نظر می‌رسد.) ازطرف‌دیگر همان گونه که در فصلهای آینده خواهیم دید، منظومهٔ اختری ما بیش ۴۰ بلیون ستاره ندارد. از این مقدمه چنین نتیجه می‌گیریم که هرکوکبی عملا لااقل یك‌بار در طول حیات خود انفجار پیدا می‌کند. ولی شانس انفجار خورشید **در ظرف مدت چندسال آینده** بـرنسبت یك به‌چند بلیون‌است، بدانسان که احتمال چنین‌انفجاری مانند هر حادثهٔ‌نامطبوع دیگری‌که امکان پیش‌آمدن‌آن برای بشریت باشد بسیارکم خواهد شد

نیز هرستاره درطول عمر خود تنها یك‌بار شانس منفجر شدن را دارد. ازکجا که خورشیدما درگذشتهٔ بسیار دور دچار چنین‌انفجاری نشده باشد؛ جواب این پرسش را نمی‌توان داد مگرآنکه قبلااطلاعات روشنتری دربارهٔ ماهیت فیزیکی چنین فاجعه داشته باشیم .

یك ضرب‌المثل روسی می‌گوید که: «اگر بایـد بمیری باشکوه بمیر» وبه‌همین جهت باید آرزومند باشیم که اگر خورشید ما بنااست منفجر شود این انفجار به صورت نـواختر نباشد بلکه حـالت فـوق نواختری پیدا کند. البته این امـر برای ما تفاوتی ندارد، ولی برای کسانی‌که ازخارج منظومهٔ شمسی ناظر این‌حادثه‌هستند منظرهٔ زیباتری خواهد داشت. باوجود این باید دانست که انتظار حالت فوق نواختری برای خورشید داشتن انتظار زیادی است. نمود فوق نو اختری بسیار

---

۱. البته چنین پیشگویی هیچ‌گونه‌ای‌فایده ندارد، مگر اینکه راهی‌پیدا شود وبتوانند مدتها پیش‌ازحدوث چنین‌پیشامدی زمین‌را از منظومهٔ شمسی جدا سازند وبه‌نقطهٔ دیگری ازجهان روانه‌کنند.

نادر است وتنها ستارگان برگزیده‌ای‌دارای آن مزیت هستند که چنین آتش‌بازی‌باشکوه‌فلکی‌بر آنهاصورت‌بگیرد. همان‌گونه‌که‌پس‌ازاین‌خواهیم دید فوق‌انفجار به‌احتمال‌قوی در مورد ستارگان بزرگتر و سنگینتر از خورشید ما قابل وقوع‌است، بدانسان‌که‌ما بایدتنها به‌این‌خشنودباشیم‌که پایان‌کار ما به صورت نواخترنستباً غیرقابل توجهی به جهان اعلام شود.

حالت پیش از نواختری ستارگان

یکی‌از روشهای بسیار مستقیم‌برای اکتشاف اینکه آیاخورشید ما در زمان حاضر **حالت پیش از انفجار** را دارد، این است که خصوصیات آن‌را باخصوصیات‌ستارگان دیگری که نزدیك نواختر شدن هستند مقایسه‌کنیم. باچنین‌مقایسه‌ای ممکن است حتی پاره‌ای ازظواهر ستارگانی که درحال آمادگی برای ترکیدن هستند آشکار شود، وفقدان چنین ظواهری درخورشید ضامن‌آن‌خواهد بود که این نیرفلکی‌برای مدت نسبتاً طولانی حالت پایداری خودرا حفظ خواهدکرد.

متأسفانه باید گفت که درحال‌حاضر اطلاعات ما دربارهٔ مراحل پیش از نو اختری ستارگانی‌که منفجر می‌شوند بسیارکم است. درمورد پاره‌ای از نواختران که درخشندگی بیشتری داشته‌اند مطالعهٔ عکسهای قدیمی که ازناحیهٔ مربوط به‌آن نواختر درآسمان‌پیش ازظهور نواختر برداشته شده، درست در همان محلی که بعدها نواختر ظاهر گردیده ستارهٔ کم‌نوری را نشان داده است. ونیز باتخمین فاصله توانسته‌اند نتیجه بگیرندکه دربعضی ازحالات این‌مرحلهٔ‌پیش از نواختری‌نورانیتی در حدود نورانیت خورشید ما داشته، و در حالات دیگر این نورانیت بیشتر یاکمتر بوده است، ولی‌چون کسی نمی‌دانسته است که فلان‌ستاره درشرف‌آن است که به‌مرحلهٔ‌نواختری برسد ومنفجر شود، هرگزطیف وسایر خواص چنین‌ستارگان‌به‌تفصیل مورد مطالعه قرار نگرفته است.

تنها در نواخترصورت فلکی عقاب که‌به‌سال ۱۹۱۸ درآسمان شمالی منفجر شد، برحسب تصادف طیف آن پیش از انفجار برداشته شده بود. از روی همان طیف معلوم شد که آن ستاره درحالت پیش‌از انفجار اختلاف مهمی با دیگر ستارگان رشتهٔ اصلی نداشته، وحقیقت

امر چنان است که نورانیت مطلق و خصوصیات طیفی آن ستاره بسیار باخورشید شبیه بوده است. آیا ازاینجا می‌توان چنین نتیجه گرفت‌که خورشید ما نیز در آینده‌ای که چندان دور نیست منفجر خواهد شد؟ درجواب باید گفت‌که البته‌چنین مطلبی ضروری نیست. قبل ازهرچیز باید متوجه این امر بود که «آینده‌ای که چندان دور نیست» بامقیاس زمان نجومی خود به معنی ملیونها سال است، واز طرف دیگر ملیونها ستاره هست که همین‌خصوصیات را داشته‌اند ودارند ومنفجر نشده‌اند.

آنچه ظاهر است اینکه آمادگی برای انفجار چندان تغییراتی درخواص سطحی‌ستارگان ایجادنمی‌کند، واگر دگرگونیهای دقیقی‌وجود داشته باشد چنان است که‌از میدان ملاحظه وتشخیص ما برکنار است. مثال نواختر عقاب ۱۹۱۸ تنها این مطلب‌را به‌ما می‌گوید که ستاره نبایستی حتماً مشخصات خارجی غیر متعارفی‌داشته باشد تاقابلیت‌انفجار پیدا کند. ستارگانی که‌ظاهربسیار هنجاری‌ومتعارفی دارند، ممکن‌است درصورتی که‌سرنوشت نواخترشدن داشته باشند درمعرض انفجارمدهش وشگرفی قرار گیرند.

به‌این‌مطلب باید اشاره کنیم که ملاحظهٔ مرحلهٔ پیش از انفجار ستارگانی‌که به حالت فوق نواختری‌درمی‌آیند دشواری فراوانتری‌دارد. در واقع ازچند انفجار تاریخی‌گذشته باقی‌ستارگانی‌که ازاین‌قبیل‌هستند به‌اندازه‌ای ازما دورند که‌در محل‌آنها تشخیص یك‌ستاره به‌تنهایی‌امکان ندارد. فقط چون ستاره‌ای‌که به‌حالت فوق نواختری‌درآمده به‌منتهای روشنی خود برسد، ممکن است در آن جهان دور قابل رؤیت شود، و این ازان جهت است که پرتوی که‌از چنان انفجاری حاصل می‌شود در بعضی ازحالات ازپرتوکلی که ازبلیونها ستاره برمی‌خیزد که‌منظومه‌ای را می‌سازند (وفوق نواختر ملاحظه شده‌هم‌یکی‌ازآنهاست) بیشتراست.[۱]

---

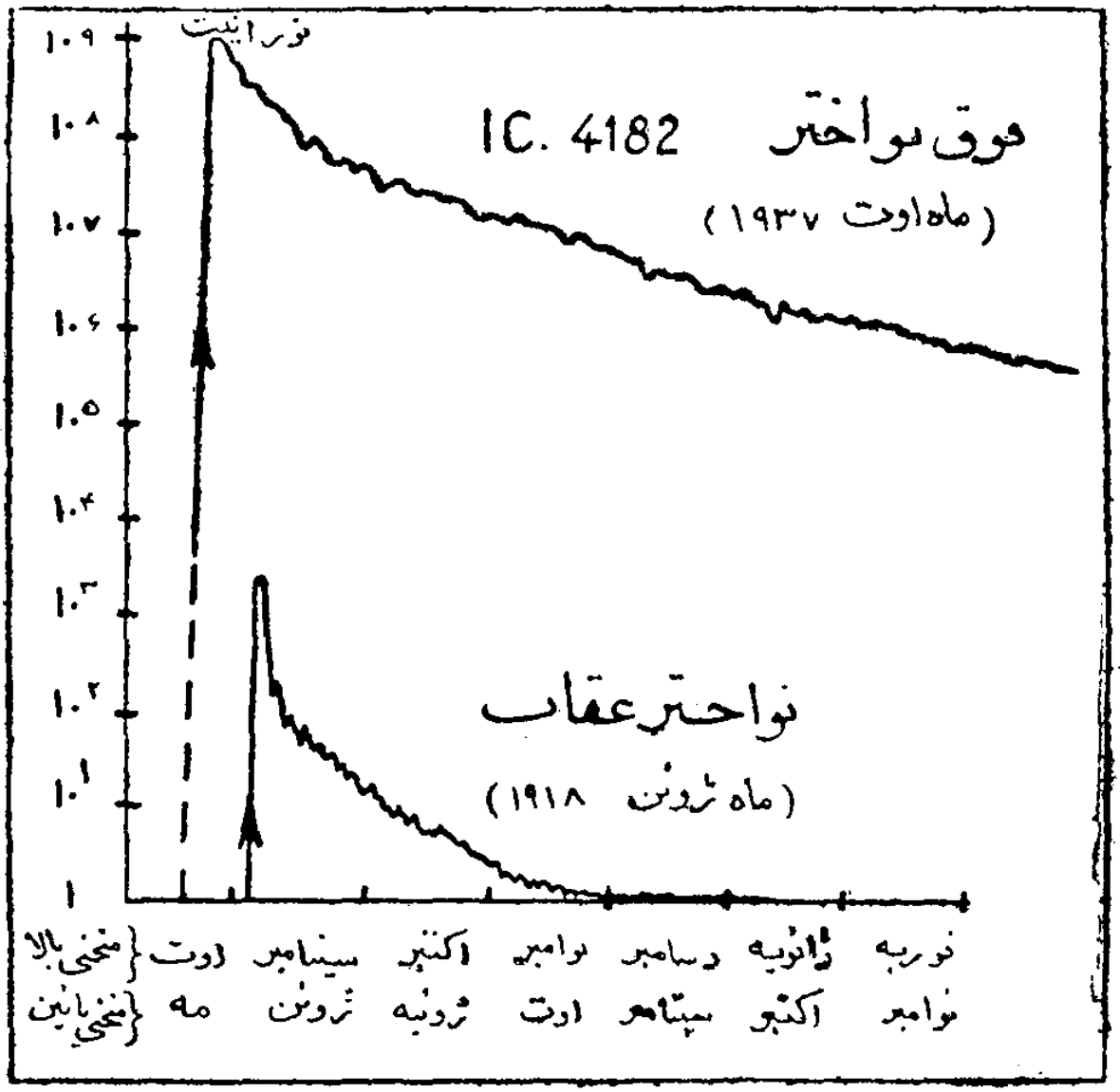
۱. درواقع‌چون فوق نواخترها بلیونها بار نورانیتر ازستارگان متعارفی هستند، وازطرف‌دیگر سحابیهای خارج کهکشان بلیونهاستاره درخود دارند، ناچار ظهور فوق نواختردر این‌کهکشانها سبب‌آن‌خواهد شدکه نور کلی سحابی‌دوبرابر شود.

کیفیت انفجار

همان‌گونه کـه پیش از این ذکر شد، مهمتـرین تجلی خارجی انفجار نواختری در این است‌که نورانیت آن به‌صورت شگرفی درمدت کوتاهی زیاد می‌شود، وپس‌ازآن رفته رفته‌این نورانیت‌تنزل پیدا می‌کند تا به‌مقدار اصلی خود باز گردد. درشکل (۴۶) منحنی تغییرات نورانیت نواختر عقاب۱۹۱۸ را که پیش‌ازاین دربارهٔ آن‌سخن‌گفتیم، وهمچنین منحنی تغییرات نورانیت فوق نواختری راکه درسحابی‌خارج ازکهکشان به‌نام 1.C. 4182 قرار دارد ترسیم‌کرده‌ایم (تصویر این سحابی‌اخیررا درصفحهٔ تصویر VIII ـ ب پایان‌کتاب آورده‌ایم.) چنان که دیده می‌شود این دومنحنی از دامنهٔ تغییرات گذشته بسیار شبیه به یکدیگرند، یعنی‌نورانیت هردوی آنها بشکل سریعی بالا می‌رود وتنزل آن صورت‌کند ونامنظمی دارد.

خصوصیات مهم دیگری که هنگـام انفجار تغییر پیدا می‌کند عبارت است ازدرجهٔ حرارت سطحی وطیف ستاره. دران‌صورت که‌همهٔ ستارگان ظاهراً پیش‌از حالت نواختری طیفی هنجاری‌دارند که‌دریکی ازطبقات‌طیفی هاروارد قرار می‌گیرد، درحین‌انفجار این‌طیف کاملاتغییر پیدا می‌کند واگر درجهٔ حرارتی درحدود ملیون‌هارانشان ندهد، لااقل صدهاهزاررا نشان خواهدداد. ولی تحقیق درطیف انفجاری یك‌کیفیت جالب توجه دیگررا نیز آشکار می‌سازد. خطهای درخشانی که‌درطیف نواختراست نشان می‌دهد که‌این خطها به‌شکل خصوصی به‌طرف ناحیهٔ بنفش انتقال پیداکرده، واین‌خود علامت آن‌است که‌یك قشرگازی که درضمن عمل انفجار تشکیل شده دراطراف نواختر به‌صورت سریعی به حالت انبساط درآمده است.

درمورد نواختر عقاب ۱۹۱۸ که‌بهتراز همه مطالعه وتحقیق شده، سرعت انبساط این قشر گازی‌را درحدود ۲،۰۰۰ کیلومتر در ساعت تخمین زده‌اند و شش مـاه پس از انـفجار توانستند که آن را درتلسکوپ مستقیماً مشاهده کنند. قطرجسم ابرمانندکم‌نور سبزرنگی که‌ستاره‌را احاطه کرده اکنون به‌میزان دوثانیهٔ زاویه‌ای در هرسال رو



شکل ۴۶

تغییرات نورانیت یك‌نواختر ویك‌فوق نواختر. نورانیتها را بامقیاس نورانیت خورشید [= ۱] رسم‌کرده‌ایم.

به‌ازدیاد است، واگر سرعت به‌حال‌خود باقی بماند وقشر گازی باطول زمان خاموش نشود، درحدود یك هزارسال دیگر قطر ظاهری‌آن به اندازهٔ قطرظاهری ماه خواهدشد.

گاهگاهی رصدهای نجومی وجود عدهٔ زیادی ازستارگان داغ‌و درخشنده را نشان داده که‌اطراف آنها‌را غلاف گازی ضخیمی احاطه کرده‌است. این مسئله که‌آیا آن‌چه اکنون به‌نام **سحابیهای سیاره‌ای** می‌نامند (واین‌نیز خود نام بیمناسبتی است!) در واقع آخرین مراحل

تکامل یك‌نواختر است، مسئله‌ای است که‌هنوز جواب‌آن‌را نتوانسته‌اند پیداکنند (صفحهٔ تصویر IX پایان کتاب‌دیده‌شود.)

پیش‌ازان که‌به‌حالت سحابی‌گازی[1] موجود درصورت فلکی ثور که‌به‌علت‌شکل ظاهری‌آن به‌نام«سحابی خرچنگی» نامیده می‌شود اشاره کنیم، نباید ازاین مرحله ازبحث‌خود پیشتر رویم. این‌سحابی هم‌اکنون باسرعت ۱۸ر۰ ثانیهٔ زاویه‌ای درهرسال بزرگ‌می‌شود، وازاینجا می‌توانیم نتیجه بگیریم که انبساط آن از۸تا۹ قرن پیش‌ازاین آغاز شده است. آیا این‌جرم گازی که‌سحابی خرچنگی صورت‌ثوررا نشان‌می‌دهد ازانفجار نواختری حاصل شده، یابنا برانچه شدت حادثه نشان می‌دهد ازفوق نواختری است که‌درهمان زمان ظهور کرده است؛ مطالعه در کتابهای خطی چینی قرن یازدهم نشان می‌دهد که دران زمان انفجار درخشانی تقریباً درهمان محلی که ما اکنون سحابی عجیب را می‌بینیم به‌سال ۱۰۵۴ میلادی دیده شده است. به‌این‌ترتیب تقریباً شکی‌نمی‌ماند که‌سحابی خرچنگی نتیجهٔ انفجار فوق‌نواختری است که۹۱۰سال پیش ازاین درآسمان مشاهده شده.

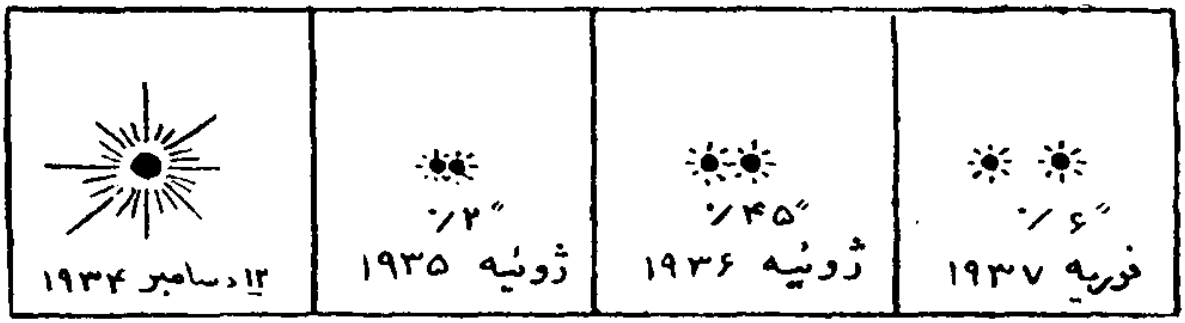
نمونهٔ جالب توجه‌دیگری بامشاهدهٔ آنچه‌به‌نام «سحابی رشته‌ای» نامیده‌شده ودرصورت فلکی دجاجه(صفحهٔ تصویرXپایان کتاب) وجود داردبه‌دست‌می‌آید. این سحابی به شکل قوسی‌از دایره‌است و با بعضی‌از سحابیهای‌همشکل‌دیگر تقریباًحلقهٔ‌منظمی‌را می‌سازد که‌قطرظاهری‌آن۲ درجه‌است(چهاربرابرقطرظاهری‌ماه). سحابیهایی‌که این‌حلقه‌رامی‌سازند ازمرکز مشترك‌خود باسرعت زاویه‌ای۰٫۰۵ ثانیه درسال دورمی‌شوند، به‌طوری که‌باید گفت این انبساط از ۱۰۰،۰۰۰ سال پیش آغاز شده است. به‌احتمال قوی این‌نیز باید نتیجهٔ انفجار یك‌فوق نواختری بوده باشد، ولی متأسفانه درسال ۱۰۰،۰۰۰ پیش از میلاد هیچ منجم حتی

---

۱. یك‌باردیگر به‌خاطر خواننده‌می‌آوریم که«سحابیهای‌خارج کهکشانی» ازستارگان‌ساخته شده و«سحابیهای گازی» بسیارکوچکتری که درمنظومهٔ اختری مشاهده می‌شود علی‌رغم شباهت اسمی که با آن سحابیها دارند، کاملا چیز دیگری هستند.

درچین هم نبوده است تاظهور چنین ستارهٔ جدیدی را در تـاریخ ثبت کند.

رصدهای جدید**کویپر**[1] دررصدخانهٔ یرکز نشان داده است که «ساختن حلقه‌های دود» نتیجهٔ منحصر به انفجار ستارگان نیست. دران هنگام که‌به‌سال ۱۹۳۴ نواختر صورت فلکی الجاثي علی رکبتیه چند سال‌پس‌از ظهور آن درتلسکوپ مشاهده شد، معلوم‌گردید که‌این‌ستاره به‌احتمال قوی‌درنتیجهٔ شدت انفجار به‌دونیمه‌تقسیم‌شده‌است. این‌دونیمه اکنون باسرعت ۰ر۲۵ ثانیه درسال از یکدیگر دور می‌شوند ودرسال



شکل۴۷

جدا شدن تدریجی دوپاره‌ای که‌از انفجار نواختر جاثی در۱۲ دسامبر ۱۹۳۴ تولید شده.

۹۱۳۰ میلادی فاصلهٔ آنها به‌اندازهٔ قطر ظاهری مـاه (۰ر۵ درجه) خواهد شد. برروی شکل (۴۷) فاصلهٔ نسبی دوپارهٔ این انفجاراختری را نشان داده‌ایم.

چه‌چیز سبب انفجار ستارگان می‌شود

آیاچه‌کیفیت فیزیکی سبب آن می‌شود تاستارگانی که ظـاهراً عادی وهنجاری به‌نظر می‌رسندمنفجر شوند؟ باید اعتراف کنیم که در زمان‌حاضر چیزی ازاین‌بابت نمی‌دانیم، وتنهامی‌توانیم شرایط مختلفی راکه‌ممکن است‌مسئول این‌حوادث فاجعه‌آمیزباشد مورد تحقیق‌ومطالعه قرار دهیم.

1.G.P. Kuiper

کهنه‌ترین وشاید ساده‌ترین‌فرض آن‌باشد که‌این‌حادثه را نتیجهٔ **علتی خارجی** بدانیم، ازقبیل اینکه ستاره در ضمن راه خود درفضا بامانعی‌برخورد کند واین انفجار حادث‌شود. باوجود این‌باید دانست‌که چون ستارگان درفضا بی‌اندازه حالت پراکندگی دارند، احتمال تصادم میان آنها بسیار کم است، ودرواقع ازروی محاسباتی که شده چنین به دست‌آمده است که‌درظرف مدت ۲بلیون سال‌گذشته‌تنها دویاسه‌برخورد درمنظومهٔ اختری ما اتفاق افتاده است.

ولی می‌دانیم که‌فضای میان ستارگان محتوی مواد فراوان‌رقیقی است که‌پس‌از ساخته شدن افراد ستارگان برجای مانده است. این‌ابر-های بین ستارگان‌که‌به‌نام **سحابیهای گازی وغباری** شناخته شده‌اند، غالباً به‌وسیلهٔ نور ستارگان مجاور روشن می‌شوند و به شکل ابرهای غولپیکر روشنی‌درمی‌آیند که‌شکل نامنظم وشگفت‌انگیز دارند(صفحهٔ تصویرXIپایان‌کتاب‌دیده‌شود). درحالات دیگراین‌سحابیها تاریك‌هستند (صفحهٔ تصویرXIIپایان‌کتاب)وتنها ازراه اینکه ستاره‌هایی را که‌پشت سرآنهاقراردارندتاریك‌می‌کنندبه‌وجودآنهاپی‌می‌برند. دوسوراخ‌تاریکی که‌درکهکشان دیده می‌شود ودریانوردانی که ذوق نجومی دارند آنهارا به‌نام «جوال‌زغال» نامیده‌اند، نمونه‌هایی ازهمین سحابیهای تاریك به شمار می‌رود.

چون ستاره‌ای که‌باسرعت فراوان ازفضاعبور می‌کند واردچنین ابری ازمواد رقیق شود، بانور زیادی منفجر خواهد شد، همان‌گونه‌که احجار آسمانی چون وارد جو زمین شود نورانیت شدید پیدا می‌کند. درواقع انرژی جنبشی حرکت ستارگان چون به حرارت مبدل شود به آسانی می‌تواند سبب تابش‌شدیدی باشد که‌مشخص نواختران در دورهٔ نورانیت زیادآنهااست. مثلا اگرحرکت خورشیدما (که‌سرعت فعلی‌آن ۱۹ کیلومتر درثانیه‌است) درنتیجهٔ مالش‌باابری گازی سرعتش نصف شود، انرژی جنبشی آزاد شده‌آن اندازه‌خواهدبود که‌می‌تواند نورانیت آن‌را برای مدت چندهفته یك‌ملیون مرتبه بزرگ‌کند.

این‌فرضیه باوجود سادگیی که‌دارد ازلحاظ توجیه شباهت قابل توجهی‌که درانفجار همهٔ نواختران دیده‌می‌شود، مارا بادشواریهای‌جدی

روبه‌رو می‌کند. چه از لحاظ آنکه سحابیهای گازی که ممکن است ستارگان مختلف باآنها برخورد کنند، به اندازه‌ای از حیث بزرگی و شکل بایکدیگر تفاوت‌دارند که‌نمی‌توان گفت چرا نتیجهٔ برخوردباهمهٔ آنها به‌یك‌صورت جلوه‌گر می‌شود. ونیزباید به‌این‌نکته توجه داشت‌که گرچه **فرضیهٔ حرکتی** برای تولید انرژی نواختران عادی کفایت‌می‌کند، مطلقاً برای فوق نواختران که‌انرژی بسیار زیادی ازخود خارج می‌کنند کافی‌به‌نظر نمی‌رسد.

اگر خواسته‌باشیم‌مسئلهٔ انفجار ستارگان‌را ازراه تبدلات‌هسته‌ای که‌درزندگی عادی‌آنها اهمیت فراوان دارد حل کنیم، بایستی دراندیشهٔ آن‌فعل وانفعالات حرارتی هسته‌ای باشیم‌که‌چون درجهٔ حرارت‌مرکزی ستاره درضمن تکامل آن ازحدبحرانی تجاوزکند، چنین فعل‌وانفعالاتی حادث می‌شود. مقدار مختصری از چنین «عنصر قابل انفجار» ممکن است برای آزادکردن انرژیی که‌جهت یك‌نواختر عادی وحتی یك‌فوق نواختر‌لازم است کفایت‌کند؛ ولی‌باید گفت که‌فعل وانفعال ممکنی از این‌قبیل را هنوز پیدا نکرده‌اند.

به‌این ترتیب بایستی اعتراف کنیم که‌از علت انفجار ستارگان چیزی نمی‌دانیم، ونمی‌توانیم ازروی یقین بگوییم که‌آیا خورشیدما در آیندهٔ نزدیك یادور مانند نواختر صورت جائی‌دچار انفجار خواهدشد یانه. امیدواریم که‌چنین‌حادثه‌ای پیش نیاید.

فوق نواختران و«حالت آهسته‌ای» ماده

درمورد حالت خاص‌فوق نواختران فرضیهٔ جدیدی برای‌کیفیت انفجار توسط **تسویکی** پیشنهاد شده است. برای آنکه این فرضیه را نیکوتر فهم کنیم لازم است به‌آنچه دربارهٔ‌چگالی بیش‌ازاندازهٔ‌ستارگان درفصل هشتم گفتیم مراجعه‌کنیم. درآنجا دیدیم که‌پس‌از مصرف‌شدن تمام ئیدروژنی که‌برای فعل‌و انفعالات حرارتی هسته لازم است، هر ـ ستاره ناچار ازان است که انقباض عظیم پیدا کند وبه‌این‌ترتیب‌چگالی آن بی‌اندازه زیاد شود.

درشکل (۴۵) همان فصل این‌مطلب‌را نمایش دادیم که شعاع

ستارگان ویران تابعی ازجرم آن است، ونشان دادیم که شعاع انتهایی ستاره هراندازه جرم آن زیادترباشد کمتر خواهدبود. خوانندهٔدقیق ممکن است بادیدن منحنی آن شکل به‌این‌نکته برخورده‌باشد که‌منحنی نمایندهٔ ارتباط میان شعاع وجرم به‌صورت نامحدود در جهت جرمهای بزرگ پیش نمی‌رود، بلکـه برای جرمـی مساوی ۴ر۱ برابر جـرم خورشید شعاع صفر خواهد شد. به‌این‌معنی که **حـد اقل شعاع برای ستارگان سنگینتر از۴ر۱ برابر خورشید صفر است** و به عبارت دیگر**همهٔ ستارگانی که به‌اندازهٔ کـافی بزرگ هستند به صورت نامحدودی انقباض پیدامی‌کنند.**وزن قشرهای خارجی این‌ستارگان آن اندازه زیاد است که‌فشار گاز الکترونی **فرمی** درداخل آنها هرگز نمی‌تواند باآن تعادل پیدا کند، وباهیچ اندازهٔ معینی از شعاع تعـادل پایداری برقرار نخواهد شد. [۱]

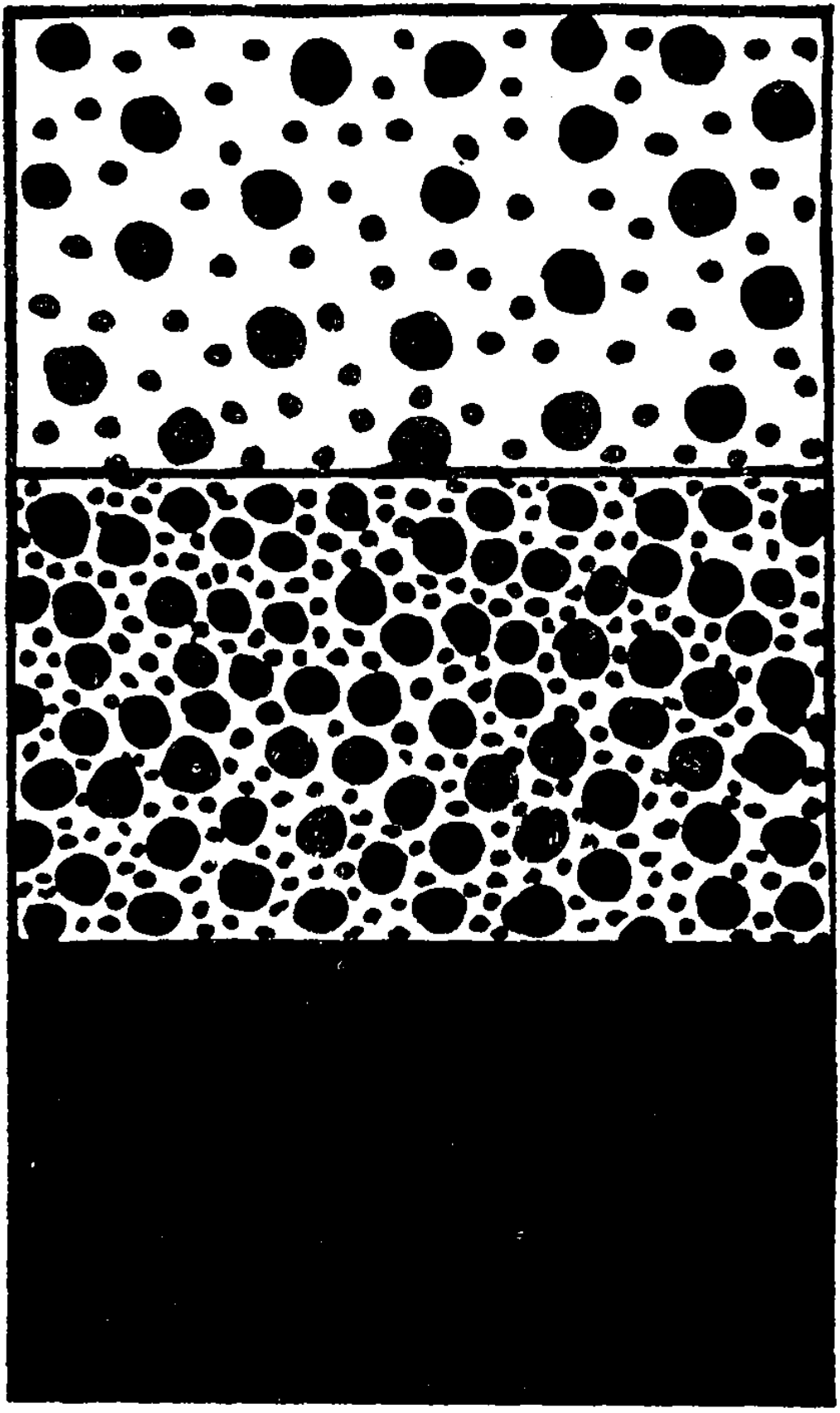
آیا برای ستارهٔ سنگینی که درحـال انقباض است، و به‌تعبیر ریاضی می‌خواهد به‌شکل نقطهٔ هندسی درآید، چه پیش خواهد آمد؟ پاسخ این‌پرسش را نخستین بار فیزیکدان جـوان روسی **لاندو**[۲] داده است. بنا به‌نظر وی به‌محض آنکه فاصلهٔ میان الکترونهای مجزی و هسته‌هایی‌که مادهٔ ستاره را می‌سازند، مساوی قطر آنها شود، انقبـاض متوقف‌می‌گردد. دراین‌مرحلهٔ ازفشارکه‌هسته‌ها والکترونها درمجاورت مستقیم یکدیگر قرار می‌گیرند، مانند قطـرات جیوه‌ای کـه نزدیك یکدیگر باشند به‌هم می‌چسبند و در مرکز ستاره « **مادهٔ هسته‌ای** » **پیوسته‌ای** می‌سازند (شکل ۴۸).

« صلب‌بودن » شدید فرضی‌این‌شکل ازماده بالاخره ازانقباض

---

۱. البته خواننده فراموش نکرده است که همهٔ اینها مربوط به‌ستارگانی است که‌ئیدروژن ندارند وازانرژی ثقلی انقباض زندگی‌می‌کنند. درتمام ستارگان جوان ئیدروژندار، فعل‌وانفعالات حرارتی‌هسته آن اندازه انرژی تولیدمی‌کند که‌می‌تواند درمرکزستاره حرارت‌وفشار کافی‌گازرا برای برقراری تعادل به‌وجود آورد.

۲. L. D. Landau



شکل ۴۸
تشکیل « حالت هسته‌ای » مـاده در نتیجهٔ فشار زیاد (با شکل ۴۳ مقایسه شود) .

تدریجی ستارگان سنگین جلو می‌گیرد، ودرحالت تعادل **مرکز ستاره را هسته غول‌آسایی اشغال خواهد کرد که کاملا باهستهٔ معمولی اتوم شبیه است ولی‌چند صدکیلومتر قطردارد،** وچون‌این هسته‌از هسته‌ها و الکترونهایی ساخته‌شده که در نتیجهٔ ویران شدن اتومهای خنثای اولیه ازیکدیگر جداشده‌اند، بنابراین **هستهٔ ستارد به‌صورت کلی خنثی استوچگالی آن چند هزاربلیون برابر چگالی آب خواهد بود .**[1]

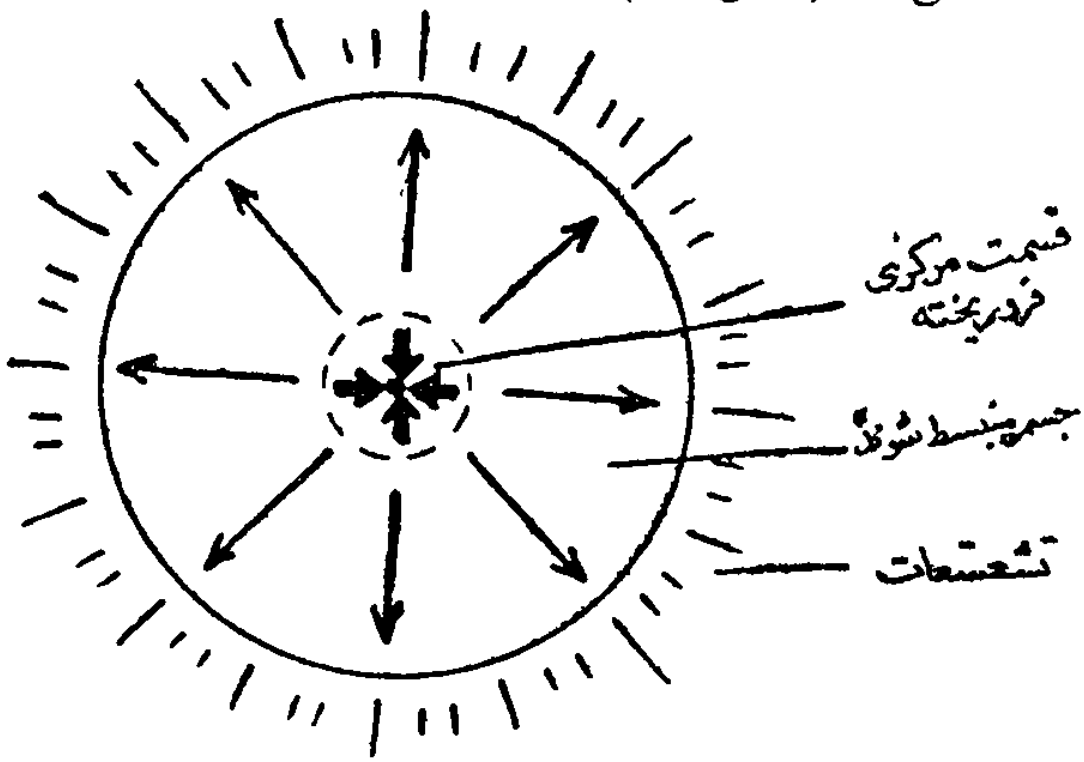
ذرهٔ غبار مانندی‌که‌ازچنین مادهٔ چگال ساخته شده‌باشد، چندین تون وزن‌خواهدداشت! ولی‌واضح‌است‌که ماده باچنین «حالت هسته‌ای» تنها درزیرفشار شگرفی می‌تواند موجود بماند که در مرکز ستارگان سنگین درحال انقباض وجود دارد. چون ماده‌را از این ناحیه خارج کنند، بلافاصله انبساط پیدا می‌کند و به‌صورت هسته‌ها و الکترونهای مجزای از یکدیگر درمی‌آید و عناصر شیمیایی ثابت گوناگون ازآن ساخته می‌شود.

اکنون به‌فرضیهٔ دکتر **تسویکی** دربارهٔ حوادث فاجعه‌آمیزمربوط به‌انفجار فوق نواختران‌بازمی‌گردیم: کیفیتی‌که دراینجا ناظر آن‌هستیم نتیجهٔ ویرانی وفروریختن سریع وشگرف ستارگان سنگین است‌که بر اثر تشکیل چنین « حالت‌هسته‌ای » ماده دردرون آنها ایجاد می‌شود. شاید آغاز این کیفیت ازآنجا باشد که هسته‌های برهنهٔ اتوم در داخل ستاره به‌واسطهٔ جذب کردن الکترونهای آزادی که با فشار خارجی به آنها نزدیك‌شده‌اند حالت خنثی پیدا می‌کنند. پس‌ازان ذرات خنثایی که بدین‌صورت تشکیل می‌شود به‌یکدیگر می‌چسبند و یك تکهٔ صلب ازمادهٔ هسته‌ای را می‌سازند. به‌این ترتیب ممکن‌است شعاع ستاره‌ای‌در

---

۱. درآب هسته‌های اتوم به‌فاصله 10^{-8} سانتیمتر ازیکدیگر قراردارند، درصورتی‌که درحالت 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 ۱۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰ را می‌دهد.

ظرف مدت چند ساعت به یك‌صدم شعاع اولی آن برسد، و مقدار عظیم انرژی ثقلی‌که آزاد می‌شود آن‌اندازه زیاد است‌که می‌تواند جوابگوی نورانیت شدید فوق‌نواختری باشد. درنتیجهٔ فشار تشعشاتی‌که ازقسمت مرکزی ستاره سرچشمه‌می‌گیرد، ممکن‌است قشرهای خارجی آن‌دورتر رود و سبب تولید غلاف منبسط شونده‌ای شود که ستارهٔ درحال انفجار را احاطه می‌کند (شکل ۴۹).



شکل ۴۹

فرضیهٔ فروریختن نواحی مرکزی دریك فوق نواختر.

با وجود آن‌که چنین توضیحی دربارهٔ انفجار فوق نـواختران جالب توجه به‌نظر می‌رسد، نمی‌تواند از حدود یك فرضیهٔ جالب توجه تجاوز کند، چه هنوز تحقیقات نظری در بـارهٔ مسائل مربوط به‌چنین ویرانی داخلی ستاره‌ها صورت نگرفته، ولی امیدواری حاصل است که درظرف چند سال آینده راه حل‌رضایتبخشی دربارهٔ این معمای مربوط به‌تکامل ستارگان پیدا شود.

فصل دهم

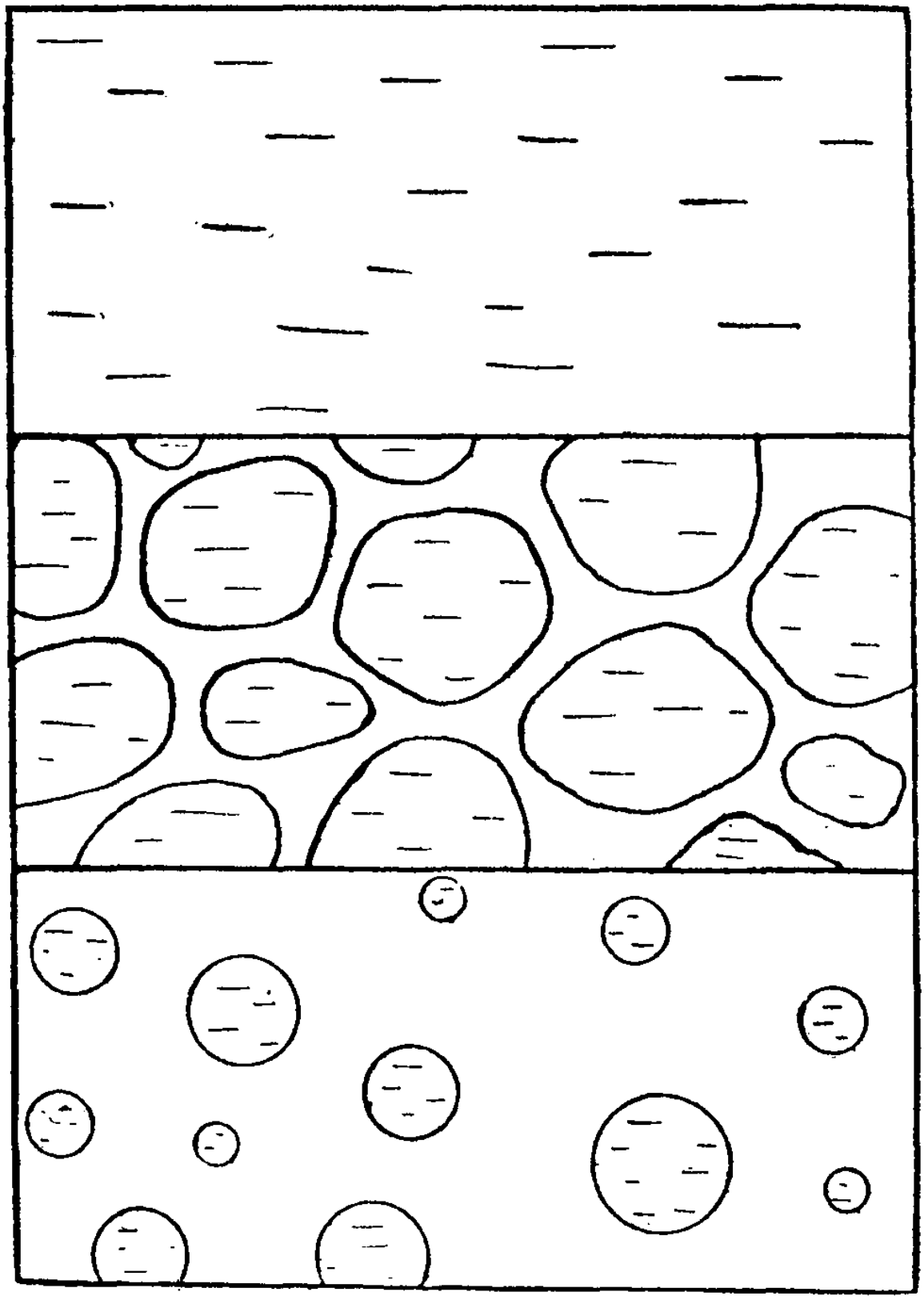
تشکیل ثوابت و سیارات

ستارگان همچون « قطره‌های گاز »

●

تاکنون چندین بـار بـه این مطلـب اشاره کـردیم کـه ستـارگان در مراحل نخستین پیدایش وتکامل خود همچون‌کرات گازی رقیق ونسبتاً سردی هستند که درنتیجهٔ انقباض ثقلی رفته رفته گرمتر می‌شوند. در سپیده دم پیدایش جهان بایستی جرم ستارگان چنان رقیق بـوده باشد که‌تمام فضایی را که دربرابر آنها وجود داشته پرکند، وبه‌این‌ترتیب گاز پیـوستهٔ خـاصی را بسازد . **بعدها براثر یك‌نوع عدم تعادل داخلی بایستی این گاز پیوسته به‌چندین پارهٔ ابر مانندی به‌نام « قطرات گاز » تقسیم شده باشد ، و از انقباض همین قطرات گازاست‌که ستاره‌هایی‌که هم‌اکنون به‌نام می‌شناسیم پدیدار شده است** (شکل ۵۰).

آیا درتحت چه شرایط فیزیکی این‌گاز پیوستهٔ جهانی توانسته



شکل ۵۰

پیداشدن ستارگان مجزی‌ازیکدیگر ازیك‌گاز پیوسته.

است پاره‌پاره شود، وچرا چنین‌کیفیتی مثلا برای هوای جوزمین اتفاق نمی‌افتد؛ بسیار عجیب به‌نظر می‌رسد که زمانی هوایی که اتاقی‌را پـر کرده به‌صورت « قطرات‌هوا » دراید ودرمیان این‌قطره‌ها فضای خالی ایجاد شود!

اختلاف میان این دوحالت درآن نیست‌که‌گازی‌که‌ستارگان از آن ساخته شده خواص فیزیکی یا شیمیایی جداگانه‌ای داشته[1] ، بلکه اختلاف درآن است که عظمت فضای میان‌ستارگان به‌اندازه‌ای است که فضای یك اطاق وحتی ضخامت قشر جوی زمین در مقایسهٔ باآن بسیار نـاچیزاست. اگر درداخل یك‌اطاق یادرجو آزادی‌که زمین مارا احاطه کرده،قسمتی ازگاز درناحیهٔ معینی‌حالت تمرکزوغلظت پیدا کند فشار زیادشدهٔ گاز درآن نقطه بلافاصله این‌غلظت را ازمیان می‌برد وچگالی رابه‌حال عادی باز می‌گرداند. به‌این ترتیب است‌که نطفهٔ «قطرات‌هوا» هرگز شانس آن‌را ندارند کـه با حالت تمرکـز و غلظت جدی منعقد شوند. [2]

ولی اگر چنین نطفه‌ای به‌انـدازهٔ کافی بـزرگ باشد در نتیجهٔ نیروی جاذبه‌ای‌که میان پاره‌های مختلف آن موجود است خودرا نگاه می‌دارد، وحتی نیروهای ثقلی ممکن است سبب آن‌شود که چگالی‌آن

---

۱. البته آن گاز اصلی ازهوا بسیار داغتر بوده و دران بخار عناصر مختلف وجود داشته‌است، ولی این‌سبب آن نیست‌که درخواص عمومی‌گازی تغییر اساسی پیدا شود.

۲. با وجود این بایدگفت که حتی چنین نطفه‌های کوچك در جو زمین نقش‌مهمی بازی می‌کنند. انحراف مختصری‌که دریکنواختی هوا براثر نوسان وکم یازیاد شدن چگالی پیدا می‌شود، باعث‌پراکنده شدن نور آفتاب است‌که از میان هوای جو می‌گذرد وسبب روشن‌شدن وآبی‌رنگ‌شدن‌آسمان بالای سرمامی‌شود. اگرهوای جوکاملا یکنواخت بود، آسمان پیوسته سیاهرنگ به‌نظر می‌رسید وستارگان درهنگام‌روز نیز دیده می‌شدند؛ و نیز درچنان صورتی هرگز منظرهٔ زیبای غروب آفتاب‌را کسی نمی‌توانست به‌چشم ببیند.

رفته‌رفته افزایش پیدا کند. بامحاسباتی‌که به‌وسیلهٔ عالم فیزیك ونجوم انگلیسی **سرجیمز جینز**[1] صورت گرفته ثابت شده‌است‌که اگر گازی درفضای هندسی‌بزرگی منبسط شده باشد، امکان‌آن هست که‌چنین‌حالت غلظتی برای آن پیدا شود. در مورد هوای جو زمین قطر نطفه‌ای که بتواند « ذرات خودرا مجاور یکدیگرنگاه دارد »، بایستی چند ملیون کیلومتر باشد، و ازهمین‌رو معلوم می‌شودکه چراممکن نیست«قطرات هوا » در اطاق یاقشر رقیق هوایی که‌کرهٔ زمین را احاطه کرده است تشکیل شود. ولی درگاز بسیار رقیقی که در زمانهای بسیار دور تمام فضای بیپایان را پرکرده بود ناچارچنین غلظتها وتکاثفهایی می‌توانسته است صورتپذیر شود.

درآن هنگام که تمام ماده‌ای‌که اکنون ستارگان منفرد را می‌سازد به‌صورت یکنواختی درتمام فضا منتشر بود، چگالی نسبی بسیار بسیارکمی‌درحدود ۱، ۰۰۰، ۰۰۰، ۰۰۰، ۰۰۰، ۰۰۰، ۰۰۰، ۰۰۰، ۰۰۰، ۰۰۰، ۰ر۰ چگالی آب داشته‌است . با چنین چگالی کم و درجهٔ حرارت چند صد درجه، نیروهای ثقلی می‌توانسته است گاز را به کره‌های مجزی از یکدیگر منقسم کندکه هریك قطری درحدود دویا سه سال راه نور و جرمی در حدود : ۱،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰ کیلوگرم داشته باشد. بعدها که درنتیجهٔ نیروهای ثقلی انقباض بیشتر شده ، این‌قطره‌های گازی به‌صورت ستارگانی درآمده‌است که‌هم‌اکنون آنهارا درآسمان می‌بینیم.

این نکته را باید افزود که پیدایش ستارگان از راه ناپایداری **ثقلی** جرمهای عظیم گازی ممکن است دربعضی حالات سبب پیدایش اجرامی‌شود که ازستارگانی که‌درآسمان می‌بینیم بسیار بزرگتر باشند. ولی‌این‌مطلب را نیزمی‌توان‌اثبات کرد که درجهٔ حرارت‌وتولید انرژی هسته‌ای داخل این « فوق ستارگان » سبب ناپایداری آنها است وباعث آن می‌شود که هریك ازآنها به‌چندپاره تقسیم شود و اجرام‌کوچکتری ازانها به‌دست‌آید.

---

1. Sir James Jeans

آیا کیفیت پیدایش ستارگان درزمان حاضر نیز ادامه دارد؟

بنا بربهترین تخمینهایی‌که شده، عمر جهان اختری دوبلیون سال است، و ازاین‌رو تاحدی می‌توان زمانی‌را که برای پاره‌پاره شدن جرم پیوستهٔ گازی ابتدایی لازم‌بوده‌است حساب‌کرد. می‌خواهیم بدانیم که آیا این‌کیفیت خلق ستارگان فعلا خاتمه پذیرفته یا اینکه درزمان حاضر نیز ستارگان تازه‌ای ساخته می‌شود.

مطالعهٔ در اشکال گوناگون ستارگانی‌که متعلق به‌منظومهٔ اختری ما هستند، کاملا نشان می‌دهد که بعضی ازاین ستارگان به‌نسبت قابل ملاحظه‌ای جوانتر از دیگران هستند . مثلا در فصل هفتم دیدیم که ستارگانی که‌به‌نام **غولهای سرخ** نامیده می‌شوند نخستین‌مراحل‌تکامل وپیدایش ستارگان‌را نشان می‌دهند. احتمال آن نمی‌رود که این دسته ازستارگان بیش ازچند ملیون سال عمر داشته باشند، وبه‌همین جهت بایدگفت‌که پیدایش آنها در دوره‌های معرفةالارضی صورت گرفته‌است. برجسته‌ترین نمونه از ستاره‌ای‌که در ابتدایی‌ترین مراحل تکامل خود باشد همان ستارهٔ ماوراء سرخ ε ممسك‌الاعنة I است که به‌احتمال‌قوی هم اکنون درمرحلهٔ انقباض نخستین خود به‌سر می‌برد.

از این ستارگان گذشته ستارگان بسیار درخشان رشتهٔ اصلی‌که به نام **غولهای آبی** نامیده می‌شوند نیز بایستی به‌طور نسبی ستارگان جوانی باشند. نظر به‌نورانیت شدیدی که دارند عمر **کلی** که برای آنها حدس زده می‌شود نسبتاً کوتاه است، وبا اطلاعاتی‌که اکنون‌داریم می‌توان گفت که این‌دسته از ستاره‌ها تازه به‌منظومهٔ اختری ما افزوده شده‌اند. چنین ستارگانی مانند ستارهٔ شمارهٔ ۲۹ صورت کلب اکبر یا ستارهٔ AO در صورت فلکی ذات‌الکرسی برای هرگرم از مادهٔ خود مقداری انرژی معادل ۲۰،۰۰۰ برابر انرژیی که خورشید برای هر گرم خود بیرون می‌فرستد تولید می‌کنند، وچنان به‌نظر می‌رسدکه از مرحلهٔ مصرف‌کردن محتوی‌ئیدروژنی آنها بیش‌از ۵ملیون سال‌نگذشته باشد: محققاً در آن‌زمان‌که‌خزندگان غولپیکر برسطح زمین‌می‌زیسته‌اند

این ستارگان هنوز درآسمان وجود نداشته است.

البته اکنون نیز مواد گازی پراکنده **(سحابیهای گازی)** درفضای میان ستارگان وجود دارد، وباید چنین استنتاج‌کنیم که**عمل ساخته شدن ستارگان هنوزهم ادامه دارد**، منتهی‌احتمال‌آن‌هست که این‌کار درزمان حاضر بامقیاس کوچکتری از آن زمانهای دور که اغلب ستارگان درآن‌زمان پیدا شده‌اند صورت بگیرد.

منشأ کوتوله‌های سفید

در آن هنگام کـه سن ستارگان مختلف را با سن کلـی جهان مقایسه می‌کنیم، به‌حالاتی برمی‌خوریم که درست درجهت مقابل حالت غولهای سرخ و آبی قراردارد، و درآن حالات ستارگان پیرتر ازآنچه می‌توانند باشند به‌نظر می‌رسند. درفصل ۸ دیدیم که ستارگانی‌که به‌نام **کوتوله‌های سفید** نامیده می‌شوند، ستارگانی هستند که پیش از این سرچشمهٔ انرژی هسته‌ای آنها خشکیده و در مرحله‌ای ازتکامل خود به‌سر می‌برند که چون خورشید ما تمام محتوی ئیدروژنی خودرا تمام کند به‌آن مرحله خواهدرسید. ولی‌این‌مطلب‌را هم دانستیم‌که‌ستارگانی به‌بزرگی خورشید ما چند بلیون سال می‌خواهند تا به‌این مرحـله از تکامل خود برسند، و خورشید ما از زمان تولد خود تاکنون به‌زحمت یك‌قسمت از ۳۵ درصد محتوی ئیدروژنی خویش‌را به‌مصرف رسانیده است.

پس چگونه امکان داردکه یکی‌از چنین ستارگان مثلامصاحب شعری دیگر هیچ ئیدروژن نداشته‌باشد وحتی به‌کندی به‌سوی مـرگ رهسپار باشد؟ قبول این مطلب کـه این ستارگان از اصـل ئیدروژنی نداشته‌باشد کار دشواری است، زیرا چنان به‌نظر می‌رسد که عناصر در ابتدا خوب بایکدیگر مخلوط شده باشند وئیدروژن همه‌جا به‌یك‌شکل موجود بوده باشد. از طرف دیگـر نمی‌توان تصور کرد که این‌گـونه ستارگان سالخورده تراز خود جهان اختری بوده باشند. به‌طورخلاصه **جهان اختری جوانتر ازآن به نظر می‌رسد که بتواند ستارگان کهنسالی مانند کوتوله‌های سفید را شامل شود**، و وجود مصاحب

شعری در خانوادهٔ ستارگان همان اندازه عجیب است که آدمی در تختخواب‌کودکی درپرورشگاه‌کودکان مردی راباریش‌سفید خفته‌ببیند.

به‌نظر مؤلف تنها فرضیه‌ای‌که می‌تواند وجود کوتوله‌های سفید را در حالت فعلی تکامل جهان توضیح دهد این است که بگوییم **این ستارگان هرگز جوان و کودك نبوده‌اند** و پاره‌هایی هستندکه در نتیجهٔ ویرانی ستارگان سنگینتر که تکامل سریعتری داشته‌اند به‌وجود آمده‌اند. ستارگان بسیار بزرگ و بسیار روشنی که از آغاز پیدایش جهان اختری درست‌شده‌اند بایستی ذخیره ئیدروژنی خودرا تمام‌کرده ومدتها پیش ازاین به‌آخرین انقباض خود آغاز کرده باشند. دریکی از فصلهای گذشته دیدیم‌که انقباض چنین ستارگان که بارها بزرگتراز خورشیدما هستند، به احتمال قوی سبب انهدام وفروریختن جسم‌آنها می‌شود (به‌توضیح **تسویکی** در بارهٔ فوق نواختران مراجعه شود) ودر نتیجه به‌چند پاره منقسم می‌گردند و تکه‌های‌کوچکتری ازآنهابه‌وجود می‌آید. **این پاره‌ها که ازانفجار اختری در زمانهای دورگذشته به‌وجود آمده، ممکن است همان‌کوتوله‌های سفید باشد** که‌اکنون درمنظومهٔ اختری‌ما به‌چشم می‌رسد.

منشأ سیارات چه بوده؟

درآن هنگام که برای نخستین بار می‌خواستند از راه علم در بارهٔ منشأ جهان‌فکرکنند، توجه‌بیشترمردم به‌اصل زمین وسایرسیارات منظومهٔ شمسی معطوف بود. و این مایهٔ کمال تعجب است‌که درزمان حاضر که این‌همه‌چیز دربارهٔ اصل ومنشأ انواع مختلف ستارگان می‌دانیم وباکمال صراحت و جدیت دربارهٔ مسائل مربوط به‌پیدایش کل جهان بحث می‌کنیم ، هنوز مسئلهٔ تشکیل زمین چنان که باید طرح و حل نشده است.

بیش از یك‌قرن قبل ازاین فیلسوف بزرگ آلمانی **ایمانوئل کانت**[1] نخستین فرضیهٔ قابل قبول علمی‌را دربارهٔ اصل پیدایش منظومهٔ

1 . Immanuel Kant

شمسی طرح ریخت، و پس از وی ریاضیدان بزرگ فرانسوی به‌نام **پیرسیمون دولاپلاس**[1] آن فرضیه را تکمیل کرد. بنابراین فرضیه ستارگان منظومهٔ شمسی همه ازیك حلقهٔ گازی به‌وجود آمده‌اند که در نتیجهٔ نیروی گریز ازمرکز ازجرم مرکزی واصلی این‌منظومه، یعنی خورشید، در ابتدای انقباض آن جدا شده‌است (شکل ۵۱) . به‌اندازهٔ علم ومعرفتی که اکنون در اختیار داریم، باید بگوییم که این فرضیهٔ ساده وفریبنده دیگر نمی‌تواند در مقابل موشکافیها و نقادیهای جدی استوار بماند.

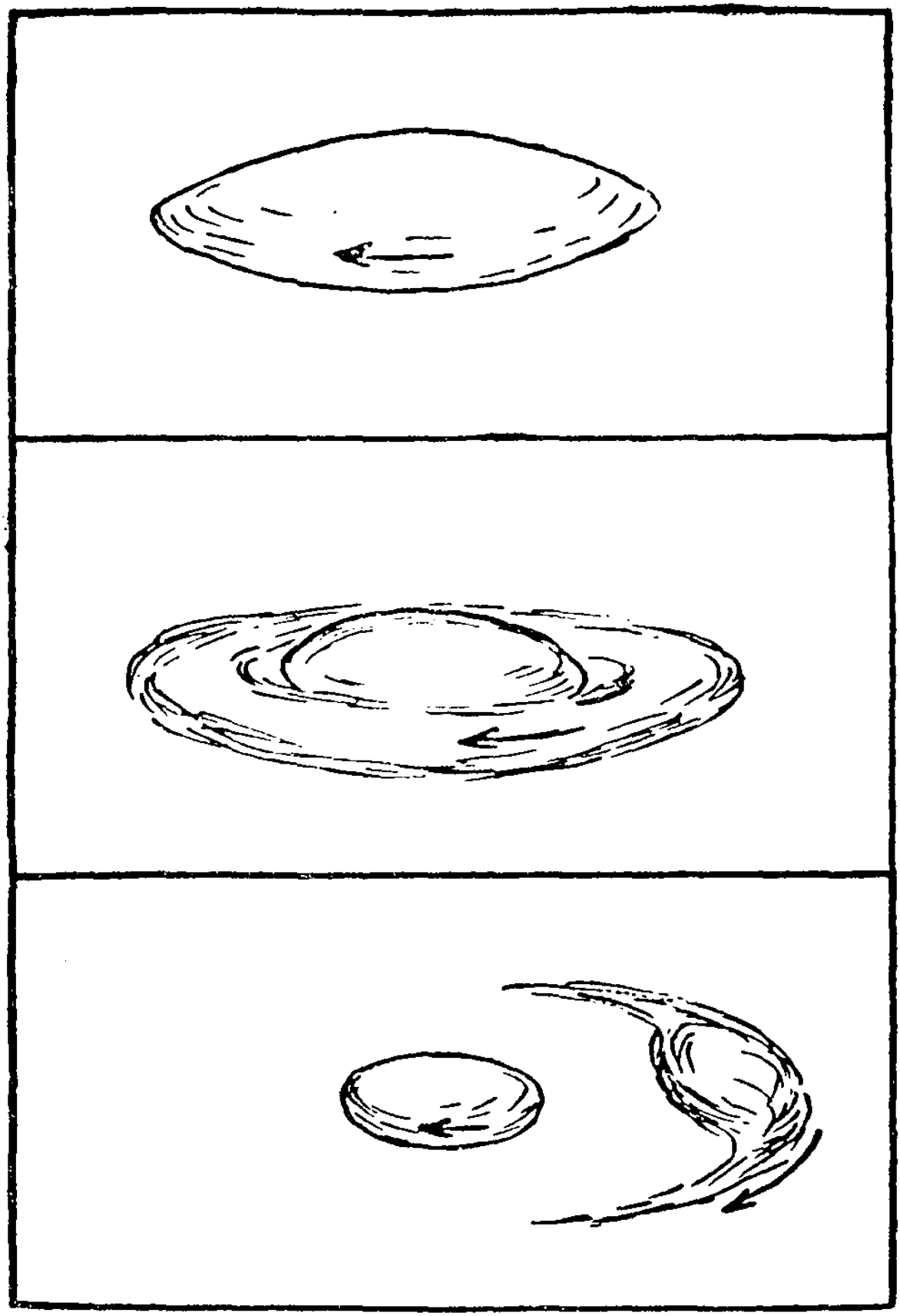
نخستین اشکال دراین است که باتحلیل‌ریاضی معلوم شده است که‌هرحلقهٔ گازی‌که احتمال‌تشکیل شدن‌آن برگرد خورشید گردنده و درحال انقباض می‌رود، هرگز به‌صورت سیارهٔ ساده‌ای درنخواهدآمد، بلکه از آن عدهٔ زیادتری اجسام کوچکتر شبیه به حلقه‌های زحل تولید می‌شود.

دشواری دیگر و مهمتری که دربرابر فرض **لاپلاس ـ کانت** وجود دارد دراین واقعیت است که ۹۸درصدازگشتاور دورانی منظومهٔ شمسی همراه باحرکت سیارات است وفقط ۲ درصد آن به‌دوران خود خورشید مربوط می‌شود، ومحال است‌که بتوان‌گفت چرا چنین چند در صد بزرگ از گشتاور دورانی در حلقه‌های جدا شده مانده و عملا چیزی برای جرم گردندهٔ اولی باقی‌نمانده است. بنابراین چنین‌به‌نظر می‌رسد که بایستی ناچار فرض‌کنیم (و این فرضی است که نخستین‌بار به‌وسیلهٔ **چمبرلین ومولتون**[2] شده)که‌گشتاور دورانی ازخارج‌به‌منظومهٔ سیارات داده شده ، و به‌این‌ترتیب **تشکیل سیارات را نتیجهٔ تصادم خورشید خودمان با جرم آسمانی دیگری به‌بزرگی آن تصور کنیم.**

باید چنین تخیل‌کنیم که دران هنگام که خورشید تنها بوده و خانوادهٔ سیاراتی همراه خود نداشته است، باجرم مشابه‌خود درآسمان

---

1 . Pierre Simon de Laplace
2. Chamberlin and Moulton

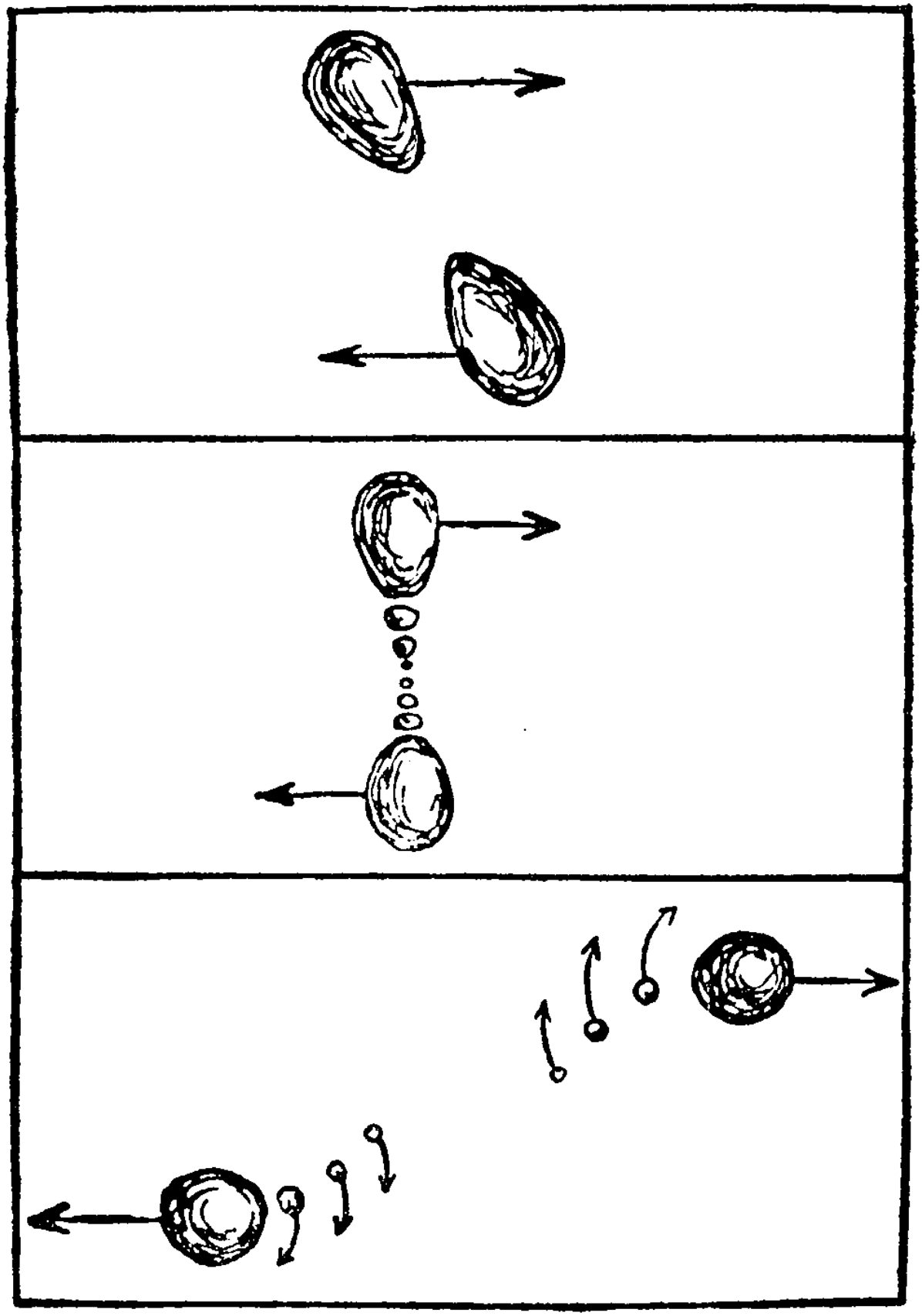


شکل ۵۱
فرضیهٔ (نادرست)کانت ـ لاپلاس دربارهٔ تشکیل منظومهٔ شمسی.

تلاقی‌کرده است. برای تولد سیارات برخورد وتلاقی فیزیکی‌ضرورت نداشته است، چه نیروی طرفینی جاذبه ازفاصلهٔ دور هم می‌توانسته‌است برهردو ستاره برجستگیهای عظیمی ایجاد کند که به‌طرف یکدیگر متوجه باشند(شکل ۵۲). هنگامی‌که این برآمدگیها که عملا مدهای غولپیکری بوده از ارتفاع معین‌حدی تجاوز کرده‌اند، ناچار درامتداد خطی که مرکز دوستاره را به یکدیگر متصل می‌کرده بریدگی پیدا کرده وازآنها«قطرات» چندجدا ازیکدیگر به‌وجودآمده‌است. حرکت نسبی این‌دو پدر ومادر سیارات نسبت به‌هم بایستی به‌این‌سیارات گازی ابتدائی دوران شدیدی داده‌باشد، ودرآن‌هنگام‌که دوستاره ازیکدیگر دور می‌شدندباهریك دسته‌ای ازسیارات که دوران سریع داشته‌اندهمراه شده‌است. امواج مدی سطح آن دوستاره‌همچنین سبب آن شده است‌که خودآنها نیز ناچار از این باشند که به‌کندی در همان جهت‌سیاراتشان حرکت دورانی پیداکنند، واین خود نشان می‌دهدکه چرامحور دوران خورشید ما این اندازه بامحور مدارهای سیارات انطباق نزدیك دارد.

این‌خود مطلب دلفریبی است که آدمی فکرکند درفضای میان ستارگان ستارهٔ خاصی مسئول تشکیل منظومهٔ شمسی‌ما باشد و باخود اجرامی‌را که نیمی خواهر ونیمی برادر زمین ما هستند همراه ببرد. ولی چون ولادت منظومهٔ ما چند بلیون سال پیش‌از این‌صورت‌گرفته، خورشید ما اکنون از آن ستاره بسیار دور است ، و تقریباً هریك از ستارگانی که درآسمان دیده می‌شود ممکن است همان ستاره بوده باشد.

ولی این«نظریهٔ زدن ودر رفتن» دربارهٔ تشکیل منظومهٔشمسی، درصورتی‌که شانس‌چنین‌برخورد نزدیك‌میان‌دوستاره‌را به‌حساب‌بیاوریم، اشکالاتی پیش می‌آورد. بادر نظر گرفتن فاصلهٔ عظیم موجود میان ستارگان وشعاع نسبی کوچك آنها، به‌آسانی می‌توان حساب‌کرد که در طول مدت چند بلیون‌سالی که از تشکیل آنها گذشته احتمال چنین برخوردی برای هریك از ستارگان تنها یك چند بلیونم است. به‌این ترتیب ناچاربایدچنین نتیجه بگیریم‌که منظومه‌های سیاره‌ای ازنمودهای نادر جهان‌به‌شمار می‌روند، وخورشید ماخوشبخت‌است که یکی ازچنین



شکل ۵۲
فرضیهٔ «زدن و در رفتن» دربارهٔ تشکیل‌سیارات.

منظومه‌ها را همراه خود دارد. به‌عبارت دیگر ازمیـان بلیونها ستاره که‌منظومهٔ اختری مارا تشکیل می‌دهند به‌احتمال قوی تنها خورشید و همسراو دوستاره‌ای هستند که خانواده‌ای از سیارات باخود دارند!

البته هنوز دوربینهای آسمانی آن اندازه قوی نیست‌که بتواند مستقیماً تعیین کند که‌آیا ستارگان دیگر وحتی آنها که‌بسیار نزدیك ماهستند سیاراتی دارند یانه، ولی اگر منظومهٔ سیاره‌ای خورشید ما از نمودهای بسیار نادر باشدمایهٔ تعجب خواهد بود، به‌خصوص اگر درنظر بیاوریم که عدهٔ ستارگان‌دوگانه (وحتی گاهی سه‌گانه) که مشاهده شده کم نیست. فهم این‌که منشأ پیدایش این ستاره‌های دوگانه ازکجا است کمتر ازفهم منشأ سیارات واقمارکوچکتر دشواری ندارد.

ولی بافرض اینکه تشکیل سیارات مربوط به‌اوایل تکامل‌جهان وهنگامی باشد که‌هنوز خودستاره‌ها ساخته‌نشده بودند، همهٔ این‌اشکالات ازمیان برداشته می‌شود. در دوفصل آینده خواهیم دید کـه جهـان ما پیوسته درحال انبساط وگسترش‌است واین‌خود می‌رساند که‌در زمانهای بسیار دور فاصلهٔ میان افراد ستارگان ازآنچه اکنون‌هست خیلی کمتر بوده است. درآن‌زمان تلاقی میان دو ستاره حادثه‌ای بوده که احتمال وقوع بیشتری برای آن می‌رفته است، وبه‌این‌ترتیب **برای هر ستاره احتمال آن وجود داشته است تامنظومهٔ سیاراتی‌مخصوص به‌خود داشته‌باشد.**

بعضی از این برخوردهای ستارگان ممکن‌است (باکومك‌ستارهٔ سومی)سبب‌آن‌شده‌باشد که دوستارهٔ‌مجاور اتصال نزدیکتری‌به‌یکدیگر پیدا کنند، ودستگاهی درست شود که‌اکنون به‌نام ستارهٔ مزدوج یادو-گانه می‌خوانیم.

فصل یازدهم

جهانهای جزیره‌ای

کهکشان یاجادهٔ شیری

●

شبی که هوا صاف باشد ، به آسانی می‌توان نوار نورانی کمرنگی را درآسمان مشاهده‌کرد که ازاین‌طرف افق به‌آن‌طرف آن‌کشیده‌شده است. منجمان به‌آسانی بانیروی تخیل چنین تصور می‌کرده‌اند که این نوار نمایندهٔ شیری است که ازپستان ماده گاوی آسمانی بیرون ریخته است (گرچه درآسمان صورتی فلکی به‌نام ماده‌گاو وجود ندارد)، وبه همین‌جهت است که‌آن‌را راه‌شیری نامیده‌اند.[1]

نخستین‌مشاهدهٔ تلسکوپی‌کهکشان که‌بوسیلهٔ **سرویلیام‌هرشل**[2]

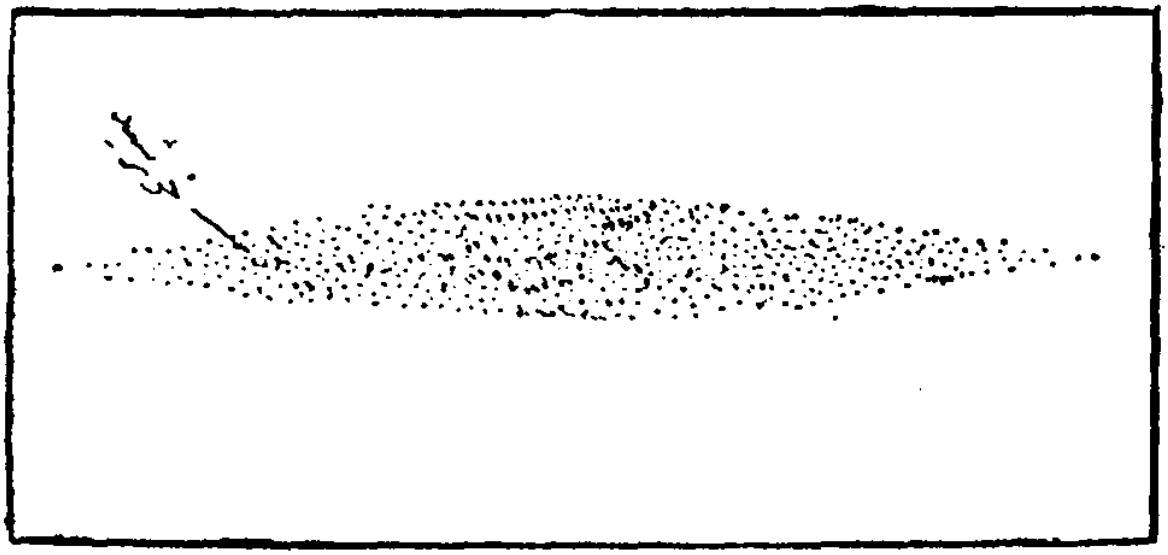
---

۱ . در روایتهای‌شرقی چنان‌تصور می‌شود که‌بارکاهی درآسمان عبور می‌کرده واین‌خرده‌های کاه است که‌افشانده شده وبه‌همین‌جهت به آن نام کهکشان یاکاهکشان‌داده‌اند.ـم.

۲. Sir William Herschel

صورت گرفت به‌تعبیرمجازی راه شیری صورت‌حقیقت بخشید، ومعلوم شد همان‌گونه که‌در شیردانه‌های چربی در میان ماده کمابیش شفافتری شناور است، در راه شیری‌آسمان نیز عدهٔ بیشماری ازستاره‌های جدا جدای کم نور وجود دارد که باچشم غیر مسلح نمی‌توان آنها را از یکدیگر تمیز داد (صفحهٔ تصویر شمارهٔ XII پایان‌کتاب دیده شود).

این‌حقیقت که ستارگانی‌که‌کهکشان را می‌سازند همه در داخل کمربند کمابیش منظمی قرار گرفته‌اند که آسمان را احاطه‌کرده‌است، **هرشل** را به‌این‌فکر بدیع انداخت‌که بایستی‌مجموعهٔ ستارگان‌کهکشان به‌صورت قرص پهن‌شده وچیزی شبیه به‌یك ساعت بغلی بوده باشد که خورشید ما درگوشه‌ای ازفضایی که به‌وسلهٔ این‌قرص اشغال شده جای دارد. همان‌گونه که از(شکل ۵۳) که‌نمایندهٔ طرز تخیل هرشل نسبت



شکل ۵۳

شکل نظری‌منظومهٔ اختری‌کهکشان که‌از روی‌آن‌وضع خارج ازمرکز خورشید به‌خوبی دیده می‌شود.

به‌کهکشان است برمی‌آید، عدهٔ ستارگانی که در امتداد عمود برسطح اصلی‌کهکشان می‌توان دید بسیار کمتر ازآن عده‌ای است که درامتداد خود سطح قابل رؤیت است. اغلب ستارگانی که در امتداد این سطح دیده می‌شوند از ما فاصلهٔ بسیار زیاد دارند، وروشنی ضعیف و شماره زیاد آنها روی‌هم‌رفته سبب آن‌می‌شوندکه مجموع آنها را با چشم غیر

مسلح به‌شکل تودهٔ روشن شیریرنگ‌پیوسته‌ای ببینیم. تصویری‌که‌بیش ازیك قرن پیش از این توسط هرشل برای این‌منظومهٔ آسمانی ساخته شده، همچون شالودهٔ محکمی برای‌تمام تحقیقات بعدی دربارهٔ جهان‌به مقیاس وسیعتری به‌کار رفته است.

شمارهٔ ستارگان آسمان

برخلاف آنچه شایع است ودر مورد عدد بیشماره گفته می‌شود «باندازهٔ ستارگان‌آسمان»، بایدگفت که‌شمارهٔ ستارگانی که باچشم می‌توان دید بسیار زیاد نیست. حقیقت امر این است که شمارهٔ چنین ستارگان در دونیمکره شمالی وجنوبی کمی از ۶،۰۰۰ بیشتر است، وچون قابلیت رؤیت‌درنزدیکی‌افق کمتر است، هیچ‌گاه بیش‌از۲،۰۰۰ ستاره رادر آسمان نمی‌توان دید. ولی چون‌برای دیدن آسمان به‌جای چشم دوربین را به‌کار بریم وضع عوض می‌شود، واگر اصطلاح ستاره‌را درآن‌گفته که مردم به‌کار می‌برندبه‌معنی نجومی آن بگیریم، این‌گفته به‌حقیقت نزدیکتر می‌شود. **شمارهٔ ستارگان منظومهٔ کهکشانی** ما بااینکه ستارگان بسیار دور وکم نور آن نیز به‌حساب گرفته شود، به وسیلهٔ منجم هلندی **کاپتین**[1] که تحقیقات دقیقی درکهکشان دارد، در **حدود ۴۰ بلیون تخمین** شده واین‌خود شمارهٔ کمی نیست.

همهٔ این ستارگان نامهای خاصی مانند شعری یاعیوق ندارند. این بینامی ازآن جهت نیست که اگر بخواهیم باکلمات هشت حرفی به افراد این‌خانوادهٔ چهل بلیونی‌نام بدهیم‌بیست وچند حرف الفبا کفایت نمی‌کند، بلکه خود این‌نامگذاری وقت‌بسیار درازی می‌خواهد، واگر برای فهرست کردن ونامنویسی هرستاره تنها یك‌ثانیه وقت‌صرف‌کنیم، تهیهٔ چنین‌فهرستی ۱۷۰۰ سال‌وقت لازم دارد.

ابعاد منظومهٔ اختری‌ما

فاصلهٔ ستارهٔ شعری تازمین ۵۲،۰۰۰ بلیون‌میل است، ونور

---

1. Kapteyn

که درهر ثانیه به‌اندازهٔ ۱۸۶،۰۰۰ میل راه‌پیمایی می‌کند، برای طی کردن این‌فاصله هشت سال وقت می‌خواهد، ولی‌شعری ازستارگانی‌است کـه‌به‌طور نسبی نزدیك به زمین قرار گرفته است؛ برای آنکه نور از آخرین فرد ستارگان منظومهٔ کهکشان به‌زمین برسد، محتاج به‌زمانی مساوی چندهزار سال است. علمای نجوم برای آنکه دردسر محاسبه‌و نمایش دادن مسافتهای فلکی زیاد را کمتر کنند، فواصل آسمانی‌را با **سال نوری** نمایش می‌دهند.[1]

کاپتین پس‌از اندازه‌گیریهای دقیق به‌این نتیجه رسیده است‌که ۴۰ بلیون ستارهٔ منظومه کهکشانی در **فضایی عدسی شکل پراکنده است‌که‌قطر آن مساوی ۱۰۰،۰۰۰ وضخامت آن مساوی ۱۰،۰۰۰ سال‌نور** است. البته‌چون هرچه به‌کنار این‌فضای عدسی شکل‌نزدیکتر شویم پراکندگی ستاره‌ها بیشتر می‌شود، حدودآن کاملا مشخص‌نیست. امکان آن هست که در فاصله‌های چندین برابر فواصلی که دربالا ذکر شد، هنوز ستارگانی وجود داشته باشد.

خورشید ما ومنظومهٔ سیارات وابستهٔ به‌آن درقسمت محیطی‌این فضای عدسی‌شکل ونزدیك به‌سطح استوار ودر فاصلهٔ ۳۰،۰۰۰ سال نور از مرکز آن جا دارد. مرکز کهکشان که انتظار می‌رود ستارگان بیشتروبنابرآن نورانیت شدیدتری داشته‌باشد، دران قسمت ازکهکشان است که ازمیان صورت فلکی قوس می‌گذرد.

متأسفانه ابـرهای تاریك میان ستارگان[2] که از توده‌های سرد گـاز و غبـار تشکیل شده، پس از آفرینش ستارگان برجای‌مانده و درقسمتی ازفضا که میان خورشید ومرکز کهکشان است قرار گرفته و رصد کردن ودیدن‌این ناحیهٔ بی‌اندازه جالب توجه‌را غیر ممکن‌ساخته است.

---

۱. سال نـوری بـرابر است با ۹،۴۶۳،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰ کیلومتر یا ۵،۹۰۰ بلیون میل.

۲. همان‌که معمولا به‌نام سحابیهای تاریك می‌نامند. به‌صفحات ۲۰۴ و۲۰۵ و صفحهٔ تصویر شماره XII پایان کتاب مراجعه شود.

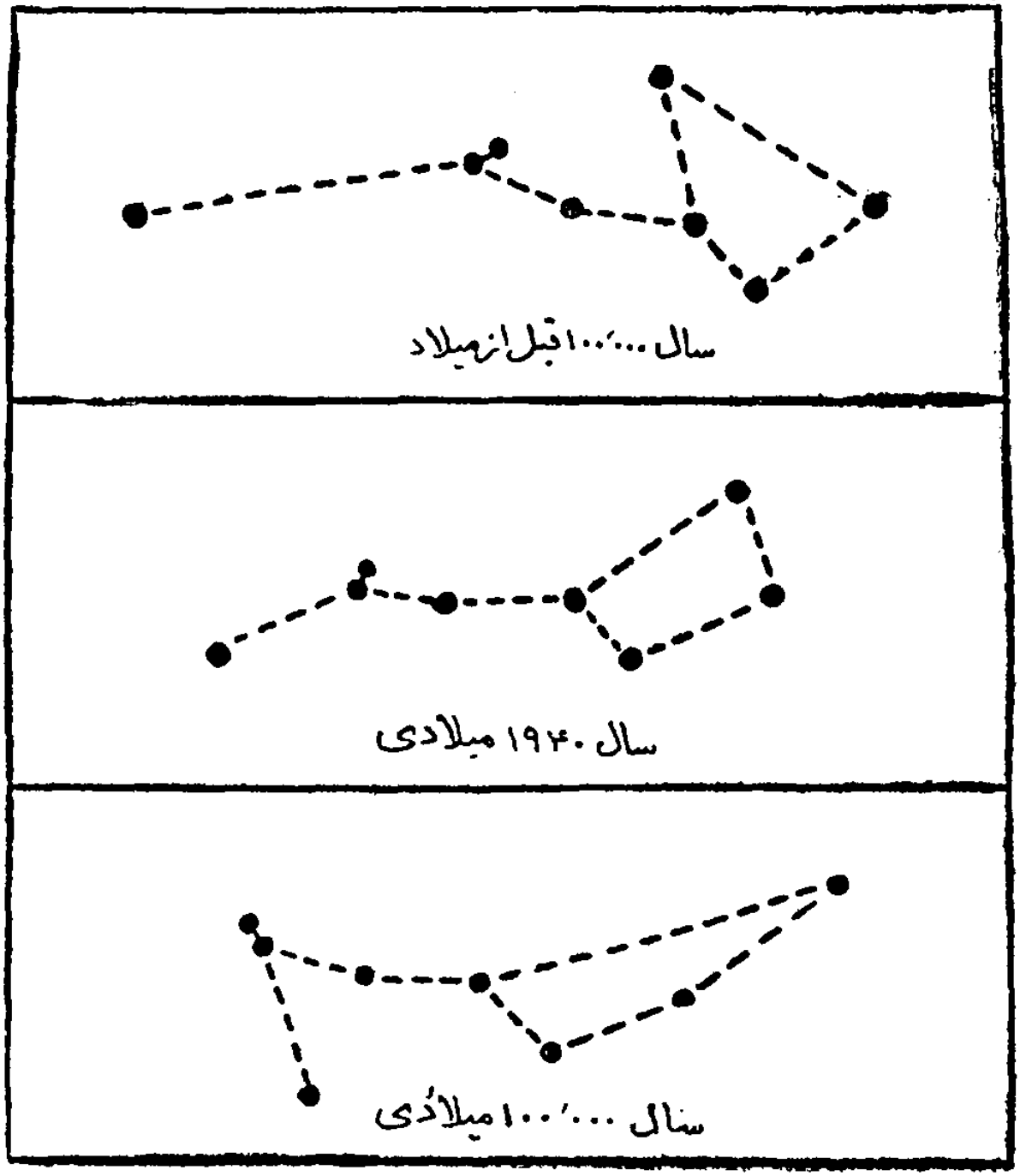
حرکت ستارگان در داخل کهکشان

در علم هیئت قدیم ستارگانی را که ازترکیب آنها صور فلکی تشکیل می‌شده به‌نام «ستارگان ثابت» می‌نامیدند، واین در مقابل نـام «ستارگان سرگردان» یا«سیار» بوده که به‌ستارگان دیگری می‌دادندکه درمیان‌آن ستارگان ثابت باسرعت نسبی حرکت‌می‌کنند. اکنون‌می‌دانیم که آنچه به‌نام «ستارگان ثابت» یا «ثـوابت» نامیده می‌شود نیز در فضا حرکت می‌کند، و واقع‌امر آن‌است که سرعت حرکت این‌ثوابت‌بسیار زیادتر‌ازسرعت‌حرکت‌سیارات است. ولی‌ازآنجاکه‌ثوابت‌فاصله‌های‌عظیمی ازما دارند، سرعت مطلق زیاد آنها تنهاسبب تغییر مختصری در زاویهٔ رؤیت موجود میان آنها می‌شود. باعکسهایی که درسالهای فاصله‌دار از یکدیگر از آسمان برداشته شده می‌توانیم‌این تغییر وضعهای مختصر ستاره‌ها (یعنی ثوابت) را نسبت به‌یکدیگر درك واز آن رو پیشبینی کنیم که‌درآیندهٔ بسیار دوروضع ظاهری‌آسمان چگونه خواهدبود.

من‌باب مثل‌برروی شکل(۵۴)تغییراتی را که بایستی درصورت فلکی دب‌اکبرکه همه‌آن‌رابه‌خوبی می‌شناسیم‌حادث شود، نمایش‌داده‌ایم. دورهٔ‌کوتاه نجومی چندصدهزار سال‌کافی‌است تاتغییرکلی‌در وضع‌ظاهری آسمان داده شود. به‌این ترتیب بایدگفت کـه در آن هنگام که انسان نئاندرتال غارنشین ده‌ها هزار سال پیش از ایـن در جنگلهای اروپا به شکار می‌پرداخت، صورت دب‌اکبری که درآسمان بالای سرخود می‌دید کاملا باآنچه ما امروز بربالای سرخود درآسمان می‌بینیم تفاوت‌داشت، واین مایهٔ تأسف است که درآن روزها که چنین انسانی آثارهنری‌خود را برروی دیوارهای غارها نقاشی می‌کرد وبه‌یادگار می‌گذاشت، هرگز به‌این‌فکر نیفتاده است که یکی ازصورتهای فلکی را نیز نقاشی کند و برای‌ما به‌یادگار باقی‌گذارد؛ اگرچنین‌حادثه‌ای‌اتفاق‌افتاده بود، بسیاری از زحماتی که اکنون منجمان در برابر خود دارند کم می‌شد و از میان می‌رفت.

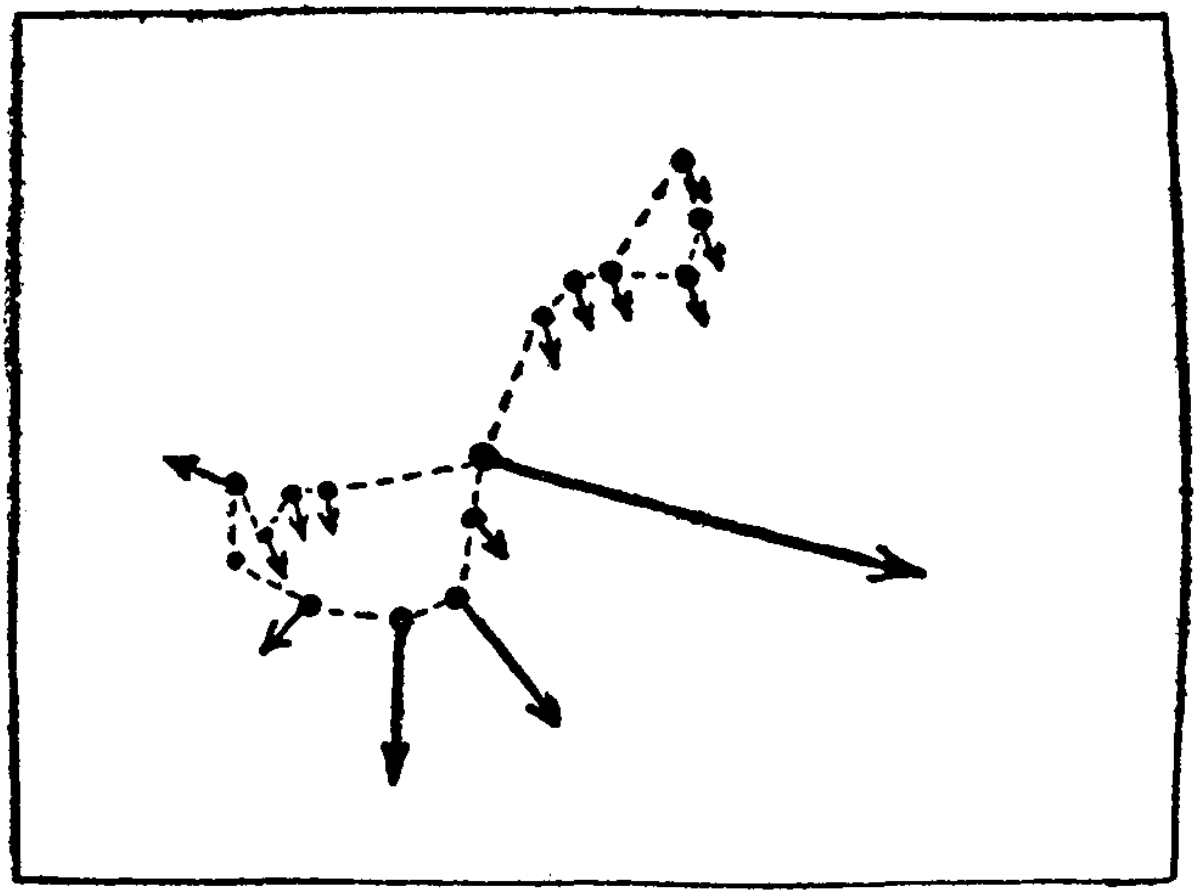
این نکته‌را باید بگوییم‌که باوجودآنکه حرکت ستارگان‌مختلف درفضا به‌طورکلی بینظم وبی‌ارتباط به‌یکدیگر است ، در موارد بسیاری

چنان‌اتفاق‌می‌افتدکه ستارگانی‌که‌باهم‌یك‌صورت فلکی‌رامی‌سازند، ظاهراً چنان به‌نظر می‌رسد که باهم حرکت می‌کنند. مثلا درمورد صورت دب اکبر شکل (۵۴) پنج ستاره ازهفت ستارهٔ آن به‌صورت آشکاری در جهت واحد حرکت‌می‌کنند، وبه‌علاوه‌تخمین‌فاصلهٔ نسبی‌آنها مارا به‌این نتیجه می‌رساند که این پنج ستاره‌نزدیك یکدیگر قرار گرفته‌اند. دو



شکل ۵۴
تغییرات ۲۰۰،۰۰۰ سالهٔ صورت فلکی دب‌اکبر.

ستارهٔ دیگرکه‌در واقع هیکل‌خرسی‌این‌صورت فلکی‌وابستهٔ به‌آنهاست، باکمال وضوح معلوم است که هیچ ارتباطی بااین منظومه ندارند. این دوستاره درجهتهای‌کاملا مخالفی حرکت می‌کنند، و شاید درآن دوره‌های پیش‌از تاریخ اساساً کسی به‌این‌فکر نیفتاده باشد که این‌دوستاره ارتباطی باسایر افراد این‌گروه دارد. مثال جالب توجه دیگری دربارهٔ این‌قبیل تغییرات صورت فلکی عقرب است که درشکل (۵۵) آن‌را نمایش داده‌ایم.



شکل ۵۵

صورت فلکی عقرب وتغییراتی که انتظار می‌رود درمدت ۱۰۰ هزار سال آینده دران صورت‌گیرد [درجهت پیکانها].

سرعت ستارگان

بادانستن تغییر مکان زاویه‌ای ستارگان نسبت به‌یکدیگر که از حرکت‌آنهانتیجه می‌شود، ودردست‌داشتن فاصلهٔ‌آنها اززمین ، به‌آسانی

می‌توانیم‌سرعت خطی‌آنهارا درامتدادی‌عمودبرجهت دیدن‌آن ستارگان حساب‌کنیم. **میانگین سرعت خطی ستارگان درحدود ۲۰ کیلومتر درثانیه به‌دست‌آمده،** ولی دربعضی حالات اندازهٔ این سرعت از ۱۰۰ کیلومتر بیشتر حساب شده است . خورشید مـا باسرعتی مساوی ۱۹ کیلومتر درثانیه به‌طرف منطقه‌ای ازآسمان درحرکت است وآن‌منطقه درصورت فلکی الجاثی علی‌رکبتیه قرار دارد.

گرچه سرعتهای اختری ممکن است از لحاظ انسانی‌بزرگ به نظر برسد، ولی درمقایسهٔ بافاصلهٔ عظیمی که ستارگان درفضا نسبت به یکدیگر دارند، این‌سرعت بسیار کوچك‌جلوه‌گر می‌شود اگرخورشید مابه‌طرف نزدیکترین همسایهٔ خود ستارهٔ a قنطورس که تاآن به‌اندازهٔ ۴ر۳ سال نور فاصله دارد حرکت می‌کرد، ۷۰،۰۰۰ سال طول می‌کشید تابا‌آن‌تصادم کند. ولی ماهرگز نباید نسبت‌به‌وقوع چنین‌تصادف نامطبوعی بیمناك باشیم، چه‌ستارگان به‌اندازه‌ای تك‌تك درفضاپراکنده شده‌اند که احتمال چنین تصادفی بی‌اندازه کوچك وغیر قابـل ملاحظه است. آن‌گونه‌که‌حساب‌کرده‌اند، درطول‌مدت دوبلیون سالی‌که‌ازتأسیس منظومهٔ ستارگان می‌گذرد، احتمال آن‌است‌که‌تنها چندتا ازچنین‌تصادمها رخ داده‌باشد.

دوران کهکشان

از حرکت بیقاعدهٔ افرادستارگان کهکشان گذشته، بنابر رصدهای نجومی معین شده است کـه تمام این‌منظومهٔ عدسی شکل به‌کندی برگرد محور مرکزی خـود دوران مـی‌کند. مطابق آخـرین تخمین‌ها سرعت این دوران در هرقرن ۷ ثانیهٔ قوسی است، و از این‌رو می‌توان دریافت‌که در تمام دوران معرفةالارضی‌کهکشان ما پنج یاشش دور تمام چرخیده است.

ممکن‌است که‌این‌سرعت چندان‌به‌نظر نیاید، ولی نبایدفراموش کرد که‌از لحاظ بزرگی شگرف عدسی کهکشان، این سرعت زاویه‌ای کوچك درمحیط آن متناظر باسرعت خطی چند صد کیلومتر در ثانیه می‌شود. به‌احتمال قوی همین دوران سبب آن‌است که کهکشان شکل

پهن‌شده وقرصی پیدا کند، همان‌گونه که دوران زمین‌سبب فرورفتگی قطبین آن شده‌است.

عمر کهکشان

اگر درنظربگیریم‌که‌خورشید ما یکی از افراد خانوادهٔ‌کهکشان است، به‌این‌نتیجه می‌رسیم‌که‌سن‌کهکشان نمی‌تواند کمتر ازسن‌خورشید باشد، لااقل ازعمر آن چند بلیون سال می‌گذرد.

و نیز تحقیق در حرکت ستارگان یك حد اعلایی‌را برای سن کهکشان‌ما معین می‌کند. این‌مسئله را می‌توان ثابت‌کرد که در تحت تأثیر نیروهای جاذبهٔ طرفینی مجموعه‌ای ازستارگان‌که درفضای‌محدودی به‌حال حرکت باشند، دیریازود به‌حد معینی ازتوزیع سرعت می‌رسند که کاملا مشابه با توزیع مولکولهای گازی **ماکسول** است (به فصل۲ مراجعه شود). محاسبات آماری که دربارهٔ ستارگان تشکیل دهندهٔ کهکشان صورت گرفته نشان می‌دهد که در این مورد توزیع ماکسولی سرعت ممکن است در ظرف مدت ۱۰ بلیون سال صورتپذیر باشد. بنابراین مطابق شواهد نجومی، چون چنین توزیعی هنوز تا حدزیادی صورت نگرفته، باید چنان نتیجه بگیریم که **سن فعلی جهان‌اختری میان ۱٫۶ بلیون و ۱۰ بلیون سال است.**

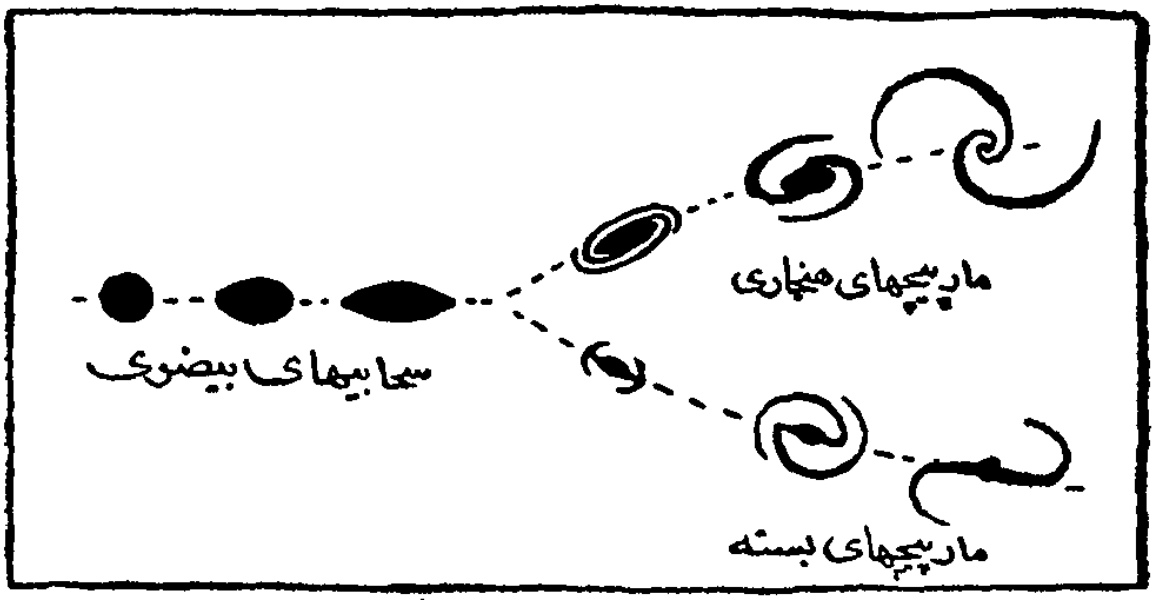
«کهکشانهای» دیگر

مدت مدیدی بود که با رصدهای نجومی به‌وجود عدهٔ فراوانی اجسام ابری‌شکل‌دراز اندام پی‌برده‌بودندکه به‌صورت کمابیش‌یکنواخت درخلال آسمان دیده می‌شد. ولی تنها در زمانهای نسبتاً نزدیك این مطلب را بدون‌شك دریافتند که‌آنچه بنام سحابیهای مارپیچی یابیضوی نامیده می‌شود، به‌منظومهٔ اختری ماتعلق ندارد، بلکه نمایندهٔ منظومه‌های اختری مستقلی است‌که بامنظومهٔ ما شباهت دارند ودرفاصلهٔ‌بسیار دوری ازآن قرار گرفته‌اند.

شکل رصد شدهٔ این‌منظومه‌های‌اختری بسیار دور، مطابق‌نظریهٔ مورد قبول عموم **هرشل**، درست به‌همان صورتی است‌که منظومهٔ ما از

خارج به‌آن شکل دیده می‌شود. در صفحات تصویر XIII و XIV و XV و XVI عکس چند منظومهٔ اختری از این قبیل را که به‌وسیلهٔ تلسکوپ نیرومند رصدخانهٔ مونت ویلسون برداشته شده آورده‌ایم. از روی این تصاویر شکل عدسی « سحابیهای » خارج کهکشان آشکار است، وبه‌علاوه بازوهای مارپیچ نامنظمی کـه برگرد جسم دراز اندام مرکزی وجود دارد، از روی آن‌عکسها دیده می‌شود. باوجود این‌باید دانست کـه همهٔ سحابیهای خارج کهکشانی چنین بازوهایی را ندارند، وبعضی ازآنهـا به‌صـورت اشکال منظـم بیضوی کمابیش پهن شده دیده می‌شوند.

در (شکل ۵۶) خواننده تصویر نظری اشکال مختلف این‌گونه



شکل ۵۶

اشکال مختلف سحابیهای خارج کهکشانی مطابق طبقه‌بندی هبل .

سحابیها را که به‌وسیلهٔ **هبل**[1] منجم رصدخانهٔ مونت ویلسون دیده شده مشاهده می‌کند، وما بیشتر اطلاعات خود را دربارهٔ جهانهای‌جزیره‌ای مدیون این‌دانشمند هستیم.

چون ازپشت‌تلسکوپهای آسمانی‌که‌چندان‌نیرومند نباشند به‌این

---

1. E. Hubble

سحابیها نگاه‌کنیم، به‌صورت جرم پیوستهٔ‌گازی نورانی به‌نظر می‌رسند (وبه‌همین‌جهت‌است‌که‌نام «سحابی = ابری»به‌آنهاداده‌اند)، ولی‌تلسکوپ ۱۰۰ اینچی رصدخانهٔ مونت ویلسون‌آشکار می‌سازد که لااقل بازوهای خارجی عملاازبلیونها ستاره جدا از یکدیگر تشکیل شده، که باافراد منظومهٔ اختری ماشباهت فراوان دارند. اما قسمت مرکزی سحابی‌حتی بااین‌دوربینهای بزرگ‌کننده هم‌به‌صورت‌ستارگان جداجدا درنمی‌آید، وخاصیت ستاره‌ای‌آنها از روی وسائل غیر مستقیم دیگری معلوم می‌شود که در یکی‌از بخشهای آینده ازآن‌سخن خواهیم‌گفت.

فاصله‌ها وابعاد سحابیهای خارج کهکشانی

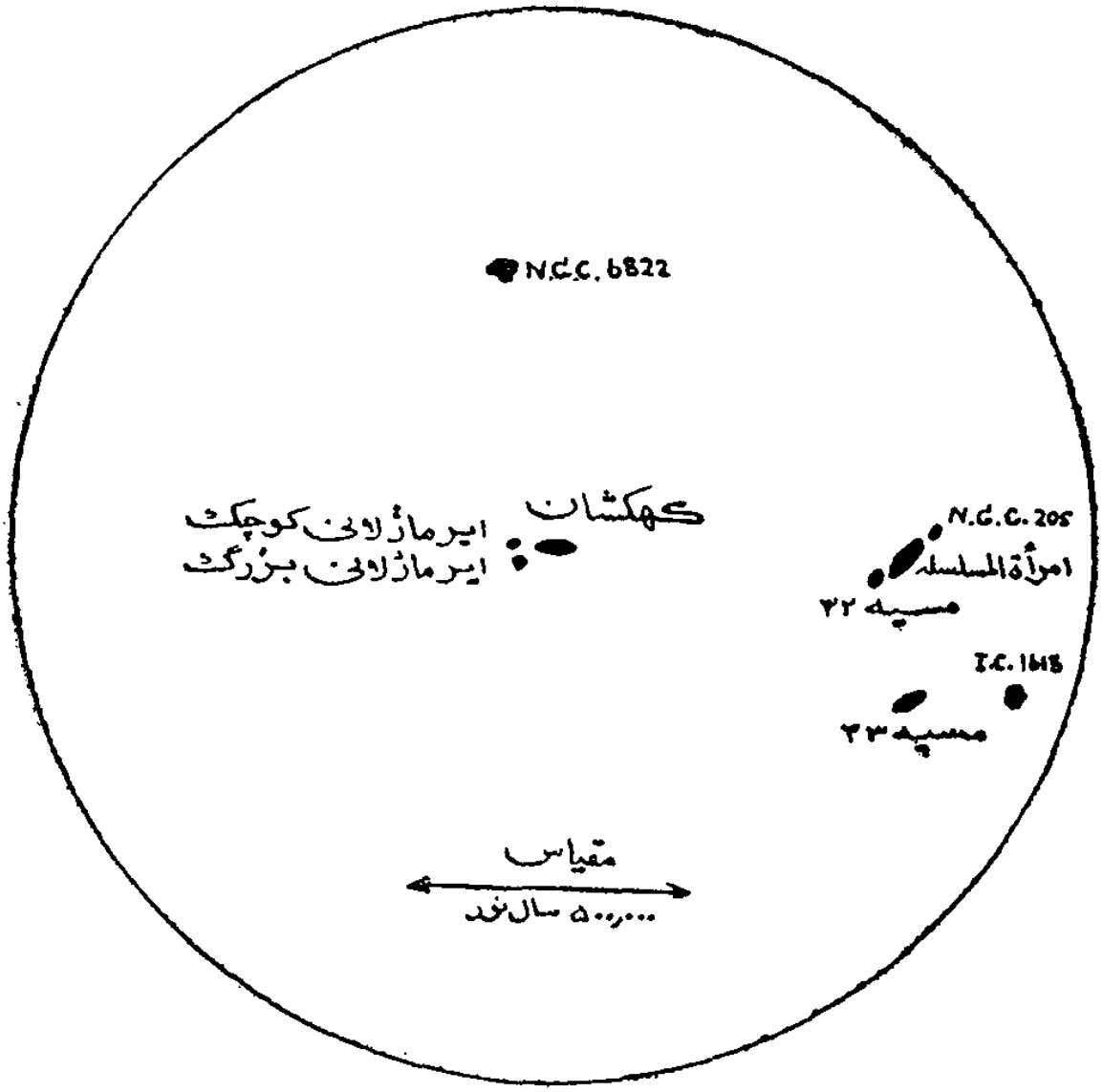
فاصلهٔ میان ما وجهانهای جزیره‌ای به‌اندازه‌ای زیاد است که‌از روشهای متعارفی اندازه‌گیری فواصل نجومی (مانند تعیین فاصله با اختلاف منظر) به‌هیچ‌وجه نمی‌توان استفاده‌کرد. به‌همین جهت‌است‌که تازمانهای نسبتاً نزدیك به خطا چنان می‌پنداشتند که این سحابیها در جاهایی میان ستارگان کهکشان قرارگرفته‌اند.

نخستین بار اندازه‌گیری فاصلهٔ سحابیها یامحاسبهٔ فاصلهٔ‌سحابیی که درصورت فلکی امرأةالمسلسلة به‌نظر می‌رسد میسرگردید (صفحهٔ تصویرشمارهٔ XIII پایان‌کتاب)، وپس ازآن بودکه ثابت‌شد مارپیچهای این‌سحابی از عدهٔ‌بیشماری‌ستاره‌های منفرد تشکیل شده ودر میان‌آنها چند متغیر قیفاووسی وجود دارد. پیش از این درفصل (۷) دیدیم که این‌ستارگان خاص ضربان وتپش منظمی دارند ودورهٔ ضربان مستقیماً بانورانیت‌آنها ارتباط دارد. بنابراین بااندازه‌گیری دورهٔ ضربان متغیرهای قیفاووسی دربازوهای مارپیچی امرأةالمسلسلة امکان آن پیداشده است که بتوانند نورانیت مطلق آنها را اندازه بگیرند. از راه مقایسهٔ این‌نورانیت مطلق بادرخشندگی ظاهری‌می‌توانند بااستفادهٔ ازقانون‌سادهٔ معکوس مجذور فاصله فاصلهٔ این‌سحابیها را اندازه بگیرند.

از تمام قیفاووسیهایی که در سحابی امرأةالمسلسلة دیده شده تقریباً به‌یك‌نتیجه رسیده‌اند **وفاصله‌ای مساوی ۶۸۰،۰۰۰ سال‌نور** به‌دست آمده است. حجم هندسی این سحابی مختصری کمتر از حجم

کهکشان ونورانیت آن ۱٫۷ بلیون برابر نورانیت خورشید ماست.

سحابی بزرگ صورت امرأةالمسلسلة یکی از نزدیکترین همسایگان منظومهٔ کهکشانی ماست، وفاصلهٔ زیادی که باما دارد خود نشان می‌دهدکه فضای خالی جهان چه اندازه عظیم وشگرف است. در میان سایر همسایگان، یك‌سحابی مارپیچی دیگر ودو سحابی بیضوی و دوسحابی باشکل نامنظم دیده می‌شود. فواصل و وضع نسبی آنها را به‌صورت نظری درشکل ۵۷ نمایش داده‌ایم.



شکل ۵۷

کهکشان و همسایگان نزدیك آن در آسمان.

رصدهای فلکی در نزدیکی‌صحابی امرأةالمسلسلة،دو «قمر» یا «مصاحب» را برای این‌جهان اختری دور نشان داده است. این دونیز ازاجتماع عدهٔ کثیری در حدود صدها ملیون ستاره تشکیل شده‌اندکه مانند اجتماعی اززنبوران عسل‌برگردسحابی امرأةالمسلسلة گردش‌می‌کنند[1] . اگر بنا بود که کهکشان ما قمری مخصوص خود نداشته باشد عادلانه به‌نظر نمی‌رسید، وباید گفت که این کهکشان دو تابع یادوقمر همراه دارد. چون فاصلهٔ این دو تـابع نسبتاً کـم است (۸۵،۰۰۰ و ۹۵،۰۰۰ سال نور)، به‌آسانی باچشم غیرمسلح دیده‌می‌شوند. نخستین بار کاشف پرتقالی **فردیناندماژلان**[2] به‌وصف آنها پرداخته، وبه‌همین جهت همان‌گونه که‌برنقشهٔ جغرافیایی زمین تنگهٔ ماژلان موجوداست، برنقشهٔ فلکی نیز **دوپاره ابرماژلانی** ترسیم شده است.

ازاین همسایگان‌نزدیک‌گذشته، رصدهای تلسکوپی عددبیشتری ازجهانهای جزیره‌ای‌مشابهی‌را آشکار ساخته‌است. این «جهانهای‌دیگر اختری» که‌ازلحاظ شکل واندازه مختصر اختلافهایی بایکدیگردارند، تاآنجا که‌رصدهای تلسکوپی آشکار می‌سازد، در فراخنای فضا پراکنده شده‌اند. بنابه‌آنچه **هبل** اظهار داشته است،تلسکوپ بزرگ رصدخانهٔ مونت‌ویلسون‌می‌تواند مارابه‌جاهایی‌ازفضارهبری‌کندکه **۵۰۰ ملیون‌سال نورتازمین فاصله‌دارند،** ودرانجا سحابیهایی را به‌نظر آدمی‌می‌رساند که‌کاملا باسحابی صورت امرأةالمسلسلة یاکهکشان خود ماشباهت‌دارند. شمارهٔ کلی جهانهای جزیره‌ای که ممکن‌است دراین فاصله رؤیت شود درحدود ۱۰۰ ملیون است، والبته دورتر ازاین نیز سحابیهای‌دیگری هست که‌باتلسکوپ ۱۰۰ اینچی نمی‌توان آنهارا دید.

«سحابیهای» خارج کهکشانی سحابی نیستند

درصفحهٔ ۲۱۶ وعده کردیم تادلیل این‌مطلب را برای‌خواننده

---

۱. برای دیدن نمونهٔ تصویر یك‌سحابی مارپیچی به‌صفحهٔ‌تصویر شمارهٔ XVI پایان کتاب‌مراجعه کنید.

۲. Ferdinand Magellan

ذکرکنیم که **آنچه به‌نام «سحابیهای» خارج کهکشانی نامیده می‌شود توده‌های عظیم و پیوستهٔ گازی نیست، بلکه مجموعه‌ای‌است ازستارگانی شبیه‌ستارگان‌کهکشان.** حقیقت امر آن‌است‌که این‌مطلب دلیل‌بسیار ساده‌ای‌دارد، واین‌دلیل‌مبتنی‌بر‌رصدهایی‌است‌که‌نشان می‌دهد خاصیت طیفی‌نوری‌که‌ازاین«سحابیها» صادرمی‌شود، بسیار شبیه است به نوری که‌ازخورشید خودما خارج می‌گردد . بنابراین ازآنچه درفصل ۶ گذشت می‌دانیم‌که درجهٔ حرارت متناظر باچنین صدور نوری نمی‌تواند بادرجهٔ حرارت سطحی خورشید اختلاف فراوان داشته باشد، و این‌درجهٔ حرارت بایستی به‌چندهزار درجه برسد.

اگر این « سحابیها » واقعاً توده‌های غولپیکر گاز پیوسته‌ای بودند که‌درجهٔ حرارت سطحی آنها همان‌درجهٔ حرارت سطحی‌خورشید بود، ناچار می‌بایستی نوری که‌ازآنها صادر می‌شود باوسعت سطح یعنی بامربع یکی ازابعادآنها متناسب باشد. وچون‌قطرمتوسط این«سحابیها» بلیون‌بلیون بار بزرگترازقطر خورشید ماست، باید چنان انتظارداشته باشیم که‌نورانیت کلی آنها **بلیون‌بلیون برابر بزرگتر** از نورانیت خورشید باشد! ولی این مطلب دستگیرما شد که نورانیت فعلی سحابی امرأةالمسلسلة بسیار کوچکتر ازاین اندازه‌است واز۷ر۱ بلیون‌برابر نورانیت خورشید تجاوز نمی‌کند. بنا براین بیتردید باید چنین نتیجه بگیریم که‌نور ازتمام سطح صادر نمی‌شود، بلکه ازعدهٔ زیادی لکه‌های کوچك روشن‌برمی‌خیزد (به‌شکل ۵۳ رجوع کنید) که‌مجموع‌کلی‌سطح آنها به‌سختی بایك‌بلیونم تمام سطح سحابی برابری می‌کند. واین‌همان چیزی است که‌باید از«سحابیهایی» انتظار داشته باشیم که ازستارگان متعارفی جدا جدا از یکدیگر ساخته شده‌اند.

دوران‌سحابی‌خارج کهکشانی ومنشأبازوهای مارپیچی

پیش‌از این اشاره کردیم که بنا برتحقیق آماری در حرکت ستارگان کهکشان معلوم شده‌است که‌منظومهٔ اختری مابه‌کندی برگرد محور مرکزی خوددوران می‌کند. در مورد منظومه‌های اختری دیگر نیز دوران مشابهی دیده شده‌است.مشاهدهٔ اثر **دوپلر**دردوطرف‌متقابل

سحابی خارج کهکشانی که از کنار دیده شود (صفحهٔ تصویر XIV پایان کتاب) همیشه نشان می‌دهد که یك طرف به‌مانزدیك می‌شود وطرف دیگر پس می‌رود . مثلا سحابی بزرگ امرأةالمسلسلة در مدت چند صد ملیون سال یك دور تمام می‌زند، وتقریباً باهمان سرعت زاویه‌ای کهکشان ما در گردش است.

به‌آسانی می‌توان دریافت کـــه همین دوران سبب بیضوی شکل شدن این مجموعهٔ ستارگان است، وبه احتمال نزدیك به‌یقین پیدا شدن بازوهای مارپیچی نیز نتیجهٔ همین دوران است . نظریهٔ رایجی کـــه به وسیلهٔ **سرجیمز جینز** پیشنهـاد شده چنین فرض می‌کند که بـازوهای مارپیچی به‌وسیلهٔ موادی که‌براثر سرعت شدید دوران نواحی استوایی سحابی پیدا می‌شود، از آن جدا می‌گردد (صفحهٔ تصویر XV پایان کتاب) . اگرچه‌ظاهراً چنان‌است‌که‌نظریهٔ **جینز** توضیح درستی‌دربارهٔ‌منشأ‌این‌اشکال جالب توجه‌فلکی می‌دهد، ولی هنگام بحث درجزئیات امر بااین‌نظریه اشکالاتی پیش می‌آید، و مخصوصاً وجود دونوع‌بازوی مارپیچی، همان گونه که‌درشکل ۵۶ دیده‌می‌شود، هنوز یکی ازمسائل لاینحل علم‌نجوم نظری به‌شمار می‌رود.

فصل دوازدهم

تولد جهان

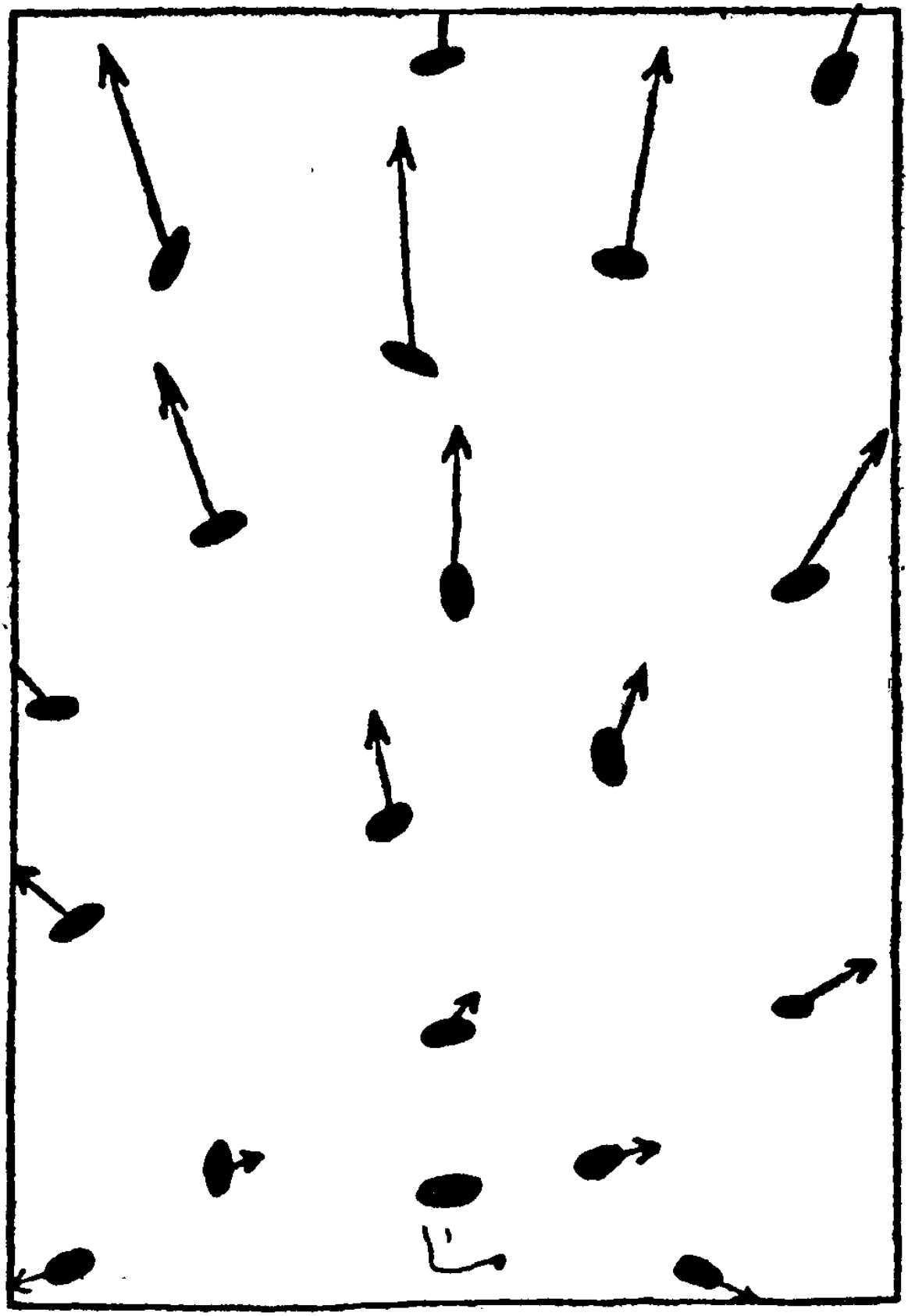
سحابیها می‌گریزند

●

تحقیق و مطالعهٔ در کهکشانهای بیشماری که در فضای بیکران‌پراکنده است ، برجسته‌ترین محقق در جهان سحابیها یعنی **هبل** را بـه یك نتیجهٔ جالب توجه ومعمایی رسانده است. وی‌ازروی اندازه‌گیری‌سرعت شعاعی[1] این‌منظومه‌های‌اختری دور به‌این‌نکته‌متوجه شد که تقریباً همهٔ آنها **به دورشدن ازما بیش‌از نزدیك شدن به‌ما علاقه نشان‌می‌دهند.**

---

۱ . سرعت شعاعی این اجسام دور عبارت ازسرعتی است که‌در امتدادخط رؤیت‌ما دارند وآن‌را مستقیماًمی‌توان ازروی انتقال‌دوپلری خطوط درطیف آنها اندازه گرفت. چون‌فاصله بسیار زیاداست **حرکت خاص** سحابیهای خارج کهکشانی‌را درامتداد عمود برخط رؤیت نمی‌توان اندازه گرفت.



شکل ۵۸
سحابیهای خارج کهکشانی ازما می‌گریزند. به‌جهت وطول این‌سرعتها توجه داشته‌باشید.

البته این بیان برای سحابیهای خارج کهکشانی بسیار نزدیك بهما صحت ندارد، چه‌دراینجا توزیع سرعت جنبهٔ اتفاقی وتصادفی دارد وتقریباً همان اندازه که‌ازمیان این‌گونه سحابیها عده‌ای‌به‌زمین نزدیك می‌آیند، عدهٔ دیگر نیز هستند که‌اززمین دورمی‌شوند، وبالخاصه باید این‌نکته‌را به‌خاطر داشت که‌سحابی امرأةالمسلسلة باسرعت ۳۰کیلو- متر درثانیه به زمین نزدیك می‌شود. ولی در چنین حالات نیز سرعت نزدیك شدن تاحدی ازسرعت پس‌رفتن کمتراست واین‌خودنشان می- دهد که جهانهای جزیره‌ای می‌کوشند تامسافت خودرا از کهکشان مـ زیادتر کنند.

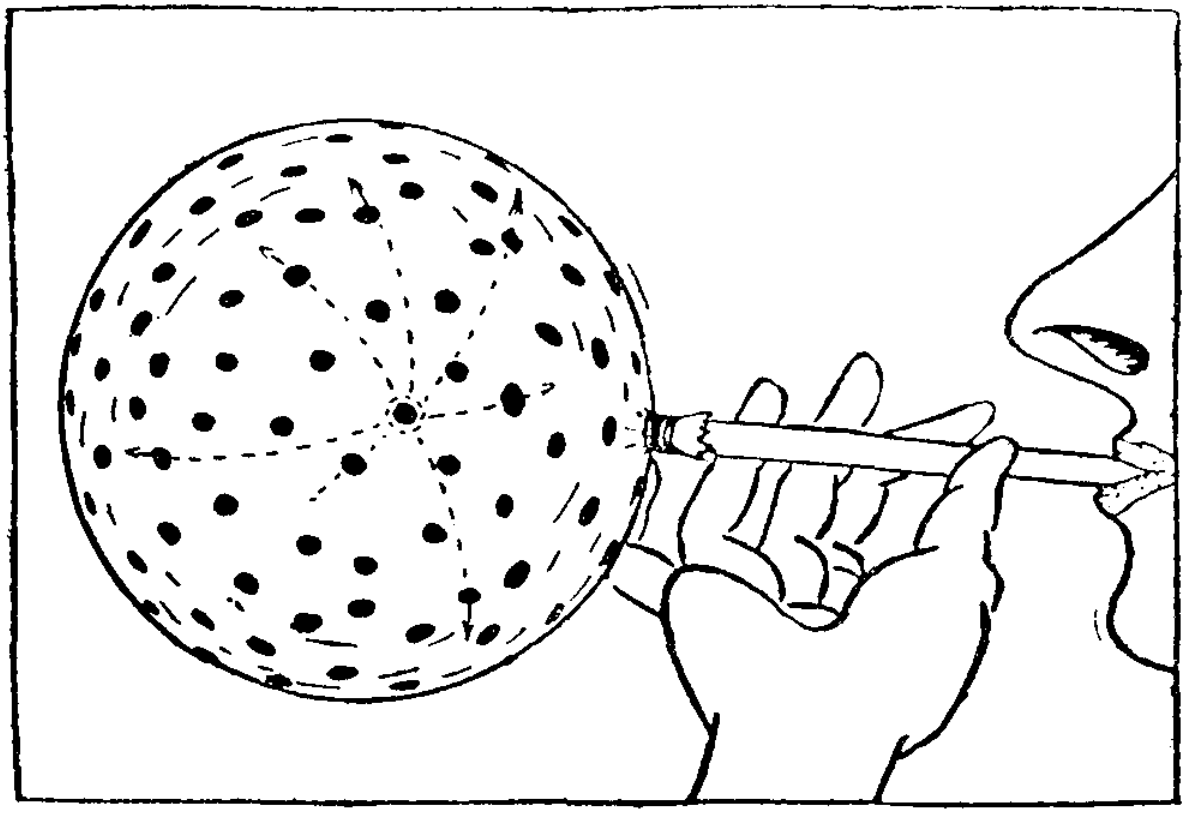
و نیز چون به‌فاصله‌های دورتر توجه‌کنیم معلوم می‌شودکه‌رفته رفته سرعت‌گریختن وپس‌رفتن سحابیها افزایش پیدا می‌کند و چنـان می‌شودکه استثناهای انفرادی که ازلحاظ نزدیك شدن بعضی سحابیهـا وجود دارد بی‌اثرمی‌ماند (شکل ۵۸). بدون‌هیچ استثنا تمام‌جهانهای جزیره‌ای دور ازما می‌گریزند، و هرچه از ما دورتر باشند با سرعت بیشتری حرکت می‌کنند. ازروی اندازه‌گیریهای **هبل** واضح شده‌است که سرعت این پس‌رفتنها با فاصله نسبت مستقیم دارد و اندازهٔ آن از چند صد میل درثانیه برای‌سحابیهای همسایهٔ زمین تا**۶۰،۰۰۰میل‌در ثانیه** (یك‌سوم سرعت‌نور!) برای‌سحابیهای بسیار دوری‌که هنوز قابل رؤیت هستند، تغییر پیدا می‌کند.

جهانی که گسترش پیدا می‌کند

آیا این‌سخنان آدمی‌را به‌این اندیشه‌نمی‌اندازد که زمین‌کوچك مسکین‌ما بایك مشت دانشمندان نجوم خود همهٔاین‌جهانهای غول‌آسای اختری را چنان ترسانده است‌که هریك درجهتی‌که ممکن باشد ازما می‌گریزند؟ آیا این طرز تصور بازگشت مرتجعـانه به‌نظـریهٔ متـروك بطلیموسی دربارهٔ جهان نیست که درآن کرهٔ زمین مقـام مرکزیت را داشت ؟

البته چنین نیست،چه سحابیهای‌خارج‌کهکشانی تنها ازکهکشان ما نمی‌گریزند، بلکه درواقع همه ازیکدیگر دورمی‌شوند. اگربرروی

یك‌بالون لاستیکی نقاطی که کمابیش فاصله‌های متساوی با یکدیگر دارند بگذاریم، وپس‌از آن بالون را باد کنیم (شکل ۵۹)، فاصلهٔ هر

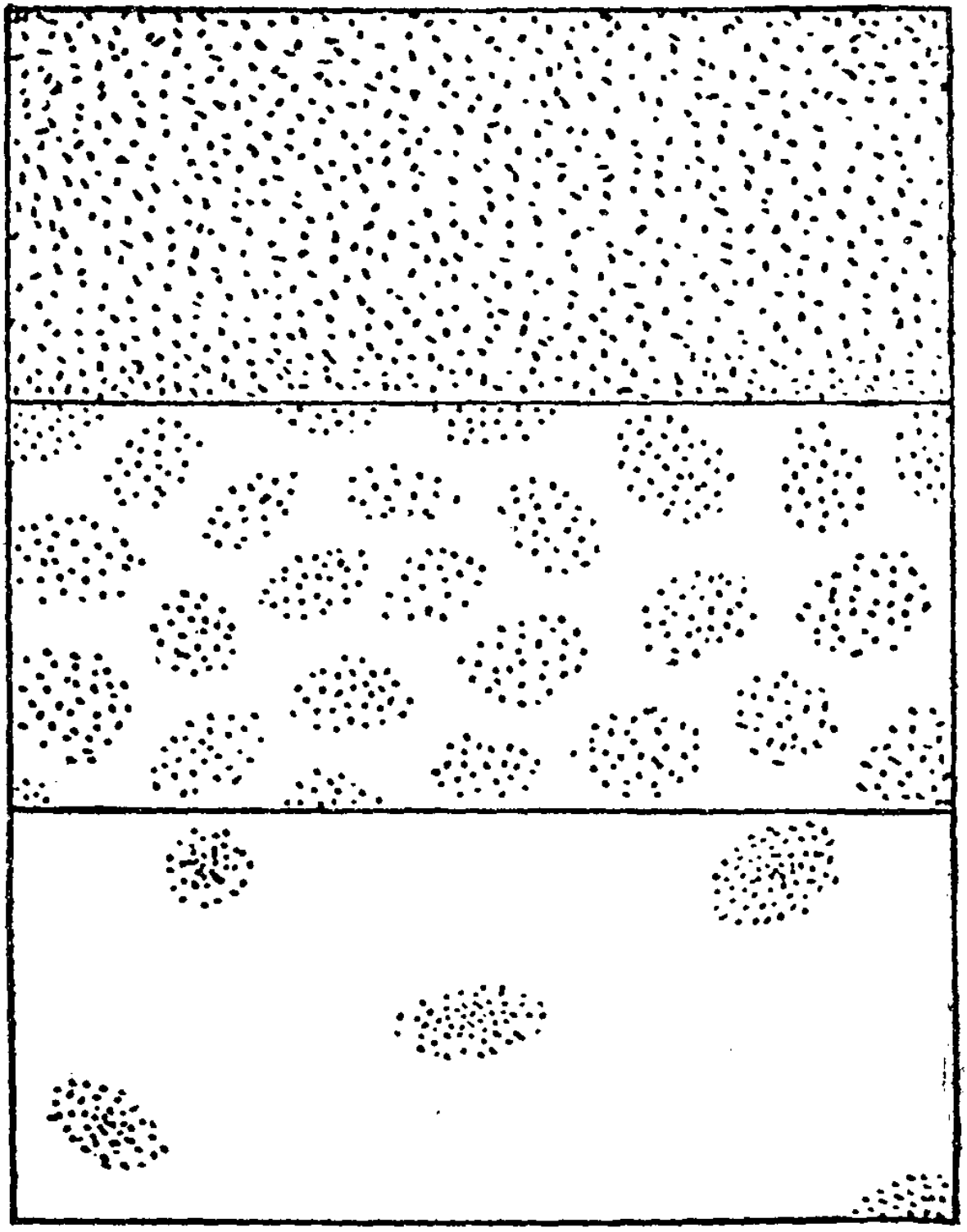


شکل ۵۹
دران هنگام که بالون را بادکنیم وانبساط پیداکند، نقطه‌ها از یکدیگر دور می‌شود.

نقطه تا نقطه‌های دیگر به‌صورت منظمی افزایش می‌پذیرد، بدان سان‌که اگر حشره‌ای برروی یکی‌ازاین نقطه‌ها نشسته‌باشد، این‌احساس معین را پیدا می‌کند که همهٔ نقطه‌های دیگر از او « درحال فرارهستند .» به‌علاوه سرعت پس‌رفتن و دور شدن نقاط مختلف روی بالونی که در حال‌گسترش است مستقیماً بافاصلهٔ آنها تا نقطهٔ مشاهدهٔ حشره متناسب است .

این تصویرممکن‌است کاملا این‌مطلب‌را روشن سازدکه بتوانیم نمودی را که به‌وسیلهٔ **هبل** مشاهده شده، به‌عنوان **گسترش یکنواخت وکلی فضایی که سحابیهای خارج کهکشانی** درآن قرار گرفته‌اند تعبیرکنیم. باید به‌این نکته توجه داشت که تنها فاصلهٔ میان جزایر

اختری مختلف تغییر می‌کند، ولی ابعاد هندسی خود آنها دراین تغییر ثابت می‌ماند. دوبلیون سال پس ازاین جزایر اختری به‌همان بزرگی



شکل ۶۰

درنتیجهٔ گسترش فضایی‌که دران ستارگان به‌حالت یکنواختی توزیع شده بود، جهانهای جزیره‌ای به‌وجودآمده است.

خواهند بود که اکنون هستند، ولی فاصلهٔ میان آنها دو برابر فاصلهٔ کنونی خواهد شد. ازطرف دیگر بنا به‌همین اندازه‌گیریها، ۲ بلیون سال پیش ازاین فاصلهٔ میان جزایر اختری می‌بایستی آن اندازه کم بوده باشدکه سحابیها عملا مجموعهٔ جدانشده‌ای ازستارگان باشندکه در جهان به‌صورت یکنواختی توزیع شده بوده‌اند (شکل ۶۰).

به‌این‌ترتیب می‌بینیم‌که‌کیفیت تشکیل شدن کهکشانهای‌مختلف تا حدی شبیه‌به‌کیفیت تشکیل‌شدن افراد ستارگان است، با این‌اختلاف که ستارگان ازگاز متعارفی‌ساخته شدهٔ ازمولکولها درست شده‌اند، ولی تشکیل کهکشانها نتیجهٔ « انعقاد وبسته شدن » یك « گاز اختری » است‌که ذرات آن‌را ستارگان مختلف تشکیل می‌دهد.

پیش‌ازآنکه کهکشانهای مجزی از یکدیگر درنتیجهٔ گسترش تدریجی جهان از هم دور شوند، ناچار در میان‌این مجموعه‌های غول‌آسای ستارگان فعل وانفعالات ثقلی شدید برقرار بوده‌است. به‌طریقی بسیار مشابه باآنچه درمورد افراد ثوابت به‌تشکیل‌منظومه‌های سیاره‌ای منجر شده (فصل۱۰)، این فعل وانفعالات بایستی‌سبب آن شده‌باشد تا جهانهای جزیره‌ای نوزاد مقداری گشتاور دورانی پیداکنند. وشاید همین نیز سبب آن باشد که ازبدن این سحابیها نوارهای دراز « گاز ستاره‌ای » که آنهارا اکنون به‌نام بازوهای مارپیچی سحابی می‌نامیم، خارج شده باشد.

کدام‌یك سالخورده‌تر است: ستارگان یاکهکشانها؟

هم اکنون خواننده را به‌این فکر انداختیم تا چنان تصور کند که کهکشانها از عده‌ای ازستارگان تشکیل شده‌اند که به‌صورت‌پیوستهٔ به‌یکدیگر درفضاقرار گرفته‌اند، واین‌خود مستلزم‌آن است‌که‌ستارگان سالخورده‌ترازکهکشانها بوده باشند. می‌خواهیم‌بدانیم که آیا این‌مطلب درست‌است یانه؛ چراکسی‌نتواند همان‌گونه که **سرجیمزجینز** پیشنهاد کرده‌است کیفیت عکس را تصور کند؛ بنا به‌نظر وی گاز ابتدایی که جهان‌را پر می‌کرده پاره پاره شده وسحابیهای غولپیکر **گازی** ازآن به‌وجود آمده، وپس از آنکه این سحابیها به‌اندازهٔ کافی از یکدیگر

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

مسئلهٔ سن‌نسبی ستارگان وکهکشانها بیشباهت به‌مسئلهٔ مشابهی که به‌مرغ و تخم مرغ مربوط می‌شود نیست؛ متأسفانه این مسئله‌قدری پیچیدگی دارد و بدون وارد شدن در جزئیات که ازحوصلهٔ این کتاب خارج است، نمی‌توان در بارهٔ آن به‌بحث پرداخت. دراینجا تنها باید خودرا به‌ذکر این نکته قانع کنیم که بنا بر پژوهشهای تازه مؤلف و همکار او **ادوارد تلر**، تمام شواهد مؤید آن است که درآن هنگام که تشکیل کهکشانها آغاز می‌شده ستارگان وجود داشته‌است.

این طرز استنتاج برنظر **جینز** رجحان دارد، و نه‌تنها با آن می‌توانیم توضیح رضایتبخشی دربارهٔ کیفیات اساسی تشکیل کهکشانها بدهیم، بلکه می‌توانیم فواصل و ابعاد آنهارا به‌طوری حساب کنیم که کاملا با آنچه از مشاهده و رصدکردن به‌دست می‌آید مطابق باشد. خواننده‌ای‌که بخواهد دربارهٔ این‌مسئلهٔ خلافی آفرینش جهان اطلاعات بیشتری پیداکند، بایستی به‌کتابهای خاصی که‌دراین موضوع نوشته‌اند مراجعه کند.

مرحلهٔ ابتدایی گسترش جهان وآفرینش عناصر رادیو آکتیو

چون اکنون در رشتهٔ متوالی زمان به‌عقب بازگردیم وکیفیت گسترش تدریجی جهان را به‌صورت قهقرایی درنظربگیریم، ناچاربه‌این نتیجه می‌رسیم‌که در زمانهای بسیاربسیار دور، پیش‌ازآنکه‌کهکشانها و حتی ستارگان مجزی ازیکدیگر به‌وجود آمده باشد، هم چگالی وهم درجهٔ حرارت گاز ابتدائی‌که جهان‌را پرمی‌کرده بایستی بی‌اندازه زیاد بوده باشد. تنها براثر گسترش بوده‌است‌که چگالی و درجهٔ حرارت‌آن اندازه پایین آمده که تشکیل اجرام فلکی جدا ازیکدیگر امکانپذیر شده‌است. به‌صورت‌نظری، چگالی‌ودرجهٔ حرارت‌وابستهٔ به‌مراحل‌بسیار ابتدائی تکامل جهان درحال گسترش ازآنچه ما بتوانیم تصور کنیم افزونتر بوده و ....

یقیناً خواننده ازآنچه می‌شنود به‌شگفتی می‌افتد و می‌گوید : « بس‌است! ازهمه‌چیزگذشته تصور من‌چنان بودکه این‌کتاب برشالودهٔ حقایق فیزیکی طرح شده است، ولی‌آنچه می‌شنوم که این‌جهان ازگاز بسیار چگال و بسیار داغ ساخته شده، بیشتر به‌اندیشه‌های متافیزیکی شباهت دارد! »

ولی باید دانست که یك واقعیت فیزیکی وجود دارد که اگر نتواند حقیقت آنچه‌را 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 وتوریوم است که پایداری ندارند، و بنابر این لازم است که درفاصلهٔ معینی از زمان نسبت به‌زمان حاضر تشکیل‌شده باشند. دورهٔ عمر این عناصر خاص رادیو آکتیو (۴٫۵ بلیون 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 سال‌عقبتر نمی‌رود.** این تاریخ با تاریخ احتمالی آفرینش جهان ازگاز بسیار چگال ابتدائی‌که از روی شواهد رصدی مربوط به‌اندازهٔ‌کنونی گسترش جهان به‌دست می‌آید، به‌صورت اجمالی مطابقت دارد .

ازاین‌گذشته، تحقیقات‌تازهٔ فیزیکدان‌جوان آلمانی **کارل فون وایتسزکر** به‌طور قطع این‌مطلب را ثابت‌کرده‌است‌که تشکیل عناصر سنگین مانند توریوم و اورانیوم تنها در تحت شرایط فیزیکی خاص چگالی وحرارت زیاد ـ یعنی چگالیی چند بلیون برابر چگالی‌آب و درجهٔ حرارتی مساوی چندبلیون درجهٔ صد بخشی ـ امکانپذیر است . چون چنین‌شرایطی حتی‌درقسمت مرکزی داغترین ستارگان نیزوجود 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 بنابرآن **بایستی تشکیل عناصر رادیوآکتیو در مراحل « ماقبل تاریخ » جهان انجام شده باشد.** به‌این ترتیب

باید گفت که صفحهٔ درخشان ساعت مچی ما با انرژیی تغذیه می‌شودکه دردوران پیش‌از تشکیل ستارگان وجهان به‌آن صورتی‌که اکنون‌آن را می‌شناسیم، درهسته‌های اتومی فشرده وذخیره شده است.

بیپایانی فضا

آیا درآن‌هنگام که جهان به‌جای‌آنکه مثل امروز این اندازه رقیق وتنگ باشد، چگالی‌آن 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 درون‌آن مشت جای بگیرد؟ پاسخ گفتن به‌چنین پرسش مستلزم‌آن‌است که بدانیم جهان‌ما محدود است یا نامحدود. اگر جهان ابعاد محدودی داشته و مثلا بزرگی آن ده برابر فاصلهٔ میان دورترین سحابیهای دیدنی بوده باشد ، قطر آن درزمانی که عناصر رادیو آکتیو تشکیل می‌شده بایستی تنها ده برابر بزرگتر ازقطر مدار سیارهٔ نپتون بوده باشد ! ولی اگر جهان بیپایان است، این بیپایانی هیچ ارتباطی به‌آن ندارد که درآن زمان که حالت فشردگی داشته چه اندازه فشرده بوده‌است.

مسائل مربوط به‌خواص بیپایانی و پایانداری فضا، ومطالب وابستهٔ به‌انحنای فضا متعلق به‌میدان بحث نظریهٔ نسبیت عمومی‌است، واگر درست بخواهیم ارتباطی با مباحث‌کتاب حاضر ندارد.[1] دراینجا همین اندازه باید اشاره کنیم که مطابق آخرین پژوهشهایی که شده چنان به‌نظر می‌رسد که فضای مانامحدود ودر بینهایت به‌حال گسترش است. چه از این بهتر!

---

۱. خواننده ممکن است با مراجعهٔ به‌کتاب دیگر مؤلف به‌نام « **آقای‌تامکینس درسرزمین‌عجایب** » اطلاعاتی دربارهٔ فضای خمیده ومسائل مربوط به‌گسترش فضا به‌دست آورد.

فصل سیزدهم

نتیجه

●

شاید پیش‌ازانکه خواننده این کتاب را ببندد و به داستان اسرارآمیز مشغول کننده‌تری بپردازد ، چنان دوست داشته باشد که نتایجی را که ازاین کتاب به‌دست می‌آید به‌ترتیب زمانی خلاصه شدهٔ درچندجمله در برابر خود ببیند و تصویری را که دانشمندان از روی علم جدید برای تکامل جهان ما ساخته‌اند درنظر بیاورد.

داستان تکامل جهان‌ازفضایی‌آغاز می‌شودکه به‌صورت یکنواخت ازماده‌ای که اندازهٔ گرما وچگالی آن باورنکردنی است پرشده، ودر این ماده عمل تبدل هسته‌های عناصر بایکدیگر به‌همان آسانی صورت می‌گیردکه تخم مرغ درآب جوش می‌پزد. دراین آشپزخانهٔ « ماقبل تاریخی» جهان‌اندازهٔ عناصرمختلف‌ونسبت‌آنها به‌یکدیگر مقدرگردیده واز همانجا است که فراوانی آهن واکسیژن وکمیابی زر و سیم تعیین شده است. ونیز تشکیل عناصر درازعمر رادیو آکتیو که‌درزمان حاضر

هنوز کاملا فاسد وتجزیه نشده‌اند، مربوط به‌همان‌روزگاربسیار دوراست.

درتحت تأثیر فشار شگرف این گاز فشردهٔداغ، جهان‌به‌گسترش آغاز کرده ودرطول‌این‌مدت انبساط جهان چگالی ودرجهٔ حرارت‌ماده به‌کندی درحال تنزل‌بوده‌است. در مرحلهٔ معینی ازاین گسترش گـاز پیوسته بریدگی پیداکرد وبه‌صورت‌پاره ابرهای‌منظم مجزی ازیکدیگر به‌بزرگیهای مختلف درآمد، ورفته‌رفته شکل این‌پاره‌ها به‌صورت منظم گردی که‌همان شکل ستارگان است مبدل گردید. ستارگان هنوز بسیار بزرگتراز آن‌اندازه‌ای که‌اکنون هستندبودند، ولی درجهٔ حرارت آنها بسیارزیاد نبود. عمل‌تدریجی‌انقباض ثقلی‌رفته‌رفته‌قطر آنهاراکوچکتر می‌ساخت و درجهٔ حرارتشان را بالاتر می‌برد. تصادمهای فراوانی کـه میان اعضای این‌خانوادهٔ ابتدایی ستارگان صورت می‌گرفت‌سبب آن‌بود که‌منظومه‌های سیاره‌یی متعددی ایجادشود، ودریکی ازهمین برخوردها بود که‌زمین ما به‌دنیا آمد.

درآن‌هنگام که‌ستارگان پیوسته داغترمی‌شدند، ودرسیارت‌آنها به‌علت کوچکی درجهٔ حرارت مرکزی زیادی که برای فعل وانفعالات هسته‌یی ضرورت دارد وجود نداشت، واین سیارات با قشرهای جامدی پوشیده می‌شدند، «گاز اختری» که‌جهان‌را پرکرده بود به‌گسترش‌خود ادامه می‌داد، وفاصله‌های میان ستارگـان رفته رفته به اندازه‌ای که هم اکنون دارند نزدیك می‌شد.

درمرحلهٔ دیگری ازگسترش جهان غلظت آن مطابق باغلظت متوسطی شد که‌هنوز درکهکشانها وجود دارد. «گاز اختری» پاره‌پاره شد وبه‌صورت ابرهای غولپیکری ازستارگان درامد. درآن حین که‌این جزایر اختری هنوز به‌یکدیگر نزدیك بودند، فعل و انفعال جاذبه‌ای میان آنها دربسیاری ازحالات سبب آن‌شد که بازوهای مارپیچی عجیب تولید شود ومقداری گشتاور دورانی درآنها پدیدار گردد.

ازآن‌زمان به‌این‌طرف اغلب ستارگانی که‌این جزایر دورشونده رامی‌سازندآن اندازه درمرکز خودداغ شده‌اند که‌فعل‌وانفعالات‌حرارتی هسته‌ای میان ئیدروژن وعناصر سبك درآنها امکانپذیر شده است. در ابتدا دوتریوم وپس‌از آن لیتیوم وبریلیوم و درپایان کار بور درجوف

آنها سوخته و«خاکستر» شده است (واین «خاکستر» هسته‌ای همان گاز معروف هلیوم است)؛ ودر ضمن‌عبور ازاین‌مراحل مختلف تکامل «غول سرخی» ستارگان رفته‌رفته به‌اصلیترین ودرازترین قسمت‌تکامل خودنزدیك شده‌اند. هنگامی‌که‌دیگرهیچ عضوسبکی‌باقی‌نماند، ستارگان بامیانجیگری عناصر سیمرغ وش‌کربون و نیتروژن، ئیدروژن خود را به‌هلیوم تبدیل می‌کنند. خورشید ماهم‌اکنون دراین مرحله‌سیرمی‌کند.

ولی زود یادیر همهٔ ذخیرهٔ ئیدروژنی بالاخره تمام می‌شود. ستارهٔ درشت وروشن چون به‌این نقطهٔ بحرانی در تکامل خود می‌رسد، به‌انقباض آغازمی‌کند وانرژی ثقلی آن آزادمی‌شود.

درپاره‌ای حالات چنین انقباضی سبب ناپایداری‌کلی جرم‌ستاره می‌شود و پس‌از انفجار وآتش گرفتن، ستاره به پاره‌های کوچکتری منقسم می‌گردد. دوبلیون سال پس‌از آنکه این«عمل‌آفرینش» آغاز گشته، بعضی ازاین پاره‌ستاره‌هارا که‌ئیدروژن آنها تمام شده درآسمان می‌بینیم؛ این‌پاره ستارگان چگالی بسیار زیاد ونورانیت بسیارکم‌دارند وهمانها هستند که‌به‌نام «کوتوله‌های سفید» نامیده می‌شوند.

ولی خورشید ما که باکمال صرفه‌جویی ئیدروژن خود را به‌کار می‌برد، هنوز باکمال نیرومندی پیش‌می‌رود وآمادهٔ‌آن است تاده‌برابر عمری که‌دارد پس‌ازاین‌نیززندگی کند. خورشید رفته‌رفته گرم‌وگرمتر می‌شود، تاجایی که‌پس از چند بلیون سال حرارت سطحی آن هرچه‌را برروی زمین است خواهد سوزانید، واین‌پیش‌ازآن است‌که‌به‌حد اعلای نورانیت خودرسیده وبه‌انقباض آغازکرده باشد.

هنگامی که ستارگان کهن و ولخرج بمیرند، عده‌ای ستارگان جدید ازمادهٔ گازی‌که‌پس‌از آفرینش اختران برجای‌مانده است‌تشکیل می‌شود، ولی‌زمان که‌پیشتر می‌رود، بیشتر ستارگانی که‌متعلق‌به‌جزایر اختری بیشمار هستند پیر و پیرتر می‌شوند.

ودرسال ۱۲،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰ پس‌از آفرینش جهان یا سال ۱۰،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰ میلادی، جهان چنان خواهد بود که‌همه جای آن‌را دور ازیکدیگر جزایر اختری پرکرده و ستارگان این جزایر یامرده ویادرحال احتضارند.

گاهنامه

مهمترین گامهایی که‌درحل مسائل مربوط به ساختمان و تولید انرژی وتکامل ستارگان برداشته شده:

۱ـ فرضیهٔ انقباض **(هلمیولتز)** ۱۸۵۴
۲ـ اکتشاف رادیو آکتیویته **(بکرل)** ۱۸۹۶
۳ـ طبقه‌بندی ستارگان به‌سه‌گروه اصلی **(راسل)** ۱۹۱۳
۴ـ نظریهٔ ساختمان‌درونی‌ستارگان **(ادینگتون)** ۱۹۱۷وبعد
۵ـ تحول مصنوعی عناصر **(راذرفورد)** ۱۹۱۹
۶ـ کوتوله‌های‌سفیدبه‌عنوان‌ستارگان‌ویرانشده **(فاولر)** ۱۹۲۶
۷ـ نظریهٔ کوانتومی‌دربارهٔ تبدلات هسته‌ای **(گاموف؛ گرنی؛ کوندون)** ۱۹۲۸
۹ـ فعل وانفعالات حرارتی هسته به‌عنوان منبع‌انرژی ستارگان **(اتکینسون وهوترمنس)** ۱۹۲۹
۹ـ فعل و انفعالات هسته‌ای زنجیری در ستارگان **(وایتسزکر)** ۱۹۳۷
۱۰ـ تکامل ستارگان باتولید انرژی حرارتی هسته **(گاموف)** ۱۹۳۸
۱۱ـ دورهٔ کربون ـ نیتروژن در خورشید **(بث و وایتسزکر)** ۱۹۳۸
۱۲ـ فعل وانفعالات عناصر سبك درغولهای سرخ **(گاموف و تلر)** ۱۹۳۹

ضمیمه

●

بومبهای اتومی

همان گونه که در فصل ۴ بحث کردیم ، بهترین فرصت برای آزاد کردن انرژی زیراتومی درآن است که‌فعل‌وانفعال تکثیر نوترون‌را که درضمن عمل شکافته شدن هسته‌های‌سنگین صورت می‌گیرد مورداستفاده قرار دهیم. وچون تنها نوع موجودهسته‌ای‌که‌بتواند درچنین عملی‌کار- آمد باشد ، هسته‌های همجای سبکتر اورانیوم U-۲۳۵ است که فقط ۷ر۰ درصد ازاورانیوم طبیعی را تشکیل می‌دهد،بنابراین‌خود را رو- به‌رو بامسئلهٔ دشوار جدا کردن این‌همجای کمیاب از همجای فراوانتر ولی بی‌اثر U - ۲۳۸ می‌بینیم.

دوطریقه‌ای که‌برای جداکردن همجاها ازیکدیگر به‌کارمی‌رود عبارت است از**طریقهٔ نفوذ و تراوش** که‌درمتن کتاب شرح آن‌گذشت و طریق مستقیمتر **جرمی- طیفی** که درآن اتومهای اورانیوم مطابق جرم خود ازراه خم شدن دسته‌های یون‌اورانیوم در میدان مغنـاطیسی نیرومندی طبقه‌بندی می‌شوند.

براثر احتیاج‌شدیدی که‌درجنگ‌پیش‌آمده‌بود، کوشش‌فراوانی به‌عمل آمد تابتوانند همجاهای اورانیوم را به‌مقیاس وسیعی ازیکدیگر جدا کنند، واین‌گونه کارها به‌صورت بسیار محرمانه در دستگاهی به‌نام «کارهای مهندسی کلینتون» در ایالت تنسی انجام می‌شد، ودر آنجا کارخانه‌های متعددی تأسیس شده بود تاجداکردن همجاها باطریقه‌های مختلف درآن کارخانه‌ها صورت گیرد.

اعمال مربوط به‌جدا کردن همجاها باطریقهٔ تراوش در تحت راهنمایی گروه پژوهندگان دانشگاه کولومبیا بود، ودر جدا کردن مغناطیسی‌ازنتایجی استفاده می‌شد که‌باآزمایشهای مقدماتی آزمایشگاه تشعشع دانشگاه کالیفورنیا به‌دست آمده بود. درنتیجهٔ تحقیق معلوم‌شد که‌طریقهٔ انحراف مغناطیسی کارآمدتر از طریقهٔ تراوش است، وآنچه واقعاً اتفاق افتاده این‌است که‌نخستین کمیت۲۳۵-U که‌برای‌استعمال درساختن بومب اتومی کفایت می‌کرده ازکارخانه‌ای به‌دست آمده‌است که‌باهمین طریقه به‌کار افتاده‌بود.

راه امکان کاملا تازهٔ تولید هسته‌های قابل شکافته شدن که‌برای عمل تکثیر نوترونها مناسب باشد، بوسیلهٔ اکتشاف **فرمی و وایتسزکر** به‌دست‌آمد، چه این دونفر راهی پیدا کردند تااز آن‌راه بتوانند در اورانیوم طبیعی عمل تکثیر نوترون‌را به‌صورت کندی ایجادکنند.

همان‌گونه که‌درفصل ۴ دیدیم، دلیل‌اصلی آنکه‌چرا چنین‌عملی به‌شکل طبیعی دراورانیوم طبیعی صورت نمی‌گیرد، دراین واقعیت‌است که‌نوترونهایی که‌ازشکافته شدن هسته‌های ۲۳۵-Uبه‌دست می‌آید، پیش ازآنکه بتواند باهسته های ۲۳۵-U دیگر نزدیك وسبب پیدا شدن نوترونهای تازه شود، به‌وسیلهٔ همجاهای فراوانتر ولی بی‌اثر ۲۳۸-U جذب می‌گردد. باوجود این می‌دانیم که دونوع اورانیوم برای جذب کردن‌نوترونهای تابنده قابلیتهای متفاوت دارند: هستهٔ همجای سنگین ۲۳۸-U می‌خواهد نوترونهای تندتررا جذب کند، در صورتی که‌هستهٔ همجای سبك ۲۳۵-U درمقابل نوترونهای کند قابلیت جذب بیشتری دارد. چون نوترونهایی که‌درضمن عمل شکافته شدن آزادمی‌شوند همه تندهستند، درمعرض آن‌قرار دارند که پیش‌از رسیدن به همجای سبك

U-۲۳۵ مجذوب همجای سنگین U-۲۳۸ شوند. اگر بتوانند نوترونهای تندرا پیش از آنکه شانس ملاقات کردن باهستهٔ U-۲۳۸ داشته باشند کند کنند، ممکن است این نوترونهارا هسته‌های U-۲۳۵ شکارکنند، ودراین صورت باآنکه هسته‌های همجای سبك اقلیت دارند ، بیش از هسته‌های همجای سنگینترشانس صیدکردن چنین نوترونهایی‌را خواهند داشت. پس‌ازاکتشاف شکافته شدن اورانیوم به‌این فکر افتادند که‌ممکن است نوترونهای حاصل‌شدهٔ ازشکافتن هسته‌را به‌وسیلهٔ آمیختن اورانیوم طبیعی باآب کندتر کنند، چه تصادم شدید نوترونهای تند با هسته‌های ئیدروژن مولکولهای آب به‌سرعت مقداری ازانرژی اصلی آنهارا می‌گیرد. ولی محاسبات مفصلتر نشان دادکه، حتی در اورانیوم رقیق‌شدهٔ باآب، نوترونها نمی‌توانند آن اندازه انرژی خودرا ازکف بدهند که ازخطر جذب‌شدن باهمجاهای بی‌اثر سنگینتر در امان بمانند. بعدها دریافتند که برای آنکه این طریقه بتواند کارگرشود، لازم است‌که از ابتدا اورانیوم طبیعی را با U-۲۳۵ تقویت کنند تاغلظت آن از حیث شامل‌بودن براین ماده دوبرابر شود، واین‌خود باز مارا به‌مسئلهٔ دشوار جدا کردن همجاها بازمی‌گرداند. اساس فکر **فرمی‌وزیلارد**[1] عبارت‌از این است که‌به‌جای آنکه مخلوط متجانسی‌ازاورانیوم طبیعی ومادهٔ‌کند کنندهٔ نوترونها داشته باشند، کاری‌کنند که‌دانه‌های کوچك نوترون به صورت پراکنده درآن مادهٔ کند کننده قرارگرفته باشد. دراین‌صورت نوترونهایی که‌ازدانه‌های مجزی از یکدیگر خارج می‌شود ازمیان مادهٔ خالص کند کننده‌می‌گذرد، وچنان‌است که‌پس‌ازآنکه به‌اورانیوم‌رسیدند آن‌اندازه‌کندی پیداکرده‌اند که‌ازخطر اسیرشدن به‌وسیلهٔ همجای‌سنگین درامان خواهند بود.

نخستین دستگاهی که‌به‌این ترتیب ساخته شد همان است‌که‌در ماه دسامبر ۱۹۴۲ در دانشگاه شیکاگو به‌کار افتاد و مادهٔ کند کنندهٔ آن‌به‌جای آب‌کربون خالص بود.

این‌دستگاه جرم‌بزرگ تخم‌مرغی شکلی‌است که‌ازعدهٔ فراوانی

---

1. Szilard

آجرهای زغالی ساخته شده وهریك ازاین آجرها در داخل خود دانهٔ اورانیومی دارد. این‌تخم‌مرغ **فرمی** واقعاً به‌کار افتادوپس‌ازانکه حجم آن به‌اندازه کافی بزرگ شد(به‌وسیلهٔ قشرهای تازه‌ای از قطعات آجر زغالی) تااز فرار نوترونها به‌اندازهٔ زیاد جلوگیرد (صفحهٔ ۱۰۸ دیده شود)، فعل‌وانفعال شکافته‌شدن هستهٔ اورانیوم به جریان افتاد و درجهٔ حرارت سطحی‌را به۱۵۰ رسانید واین درجه‌را ثابت نگاه‌داشت.

تخم مرغ **فرمی** نه‌تنها نماینده نخستین‌دستگاهی‌است که درآن انرژی‌هسته‌به‌مقیاس بزرگ‌آزاد می‌شود، بلکه درعین‌حال امکانات‌کاملا تازه‌ای‌را فراهم‌آورده‌است تاعناصر جدیدی به‌دست‌آید وازآنها به‌جای همجای ۲۳۵کمیاب در عمل تکثیر نوترونها استفاده شود. واقع امر این است که چند نوترونی که از شکافتن هر۲۳۵ ـ U در داخل تخم مرغ **فرمی** صادر می‌شود، تنها کمی زیادتر از یکی (به‌طور متوسط) ضرورت دارد تااینکه سبب ادامهٔ فعل وانفعال‌تکثیر وعمل شکافته‌شدن هسته بشود . باقی نوترونها به‌وسیلهٔ همجای اورانیوم ۲۳۸ که از فعل وانفعال بیرون می‌آید جذب می‌شوند . ولی آنچه مهم است اینکه ۲۳۸ ـ U که بااسیر شدن نوترونها نتیجه می‌شود ناپایدار است، ودو الکترون‌را یکی پس از دیگری ازخود خارج می‌کند وبه‌ترتیب به‌دو هسته‌ای که تااین زمان ناشناخته بوده و وزنهای اتومی۹۳ و۹۴دارند تبدیل می‌شود . این عناصر که نخستین بار چند سال پیش از این به وسیلهٔ **فرمی** کشف شده، اکنون به‌نامهای نپتونیوم وپلوتونیوم نامیده می‌شوند. فعل وانفعالات هسته‌ای مزبور را به‌صورت سادهٔ ذیل می‌توان نوشت:

$$_{92}U^{238} + {}_{0}N^{1} \rightarrow {}_{92}U^{239} + \text{تشعشع}$$

$$_{92}U^{239} \rightarrow {}_{93}Np^{239} + e$$

$$_{93}Np^{239} \rightarrow {}_{94}Pu^{239} + e$$

دوفعل وانفعال که در فوق نوشته شده وازآنها الکترون تولید می‌شود، به‌ترتیب ۲۳ دقیقه و۲٫۳ روز وقت لازم دارد، ونتیجهٔ عمل پلوتونیوم است که عنصر دراز عمر بسیار شبیه به اورانیوم است واز خود ذرات α خارج می‌کند، نکته در این است که پلوتونیوم از لحاظ

صفات به U ـ ۲۳۵ بیش‌از U ـ ۲۳۸ شباهت دارد واز آن می‌توانند درعمل تکثیرنوترونها استفاده کنند. از آنجا که عدد اتومی آن ۹۴ است، از لحاظ خواص شیمیایی با اورانیوم اختلاف دارد، و به آسانی می‌توان آن را از اورانیومی‌که پیدایش آن است جدا کرد، واین‌عمل با طریقه‌های متعارفی شیمی امکانپذیر است.

این طریقه که در آن فعل وانفعال کند هسته‌ای در اورانیوم طبیعی سبب ازمیان‌رفتن همجای‌فعال وسبك آن می‌شود وبامصرف‌شدن آن همجای سنگینتر به‌پلوتونیوم مبدل می‌گردد، برای تهیهٔ عناصر قابل شکافتن به‌مقدار زیاد نیز بسیار مناسب است . یك‌کارخانه تولید پلوتونیوم نسبتاً کوچك در ناحیهٔ کلینتون ساخته شد، وپس از آنکه اطمینان حاصل‌کردند که این طریقه ثمربخش‌است، دستگاه‌مفصلتری برای ساختن پلوتونیوم برکنار رودخانهٔ کولومبیا درایالت واشینگتون برپا گردید.

پس‌ازتهیهٔ U ـ ۲۳۵ یاپلوتونیوم‌به‌مقدار زیاد، نخستین‌مسئلهٔ مهمی که در پیش داریم این‌است که‌آن‌را ازشکافته شدن خود به‌خودکه درتحت تأثیرنوترونهای منفردی که‌ازاشعهٔ کیهانی‌یا ازمواد رادیوآکتیو زمین حاصل می‌شود محفوظ نگاه داریم. برای جلوگیری ازاین حادثه لازم است که‌مواد حاصل شده را به‌قسمتهای کوچك‌کوچك تقسیم کنیم تاچنان باشد که از فعل و انفعال نوترونی انفجاری حاصل شدهٔ در آنها از همان‌آغازکار براثر خارج‌شدن مقادیرکثیری نوترون ودرهوامنتشر شدن جلوگیری به‌عمل‌آید.

باوجود این چون چندتا از این‌قسمتهای کوچك را که بزرگی آنها کوچکتر از اندازهٔ بحرانی است که‌برای‌انجام فعل وانفعال‌تکثیر نوترون لازم است، مجاور یکدیگر قرار دهیم، عمل به‌سرعت صورت می‌گیرد ودر پی‌آن انفجار تولید می‌شود. اساس بومب اتومی برروی همین کیفیت قرار دارد. هنگام طرحریزی ورسیدگی‌به‌روشهایی که بایستی برای ساختن بومب اتومی ازآنها استفاده شود، مشکل اساسی درآن است که این‌کار را نمی‌توان باآزمودن واز روی آزمایش نتیجهٔ کار را اصلاح کردن انجام داد. وچون مواد قابل شکافته شدن بایستی‌به

مقادیر زیاد تهیه شود، و بادستگاه‌های تولید جاری نمی‌توان امیدوار بودکه آن اندازه ازاین مواد به‌دست آید که آزادانه وبی‌پروا بتوانند برروی آنها آزمایشهای مقدماتی را انجام دهند، دراین مورد لازم بود ازپیش‌کاری‌کنند که به‌نتایج آزمایشها اطمینان داشته باشند. خوشبختانه نظریه مربوط به‌کارهایی که درهسته صورت می‌گیرد و روشهای ریاضی برای محاسبهٔ کیفیاتی که اتفاق می‌افتد، به‌اندازه‌ای کامل شده بود که از روی آنها می‌توانستند بفهمند که‌اگر مواد انفجاری هسته‌ای را که‌به شکل بسته‌های کوچک‌کوچک است پهلوی یکدیگر قرار دهند، چه اتفاقی‌خواهد افتاد، به‌این‌ترتیب بودکه‌کار ساختن بومب‌اتومی بالضروره سبب پیش‌آمدن عده‌ای از نظریه‌ها و محاسبات پیچیدهٔ ریاضی شد ، وبرای رسیدگی به این‌گونه مسائل مرکز تحقیقات خاصی در نزدیکی سانتافه در استان نیومکزیکو ایجادگردید.

نتیجهٔ ترکیب‌کارهای مربوط به‌تولید مادهٔ انفجاری اتومی باکار-های مربوط به‌تکمیل روشهای انفجار، همان‌گونه که می‌دانیم، آن‌بود که در ابتدا یك‌بومب آزمایشی درنیومکزیکومنفجرگردید وپس‌ازآن، دوبومب جنگی برهیروشیمادر ژاپون فرو ریخته‌شد.

باتمام اهمیتی که بومب اتومی برای‌جنگ جهانی دوم داشت‌و مقام‌مدهشی که برای‌جنگ‌آینده خواهد داشت، تحقیقات جالب‌توجه‌تر مربوط به امکان استعمال انرژی زیر اتومی آزاد شده در منظورهای صلحجویانه است که به‌تکامل‌فرهنگ آیندهٔ بشر وبهبود زندگی اوکمك فراوان خواهدکرد. برای‌آنکه چنین امکاناتی صورت تحقق کامل پیدا کند، لازم است‌که منابع فراوان وارزان این‌نوع انرژی تازه دراختیار باشد، وازمقدار کمی ماده مقدار فراوانی انرژی به‌دست‌آید.

به‌طور قطع‌می‌توان گفت که‌آن‌انرژی که ازعمل تکثیرنوترون در اورانیوم حاصل می‌شود، سبب‌تحقق یافتن شرط اول نمی‌شود، زیرا U ـ۲۳۵ که‌اکنون تنها منبع طبیعی این نوع انرژی است، نه‌فراوان است ونه‌ارزان.

اگر چه از لحاظ مقایسه برمبنای مواد خام انرژی اورانیوم تا حدی ارزانتر از انرژی‌زغال به‌نظرمی‌رسد(صفحهٔ ۱۱۰)، دشواری‌جدا

کردن همجای پلوتونیوم محققاً نیروی اتومی‌را گرانتر از نیرویی‌که به‌وسیلهٔ زغال یانفت به‌دست می‌آید می‌سازد.

ونیز تخمین زده‌اند که تمام ذخایراورانیومی که‌ممکن است در سرزمین‌امریکا پیداشود، به‌زحمت کفاف احتیاجات انرژی آنرا برای مدت دویست‌سال می‌دهد، در صورتی‌که ذخایر زغالی‌برای هزاران‌سال کفایت می‌کند.

ازآنچه‌گفتیم نباید چنین‌نتیجه‌گرفت‌که‌انرژی زیراتومی هرگز نمی‌تواند به‌صورت صرفه‌داری‌مورد استفاده قرار گیرد، چه‌مقادیرعظیم دیگری ازآن عملا درهرعنصر شیمیایی متعارفی نهفته است وبا کمال موفقیت به‌وسیلهٔ خورشید وستارگان دیگر جهان به‌کار می‌افتد. ولی ما هنوزراه کارعملی آنرانمی‌دانیم که‌چگونه این‌منابع‌عظیم‌انرژی زیراتومی را بشکافیم وراه خروج این انرژی را بازکنیم، وتنها کاری‌که می‌توانیم بکنیم این‌است‌که ازکسر کوچکی از ایـن انرژی که درهمجای سبك اورانیوم پنهان است بهره‌برداری‌کنیم.

استعمال‌انرژی‌اورانیوم‌درجاهایی‌که به‌ارزانی قیمت توجه‌چندان نداریم ودرعوض می‌خواهیم یك‌مرتبه مقدار عظیم انرژی تولید کنیم، بیشتر مایهٔ امیدواری است. بااستعمال مستقیم U ـ ۲۳۵ یاپلوتونیوم یابهتر ازآن باجمع‌کردن انرژی آنهادر«آکومولاتور اتومی» که‌عبارت از دستگاهی‌است که‌درآن با بومباران بوسیلهٔ نوترونهای‌اورانیوم مواد رادیوآکتیوعناصرپایدار متعارفی را تجزیه می‌کنند، به‌احتمال‌قوی‌امکان آن فراهم‌خواهد شدتاهواپیمایی بسازندکه هزاران مرتبه بدون احتیاج به‌تجدید سوخت‌بتواند برگرد زمین دوران‌کند، یاوسیلهٔ نقلیهٔ دیگری تهیه کنند که‌مدت چند سال به‌صورت مداوم بدون احتیاج به‌سوخت کار کند. ولی‌جالبترین امکان‌آینده‌در این‌است که بتوانند راکتهای هوایی به‌عنوان وسیلهٔ ارتباط میان‌سیارات بسازند، زیرا چنانکه می‌دانیم‌مقدار مختصری انرژی که در سوختهای‌معروف که‌تاکنون می‌شناخته‌ایم وجود دارد، چنان است که فرستادن چنین راکتی را به‌ماه باهریك‌ازسیارات منظومهٔ شمسی غیر ممکن می‌ساخته‌است. بایدمنتظرآینده بود ونتایج کار را دید!

فهرست الفبای اعلام و مطالب

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

اشعهٔ خورشید ۱۶ـ۱۷، ۲۴
اشعهٔ گاما ۷۵
اصل :
زمین وسیارات ۲۱۶ـ۲۲۱
ستارگان ۲۱۰ـ۲۱۵
سحابیها ۲۳۹ـ۲۴۰
عناصر ۲۴۳ـ۲۴۵
کوتوله‌های سفید۲۱۴ـ۲۱۵
اصل عدم حتمیت ۶۸
اطاق ابر ۸۲ـ۸۵
اطاق ویلسون ← اطاق ابر
اکتشاف رادیو اکتیویته ۷۰ـ۷۲
اکتشاف نواختران ۱۹۱ـ۱۹۲
آلفا، اشعهٔ ۷۲ـ۷۳
الکترومغناطیس، اشعهٔ ۶۴
الکترون:
اکتشاف ۴۷ـ۵۱، ۵۲
بار ۴۸ـ۵۱
جرم ۵۲ـ۵۷
مثبت ۷۹
الکترونی، قشرهای ۶۰ـ۶۲
آمار ۴۲ـ۴۳
امرأةالمسلسلة، سحابی ۲۳۲، ۲۳۳، ۲۳۴
امواج، بروی ۶۸
امواج الکترو مغناطیسی ۶۴
انرژی :
اشعهٔ آلفا ۷۵
تشعشعی‌خورشید۱۶ـ۱۷، ۲۴
حرکت ملکولی ۳۶ـ۳۸
زیراتومی ۲۸ـ۲۹
شیمیایی ۲۵، ۲۶، ۶۳
هسته‌ای ۲۸ـ۲۹
تقسیم به‌تساوی۳۸
واحد ۱۶
انفجار نواختران ۲۰۰، ۲۰۱، ۲۰۲
انقباض ثقلی ۲۶ـ۲۸
اوری ۵۹
ایزوتوپ ۵۹
اینشتاین ۱۸۸

باده ۱۹۳
بار الکترون ۴۸ـ۵۱
بتا اشعهٔ ۷۴، ۷۸، ۷۹
بث ۱۲۵
بحرانی، فشار ۱۸۳
براون ۳۶، ۳۷
براونی، حرکت ۳۸ـ۳۹
برق ساکن، مولد ۸۹، ۹۰، ۹۱
برق، صدور حرارتی ۵۱
بروی، امواج ۶۸
بزرگی :
اتوم ۴۲ـ۴۳
جهانهای جزیره‌ای ۲۳۲ـ۲۳۴
خورشید ۲۰۵
مولکولها ۴۳

بزرگترین تخته‌سنگ ۱۸۰ ـ ۱۸۳
بکرل ۷۰، ۷۱
بلاکت ۸۲، ۸۳، ۸۴
بمباران :
با اشعهٔ آلفا ۵۴ـ۵۸
با پروتونها ۸۷ـ۸۹
با دیوترونها ۹۵، ۹۶
بانوترونها ۹۵ـ۹۷، ۱۰۲، ۱۰۴، ۱۰۵
با هسته ۵۶، ۸۰، ۸۷ـ۹۰، ۹۵ـ۹۶، ۱۰۴، ۱۰۵
بوهر ۶۴، ۶۵، ۶۶

پراکندگی ذرات آلفا ۵۸
پرن ۳۸
پروتکوف، کوزما ۱۴
پروتونها، بمباران با ۸۷ـ۸۹
پس رفتن جهانهای جزیره‌یی ۲۳۷ـ۲۳۸، ۲۳۹
پلانك ۶۵
پوتانسیل،زره ۷۶، ۷۷، ۷۸، ۷۹

تامسون ۵۳
تپنده :
خواص ستارگان ۱۶۷ـ۱۷۰
طبقه‌بندی ستارگان ۱۷۱ ـ ۱۷۲
نظریهٔاجمالی دربارهٔ ستارگان ۱۷۰
تحول عناصر ۷۷ ، ۸۶ـ۸۸
تحول‌خورشید ۱۲۹ـ۱۳۳
ترشح ذرات آلفا ، نظریهٔ ۷۶ـ۷۹
تشعشع‌انرژی‌خورشید ۱۶ـ۱۷، ۲۴
تقسیم به‌تساوی انرژی ۳۸
تسویکی ۱۹۳ ، ۱۹۴ ، ۱۹۵
تکامل :
خورشید ۱۲۹ـ۱۳۳
ستارگان ۱۴۸ـ۱۵۴
سحابیها ۲۳۹ـ۲۴۲
غولهای سرخ ۱۶۴ـ۱۶۷
تلاشی‌به‌وسیلهٔ همنوایی ۱۰۳ ـ ۱۰۴
تلر ۱۵۹ ، ۱۴۳
توزیع مکسولی ۴۲ـ۴۴، ۱۱۷
توکوبرائه ۱۹۲، ۱۹۳، ۱۹۴
تیو ۸۹

ثقلی :
انقباض ۲۶ـ۲۸
ناپایداری ۲۱۳ـ۲۱۴

جادهٔ شیری ۲۲۲
جدول تناوبی عناصر ۵۹، ۶۰
جرم :
اتومها ومولکولها ۴۲، ۴۳

اتومی ۴۲، ۴۳
الکترون ۵۲-۵۷
خورشید ۲۰
ستارگان ۱۴۳-۱۴۶
کوتوله‌های سفید ۱۸۷ - ۱۸۹
جهان در حال گسترش ۲۳۹ - ۲۴۲
جهانهای جزیره‌ای :
اشکال مختلف ۲۳۰-۲۳۲
بزرگی ۲۳۲-۲۳۴
پس رفتن ۲۳۷-۲۳۹
فاصله ۲۳۱-۲۳۴
جوال زغال ۲۰۳، ۲۰۴
جوانی وپیری ستارگان ۱۵۳
جینز، سرجیمز ۲۱۳، ۲۴۲

چاندراسکهار ۱۸۶، ۱۸۷، ۱۸۸
چدویك، جیمز ۹۵
چگالی :
خورشید ۱۹-۲۰
غولهای سرخ ۱۵۵-۱۵۸
کوتوله‌های سفید ۱۸۸
چمبرلین ۲۱۹

حالات کوانتوم ۶۵
حالات پیش ازنواختری ستارگان ۱۹۷، ۱۹۸، ۱۹۹
حالات‌فروریختهٔماده ۱۷۵-۱۷۷
حالت هسته‌ای ۲۰۵-۲۰۹
حرارت :
درون خورشید ۱۸
سطح خورشید ۱۷
حرارت صفر مطلق، درجه ۱۸، ۳۵، ۳۹، ۴۰
حرارت، نظریهٔحرکتی ۳۴-۳۶
حرکت :
براونی ۳۷-۳۸
ستارگان ۲۲۴-۲۲۶
نقطه صفر ۱۷۹
حصار پوتانسیل ۷۶-۷۸

خارج کهکشانی، سحابیهای ← جهانهای جزیره‌یی
خانواده‌های رادیو اکتیو ۷۱، ۷۲، ۷۳، ۷۴، ۷۵
خرچنگی، سحابی ۲۰۱، ۲۰۲
خطوط فران‌هوفر ۱۳۹
خواص تناوبی عناصر ۵۹-۶۱
خورشید:
احتضار ۱۷۴، ۱۸۹
انرژی تشعشعی ۱۶-۱۷، ۲۴
بزرگی ۲۰
تحول ۱۲۹-۱۲۳
تشعشع ۱۶-۱۷-۲۴
جرم ۲۰
چگالی ۱۹-۲۰

حرارت سطحی ۱۷
حرارت مرکزی۱۸
درون ۱۸
زبانه‌های ۲۱ـ۲۲
سطح ۲۱
طیف ۱۳۷ـ۱۴۰
عمر ۲۲ـ۲۵
فشاردرونی ۲۰
فعل وانفعالات ۱۲۴ـ۱۲۸
کلفهای ۲۱ـ۲۲
کورهٔ ۱۲۳
کیمیاگری ۱۱۴
منابع انرژی ۱۲۵ـ۱۲۹

دالتون ۳۴
دب‌اکبر ۲۲۶
دجاجه ، صورت فلکی ۱۳۷، ۱۴۰، ۱۴۴، ۱۴۶
درجهٔ حرارت:
درونی‌خورشید ۱۸
ستارگان۱۳۷، ۱۳۹، ۱۴۶
سطح خورشید ۷۷
صفر مطلق ۱۸ ، ۳۵، ۳۹، ۴۰
درخشندگی‌ستارگان ۱۳۵، ۱۳۶، ۱۴۳، ۱۴۶
دژ هسته، رخنه‌کردن در ۱۰۱
دستهٔ مولکولها ۴۲
دموکریتوس۳۰، ۳۱، ۳۴، ۳۵
دوبلر اثر ۱۴۴، ۱۶۸
دورهٔ‌کربن‌ـنیتروژن۱۲۵، ۱۲۶، ۱۲۷، ۱۲۸، ۱۲۹
دایراك ۷۹
دیوارهای هسته، شفافیت ۷۷
دیوترونها، بمباران با ۹۵، ۹۶
دیوترم ۵۹، ۱۶۵

ذرات آلفا، پراکندگی ۵۵

رادیو اکتیو، خانواده‌های ۷۱، ۷۲، ۷۳، ۷۴، ۷۵
رادیو اکتیویته. اکتشاف ۷۰، ۷۱، ۷۲
رادیوم ۷۲
راذرفورد ۵۴، ۵۵، ۵۶، ۵۷، ۶۴، ۶۵، ۶۶، ۶۹، ۷۲، ۷۵، ۷۷، ۸۰، ۸۷، ۱۱۱
راسل ۱۴۱، ۱۴۲، ۱۴۳
رشته‌اصلی ستارگان ۱۴۲ـ۱۴۳
رنگ ستارگان ۱۳۷، ۱۳۸ ، ۱۳۹، ۱۴۶، ۱۴۷

زبانه‌های خورشید ۲۱ـ۲۲
زدن ودر رفتن، نظریه ۲۱۹ـ۲۲۰
زره (حصار)پوتانسیل ۷۶، ۷۷، ۷۸، ۷۹
زمین:

اصل ومنشأ ۲۱۶ـ۲۲۱
عمر ۲۲ـ۲۵
فشار درونی ۱۸۳
زنجیری، فعل وانفعالات ۱۲۷
زیر اتومی:
انرژی ۲۸ـ۲۹
موتور ۱۲۱ـ۱۲۲

ساختمان ورقه‌یی اتوم ۶۰، ۶۱
سال‌نور ۲۲۵
ستارگان:
اصل ۲۱۰ـ۲۱۵
تحول وتکامل ۱۴۸ـ۱۵۴
جرم ۱۴۳ـ۱۴۶
جوانی وپیری ۱۵۳
حالت‌پیش‌ازنواختری ۱۹۸، ۱۹۹
حرکت ۲۲۵ـ۲۲۷
درجهٔ حرارت ۱۳۹ـ۱۴۰، ۱۴۶
درخشندگی ۱۳۵، ۱۳۶، ۱۴۳، ۱۴۶
رشتهٔ اصلی ۱۴۲ـ۱۴۳
رنگ ۱۳۷، ۱۳۸، ۱۳۹، ۱۴۶، ۱۴۷
سرعت ۲۲۵ـ۲۳۰
شماره ۲۲۴
طبقه‌بندی طیفی ۱۴۰
فاصله ۱۳۵
قطر ۱۴۱
منابع انرژی ۱۴۴، ۱۴۵، ۱۴۶
ستارگان تپنده ۱۶۷ـ۱۷۳
ستارگان مزدوج ۱۴۴
سحابی:
امرأةالمسلسلة۲۳۲، ۲۳۳، ۲۳۴
خارج کهکشان ← جهانهای جزیره‌یی
خرچنگی ۲۰۲
سیاره‌یی ۲۰۲
گازی ۲۰۴
سحابیها:
اصل ۲۳۹ـ۲۴۰
تکامل ۱۳۵ـ۱۳۸
سرعت ۲۳۷، ۲۳۹، ۲۴۰
فاصله ۲۳۲ـ۲۳۴
سرعت:
ستارگان ۲۲۵ـ۲۳۰
سحابیها ۲۳۷، ۲۳۹، ۲۴۰
فعل وانفعالات هسته‌ای۱۱۸ـ۱۲۰
مولکولها ۴۰، ۴۱، ۴۲
سطح خورشید ۲۱
سیارات، منشأ ۲۱۶ـ۲۲۱
سیکلوترون ۹۲ـ۹۴

شرودینگر ۶۷
شعاع:
اتومها ومولکولها۴۲، ۴۳
غولهای سرخ ۱۵۵-۱۵۸
کهکشان ۲۲۵-۲۲۶
کوتوله‌های سفید ۱۸۷-۱۸۸
شعری:
ستارهٔ اصلی ۱۳۷
مصاحب ۱۸۷-۱۸۸
شفافیت دیوارهای هسته ۷۷
شکافته شدن هسته ۹۷
شمارهٔ ستارگان ۱۴۰
شیپلی ۱۷۰
شیمیایی:
انرژی ۲۵، ۲۶، ۶۳
خواص تناوبی عناصر ۶۰، ۶۱
فراوانی عناصر ۱۶۱، ۱۶۲
فرمولها ۳۳
فعل وانفعالات ۳۳
مفهوم عناصر ۳۱، ۳۲
میل ترکیب ۶۱

صدور حرارتی، الکتریسیته ۵۱
صفر مطلق ۱۸، ۳۵، ۳۹، ۴۰

طبقات طیفی هاروارد ۱۴۰
طبقه‌بندی ستارگان ۱۴۰
طیف خورشید ۱۳۷-۱۴۰

عدد اتومی ۵۸
عدد ستارگان آسمان ۲۲۶
عدم حتمیت، اصل ۶۸
عمر:
خورشید ۲۲-۲۵
زمین ۲۲-۲۵
منظومهٔ اختری ۲۵، ۲۳۰
عناصر شیمیایی:
اصل ۲۴۳-۲۴۵
تحول ۸۰
جدول تناوبی ۶۰، ۶۱
فراوانی ۱۶۱، ۱۶۲
مفهوم ۳۱، ۳۲
عیوق ۱۵۵-۱۵۶

غولهای آبی ۱۴۳ و ← غولهای سرخ
غولهای سرخ:
تکامل ۱۶۴-۱۶۷
تعریف ۱۴۳
چگالی ۱۵۵-۱۵۸
خواص ۱۵۵-۱۵۸
درون ۱۵۸-۱۶۰
شعاع ۱۵۵-۱۵۸
منابع انرژی ۱۵۹-۱۶۴

فاراده ۶۳

فاصله:
جهانهای جزیره‌ای ۲۳۱-۲۳۴
ستارگان ۱۳۵
سحابیها ۲۳۲-۲۳۴
فاولر ۱۸۸
فران هوفر، خطوط ۱۳۹
فراوانی عناصر شیمیایی ۱۶۲
فرضیهٔ کانت‌لاپلاس ۲۱۶، ۲۱۷، ۲۱۸
فرمولهای شیمیایی ۳۳
فرمی ۹۶، ۱۷۹
فرو ریختن ماده ۱۷۵-۱۷۷
فشار:
بحرانی ۱۸۳
درونی‌خورشید ۲۰
درونی زمین ۱۸۳
درونی‌مشتری ۱۸۳
فعل وانفعالات:
تصاعدی هسته ۱۰۵-۱۰۸
حرارتی هسته ۱۱۵-۱۱۷
درونی خورشید ۱۸
زنجیری هسته ۱۲۷
شیمیایی ۳۳
عناصر سبك ۱۵۹، ۱۶۰
فوتوالکتریك، اثر ۵۰
فوق‌نواختران:
اکتشاف ۱۸۱-۱۸۴
فراوانی ۱۸۳، ۱۸۴
قشرهای الکترونی ۶۰، ۶۱
قطر:
ستارگان ۱۴۱
کهکشان ۲۲۴-۲۲۵
قوانین کوانتوم ۶۴-۶۶
قیفاووسی، متغیرهای ۱۶۸، ۱۷۰، ۱۷۱

کاپتین ۲۲۵
کانت ۲۱۶، ۲۱۷، ۲۱۸
کپلر ۱۹۲، ۱۹۳، ۱۹۴
کدری‌مادهٔ اختری ۱۲۸، ۱۲۹، ۱۳۰
کربون-نیتروژن، دورهٔ ۱۲۵، ۱۲۶، ۱۲۷، ۱۲۸، ۱۲۹
کریچفلد ۱۴۸
کسوفی، متغیرهای ۱۵۹
کلب‌اکبر ۱۳۶
کلفهای خورشید ۲۱-۲۲
کلوینی، مقیاس‌حرارتی ۳۹
کوانتوم:
انرژی ۶۶
حالات ۶۶
قوانین ۶۴-۶۶
مکانیك ۶۶-۶۸
نور ۶۶
کوتوله‌های سرخ و ← کوتوله های سفید
کوتوله‌های سفید،

اصل ۲۱۴-۲۱۵
تعریف ۱۴۳
جرم ۱۸۷-۱۸۹
چگالی ۱۸۶
شعاع ۱۸۷-۱۸۹
محتوی‌ئیدروژنی ۱۸۳-۱۹۵
کوتهاری ۱۸۳، ۱۸۵
کورهٔ خورشید ۱۲۳
کوری، پیروماری ۷۲
کاککرافت ۸۸، ۸۹
کوندون ۷۸
کوپیر ۲۰۳
کهکشان:
بزرگی ۲۰۹
تعریف ۲۲۳
دوران ۲۲۹، ۲۴۲
شکل ۲۳۰
قطر ۲۲۴-۲۲۵
کیمیاگری:
جدید ۷۹-۸۰
خورشید ۱۱۴
قرون وسطی ۳۱-۳۲

گاز فرمی ۱۸۱
گازمتعارفی ۳۵، ۳۶
گازهای بی‌اثر ۶۳
گازی، سحابیهای ۲۰۴
گالوانی ۴۶
گاما، اشعهٔ ۷۵
گاموف ۷۸، ۸۷، ۱۰۲، ۱۳۱، ۱۵۹، ۱۶۷، ۱۷۲، ۱۸۴، ۲۴۳
گرنی ۷۸، ۱۰۳
گسترش، جهانی درحال ۲۳۹-۲۴۲

لاپلاس ۲۱۶، ۲۱۷، ۲۱۸
لاندو ۲۰۸
لاورنس ۹۳
لوئی‌دوبروی ۶۷

ماده:
حالت هسته‌ای ۲۰۴-۲۰۷
فروریختن ۱۷۵-۱۷۷
ماژلانی، ابرهای ۲۳۵
متغیرهای‌کسوفی ۱۵۹
مثبت، الکترون ۷۹
محتوی ئیدروژنی کوتوله های سفید ۱۸۳-۱۹۵
مشتری:
فشار درونی ۱۸۳
همچون‌بزرگترین پاره‌سنگ ۱۸۲
مصاحب شعری ۱۸۷-۱۸۸
مکانیك کوانتوم ۶۶-۶۷
مکسول ۴۴
مکسولی، توزیع ۴۲-۴۴، ۱۱۷
ممسك‌الاعنة ۱۵۵، ۱۵۶، ۱۵۷

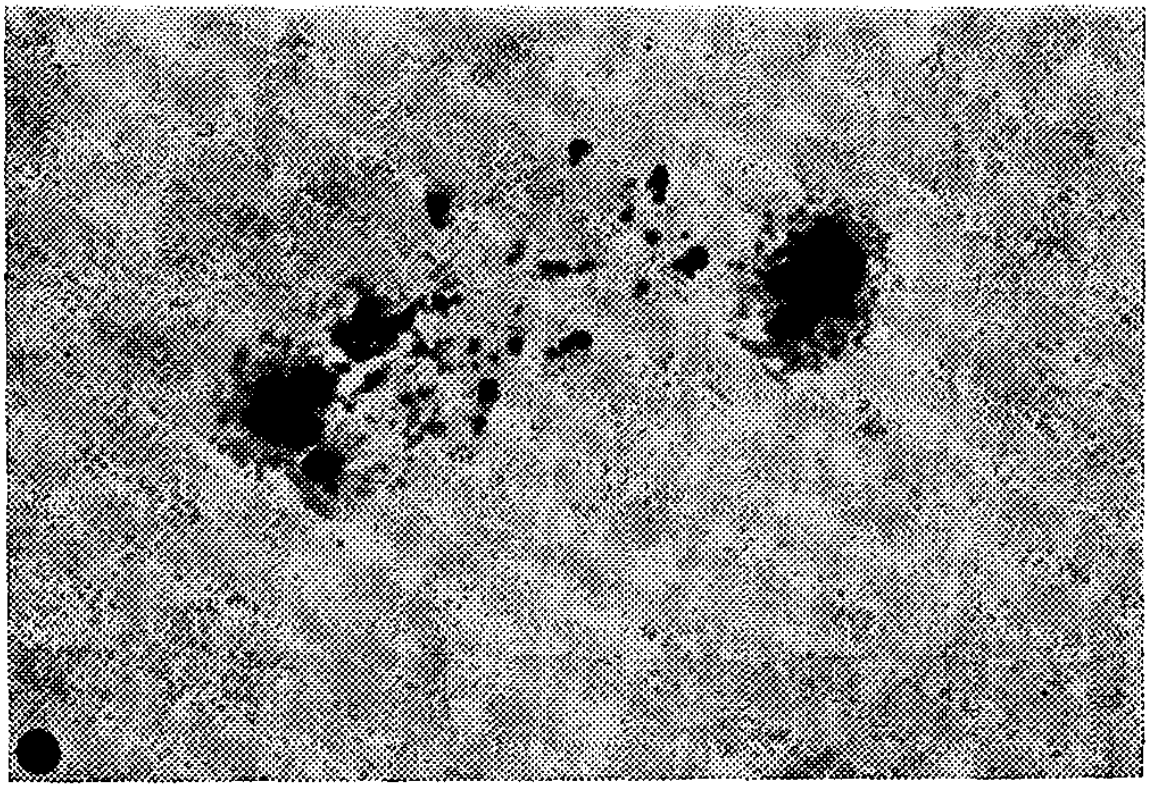
۱۵۸
منبع انرژی:
خورشید ۱۲۵ـ۱۲۹
ستارگان ۱۴۴، ۱۴۵، ۱۴۶
غولهای‌سرخ ۱۵۹ـ۱۶۴
مندلیف ۶۰
منظومهٔ اختری، عمر ۲۵، ۲۳۰
منظومه‌های مزدوج ۱۴۴
موتورهای‌زیراتومی ۱۲۱ـ۱۲۲
مولتون ۲۱۹
مولد الکتریسیته‌ساکن ۸۹، ۹۰، ۹۱
مولکولها:
بزرگی ۴۳
دسته ۴۲
سرعت ۴۱ـ۴۳
مفهوم ۳۳
مه‌ـ نادـ ساها ۱۴۰
میتنر ۹۷
میل‌ترکیب شیمیایی ۶۱
میلیکان ۴۸، ۴۹، ۵۰، ۵۱

ناپایداری:
ثقلی ۲۱۳ـ۲۱۴
نوترونها ۱۰۴
نسبیت، نظریه ۱۸۸، ۲۴۵
نشوونمای ستارگان ۱۴۸ـ۱۵۱
نظریه:
اجمالی دربارهٔستارگان‌تپنده ۱۷۰
انقباض ۲۶ـ۲۸
اشعهٔ بتا ۷۸ـ۸۰
ترشح ذرات آلفا ۷۶ـ۷۹
حرکتی حرارت ۳۴ـ۳۶
زدن ودررفتن ۲۱۹ـ۲۲۰
نسبیت ۱۸۵، ۲۴۵
نقطهٔ صفر، حرکت۱۷۹
نمودار، راسل ۱۴۱ـ۱۴۳
نمونهٔ اتومی ۵۴
نواختران:
اکتشاف ۱۹۱ـ۱۹۲
درجهٔ فراوانی ۱۶۹
کیفیت انفجار ۱۹۹، ۲۰۰، ۲۰۱، ۲۰۲
نورانیت ستاره وارتباط آن‌باجرم ۱۴۳، ۱۴۴، ۱۵۱، ۱۵۲
نور، سال ۲۲۵
نور، کوانتوم ۶۶
نوترونها:
اکتشاف وخواص ۹۲، ۹۳
بمباران با ۹۵ـ۹۷، ۱۰۲، ۱۰۴، ۱۰۵
ناپایداری ۱۰۴

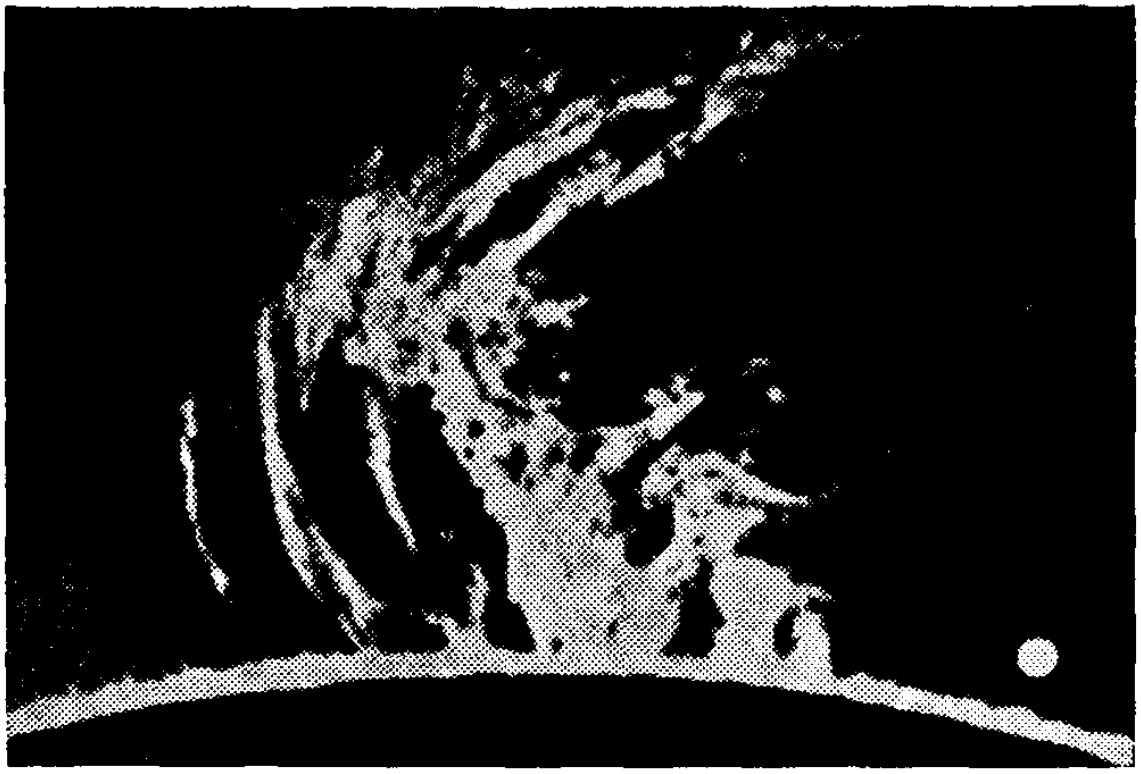
واحد انرژی ۱۶
وان‌دوگراف ۹۰
وایتسزکر ۱۲۵، ۲۴۴
وزن اتومی ۳۳

هاروارد، طبقات طیفی ۱۴۰
هان ۹۷، ۱۰۶
هایزنبرگ ۶۷
هبل ۲۳۱، ۲۳۲، ۲۳۴، ۲۳۹
هسته:
اتوم ۵۴-۵۷
اختری ۲۰۸
انرژی ۲۸-۲۹
بمباران ۵۶، ۸۰، ۸۷-۹۰، ۹۵-۹۶، ۱۰۴، ۱۰۵
فعل‌و انفعال تصاعدی ۱۰۵-۱۰۸
فعل وانفعال حرارتی ۱۱۵-۱۱۷
فعل وانفعال زنجیری ۱۲۷
هفستید ۹۲
هلمهولتز ۲۶-۲۷
همنوایی، تلاشی به‌وسیلهٔ ۱۰۲-۱۰۳
هوترمنس ۱۱۶

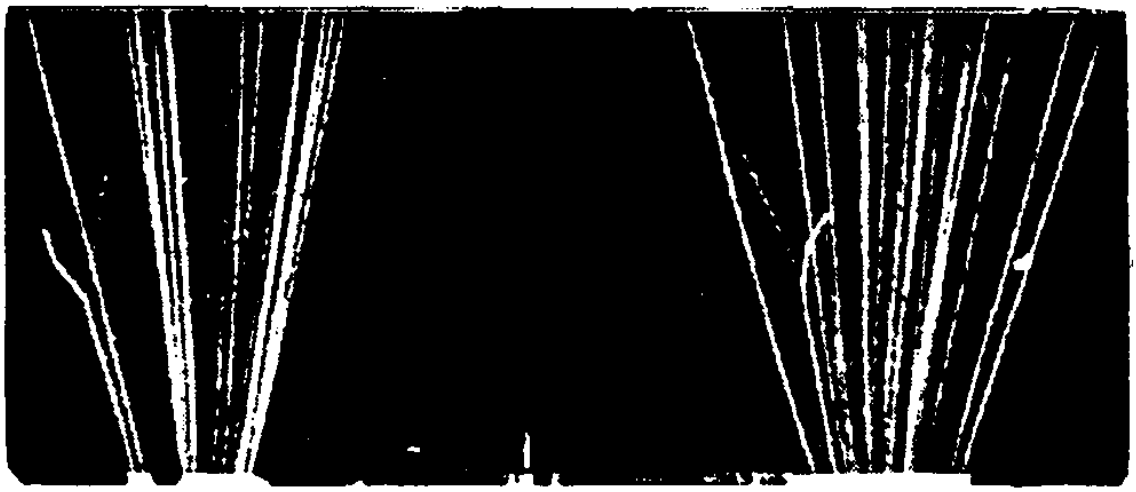
یون ۴۸
یونی شدن:
باگلوله‌های اتومی ۸۲، ۸۵
باحرارت ۱۱۷



I- الف- کلف بزرگ خورشید (رصدخانهٔ مونت ویلسون، ۱۹۱۷). دایرهٔ‌سیاه درگوشهٔ پایین‌وچپ تصویر بزرگی نسبی‌زمین‌را نشان‌می‌دهد (به صفحهٔ ۲۱ رجوع شود).

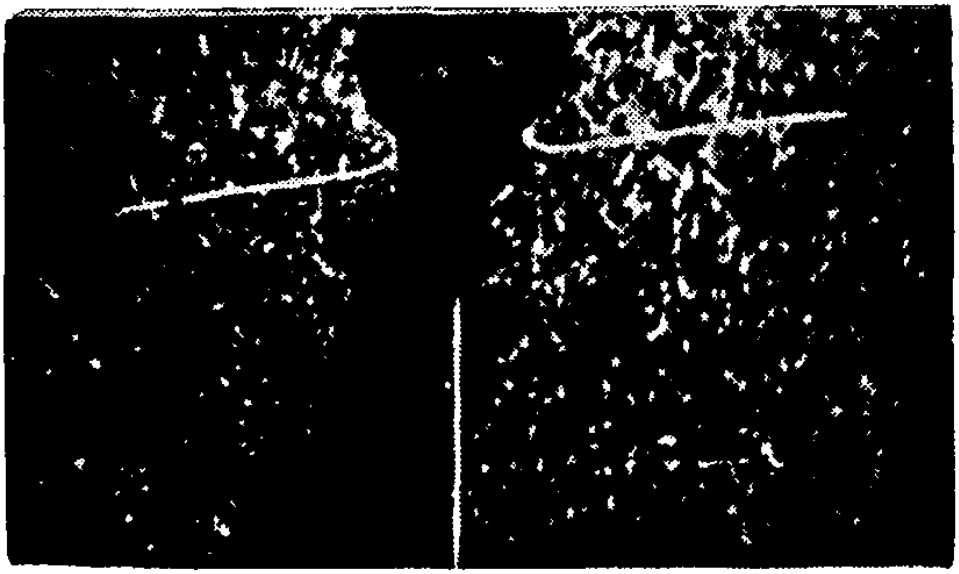


I-ب- زبانه‌ای‌ازخورشید به‌ارتفاع ۲۲۵،۰۰۰کیلومتر (مونت‌ویلسون، ۱۹۱۷). قرص‌سفید نمایندهٔ بزرگی‌زمین‌است (به‌صفحهٔ ۲۱رجوع‌شود).

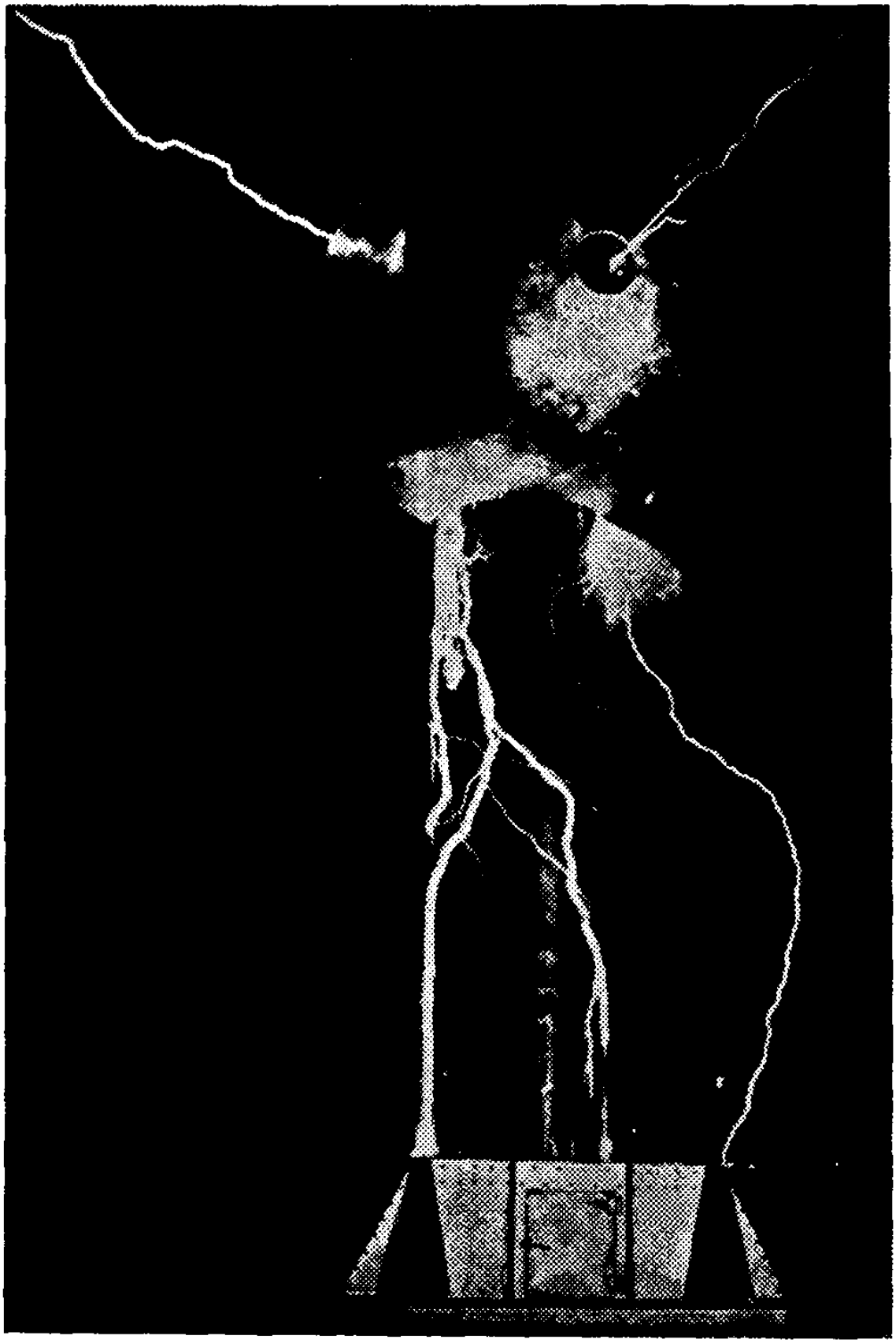


II ـ ازنخستین‌عکسهایی‌که بلاکت ازتجزیهٔ مصنوعی هسته‌برداشته‌است یك ذره α به‌هستهٔ نیتروژن اصابت کرده وازآن پروتون سریعی‌بیرون فرستاده است (شکل ۱۸ دیده شود). شکل طرف راست درمتن‌کتاب (صفحهٔ ۸۵) تشریح شده است.

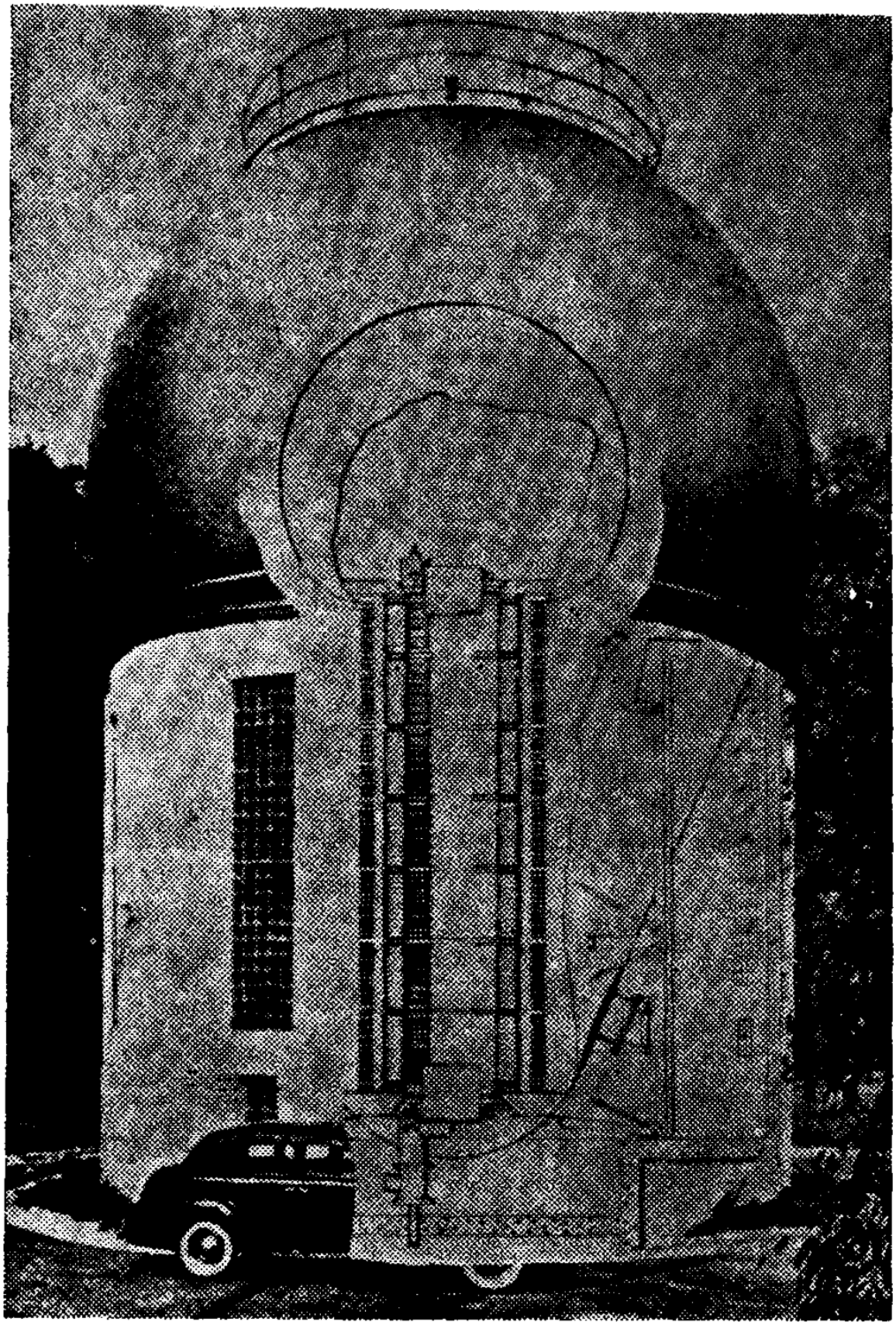
III- آ - یك پروتون مصنوعی سریع که از کنار لولهٔ یون دستگاه اتومشکن خارج‌می‌شود، هستهٔ لیتیوم را به‌دوذرهٔ α مبدل‌می‌سازد. اثر ابری که برروی این عکس دیده می‌شود نمایندهٔ دو ذره است که در جهات مخالف پریده‌اند. (به‌صفحهٔ ۸۸رجوع شود)



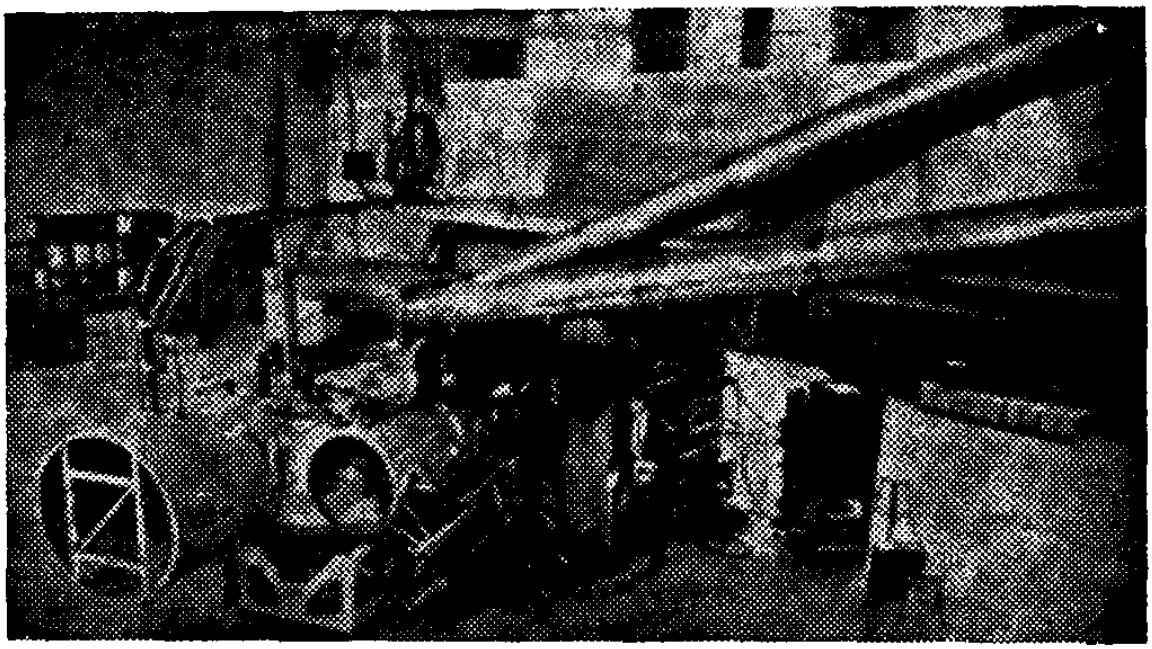
III- ب- پروتونی که به‌صورت مصنوعی شتاب فراوان پیدا کرده‌باشد، چون به‌هستهٔ بور اصابت کند آن‌را می‌شکافد و به‌سه‌ذرهٔ α مبدل‌می‌سازد که درجهات مختلف پرتاب می‌شوند. (صفحهٔ ۸۹ دیده‌شود)



IV- جرقه‌های مولد الکتروستاتیك وان دوگراف.
در بزرگی کـه در پایین شکل دیده مـی‌شود بلندی ساختمان را نشان می‌دهد. (به صفحهٔ ۹۰ رجوع شود).

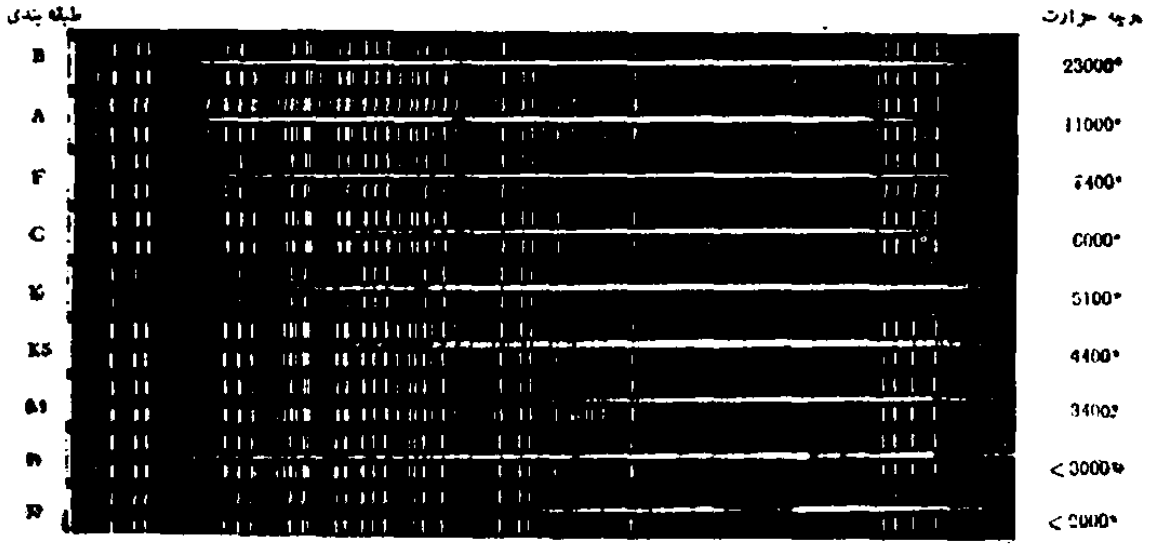


۷ـ اتومشکن ایستانبرقی (الکتروستاتیک) بنگاه **کارنگی** درواشنگتون. درمقطع عرضی، کرهٔ هادی وپایه‌های عایق آن ولوله‌ای که درآن ذرات سرعت پیدا می‌کنند، دیده می‌شود کمربند تولید باربرقی را به‌صورت بریده درقسمت فوقانی ونزدیک قاعده می‌توان دید (به‌صفحهٔ ۹۲ رجوع شود).

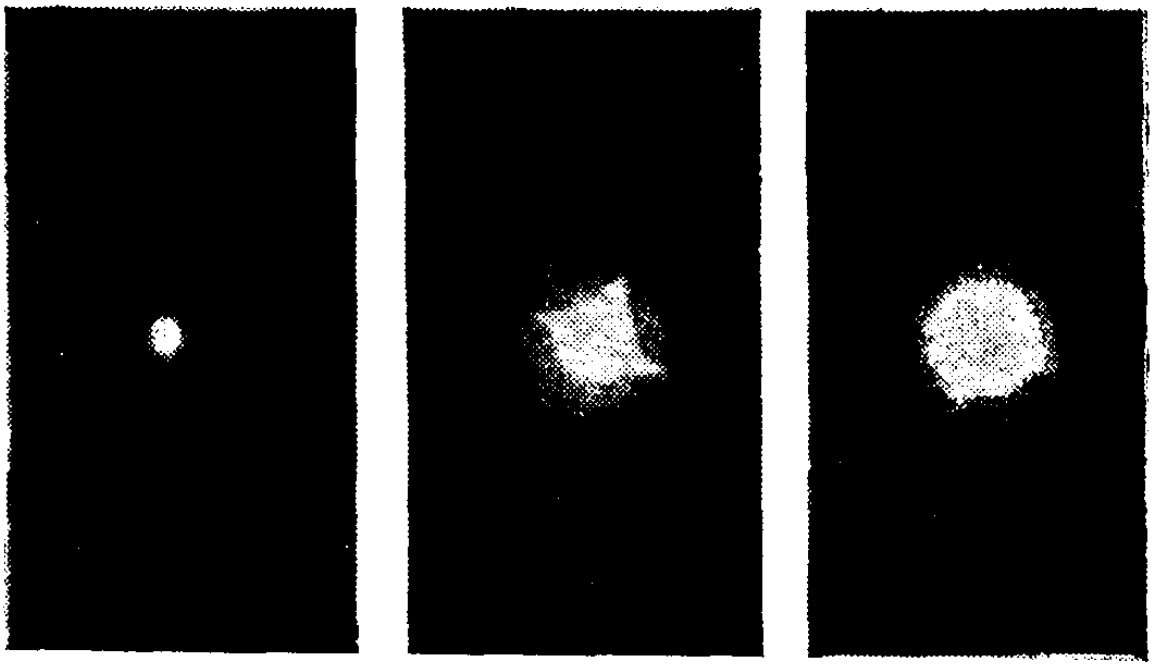


VI ـ سیکلوترون جدید **لاورنس** دربرکلی کالیفورنیا ذرات آلفایی می‌سازد که بیش‌از ۳۰ ملیون الکترون ولت انرژی دارند. قرقرهٔ مغناطیس الکتریکی را ازشکاف وسط می‌توان دید. مخازن بزرگ آبی دستگاه را احاطه کرده کارگران را ازخطر اشعه محفوظ نگاه می‌دارد

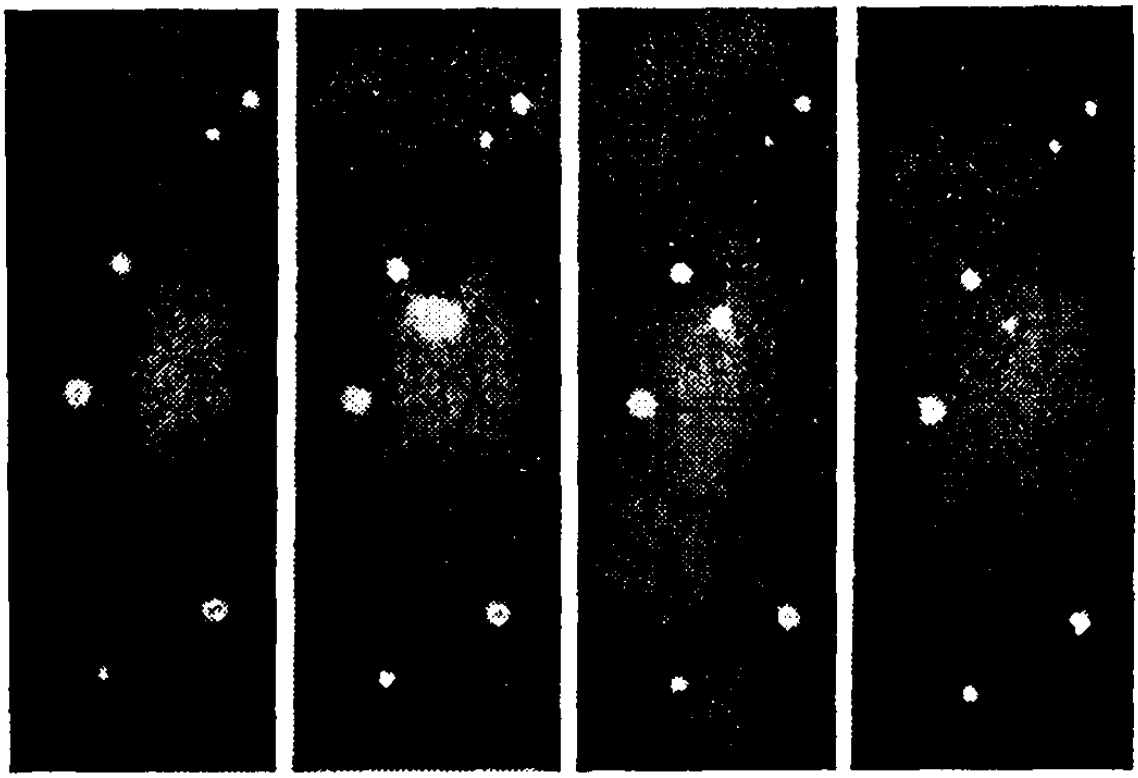
(صفحهٔ ۹۳ دیده شود).



VII- طبقه‌بندی ستارگان‌از روی طیف‌به‌وسیلهٔ‌دانشگاه‌هاروارد. علمای نجوم می‌توانند از روی‌اختلاف طیف ستارگان درجهٔ حرارت سطحی آنها راتخمین بزنند (صفحهٔ ۱۴۰ دیده شود).

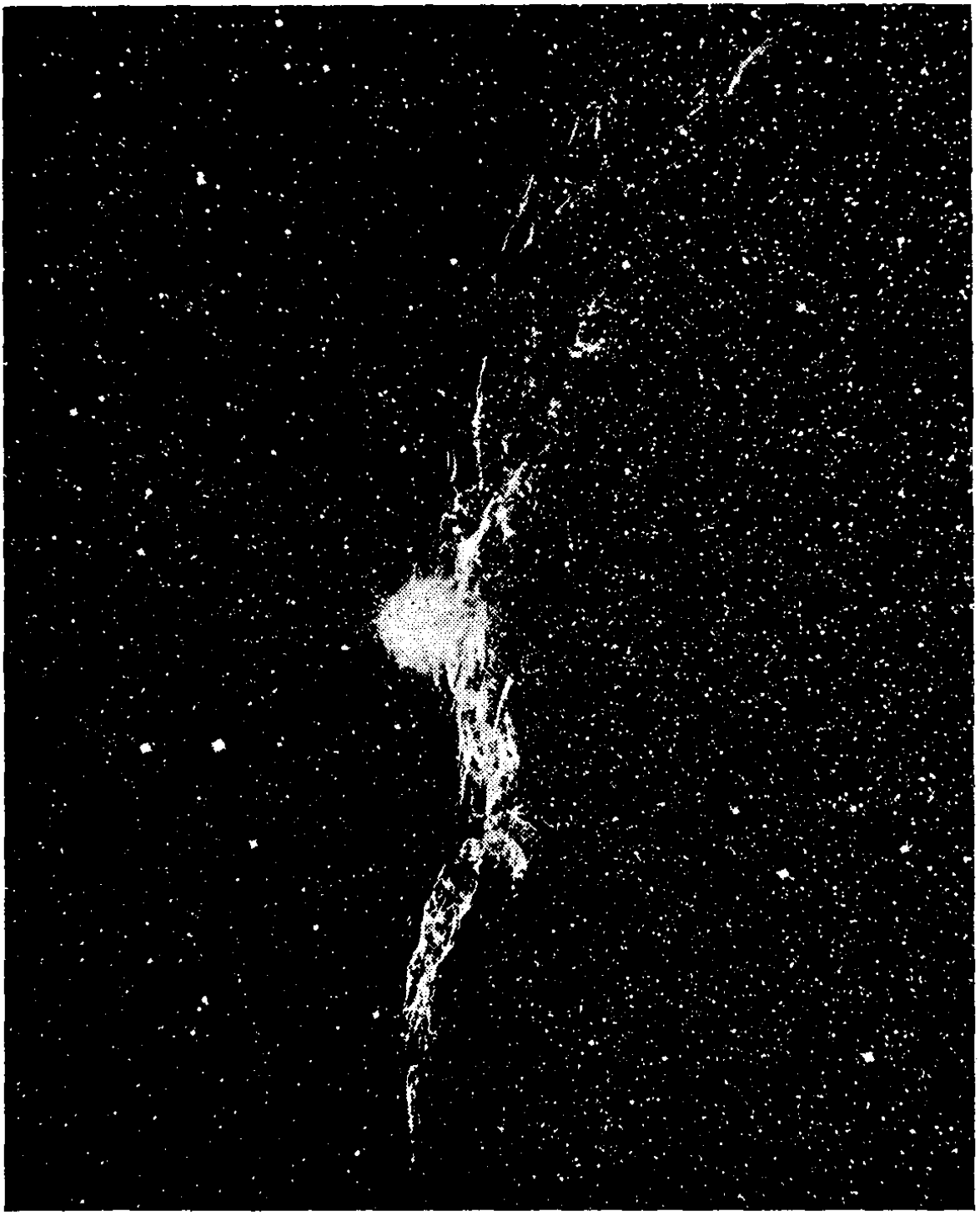


VIII-الف ـ حلقهٔ درحال‌گسترش‌اطراف سحابی‌صورت عقاب ۱۹۱۸.
عکسهایی که ازان در ۲۰ ژوئیهٔ ۱۹۲۲ و ۳ سپتامبر ۱۹۲۶ و ۱۴
اوت ۱۹۳۱ برداشته شده (صفحهٔ ۱۹۲ دیده شود).
[عکسها از رصدخانهٔ مونت ویلسون است].



VIII ـ ب ـ ظهور و خاموش شدن فوق نواختری در I.C.4182.
عکسهادر ۱۰ آوریل و ۲۶ اوت و ۳۱ دسامبر ۱۹۳۷ و ۸ ژوئن ۱۹۳۸
برداشته‌شده (صفحهٔ ۲۰۰ دیده شود). [عکسها از دکتر ف. تسویکی]

IX ـ یك «سحابی حلقوی» یا«سیاره‌ای» درصورت فلکی شلیاق. شاید این‌نتیجهٔانفجار نواختری درچندقرن‌پیش ازاین‌بوده‌باشد (صفحهٔ۲۰۲ دیده‌شود). [عکسها از رصدخانهٔ مونت‌ویلسون است].



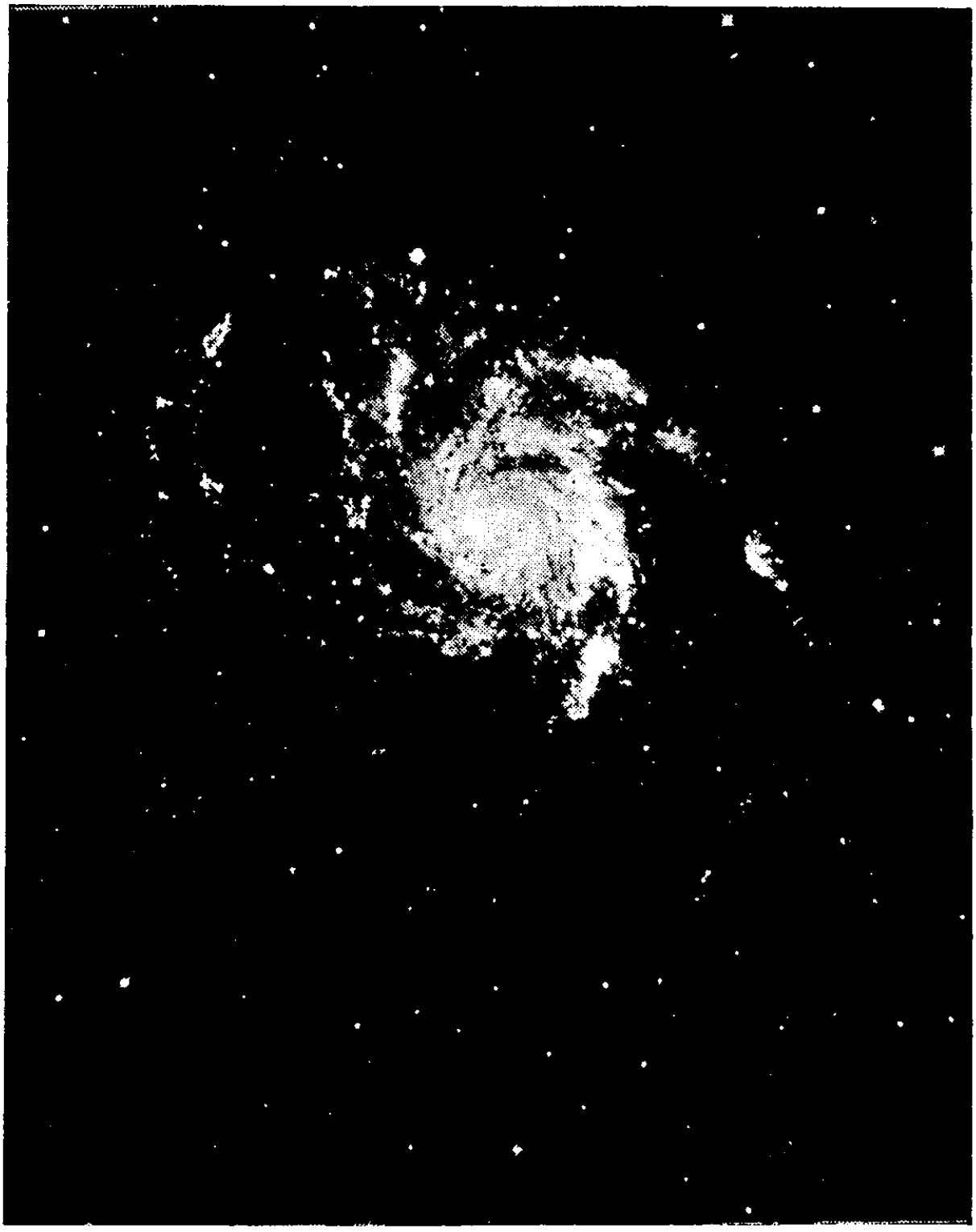
X ـ سحابی رشته‌ای درصورت دجاجه. شاید این بقایای یك قشرگازی باشد که در حدود ۱۰۰،۰۰۰ سال پیش از یك فوق نواختری خارج شده. ستارهٔ درخشانی که در وسط دیده می‌شود متعلق به‌این سحابی نیست بلکه تصادفاً دربرابر آن قرارگرفته ودر تصویر آمده‌است (صفحهٔ ۲۰۲ دیده شود). [عکسها از رصدخانهٔ مونت ویلسون].

XI- سحابی گازی نورانی صورت جبار. این جرم عظیم درداخل کهکشان ما جای دارد وبه احتمال قوی روشنی آن نتیجهٔ تابش اشعهٔ ستارگان اطراف آن است. (صفحهٔ ۲۰۴ دیده شود). [عکسها ازرصدخانهٔ لیك].

XII ـ قسمتی ازکهکشان در نزدیکی صورت عقاب که نشان می‌دهد این‌کهکشان ازتجمع عدهٔ زیادی ستاره تشکیل شده، قسمت سیاهی که در وسط دیده می‌شود «حفره‌ای» نیست، بلکه سحابی‌گازی تاریکی است که پشت سرخودرا می‌پوشاند وتاریك نشان می‌دهد (صفحهٔ ۲۰۴ دیده شود). [عکسها از رصدخانهٔ یرکس].

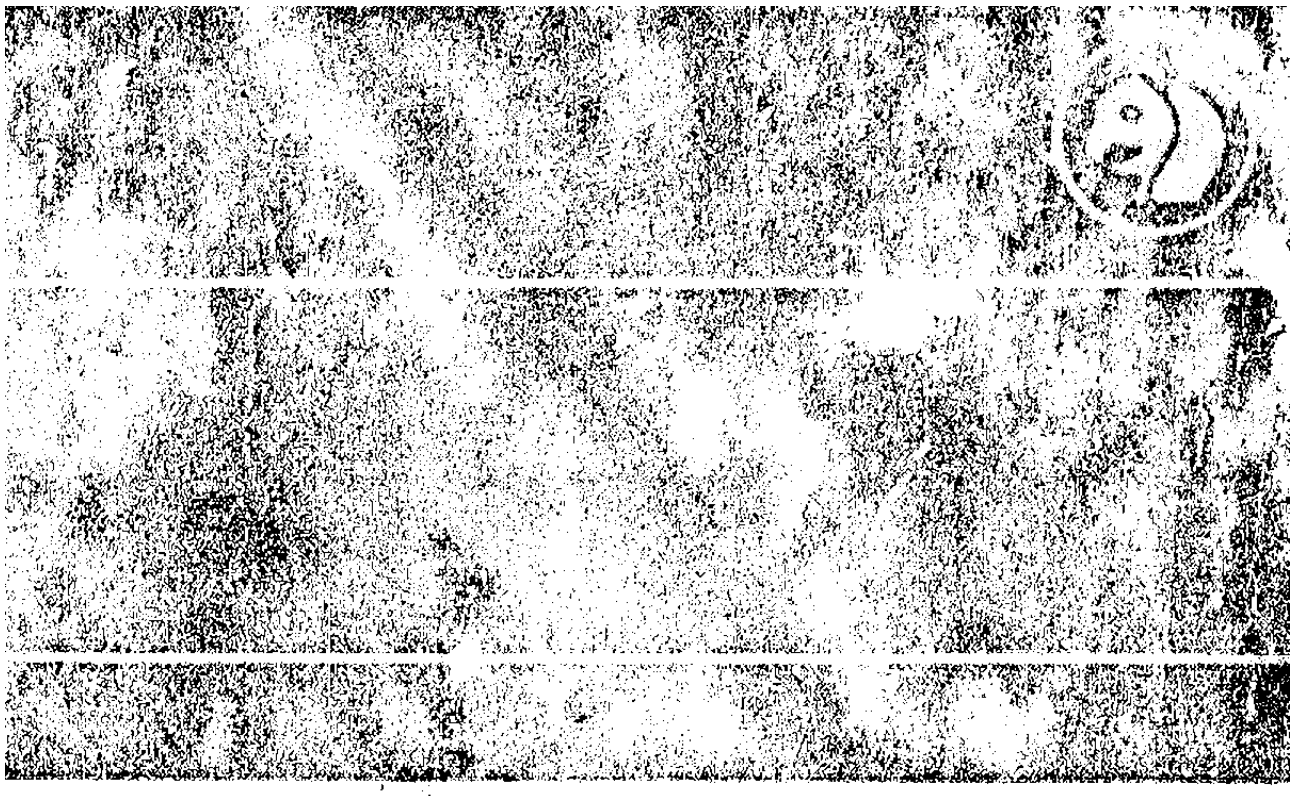
XIII- قسمت مرکـزی نزدیکترین جهـان جزیره‌ای یعنی سحـابی مارپیچی صورت فلکی امرأةالمسلسلة که‌فقط ۶۸۰،۰۰۰ سال‌نور باما فاصله دارد ستاره‌هایی که‌درقسمت مقدم عکس دیده می‌شود کهکشان خود ماست. (صفحهٔ ۲۳۲ دیده شود).
[عکسها از رصدخانهٔ مونت‌ویلسون].

XIV- سحابی مارپیچی صورت فلکی گیسوان برنیکه، که یك جهان جزیره‌ای دور است که‌ازپهلو دیده می‌شود. متوجه حلقه‌ای از مادهٔ تاریکتر باشید که‌سحابی‌را احاطه کرده‌است (صفحهٔ ۲۳۶ دیده شود). [عکسها از رصدخانهٔ مونت‌ویلسون].



XV- سحابی مارپیچی صورت دب‌اکبر که‌جهان جزیره‌ای دور دیگری است که‌از بالا دیده می‌شود. به‌خوشه‌های ستارگان دربازوها توجه کنید (صفحهٔ ۲۳۶ دیده شود). [عکسها از رصدخانهٔ مونت‌ویلسون].

XVI- سحابی مارپیچی درصورت سگ شکاری که قمر وپیروی را در کنار بازوی پایین نشان می‌دهد (صفحهٔ ۲۳۴ دیده شود). [عکسها از رصدخانهٔ مونت‌ویلسون]



رسالیان بسیار متنوعی است که در ممالک متمدنه برای مطلع ساختن مردم از ترقیات سریع و شگفت انگیز علمی و فنی و غیره ، رسائلی منتشر می‌شود حاوی نفوس تجربیات و اکتشافات جدید با زبانی حتی‌الامکان ساده و درخور فهم مردم غیر متخصص . اگرچه در این ممالک وسائل نشر اطلاعات منحصر به کتاب نیست ، و برای این منظور از سخنرانیها ، 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 علاقهٔ طالبین و خریداران آنها ، شگفت‌آور است . »

از مقدمهٔ دکتر [illegible] مصاحب

سه ۲۵ ریال