ژرژ گاموف

یک، دو، سه

بینهایت

ترجمهٔ احمد بیرشک

ژرژ گاموف

ترجمهٔ احمد بیرشک

یک، دو، سه

بینهایت

با همکاری مؤسسهٔ انتشارات فرانکلین

تهران ـ نیویورك

This is an authorized translation of
ONE TWO THREE INFINITY
by George Gamow.
Copyright, 1947, by George Gamow.
Published by The Viking Press, New York.

چاپ دوم این کتاب در دوهزار نسخه بتاریخ اردیبهشت ماه یکهزاروسیصد وچهل هجری خورشیدی درچاپخانهٔ بانك‌بازرگانی‌ایران بپایان رسیده است ،

حق طبع محفوظ است

N.V.
انتشارات نیل

فهرست مطالب

مقدمهٔ مترجم

مقدمهٔ مؤلف

بخش اول ـ بازی با اعداد

فصل ۱ ـ عددهای بزرگ ۳

فصل ۲ ـ اعداد طبیعی واعداد ساختگی ۲۵

بخش دومـ فضا ، زمان واینشتاین

فصل ۳ ـ خواص غیرعادی فضا ۴۳

فصل ٤ ـ جهان چهاربعدی ۶۷

فصل ٥ ـ نسبی بودن فضا وزمان ۸۷

بخش سوم ـ عالم صغیر

فصل ٦ ـ رو بپائین پلکان ۱۱۹

فصل ۷ ـ کیمیاگری جدید ۱٥٥

فصل ۸ ـ نظام بی‌نظمی ۲۰۲

فصل ۹ ـ معمای حیات ۲٤۱

بخش چهارم ـ عالم‌کبیر

فصل ۱۰ ـ افقها باز می‌شود ۲۸۱

فصل ۱۱ ـ روزهای آفرینش ۳۱۳

فهرست الفبائی ۳٥٥

مقدمهٔ مترجم

اگر راست باشدکه‌شعارها وضرب‌المثلهای هر جامعه، نمودارطرزفکر افرادآن است، شعارهـائی از قبیـل «زگهواره تـاگور دانش بجـوی» و «میاسای زآموختن یك زمان» نشانهٔآن است‌که توجه بدانش وتمایل‌بکسب معرفت، در جامعهٔ ما، ریشه‌ای‌کهن دارد .

بهر حال ، امروزدر یك‌جامعهٔ زنده، هرفرد بایددرخور فهم واستعداد خود بمعارف و معلومات بشری وقوف حاصل‌کند . این کار نمی‌تواند بدورهٔ مدرسه محدود شود ، این دورهٔ‌کوتاه برای فراگرفتن آنچه‌لازم است ، کافی نیست و به‌فرض‌آنکه مقتضیات سن جوان را در تلاش برای‌کسب معرفت‌سست نکند، دامنهٔ معلومات‌بقدری توسعه یافته است‌که‌باز برای دورهٔ بعد ازمدرسه سهمی بزرگ باقی می‌ماند .

از این‌روی در جوامع مترقی، انواع واقسام وسایل‌کسب دانش برای مردم فراهم می‌شود ، وافراد می‌توانند بعد از دورهٔ مدرسه هرقدر بخواهند بر معلومات واطلاعات خودبیفزایند .

یکی از وسایلی‌که برای این‌کار بسیار مفید است ،کتابهائی است‌کـه باصطلاح « برای همه» نوشته می‌شود و مطالب علمی‌را با زبانی ساده و قابل فهم عموم، دردسترس مردم‌قرار می‌دهد . نوشتن این‌کتابها،کارهمه‌کس نیست وهنری‌است‌که هرکسی ازعهدهٔ انجام‌آن‌برنمی‌آید . کسانی راکه‌دراین‌راه‌قدم نهاده و توفیق حاصل‌کرده‌اند، باید حقاً ازخادمان بزرگ اجتماع شمرد و قدرکوششی راکه دراین‌راه می‌کنند، بخوبی شناخت .

یکی از دانشمندانی‌که در این‌کار جهد بلیغ می‌کنند ، نویسندهٔ‌کتاب

حاضر است که در آثار متعدد، چکیدهٔ افکار و نظرات علمی را در دسترس همگان قرار داده است .

ژرژ گاموف، استاد دانشگاه جرج واشنگتن و از دانشمندان بنام جهان و در هیأت و نجوم، فردی شخیص و مردی صاحب نظر و دارای مقامی ارجمند است؛ اما آنچه بیشتر سبب شهرت وی در میان مردم شده ، همان کتابهائی است که برای نشر معارف و علوم بشری تهیه نموده و راه دشوار و دراز کسب اطلاعات را برای همه آسان و کوتاه کرده است . ژرژ گاموف از افراد معدودی است که بزبان مردم آشنائی کامل دارند و هنرشان در آسان گفتن مطالب دشوار است. کتاب حاضر بقدری خوب و شیرین تهیه شده است کـه خواننده از خـواندن (نسخهٔ اصلی) آن کسل نمی‌شود بلکه با اشتیاق تمام بخواندن ادامه می‌دهد.

در عین حال جنبهٔ علمی کتاب، چنان قوی است که دانشمند بزرگ، آلبرت ـ اینشتاین آنرا ستوده است. مقدمهٔ کوتاه و شیرینی که مؤلف بر آن نوشته، بهترین معرف آن است .

کتاب حاضر برای اولین بار در شهریورماه ۱۳۲۶ بچـاپ رسید و در بهمن‌ماه همان سال تجدید چاپ شد و چاپهای سوم و چهارم و پنجم آن در تیر ـ ماه ۱۳۲۷ و شهریور ۱۳۲۸ و مرداد ۱۳۳۱ منتشر شد و طبع ششم ، که ترجمهٔ حاضر از روی آن تهیه شده‌است، چاپ اردی‌بهشت ۱۳۳۳ است .

ژرژ گاموف کتابهای دیگری هم دارد که دو تای آنها بزبان فارسی ترجمه شده است : یکی « پیدایش و مـرگ خورشید » بوسیلهٔ آقـای احمد آرام و دومی « سرگذشت زمین » بوسیلهٔ آقای دکتر محمود بهزاد .

در جامعهٔ ایرانی ، در حال حاضر، ترجمهٔ این گـونه کتابها، بسیار سودمند است زیرا که گذشته از احتیاجی که مانند جامعه‌های دیگر ، بآشنا شدن پیشرفتهای علمی دنیا داریم، افرادی که فرصت استفاده از مدرسه نداشته‌اند و امروز باید نقص کار خود را با خواندن کتابهای مناسب جبران کنند، از شماره بیرون است و کمك به تهیهٔ وسیله برای آنان، از کارهای بسیار ضـرور است .

این کار حقاً باید بوسیلهٔ صاحبان صلاحیت انجام شود اما ضرورت آن بحدی است که نویسندهٔ این سطور هم که بداشتن اهمیت کافی اذعان و اعتراف دارد ، در این کار خطیر شرکت کرده است و در این راه امیدش بآن است که

دانشمندانی‌که ممکن است این ترجمه را ازنظربگذرانند اورا به‌لغزشهائی که‌کرده است واقف سازند ودر رفع نقصها، راهنمای وی‌شوند وازاین راه منتی بزرگ بر اوگذارند و سپاسگزارش سازند .

برگ سبزی‌است تحفهٔ درویش،

چکند ؟ بینوا ندارد بیش .

امید است عظمت اثراصلی، حقارت ترجمه را مستور سازد واین‌کتاب برای خوانندگان مفید افتد .

اردی بهشت ماه ۱۳۳۶

احمد بیرشك

مقدمهٔ مترجم

والروس گفت: «وقت آن
رسیده است که از بسیار
چیزها سخن گفته شود...»
نقل از کتاب «در آئینه»*
نوشتهٔ «لویس کارول» *

...از اتمها و ستارگان و ابریها، از انتروپی و ژنها، از اینکه شاید فضا منحنی باشد، و از سبب کوتاه شدن راکتها ... براستی هم در این کتاب از همهٔ این موضوعها، و بسیار موضوعهای جالب دیگر، بحث می‌شود.

محرک من در تهیهٔ این کتاب، کوشش برای گردآوردن جالبترین واقعیات و نظریات علمی است؛ بصورتی که تصویری از جهان، با همهٔ مظاهر بغایت کوچک و بی‌نهایت بزرگ آن، در برابر خوانندهٔ عزیز بگسترد و عالم را چنان که در چشم عالم جلوه می‌کند در نظر وی مجسم سازد. اما در اجرای این نقشهٔ دامنه‌دار، هرگز اندیشهٔ آن نکردم که همهٔ داستان را بطور کامل باز گویم. زیرا که در آن صورت، بایستی بتدوین دایرةالمعارفی در چند مجلد بپردازم. در عین حال، موضوعهای مورد بحث را چنان در نظر گرفتم که باختصار، همهٔ اطلاعات اساسی علمی را شامل شود و هیچ نکتهٔ لازمی فروگذار نگردد.

در انتخاب موضوعها، بیشتر توجه با همیت و فایدهٔ آنها داشتم تا بمیزان سادگی آنها؛ از این روی، مندرجات کتاب یکنواخت و هموار نیست. برخی از فصلها باندازه‌ای ساده است که درک مطالب آن برای هر بچه هم میسر است، اما فهم کامل موضوعات بعضی دیگر، احتیاج باندکی تمرکز حواس، و مطالعهٔ دقیق دارد. با اینهمه، امیدوارم که خوانندهٔ عادی هم در خواندن این کتاب با اشکالهای جدی روبرو نشود.

بطوریکه خواهید دید، بخش آخر کتاب، که مربوط به **عالم کبیر** است، بسیار از قسمت **عالم صغیر** کوتاه‌تر است. سبب آن است که در دو کتاب دیگر خود، یعنی «پیدایش و مرگ خورشید» و «سرگذشت زمین» بتفصیل از عالم کبیر، یعنی

* LEWIS CARROLL, Through the Looking Glass

جهان بی‌نهایت بزرگ ، بحث کرده‌ام و تکرار همهٔ آنها را دراین کتاب زاید دانستم. پس در بخش آخر کتاب نظری کلی، واجمالی بواقعیات وحادثات طبیعی درسیارات وثوابت وابریها وقوانینی که برآنها حکومت می‌کنند انداخته و بحث مفصلتر را منحصر بموضوعهائی ساخته‌ام که درنتیجهٔ پیشرفتهای علمی سالهای اخیر، وضع روشنتری پیدا کرده‌اند و بخصوص در دوموضوع بمطالعهٔ دقیقتر پرداخته‌ام: یکی نظریهٔ تازه‌ای که موجب وسبب انفجار «سوپر نووا» هاراکوچک‌ترین ذره‌ای راکه درفیزیك شناخته شده ، یعنی « نوترینو » شناخته است ، و دیگری نظریهٔ تازه‌ایست دربارهٔ اصل منشاء سیارات که نظریهٔ پیدایش سیارات براثر تصادم خورشید باستارگان دیگر را طرد نموده ونظریات قدیمتر کانت ولاپلاس را، که تقریباً ازلوح خاطرها زدوده شده بود، زنده کرده‌است .

فرض ذمهٔ خود می‌دانم که ازهنرمندان متعددی که آثارهنریشان ، پس از تغییری که بقاعدهٔ توپولوژی بآنها داده شده ، پایهٔ بسیاری ازتصاویراین کتاب قرارگرفته اند، سپاسگزاری کنم .

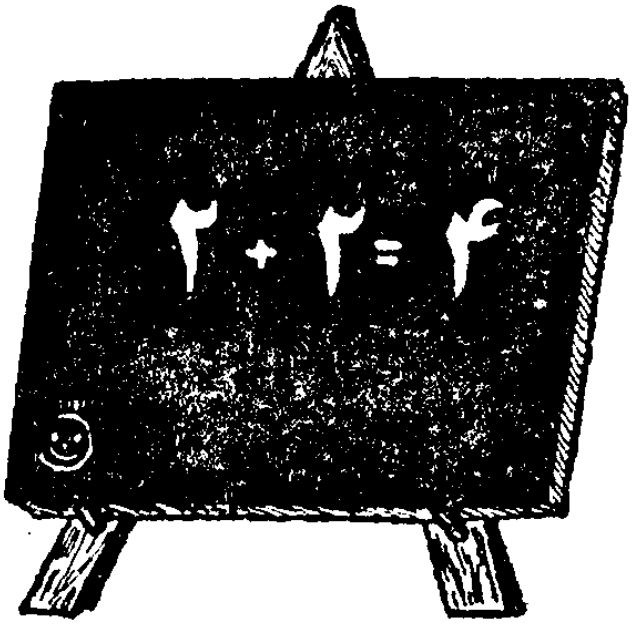
بیشتر ازهمه ازدوست‌جوانم خانم «مارینا فون تیومان» متشکرم که معتقد است هرچیزرا ازپدر نامدارخود بهتر می‌داند مگر ریاضیات راکه فقط بخوبی او بلداست. وقتی که این دوست‌جوان، فصلی چند ازپیش نویس این کتاب راخواند ومطالب متعددی راکه درآنها نفهمیده بود بامن درمیان نهاد، دانستم که این کتاب، برخلاف نیت اصلی من، برای بچه‌ها نوشته نشده‌است.

دانشگاه جرج واشنگتن
اول دسامبر ۱۹٤٦

ژرژ گاموف

بخش اوّل

بازی با اعداد



عددهای بزرگ

۱ ـ تا چند می‌توان شمرد ؟

از دوشریف زادهٔ مجار حکایت می کنند که روزی با هم شرطی بستند که هر کدام بزرگترین عدد را بگوید شرط را برده باشد.

یکی از آنان گفت : «خوب ، تواول عدد را بگو .»

دومی پس از آنکه چند دقیقه مغز خودرا سخت بکار انداخت بزرگترین عددی را که بخاطرش خطور کرد برزبان آورد : «سه» .

نوبت باولی رسید . پس از یك ربع ساعت فکر کردن سپر انداخت و گفت : « شرط را برده‌ای» .

بی شبهه این دوشریف زادهٔ مجارهوشی سرشار نداشته اند[1] .شاید

---

۱ ـ از هوش مجارستانی‌ها داستان دیگری هم گفته اند . زمانی گروهی از شریف زادگان مجار راه خودرا در کوهستانی گم کردند . گویند یکی از آنان نقشه‌ای را پیش روی خود گسترد وبمطالعهٔ آن پرداخت وپس ازمدتی درازفریادآورد : «آها ! فهمیدم کجا هستیم ـ کجا؟ ـ آن کوه بلند راازدورمی‌بینید ؟ ما بالای آن کوه هستیم».

هم این داستان لطیفه ای بیش نباشد . امـا امروز هم می‌توان شاهد چنین مکالمه‌ای بین دو نفر بود ، اما نه دو نفر مجار بلکه دو تن ازقبیلهٔ «هوتانتو»[1]. حقیقت آنکه جهان گردانی که افریقا را دیده اند تأکید می کنند که در زبان برخی‌ازقبایل هوتانتوعددی‌بزرگتراز سه یافته نمی‌شود. اگراز کسی بپرسید که چند پسردارد یا چند دشمن‌رابخاك وخون کشیده است هرگاه عده ازسه تجاوز کند جواب می‌شنوید : «خیلی» . پس درجنگ با اعداد یکی ازجنگ آوران خونخوار هوتانتوازیکی از کودکان ما که شمردن تاده را می‌داند شکست خواهد خورد .

امروزکاملابا نوشتن عددهای بزرگ ، بهربزرگی که باشد ، آشنا هستیم ومی‌توانیم‌به کمك صفرهائی که درطرف راست‌اعداد می گذاریم خرج جنگ بزرگ جهانی را بدینار یا فاصلهٔ بین ستارگان را بسانتیمتر بیان کنیم . شما می‌توانید آنقدرصفربنویسید که دستتان خسته شود و بی‌آنکه متوجه باشید عددی بوجود آورید بزرگتر ازعدد اتمهائی که ممکن است دراین‌جهان پهناور ، تا جائی که با بزرگترین تلسکوپها دیده شده است ، وجود داشته باشد ، عددی که شاید ۳۰۰،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰ ۰۰۰ ، ۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰، ۰۰۰و۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰، است .

این عدد را می‌توانید بصورت مختصرتر ۳×۱۰^{۷۴} بنویسید .

عدد ۷۴ که با حروف کوچك بصورت نماینده درطرف راست و بالای ۱۰ نوشته شده است حکایت می کند که باید درطرف راست ۳ آن عده صفر بگذارید یا ۳ را باید ۷۴ مرتبه در ۱۰ ضرب کنید .

اما در زمان قدیم حساب به «این‌آسانی» نبود . این روش‌را تقریباً دوهزارسال پیش یك نفرهندی نا شناخته اختراع کرده‌است . پیش ازاین کشف بزرگ ــ وراستی‌هم که ، هرچندما متوجه‌نیستیم،این کشف بزرگ است ! ــ درنوشتن‌عددها برای هریك‌ازآنچه ماامروزمراتب اعداد اعشاری می‌نامیم علامت خاصی بکار می‌بردند و این علامت رابتعداد دفعاتی که آن مرتبه بیان می‌شد تکرار می کردند . مثلا مصریان قدیم عدد ۸۷۳۲ را چنین می‌نوشتند :

---

۱ ــ Hottentot

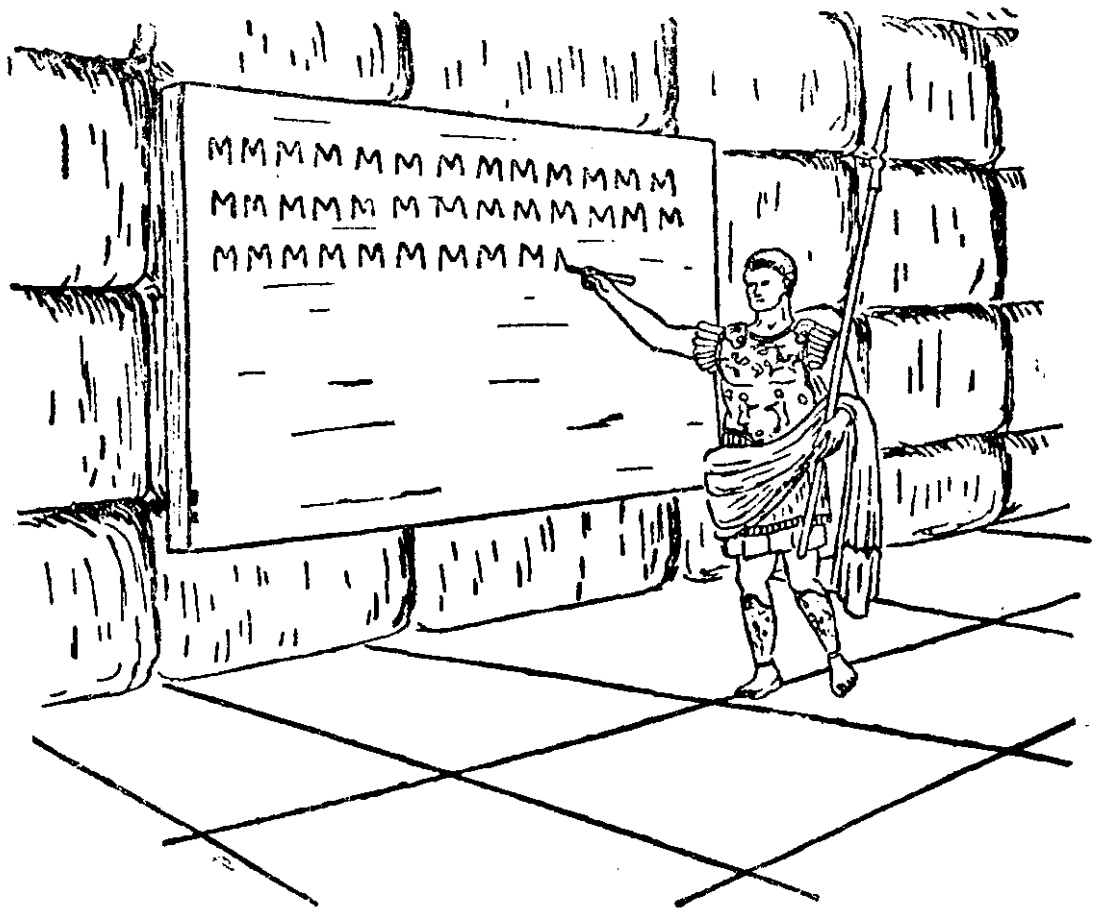
همین‌عدد را یکی‌از نویسندگان دربارقیصرروم باین صورت می‌نوشت:

MMMMMMMMDCCXXXII

شاید شما با علامتهای اخیرتا حدی آشناباشید زیرا که در کتابهای فرنگی فصلها را با این‌ارقام، که ارقام رومی نامیده می‌شوند، می‌نویسند، یا تاریخ بنا را برروی ساختمان‌های تاریخی با این ارقام ثبت می‌کنند.

چون درحسابداری قدیم بعددهای بزرگترازچند هزارنیاز فراوانی نبود علائمی برای‌نشان‌دادن مراتب بالا وجود نداشت. مثلا اگرازتحصیل کرده ترین افراد رومی می‌خواستید که برای شما عدد «یك میلیون» را بنویسد بدرد سری عظیم‌مبتلامی‌شد و بهترین‌کاری که بنظرش میرسید این بود که حرف **M** را، که علامت ۱۰۰۰ است، هزارمرتبه تکرارکند و این کارچند ساعت وقت می‌خواست (ش۱).

درنظر پیشینیان عددهائی از قبیل عدهٔ ستارگان آسمان یا ماهیهای



شکل ۱ـ یکی ازرومیان باعز وشأن میخواهد عدد میلیون را بنویسد اما تمام صفحهٔ دیواری که در اختیاراواست بزحمت برای نوشتن‌عدد صد هزار کفایت میکند

دریا یا ریگهای خشکی «شمارش ناپذیر» بود، همچنانکه عدد پنج درنظر

افراد قبایل هوتانتو «شمارش ناپذیر» است و به «بسیار» تغییر می‌شود .

مغز **ارشمیدس** ،آن دانشمند بلند قدرقرن سوم پیش ازمیلاد ،لازم بود تا بتواند نشان دهد که نوشتن عدد های بزرگ ممکن است . این‌عالم بزرگ دررساله‌ای بنام **«ریگ شماری»**[1] چنین می‌نویسد :

«برخی از مردمان چنین می‌پندارند که شمارهٔ ریگها از حد بیرون است . مقصودم نه فقط ریگهائی است که در اطراف «سیراکوز»[2] و بقیهٔ جزیرهٔ سیسیل‌موجوداست بلکه‌آنچه که ممکن است درسراسرربع مسکون یا نواحی غیرمسکون کرهٔ زمین یافته شود. بعضی‌دیگر با آنکه عدد را بی‌پایان نمی‌دانند گمان‌می‌برند که عددی نمی‌توان یافت که ازشمارهٔ ریگهای کرهٔ زمین‌بزرگتر باشد . بدیهی‌است که‌آنان که چنین می‌پندارند بطریق اولی نمی‌توانندعددی تصور کنند بزرگتراز آنچه برای‌بیان تعدادریگهائی بکاررود که نه تنها نمایندهٔ ریگهای موجود در سراسر روی زمین شود بلکه اگرهمهٔ دریاها وحفره‌های زمین رااز ریگ پر کنند وریگ را چنان برروی هم‌انباشته نمایند که ازبزرگترین کوهها مرتفعترشود. مسلم است که چنین عددی برخاطرهیچ‌یك از این مردم خطور نمی‌کند . اما من سعی می‌کنم باثبات رسانم که نه تنها برای تعیین تعداد ریگهائی که باین نحو فراهم آمده است‌عددمی‌توان یافت بلکه اگرسراسرجهان را هم‌ازریگ پر کنند می‌توان برای شمردن آنها عدد پیدا کرد» .

راهی که ارشمیدس در این اثر بزرگ خود برای نوشتن عدد های بسیاربزرگ پیشنهادمیکند شبیه است بروش نوشتن اعداددرعلوم جدید . دانشمند نامی ازبزرگترین عددی که درحساب یونانی وجود داشت ، یعنی از «میریاد» یا «ده هزار» ، شروع کرد و عدد تازه‌ای بنام «اکتاد» وضع نمود که ده هزارمیریاد(یا ۱۰۰ میلیون‌امروز) بود وآنرا « واحد طبقهٔ دوم» نامید. یك «اکتاداکتاد» (یا ۱۰۰ میلیون‌میلیاردامروز) «واحد طبقهٔسوم» و یك «اکتاد اکتاد اکتاد» «واحد طبقهٔ چهارم» بود ، وبهمین‌ترتیب ببعد .

امروز نوشتن عددهای بزرگ ساده ترازآن بنظرمی‌رسد که شایستهٔ آن باشد که چند صفحهٔ کتابی بآن اختصاص یابد ، اما درزمان ارشمیدس یافتن راهی برای نوشتن این گونه اعداد اکتشافی عظیم بود و قدمی مهم بشمارمی‌رفت که درپیشرفت علوم ریاضی برداشته شود .

برای شمردن تعداد ریگهائی که «سراسرجهان را پر کند» لازم‌بود

---

۱ – Sand Reckoner یا The Psammites

۲ – Syracuse

ارشمیدس بداند که جهان به چه بزرگی‌است . در آن زمان می‌پنداشتند که همهٔ جهان در درون کرهٔ بلورینی‌است که ثوابت بسطح داخلی آن نصب گشته‌اند و **اریسترخوس‌ساموسی**[۱] منجم مشهوری که معاصر **ارشمیدس** بود فاصلهٔ زمین تا محیط کرهٔ سماوی را به ده میلیارداستادیا[۲] که تقریباً معادل یك میلیارد و هشتصد میلیون (۱،۸۰۰،۰۰۰،۰۰۰) کیلو متر است تخمین کرده بود .

ارشمیدس در مقایسهٔ حجم چنین کـره‌ای با حجم یك دانه ریگ محاسباتی کرد که جوان دانش‌آموزی را دوچار سر گیجه خواهد کرد . و سرانجام باین نتیجه رسید :

«مسلم است که تعداد ریگهـائی که ممکن است در جهانی ببزرگی آنچه اریسترخوس برای کرهٔ سماوی تعیین کرده است بگنجد از ده هزار هزارواحد طبقهٔ هشتم تجاوز نخواهد کرد.»[۳]

در اینجا باید خاطر نشان ساخت کـه مقداریکه **ارشمیدس** برای شعاع جهان درنظر گرفته بود خیلی از آنچه علمای جدید می‌پندارند کمتر است . عددیك میلیارد وهشتصد میلیون کیلومتر بزحمت ازفاصلهٔ بین زمین وستارهٔ اورانوس که یکی از سیارات منظومـهٔ شمسی است تجاوزمی کند . چنان که بعداً خواهیم‌دید فاصله‌ای که تا کنون‌با دوربینهای بزرگ نجومی کشف شده‌است درحدود ۸،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰ کیلو- متر است و تعداد ریگهائی که برای پر کردن چنین فضائی لازم است از $۱۰^{۱۰۰}$ (یعنی ۱ وصد صفر) تجاوزمی کند .

این عدد خیلی از آنچه درآغازاین فصل برای همهٔ اتمهای موجود در جهان گفتیم یعنی‌ازعدد $۱۰^{۷۴}$ بزرگتراست ولی‌نباید فراموش کنیم که جهان پرازاتم نیست وبطور متوسط درهرمترمکعب فضا یك اتم وجود دارد .

اما برای بدست آوردن عددهای بزرگ لازم نیست که ازاین گونه کارهای غریب انجام دهیم یعنی جهان را پر ازریگ کنیم . درحقیقت غالباً

---

۱ ـ Aristarchus of Samos

۲ ـ یك استادیای یونانی مساوی ۱۸۸متربوده است .

۳ ـ با قواعد عدد نویسی مااین عدد چنین میشود :

۱۰،۰۰۰،۰۰۰ × ۱۰۰،۰۰۰،۰۰۰ × ۱۰۰،۰۰۰،۰۰۰ × ۱۰۰،۰۰۰،۰۰۰ × ۱۰۰،۰۰۰،۰۰۰ × ۱۰۰،۰۰۰،۰۰۰ × ۱۰۰،۰۰۰،۰۰۰

یعنی $۱۰^{۶۳}$ یا ۱ و۶۳ صفر

این قبیل اعدادازمسائل ساده‌ای نتیجه می‌شوند که شما درجوابشان انتظار عددی بزرگتراز چند هزار را نداشته‌اید .

گویند یکی‌از کسانی که قربانی‌عددهای جانفرسا شد **شرهام شاه** هندی بود که بقول افسانه سرایان کهن خواسته بود پاداش وزیرخود **سیسابن دهیر**، مخترع شطرنج ، رابدلخواه خوداوبدهد . وزیر با تدبیر درخواستی کرد که بظاهر بسیارحقیرمی‌نمود :

شکل ۲ ــ وزیر اعظم سیسابن دهیر پاداش خودرا از شرهام شاه هندی میخواهد

«شاها مرادانهٔ گندمی عطا فرما که برخانهٔاول نطع نهم ، و دو دانه برای خانهٔ دوم، وچهاردانه برای خانهٔ سوم، وهشت دانه‌برای خانهٔ چهارم، وهمچنین‌ای شهریارکامکار برای هرخانه دوبرابرخانهٔپیشین دوآنقدربمن گندم عنایت کن تا بدین نهج هرشصت وچهارخانهٔ نطع را پر کنم.»

شاه که باکمال خشنودی می‌دید که عطیه‌ای که بمخترع این بازی شگفت انگیز وعده کرده بودبرای خزانهٔ وی گران تمام نخواهد شد گفت: «ای خادم و فادار من ، مردی پر توقع نیستی . هم‌اکنون خواسته ات را برمی‌آورم» . پس فرمودتا کیسهٔ گندمی دربرابرتخت شاهی حاضر کنند .

اما وقتی شمردن گندم آغازشد و بخانهٔ اول یك گندم و بدومی دو گندم وبسومی چهار وبچهارمی هشت دانه داده شد وبهمین نحوادامه یافت

پیش از آنکه بحساب خانهٔ بیستم برسند کیسه تمام شد . کیسه‌های دیگری درمجلس حاضر کردند اما مقدار گندمی که درمقابل هرخانهٔ جدید صفحهٔ شطرنج‌لازم می‌آمد بقدری‌بود که بزودی معلوم‌شد با تمام محصول سرزمین هند پادشاه از برآوردن حاجت سیسابن عاجز خواهد ماند . برای انجام این‌درخواست ۶۱۵ ، ۵۵۱ ، ۷۰۹ ، ۰۷۳ ، ۷۴۴ ، ۴۴۶ ، ۱۸ دانه گندم لازم بود[1]

راست است که این عدد ببزرگی عدهٔ اتمهای سراسر جهان بیکران نیست‌امابرای خودعددی‌است . اگرفرض کنیم که یك‌لیتر گندم۱۴۰،۰۰۰ دانه داشته باشد درحدود ۱۴۹،۰۰۰میلیاردلیتریا ۲۴۰،۰۰۰،۰۰۰ متر-مکعب گندم‌برای این‌کارلازم بوده‌است . اگردرنظربگیریم که محصول گندم جهان‌درحدودسالی۷۰،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰لیتراست مورد تقاضای جناب وزیر اعظم معادل محصول دوهزارسال تمام جهان میشد !

باین نحو **شرهام شاه** خود را سخت نسبت بوزیر مدیون یافت و ناچار بود یا بتقاضاهای متزاید وی تسلیم شود ویا سرازبدنش جدا سازد .

داستان دیگری‌هم که با عددی‌بزرگ سروکاردارد‌هندی‌است ومربوط بآخرالزمان یا پایان‌جهان است . **وووربل**[2] تاریخ نویسی که تفریحات ریاضی‌را گرد آورده‌است چنین میگوید : درمعبد بزرگ **بنارس** ، درزیر گنبدی که دروسط جهان ساخته شده است ، صفحهٔ مفرغی‌است که برروی سه سوزن الماس قراردارد . هرسوزن نزدیك به ۵۰ سانتیمترارتفاع دارد و بکلفتی تنهٔ یك زنبورعسل است . خدا درآغازخلقت شصت‌وچهارقرص از زر

---

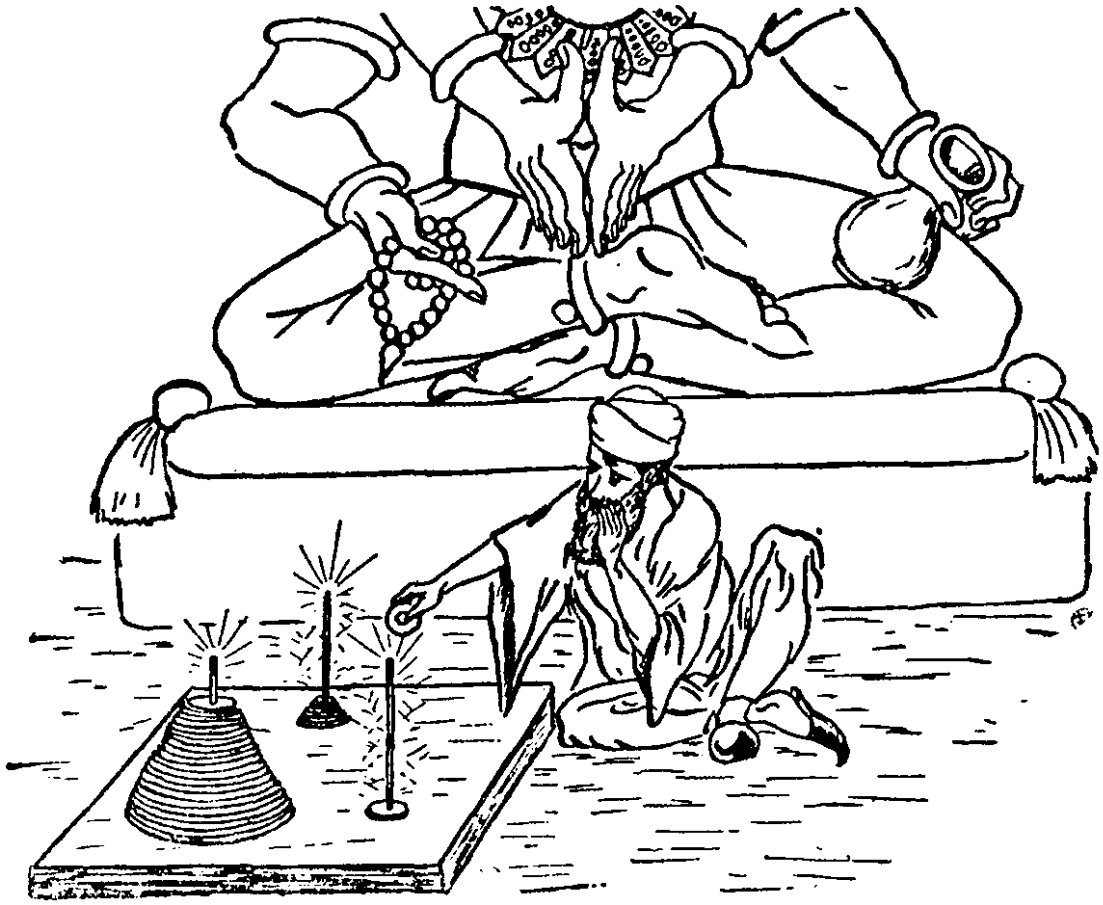
۱ ـ تعداد دانه های گندمی که وزیر اعظم خواسته بود مجموع جمله‌های این تصاعد هندسی است :

$$۱ + ۲ + ۲^۲ + ۲^۳ + ۲^۴ + \cdots + ۲^{۶۲} + ۲^{۶۳}$$

در حساب دیده شده است که مجموع جمله های یك چنین تصاعد هندسی که قدرنسبتش ، یعنی عددی که درهرجمله ضرب میشود با جملهٔ بعدی بدست‌آید۲وتعداد جمله هایش ۶۴ است باین نحو بدست می‌آید که قدر نسبت را بقوهٔ مساوی تعداد جمله ها رسانیده جمله اول راازنتیجه کم کنیم و تفاضل را برقدر نسبت منهای۱ تقسیم نمائیم یعنی $\frac{۲^{۶۴} - ۱}{۲ - ۱} = ۲^{۶۴} - ۱$ وچون‌این مقدارراحساب کنیم عدد گیج کنندهٔ ۱۸٬۴۴۶٬۷۴۴٬۰۷۳٬۷۰۹٬۵۵۱٬۶۱۵ بدست میآید .

۲ ـ W. W. R. Ball

ناب بدویکی ازاین سوزنها قرار داد بقسمی که بزرگترین قرصها بر روی صفحهٔ مفرغ قرار گیرد وقرصهای دیگر بترتیبی که کوچك میشوند بر روی هم‌واقع گردند بقسمیکه کوچکترازهمه دربالای‌همه واقع باشد . این سوزن وقرصها را برروییهم «برج برهما» می‌نامند . کاهنی که نگهبانی دستگاه را برعهده دارد باید شب و روز ، لاینقطـع ، بر طبق قانونی که برهما وضع کرده است قرصها را ازیکی از سوزنها بردارد و بدور دیگری قراردهد . قانون لایتغیر الهی اینست که هیچگاه بیش ازیك قرص طلا جابجا نشود و قرصها طوری بدور سوزن گذاشته شوند کـه هیچگاه قرص کوچکتری زیر قرص بزرگترواقع نگردد . هرزمان که هرشصت وچهار قرص طلاازسوزنی که خدادرآغازخلقت آنها رابدورآن‌نهاده بود بدوریکی ازدوسوزن دیگر منتقل شود سوزن وبرج ومعبد وبرهمنان همه خاك خواهند شد . جهان از جهش برقی محو ونابودخواهد گردید .



شکل ۳ ـ کاهنی دربرابرمجسمهٔ بسیاربزرگ برهما سرگرم مسئلهٔ «پایان جهان» است . تعداد قرص‌های طلا از ٦٤ کمتر کشیده شده است زیرا که ترسیم همهٔ ٦٤ قرص کاری دشواراست

درشکل ۳ ترتیبی را که در داستان گفته ایم می‌بینید بااین تفاوت که

تعداد قرصها کمتر نشان داده شده است . شما می‌توانید بازیچه‌ای شبیه باین دستگاه بسازید که در آن بجای قرصهای زرین افسانهٔ هندی قرصهای مقوائی و بجای سوزنهای الماس میخهای آهنین بکار برید . یافتن قاعدهٔ جابجا کردن قرصها بنحوی که مقرر است دشوار نیست و پس ازیافتن این قاعده خواهید دید که تعداد حرکاتی که برای جابجا کردن هر قرص لازم است دو برابر تعدادی‌است که برای قرص پیش از آن ضرورت داشته است . قرص اول را با یك حرکت میتوان بجای تازه برد اما تعداد حرکات برای قرصهای دیگرمانند جمله های تصاعد هندسی ترقی‌میکند بنحوی که برای حرکت دادن قرص شصت وچهارم تعداد حرکات لازم مساوی‌است با تعداد دانه های گندمی که **سیسابن‌دهیر** ازپادشاه خود خواسته بود .[۱]

میدانید چقدروقت لازم است تا قرصهای‌برج برهماازسوزنی بسوزن دیگرمنتقل گردد ؟ فرض کنید که‌کاهنان شب وروز، بی‌انقطاع وبدون تعطیل کار کنند وهرثانیه‌یك حرکت انجام دهند چون‌سال‌درحدود **۳۱،۵۵۸،۰۰۰** ثانیه دارد برای انجام این عمل فقط کمی بیشتراز **پنجاه و هشت هزار میلیارد** سال‌لازم است .

بدنیست که این پیشگوئی افسانه ای راکه در بارهٔ عمر زمین شده است با پیشگوئی علم جدید بسنجیم : برطبق نظریه‌ای که اکنون دربارهٔ تکامل جهان مورد قبول است ثوابت و خورشید و سیارات وزمین در حدود ۳،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰سال قبل ازتوده‌هائی بی شکل تشکیل گردیده‌اند . از طرف دیگر میدانیم که سوخت اتمی که به ثوابت ، خاصه بخورشید ما ، کارمایه (انرژی) میدهد ممکن است ده تا پانزده میلیارد سال دیگر دوام کند (رجوع کنید بفصل «روزهای آفرینش») . باین‌ترتیب تمام مدت عمر

۱ـ اگرفقط هفت قرص داشته باشیم تعداد حرکت لازم عبارت است از :

$$۱+۲^{۱}+۲^{۲}+۲^{۳}+۲^{۴}+۲^{۵}+۲^{۶}$$

یا $۲^{۷}-۱=۲\times۲\times۲\times۲\times۲\times۲-۱=۱۲۷$

است قرص ها را خیلی سریع جابجا کنید و هیچ اشتباه هم نکنید تقریباً یك ساعت وقت لازم است تا بتوانید هفت قرص را دورسوزن تازه قرار دهید . با ٦٤ قرص تعداد حرکات لازم عبارت است از :

$$۲^{٦٤}-۱=۱۸۰،٤٤٦،۷٤٤،۰۷۳،۷۰۹،۵۵۱،٦۱۵$$

یعنی همان عددی که برای دانه های گندم وزیر بی نظیر سیسابن دهیرپیدا شده بود .

جهان از ۲۰،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰ سال کمتر خواهد بود واین مقدار از ۵۸،۰۰۰ میلیارد سال افسانهٔ هندی کمتر است . اما آخر هرچه باشد آن افسانه‌ای بیش نیست !

باغلب احتمال بزرگترین عددی که درادبیات ذکرشده است مربوط به «ماشین چاپ» است . فرض کنید که ماشین چاپی ساخته شده باشد که پشت سرهم و بدون انقطاع سطرهائی چاپ کند و خود بخود برای هرسطر ترکیب تازه‌ای ازحروف‌الفبا وعلائم چاپخانه فراهم آورد . چنین ماشینی مرکب‌ازیك‌عده صفحات گرد فلزی خواهد بود که بروی‌طوقهٔ آنها حروف وعلائم الفبا وچاپخانه قرارداشته باشد . ارتباط این صفحات با یکدیگر شبیه بارتباطی است که صفحات کیلومتر شمار اتومبیل با یکدیگر دارند و هردوران کامل یك صفحه ، صفحهٔ بعدی‌را باندازهٔ یك دنده دوران‌میدهد . کاغذ که از دور استوانه‌ای بازمیگردد بعد ازهر حرکت ماشین خودبخود بآن فشرده میشود تا اثرحروف وعلامات بر روی‌آن بماند . چنین ماشینی رامیتوان‌بدون زحمت زیاد ساخت و مجموع آن بصورتی است که در شکل ٤ دیده میشود .

حالا ماشین را بکار می‌اندازیم و رشتهٔ سطرهای مختلفی را که چاپ میشود مورد مطالعه و دقت قرار میدهیم ، بعضی سطرها اصلا معنی ومفهومی ندارند و بشکل

« ٦٦٦٦٦٦٦٦٦٦٦٦ »

«یا بووبووبووبووبووبووبوو ۰۰۰ »

«یا هلیمکتورتجنشمالسر۰۰۰»

در میآیند .

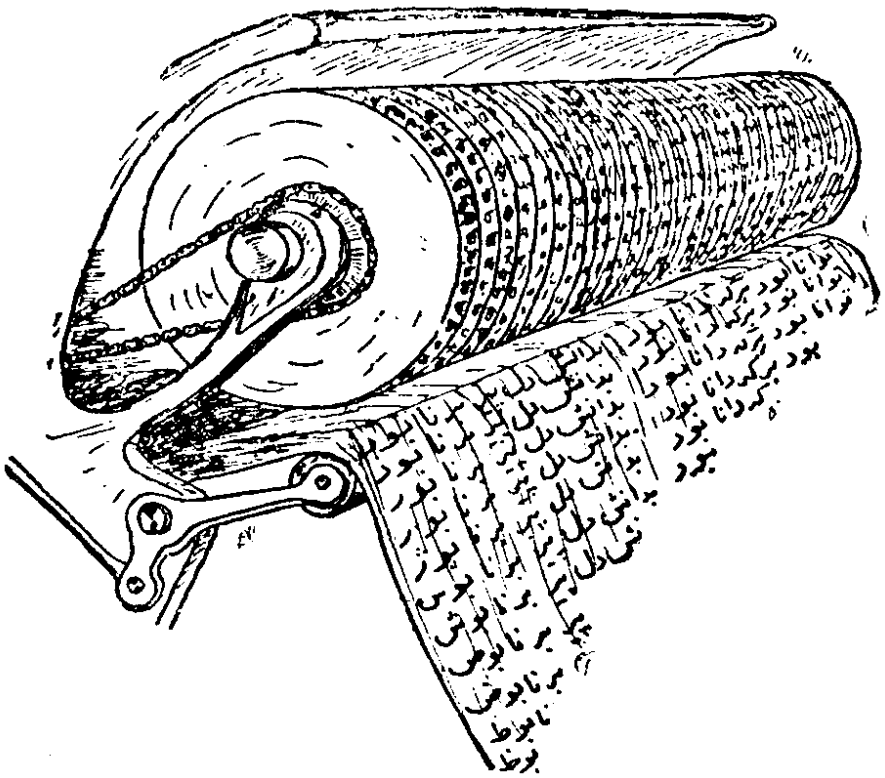
اما چون ماشین حروف وعلامات را **بهرصورتی که ممکن‌باشد** با هم ترکیب میکند ممکن است بین مقدار زیادی سطرهای بی ارزش وفاقد معنی عبارتهائی هم دیده شود که دارای معنی باشند . البته بعضی از این عبارتها بی‌فایده‌اند . مثلا ممکن است دوسطری این طورزده شود :

«اسب شش پا داردو۰۰۰ » یا

« دلم میخواهد سیب را در نفت بپزم ۰۰۰ »

اما اگردرست دقت کنیم بی شك بین صورتهای سطرهائی که ماشین چاپ میکنداشعارآبداری را که **فردوسی** سروده است خواهیم یافت حتی شعرهائی را که خود اوبدورافکنده یا بآب شسته باشد !

درحقیقت چنین مطبعهٔ خودکاری آنچه را که تا کنون افراد با سواد برروی کاغذ آورده باشند ، اعم از نثر و نظم یا مقاله یا آگهی روزنامه یا رسالات معضل ومفصل علمی یا نامه های عاشقانه یا صورتحساب بقال سر گذر، چاپ خواهد کرد .



۳ — دستگاه خودکار ماشین چاپ که خودبخود یك سطر از شاهنامه فردوسی را چاپ کرده است

حتی این ماشین آنچه را هم که درقرنهای آینده نوشته خواهد شد چاپ میکند . درروی کاغذی که ازاستوانهٔ دوار باز میشود خواهیم توانست ادبیات قرن سی‌ام واکتشافات علمی آتیه ومذاکرات پانصدمین دورهٔ قانونگذاری مجلس وفهرست تعداد حوادث مسافرت بین سیارات در سال ۲۳۳٤را بخوانیم . صفحات متوالی ازداستانهای کوتاه و درازی که هنوز بدست فرزندان آدم نوشته نشده است ازجملهٔ چیزهائی خواهد بود که این ماشین چاپ بما خواهد داد و ناشرانی که چنین ماشینی را دراختیار داشته باشند کافی است که ازمیان آن اوراق وازبین ترهات واباطیل ، همانطور که حالا میکنند ، مطالبی را گلچین کنند ومنتشرسازند .

پس چرا چنین کاری نمی‌شود ؟

اجازه بدهید حساب کنیم که اگر همهٔ حروف الفبا وعلائم چاپخانه

را بهمه صورتهائی که ممکن‌است با هم‌ترکیب کنیم چند سطر بوجودمیآید.

درالفبای فارسی ۳۲حرف است که با «آ» می‌شود۳۳ حرف . بیست وپنج تا ازاین حروف هریك دارای چهـار صورت تنها واول ووسط و آخر هستند و هشت تای دیگر دارای دو صورت تنها وآخر . پس الفبای فارسی درحقیقت ۱٤۰ حرف دارد. ده رقم‌هم‌از ۰ تا ۹داریم‌بعلاوه تقریباً چهارده‌علامت ازقبیل زبروزیر و پیش وتنوین و علامتهای نقطه گذاری . پس برروی هم در چاپخانه های ما حد اقل ۱۵۰حرف وعلامت بکارمیرود . چون در هر سطر متوسط درحدود ٦۵ حرف چاپ می‌شود فرض می کنیم کـه ماشین چاپ ما ٦۵چرخ‌داشته باشد . سطری که چاپ می‌شود ممکن‌است باهریك ازحروف و علامات شروع گردد پس ۱۵۰احتمال درپیش است .

درمقابل‌هریك ازاین‌احتمالات ۱۵۰احتمال برای حرف با علامت دوم و درمقابل هردوحرف اول ۱۵۰احتمال بـرای سومی است وبهمین منوال ۰ برروی‌هم تعداد امکانات برای ترکیب حروف وعلامات مختلف

$$۱۵۰^{٦۵} = ۱۵۰ \times ۱۵۰ \times ۰۰۰۰ \times ۱۵۰ \times ۱۵۰$$

٦۵ مرتبه

$۱۵۰^{٦۵}$ تقریباً معادل $۱۰^{۱٤۰}$ است .

برای اینکه بعظمت این عدد پی ببرید فرض کنید که هراتمی که در جهان است یکی ازاین ماشین‌های چاپ باشد یعنی $۱۰^{۷٤} \times ۳$ماشین با هم مشغول‌کارباشند وهمهٔ این ماشینها ازآغازخلقت ، یعنی درمدت سه میلیارد سال یا $۱۰^{۱۷}$ ثانیه ، شروع به طبع نموده و سرعت‌کارشان باندازهٔ ارتعاشات اتمی باشد یعنی در هرثانیه $۱۰^{۱۵}$ سطرچاپ کرده باشند ، دراین‌صورت‌کاری که تا زمان حاضر کرده‌اند

$$۳ \times ۱۰^{۱٦۰} = ۳ \times ۱۰^{٤۷} \times ۱۰ \times ۱۰^{۱۷} \times ۱۰^{۱۵}$$

سطراست ، عدد سطرهائی که ممکن است با ماشین چاپ شود سه میلیارد میلیارد میلیارد میلیارد برابرکاری است که باین نحوانجام شده است[۱].

پس براستی وقت بسیار وسعی لازم است تا بتوان از میان مطالبی که

---

۱ ـ مؤلف کتاب این حساب را برای الفبای انگلیسی که مرکب از ۲٦حرف است وبا ارقام و علائم مختلف از ۵۰ تجاوز نمی کند کرده است . تعداد سطرهائی که با این حساب ممکـن است با ماشین چـاپ بطبع رسد $۱۰^{۱۱۰}$خواهد بود وکاری که ازآغازخلقت تاکنون ممکن است برطبق حسابی که کردیم انجام شده باشد یك سی‌ام یکصدم عدد $۱۰^{۱۱۰}$ میشود .

باین نحو خودبخودچاپ میشود مضمون‌های مناسب انتخاب کرد :

۲ ـ چگونه می‌توان اعداد بی نهایت را شمرد ؟

دربخش گذشته دربارهٔ اعدادی بحث کردیم که بسیاری از آنها بسیار بزرگ بودند . اما هرچندعددهای‌غول‌آسائی‌مانند تعداد دانه های گندمی که سیسابن‌خواسته بودبیرون‌ازحد تصوربزرگ هستند بازاعدادمحدودند واگرفرصت باشد میتوان آنها را تاآخرین رقم اعشارحساب کرد ونوشت.

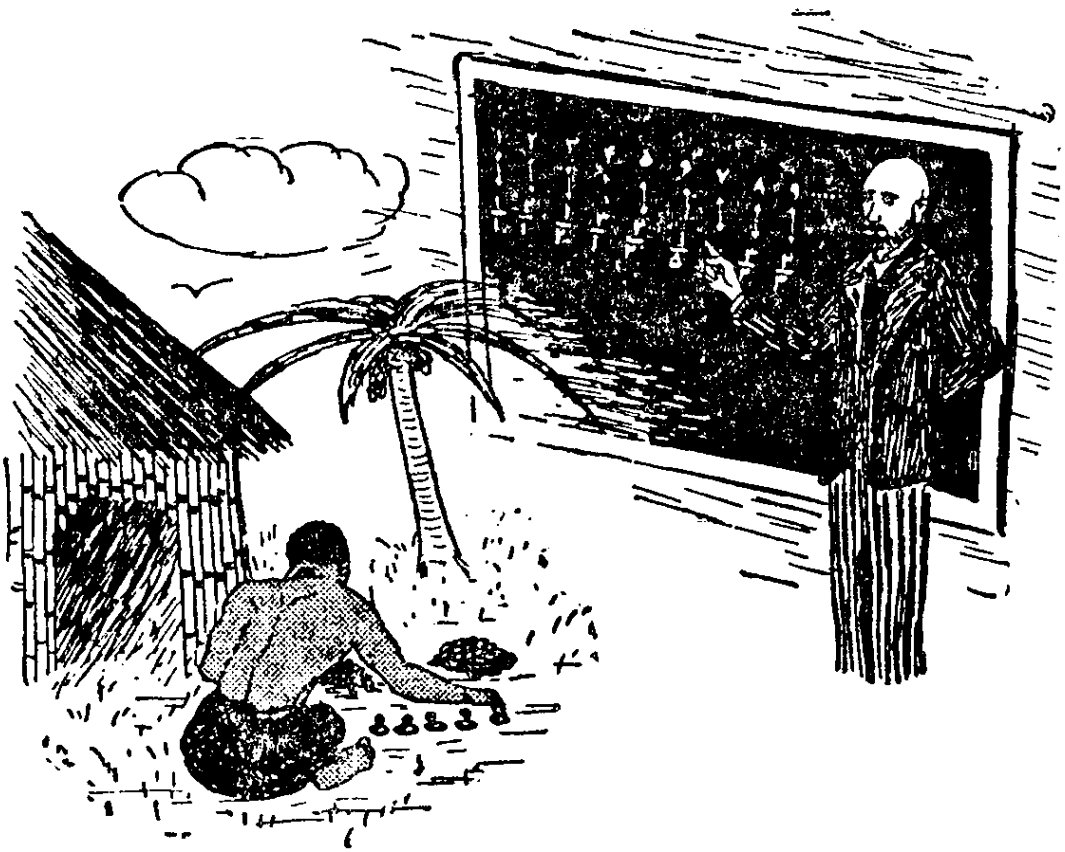
ولی اعدادی وجود دارند که براستی بی نهایت هستند واز هرعددی که بتوانیم باصرف هرمقدارکار ووقت بنویسیم‌بزرگترند . مثلا «تعدادهمهٔ اعداد» عددی است بی‌نهایت . همچنین است «تعداد نقطه های هندسی که بروی خطی وجوددارند» . آیا در بارهٔ این اعداد جزاین می‌توان گفت که «بی‌نهایت هستند»؟ وآیا مثلاممکن است دومقداربی‌نهایت بزرگ را باهم سنجید که کدام بزرگتراست ؟

آیا برای این پرسش معنائی می‌توان قائل شد که «تعداد همهٔ اعداد بزرگتراست‌یا کوچکترازتعدادنقاط هندسی که برروی‌خطی وجود دارند؟» چنین پرسش‌هائی که دربدوامربنظرموهوم میرسند برای اولین بار بوسیلهٔ ریاضی‌دان‌نامداری بنام **گیورك کانتور**[۱]، که درحقیقت باید بانی «حساب بی‌نهایت» نامیده شود ، طرح گردیدند .

اگربخواهیم ازبی‌نهایتهای بزرگتریاکوچکتر گفتگو کنیم درحقیقت با مسئلهٔ شمردن اعدادی مواجه می‌شویم که نه میتوانیم آنها را نام ببریم و نه بنویسیم ودرحقیقت وضع مابی‌شباهت به‌آن مرد هوتانتونیست که صندوق خزاین و ذخائرخود را در پیش رونهاده است و می‌خواهد بداند که تعداد مهره های او بیشتراست یا تعداد سکه های پول سیاهش . اما بیاد دارید که هوتانتو قادر نیست کـه بیشترازسه بشمارد . پس آیا هرکوششی را برای مقایسه کردن تعداد مهره های خـودترك خواهد کرد وازابن فکر منصرف خواهد شد؟ ابداً . اگربااندازهٔ کافی درایت داشته باشد جواب پرسش خود را باین‌ترتیب بدست خواهد آورد کـه مهره ها و سکه ها رایکایك‌با هم مقایسه خواهد کرد ، باین نحـو کـه یك مهره را پهلوی یك سکه خواهد گذاشت ، مهرهٔ دوم‌را پهلوی سکـهٔ دوم ، مهرهٔ سوم‌را پهلوی سکهٔ سوم... و بهمین طرز ادامه خواهد داد . اگر مهره هایش تمام شود و برایش

۱ـ Prof. Ceorg Cantor

سکه هائی باقی بماند می‌فهمد که تعداد سکه هایش بیشتر است ؛ اگر سکه‌هایش بپایان رسد و هنوز مهره هائی داشته باشد نتیجه می گیرد که عدهٔ مهره هایش زیادتر است ؛ اما اگر هردو با هم تمام شوند معلوم می‌شود که عدهٔ مهره ها وسکه ها مساوی است .



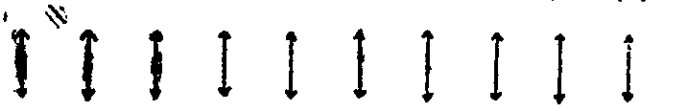
شکل ۵ـ یك بومی افریقائی وپرفسور گیورك، کانتور عددهائی را که شمردنشان ازحیطهٔ استعداد آنان بیرون است با هم مقایسه میکنند

پرفسور کانتور عین این روش را برای با هم سنجیدن دو بی‌نهایت پیشنهاد کرد . اگر بتوانیم اشیاء موجود در یك مجموعهٔ بی‌نهایت بزرگ را با چیزهائی که درمجموعهٔ دیگری است مقابله کنیم بطوریکه درمقابل هر واحد ازیکی یك واحد از دیگری قرار گیرد و هردو مجموعه با هم بپایان رسند با هم برابر هستند . اما اگر چنین نشود و پس ازبپایان رسیدن واحد های مجموعه ای در مجموعهٔ دیگر چیزی باقی بماند می گوئیم که مجموعهٔ بی‌نهایت بزرگ دومی بزرگتر یا باصطلاح دیگر قویتر از مجموعهٔ اولی است .

مسلماً این روش معقولترین قاعده و در حقیقت تنها قاعدهٔ ممکن برای مقایسه کردن دومقدار بی‌نهایت بزرگ است . اماوقتی که خودرا برای بکار بستن این قاعده آماده سازیم با شگفتی‌هائی روبرو می‌شویم . برای نمونه

عدهٔ بی‌نهایت زیادعددهای طاق‌را در نظر بگیرید . البته اینطورفکرمی کنید و صحیح هم فکرمی کنید که عدهٔ عددهای جفت وعددهای طاق با هم برابر است واین فکر باقاعده‌ای هم که گفتیم کاملا تطبیق می کند زیرا که می‌توان عددهای طاق وجفت را یکایك درمقابل هم‌قرارداد :

۱ ۳ ۵ ۷ ۹ ۱۱ ۱۳ ۱۵ ۱۷ ۱۹ .....



۲ ٤ ٦ ۸ ۱۰ ۱۲ ۱٤ ۱٦ ۱۸ ۲۰ .....

درمقابل هرعدد طاق یك عدد جفت وجـود دارد و درمقابـل هرعدد جفت یك عدد طاق، پس مجموعه های بی‌نهایت بزرگ عددهای طاق وجفت با هم برابرند . این نتیجه در واقع بسیارطبیعی بنظرمی‌رسد .

اما اندکی صبر کنید . بنظرشما عدهٔ عددهای جفت و طاق با هـم بزرگتراست یاعدهٔ عددهای‌طاق به‌تنهائی ؟البته خواهید گفت که‌عدهٔ‌عددهای جفت و طاق باهم ، زیرا که همهٔ عددهای طاق را در بردارد بعلاوهٔ عددهای جفت . امااین‌فقط‌تصوری‌است که‌شمامادارید‌واگر بخواهیدجواب‌صحیح‌بدست بیاورید باید دو مجموعهٔ‌بی‌نهایت بزرگ را با قاعده‌ای که گفتیم با هـم مقایسه کنید . دراینصورت با کمال‌تعجب خواهید دید که‌آنچه‌می‌پنداشتید نادرست بود . درحقیقت اکنون جدولی برای مقایسهٔ یکایك همهٔ اعداد بـا اعداد جفت تنظیم می کنیم :

۱ ۲ ۳ ٤ ٥ ٦ ۷ ۸ .....

۲ ٤ ٦ ۸ ۱۰ ۱۲ ۱٤ ۱٦ .....

مطابق قاعده‌ای که برای مقایسهٔ تعداد اجزاء مجموعه‌های بی‌نهایت بزرگ بیان کردیم باید بگوئیم که عدهٔ عددهای جفت وطاق وعددهای‌طاق باهم مساویند . البته این نتیجه درست بنظر نمی‌رسد زیرا که در مجموعهٔ عددهای جفت وطاق‌باهم ، هم تمام عددهای جفت هستند وهم تمام عددهای طاق ، در صورتی که مجموعهٔ عددهای جفت فقط شامل قسمتی از همهٔ اعداد است . اما نباید فراموش کنیم که‌ما با مجموعه‌های بی‌نهایت بزرگ‌سروکار داریم وباید منتظر دیدن خواصی جزآنچه متداول است باشیم .

در حقیقت در جهان « بی‌نهایت بزرگ » **جزء ممکن است با کل مساوی باشد** . شاید اگرمثالی ازیکی از داستانهائی که دربارهٔ‌ریاضی‌دان

بزرگ آلمانی **داوید هیلبرت**[۱] گفته شده است بیاوریم مطلب روشنتر شود . می گویند در یکی از سخنرانی‌هائی که در بارهٔ عددهای بی نهایت می کرد این خاصیت بظاهر غلط عددهای بی‌نهایت را باین عبارت بیان کرد:

«فرض کنیم مهمانخانه‌ای عدهٔ محدود ومعینی اطاق داشته باشد که همه اشغال‌شده باشند . مهمـان تازه‌ای سرمی‌رسد و اطاقـی میخواهد . مهمانخانه‌دارمی گوید : «خیلی‌معذرت می‌خواهم، همه اطاقهای ما گرفته است» . حالافرض کنیم مهمانخانه‌ای بی‌نهایت اطاق داشته‌باشد که بازهمه اشغال شده باشند . بازهم مهمان تازه‌ای فرامی‌رسد و اطاقی می‌خواهد . مهمانخانه‌دارمی گوید : «با کمال میل، اطاعت می کنم» . بعد کسی را که در اطاق شمارهٔ ۱ است باطاق شمارهٔ ۲ وآن را که دراطاق شمـارهٔ ۲ است باطاق شمارهٔ ۳ وشاغل اطاق شمارهٔ۳ را باطاق‌شمارهٔ ٤ و... بهمین ترتیب همه را جابجامی کند واطاق‌شمارهٔ۱را بتازه واردمی‌دهد . حالافرض‌می کنیم درمهمانخانه‌ای که بی‌نهایت اطاق اشغال شده داشته باشد بی نهایت مهمان جدید وارد شوند واطاق بخواهند .مهمانخانه‌دارمی گوید : «بچشم، آقایان محترم ، چند دقیقه تأمل فرمائید» . بعد شاغل اطاق ۱ را باطاق۲ شاغل اطاق ۲ را باطاق ٤ شاغل اطاق۳ را باطاق ٦ می‌برد وهمه را بهمین نحـو جابجا می کند . درنتیجه همهٔاطاقهای‌شمارهٔ طاق خالی‌می‌شوند ومهمانهای تازه واردد‌رآنها جا می گیرند.»

اما فهمیدن ودرك کردن وضعی که **هیلبرت**توصیف کرده است آسان نیست ، لکن‌این‌مثال‌بی‌شبهه این‌فکررا بکرسی‌می‌نشاند که وقتی‌ازعددهای بی‌نهایت بزرگ صحبت بداریم‌باخواصی مواجه می‌شویم جزآنچه درمورد عددهای معمولی وحساب عادی می‌شناسیم .

بنابرقاعدهٔ **کانتور** برای‌مقایسهٔ دومجموعهٔ‌بی‌نهایت بزرگ می‌توانیم ثابت کنیم که عدهٔ همهٔ کسرهای متعارفی مانند $\frac{۳}{۷}$ و $\frac{۷۳۵}{۸}$ برابراست با عدهٔ همه عددهای صحیح . در واقع ما می‌توانیم تمام کسرهای‌متعارفی را دررشته اعدادی که باین نحوتشکیل می‌دهیم بگنجانیم: اول کسری‌بنویسیم که مجموع صورت و مخرجش مساوی ۲ باشد . فقط یك چنین کسر خواهیم داشت وآن $\frac{۱}{۱}$ است. بعد کسرهائی‌رابنویسیم که‌مجموع‌صورت‌ومخرجشان

۱- David Hilbert

مساوی ٤ باشد یعنی $\frac{۳}{۱}$ و $\frac{۲}{۲}$ و $\frac{۱}{۳}$. همین طور عمل را ادامه دهیم .

باین ترتیب رشته‌عددهائی بدست می‌آوریم که در آن هر کسر متعارفی که فکر کنیم وجود دارد (ش۵) . آنگاه در بالای این رشته اعداد ، رشتهٔ عددهای صحیح را بنویسید و واحدهای دومجموعهٔ بی‌نهایت بزرگ عددهای صحیح و کسرهای متعارفی را مقابله کنید . باین نتیجه می‌رسید که عدهٔ واحدهای هردومجموعه مساوی‌است !

ممکن است بفرمائید : «خیلی لطف فرمودید . اما مگر نتیجهٔ این گفته این نیست که **همهٔ** بی‌نهایت‌ها باهم برابرند ؟ پس دیگر زحمت مقایسهٔ آنها باهم برای چیست؟»

نه ، نتیجه این نیست ، بلکه بآسانی مجموعهٔ بی‌نهایت بزرگی می‌توان یافت که از مجموعهٔ عددهای صحیح یا ازمجموعهٔ کسرهای متعارفی بزرگتر باشد .

درحقیقت اگر مسئله‌ای را که کمی پیش بآن اشاره کردیم ، یعنی مقایسهٔ عدهٔ نقاط واقع بر یك خط وعدهٔ عددهای صحیح ، را در نظر بیاوریم می‌بینیم که این دو مجموعه باهم برابر نیستند وعدهٔ نقاط واقع بر یك خط خیلی بیشتر است از عدهٔ عددهای صحیح یا عدهٔ کسرهای متعارفی . برای اثبات این مطلب سعی می‌کنیم که عددهای صحیح و نقاط واقع بر یك خط ، مثلا یك سانتیمتری ، را یکایك باهم مقابله کنیم .

هر نقطهٔ خط بوسیلهٔ فاصله اش از یك انتهای خط مشخص می‌شود . این فاصله را می‌توان با یك کسر غیر مشخص دهدهی بیان کرد از قبیل ۰٫۰۵۶ ، ۰٫۷۸۰ ، ۰٫۶۲٤ ، ۰٫۷۳۵۰ یا ۰٫۶۳۲ ، ۰٫۳۷۵ ، ۰٫۲۵۰ ، ۰٫۳۸ ... [۱] پس باید عدهٔ همهٔ عددهای صحیح را باعدهٔ همه کسرهای اعشاری مقایسه نمائیم . چه‌فرقی است میان کسرهای اعشاری که گفتیم و کسرهای متعارفی مانند $\frac{۳}{۷}$ و $\frac{۸}{۲۷۷}$ ؟

باید آنچه را که درحساب آموخته‌اید بیاد داشته باشید و بدانید که هر کسر متعارفی را می‌توان بیك کسراعشاری تبدیل کرد . باین ترتیب

۱ـ همهٔ این کسرها ازواحد کوچکترند بدلیل آنکه طول پاره خط را مساوی واحد فرض کردیم .

(٦) ر٠ = ٠٠٠ ، ٦٦٦ ، ٦٦٦ ر٠ = $\frac{۲}{۳}$ و

(٤٢٨٥٧١) ر٠ = ٠٠٠ ، ٤٢٨٥٧١ ، ٤٢٨٥٧١ ر٠ = $\frac{۳}{۷}$ ،

بالاتر ثابت کردیم که عدهٔ کسرهای متعارفی مساوی است با عدهٔ عدد های صحیح . پس عدهٔ همه کسرهای اعشاری متناوب بایدبا عدهٔ عددهای صحیح مساوی باشد . اما حتماً لازم نیست نقاط واقع بر یك خط بوسیلهٔ یك کسر اعشاری متناوب مشخص شوند و ممکن است به بی‌نهایت کسر اعشاری بسیط بر بخوریم . وبآسانی می‌توان ثابت کرد که درچنین صورتی برای مقایسهٔ دو مجموعه ترتیبی نمی‌توان داد .

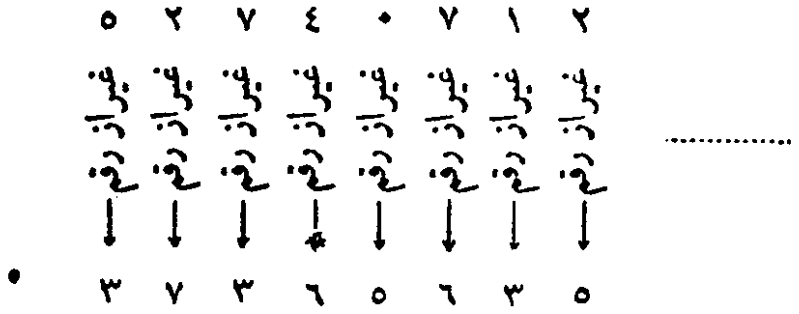
فرض کنید که کسی مدعی شده باشد که چنین ترتیبی داده باشد ، مثلا باین صورت :

	عدد
٠ر٣٨٦٠٢٥٦٣٠٧٨	١
٠ر٥٧٣٥٠٧٦٢٠٥	٢
٠ر٩٩٣٥٦٧٥٣٢٠٧	٣
٠ر٢٥٧٦٣٢٠٠٤٥٦	٤
٠ر٠٠٠٠٥٣٢٠٥٦٢	٥
٠ر٩٩٠٣٥٦٣٨٥٦٧	٦
٠ر٥٥٥٢٢٧٣٠٥٦٧	٧
٠ر٠٥٢٧٧٣٦٥٦٤٢	٨
.....	•
.....	•
.....	•
.....	•

البته چون ممکن نیست همهٔ عددهای بی‌پایان را باهمهٔ ارقام نامعین اعشاری آنها برشتهٔتحریردرآورد معنی چنین‌ادعائی اینست که تنظیم کنندهٔ جدول فوق قاعده‌ای (شبیه بآنچه برای تنظیم همهٔ کسرهای متعارفی گفتیم) یافته وبکمك آن جدول راتنظیم کرده باشد وباید این قاعده طوری باشد که هر کسراعشاری بسیط نیزمشمول آن باشد و درجداول پیدا شود .

بسیارخوب ، اما اثبات بطلان چنین ادعائی دشوار نیست ، زیرا که بی‌نهایت کسراعشاری می‌توان نوشت که درجدول مذکور نباشد. چگونه؟ بسیار ساده . کافی است یك کسر اعشاری بنویسید که رقم اولش با رقم اول

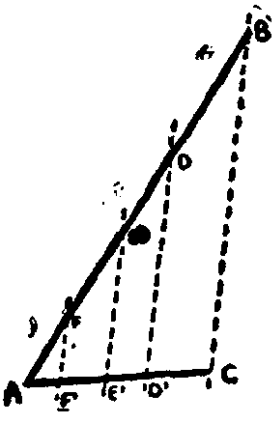
کسر شمارهٔ ۱ جدول و رقم دومش با رقم دوم کسر شمارهٔ ۲ جدول و رقم سومش با رقم سوم کسر شمارهٔ ۳ جدول اختلاف داشته باشند مثلا یك‌چنین کسری :



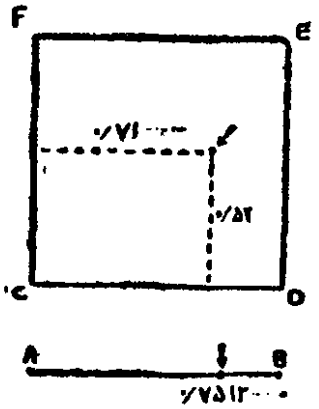
و چنین عددی درجدول وجود نداردهرقدرجدول را ادامه دهید .درحقیقت اگرتنظیم کنندهٔ جدول ادعا کند که چنین عددی در ردیف ۱۳۷ (یا هر ردیف دیگر) وجود دارد شما خواهید گفت : «چنین نیست‌زیرا که یکصدو سی و هفتمین رقم اعشاری کسری که شما فکرمی کنید غیر ازیکصد وسی و هفتمین‌رقم کسری است که من درنظر دارم» .

باین ترتیب ممکن نیست‌بتوان یکایك نقاط واقع برخطی را بایکایك عددهای صحیح مقابله کرد یعنی تعداد بی‌نهایت زیاد نقاط واقع بریك خط از **تعداد بی‌نهایت زیاد عددهای صحیح ، یاکسرها ، بزرگتر یا قوی‌تراست .**

ما دربارهٔ نقاطی واقع بریك‌قطعه خط«یك سانتیمتری» بحث کردیم . اما بآسانی می‌توان‌ثابت کرد که برطبق‌قواعد«حساب‌بی‌نهایت» همین‌حکم برنقاط واقع برهرخط جاری است . **درحقیقت‌تعداد نقاط واقع بریك سانتیمتر یا یك متر یا یك کیلومتر یکی است .** برای اثبات بشکل ٦ نگاه کنید . دراین شکل هر نقطهٔ خط AB بایك نقطهٔ خط AC ، که‌طولش



شکل ٦



شکل ۷

با AB یکی نیست ، مقابله شده است . برای این‌کار ازهرنقطهٔ خط AB

خطی موازی BC کشیده‌ایم تا BC را قطع کرده است و نقطهٔ D را با D' و E را با E' و F را با F' مقابله کرده‌ایم . باین ترتیب درمقابل هر نقطه که بر AB است نقطه‌ای هم بر AC وجود دارد ومطابق قاعده‌ای که گفتیم عدد نقطه‌های بی‌نهایت زیاد دوقطعه خط با هم برابرند .

یك نتیجهٔ جالب‌تر که ازتجزیه وتحلیل عددهای بی‌نهایت عایدمی‌شود اینست که **عدهٔ نقاط واقع بریك صفحه مساوی است با عدهٔ نقاط واقع بریك خط** . برای اثبات این گفته نقاط واقع بریك خط مانند AB را با نقاط واقع در مربعی مانند CDEF که ضلعش با AB برابراست مقابله می کنیم (ش۷). فرض کنید که وضع نقطه‌ای ازخط AB باعدد ۰٫۷۵۱۲۰۳۳۸۶.... مشخص شده باشد . ممکن‌است ما ارقام اعشاری مراتب زوج وفرد این‌عدد را برداریم وبا آنها دوعدد بسازیم مانند :

۰٫۷۱۰۸۰۰۰ و ۰٫۵۲۳۶۰۰۰

طولهائی را که با این دوعدد تعیین می‌شود برروی اضلاع افقی وقائم مربع جدا کنید و نقطه‌ای را باین نحو مشخص سازید و آنرا نقطهٔ نظیر نقطهٔ واقع برخط بنامید . بعکس اگر نقطه‌ای مثلا با مختصات ۰٫۴۸۳۵۰۰۰ و ۰٫۹۹۰۷۰۰۰ در مربع اختیار کنیم می‌توانیم نقطهٔ نظیرش را با عدد ۰٫۴۹۸۹۳۰۵۷۰۰۰ که‌ازیك درمیان‌نوشتن‌ارقام دوعدد قبلی‌بدست می‌آید برروی خط AB مشخص سازیم .

مسلم است که باین ترتیب نقاط خط و نقاط مربع یکایك باهم مقابله می‌شوند ، هر نقطهٔ خط نظیری درمربع‌وهر نقطهٔ مربع نظیری برروی خط خواهد داشت وهیچ نقطه‌ای نخواهد ماند که بحساب نیاید . باین ترتیب مطابق معیاری که‌کانتورمقررداشته‌است عدهٔ نقاط‌موجود درمربع‌مساوی است باعدهٔ نقاط واقع‌برخط .

بهمین ترتیب بآسانی می‌توان ثابت کرد که‌عدهٔ نقاط موجود در یك مکعب مساوی است باعدهٔ نقاط واقع دریك مربع یا بریك خط . برای‌این کارفقط باید کسراعشاری اصلی را به سه جزء بشکنیم[1] و با هرجزء کسر

۱ـ مثلا ازعدد ۰٫۷۳۵۱۰۶۸۲۲۵۴۸۳۱۲۰۰۰

عددهای ۰٫۷۱۸۵۳۰۰۰

و ۰٫۳۰۲۴۱۰۰۰

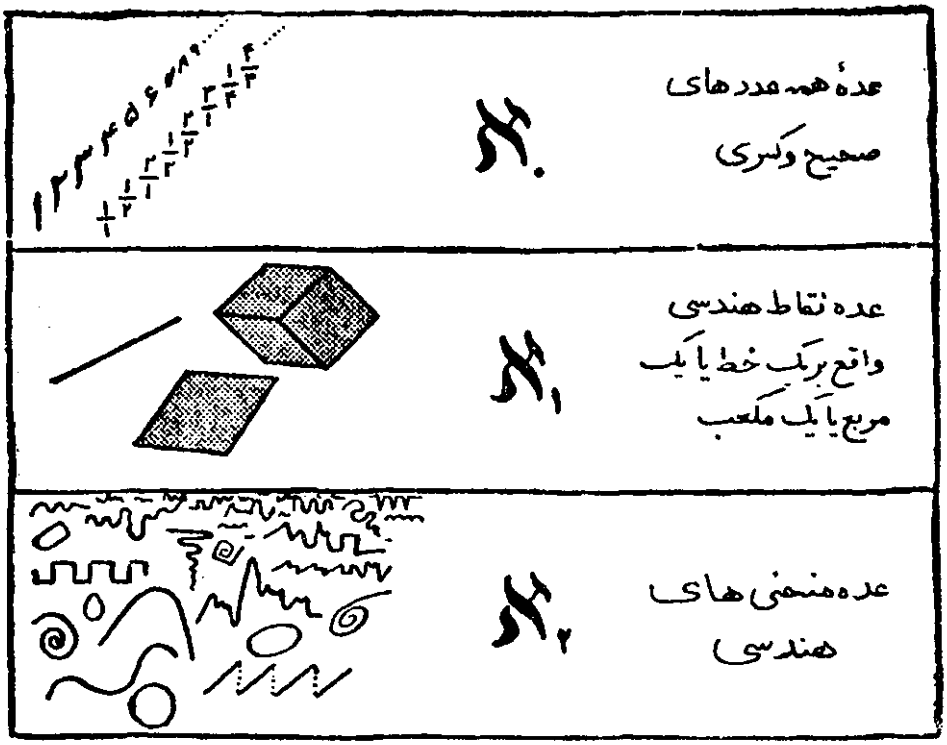
و ۰٫۵۶۲۸۲۰۰۰

رابسازیم .

اعشاری تازه‌ای بسازیم و با این سه کسر جدید وضع نقطه نظیر را درداخل مکعب مشخص کنیم . وهمانطور که دربارهٔ خطوط مختلف گفتیم عدهٔ نقاط واقع درهر مربع و هرمکعب یکی است و بستگی به اندازه و ابعاد آنها ندارد .

ولی با آنکه عدهٔ نقاط هندسی از عدهٔ عددهای صحیح و کسرهای متعارفی بزرگتر است بزرگترین عدد بی‌نهایتی نیست که ریاضی دانان شناخته‌اند . درحقیقت معلوم شده است که عدهٔ **انواع منحنی‌هائی که به تصور در آید (با در نظر گرفتن شکلهائی که هیچ متداول نیست) از عدهٔ نقاط هندسی بزرگتر است و باید آنرا سومین رشتهٔ عددهای بی‌نهایت بزرگ نامید .**

بنابرعقیدهٔ کانتور، موجد «حساب بی‌نهایت» ، عددهای بی‌نهایت را می‌توان باحرف الف‌عبری ℵ که در گوشهٔ راست وپائینش عدد کوچکی نوشته شود نامگذاری کرد این عددها که در گوشهٔ حرف ℵ نوشته میشوند مراتب را در اعداد بی‌نهایت بزرگ معین می کنند. پس سلسلهٔ اعداد (با در نظر گرفتن



اعداد بی‌نهایت بزرگ) چنین خواهد شد :

$$\ldots \aleph_3 \aleph_2 \aleph_1 \aleph_0 \ldots 5 , 4 , 3 , 2 , 1$$

و همانطور که می گوئیم ۷ اقلیم عالم یا ۵۲ برگ یك دسته ورق خواهیم توانست بگوئیم .

برروی یك خط $\aleph_1$ نقطه هندسی‌است و یا $\aleph_2$ منحنی مختلف وجود دارد .

در پایان صحبتی که درباره عددهای بی‌نهایت بزرگ‌داشتیم این‌نکته را خاطرنشان‌می‌سازیم که مجموعه‌هائی که‌می‌توان مرتبه‌های‌مختلف‌عددهای بی‌نهایت بزرگ را برآنها اطلاق کرد خیلی زود بپایان می‌رسند . مثلا $\aleph$ عدهٔ عددهای صحیح و $\aleph_1$ عدهٔ نقاط هندسی و $\aleph_2$ عدهٔ منحنی‌های مختلف را مجسم می‌سازند وهنوز کسی‌مجموعه‌ای نیافته است که بتوان آنرا با $\aleph_3$ نمایش داد. چنین بنظرمی‌رسد که فقط سه عدد بی‌نهایت بزرگ $\aleph$ و $\aleph_1$ و $\aleph_2$ برای شمردن آنچه درتصورما می‌آید کافی‌است و ازاین حیث ما درست نقطهٔ مقابل دوست هوتانتوی خود هستیم که چندبن پسرداشت‌ولی بیشترازسه‌تای آنها را نمی‌توانست بشمارد .

۱ـ ریاضیات محض

اعداد طبیعی و اعداد ساختگی

ریاضیات را معمولا « پادشاه علوم» می‌دانند . بخصوص ریاضی‌دانان در این‌عقیده راسختر ند . این علم‌بحکم مقام‌ارجمند پادشاهی سعی‌می کند که از اختلاط و ارتباط باشاخه‌های دیگرعلوم اجتناب نماید . باین‌ترتیب وقتی که از داوید هیلبرت تقاضا شد که در افتتاح یـك « انجمن مشترك ریـاضیات محض وریاضیات عملی» نطقی ایراد کند تا اختلافی را که بنظر می‌رسید بین دو گروه ازریاضی‌دانان وجود داشته باشد زائل سازد وی چنین آغازسخن کرد :

«غالباً بما گفته می‌شود که ریاضیات محض وریـاضیات عملی دشمن یکدیگرند . این گفته راست‌نیست .ریاضیات محض وعملی دشمن‌یکدیگر نیستند ، ریاضیات محض وعملی هیچگاه دشمن یکدیگر نبوده‌اند،ریاضیات محض وعملی هیچگاه دشمن یکدیگر نخواهند بود، ریاضیات محض وعملی هیچگاه نمی‌توانند دشمن‌یکدیگر باشند، زیرا که درحقیقت‌هیچ‌چیزمشترك بین آنها وجودندارد .»

اما هرقدرریاضیات می‌خواهندخالص بمانند وازعلوم‌دیگرجدا باشند

علوم دیگر، خاصه فیزیك ، با ریاضیات نردمحبت می‌بازند ومی کوشند که با آن دست اخوت دهند . براستی هم امروز هرشعبه وشاخهٔ ریاضیات‌محض بکار گرفته شده است تایکی ازصفات برجستهٔ جهان فیزیکی راتوصیف کند و بشناساند . این گفته درمورد رشته‌هائی ازقبیل «تئوری گروه‌های مجرد»[۱] و«جبر تبدیل‌ناپذیر»[۲] وهندسهٔغیراقلیدسی ، که‌همیشه بعنوان‌ریاضی‌محض شناخته شده و بهیچوجه قابل آن نبوده‌اند که مورد استعمالی پیدا کنند ، نیزصادق است .

اما یك شاخهٔ بزرگ ریاضیات موفق شده است که تا کنون در هر مورد «بیفایده بماند»جزدرمورد تقویت‌فکرو نیرومندساختن‌مغزو بدینوسیله توانسته است که «تاج خالص بودن» را برتارك خوداستوارسازد .این‌شاخه همان است که «تئوری‌اعداد» (یعنی اعداد صحیح) خوانده می‌شود ویکی‌از کهنسالترین وغامضترین تراوشهای فکرریاضی محض است .

هرچند ممکن است این نکته بنظرعجیب نماید اماتئوری اعدادرا، که خالصترین نوع‌ریاضیات‌است، می‌توان ازجهت علمی تجربی و آزمایشی دانست . درحقیقت همانطور که قوانین فیزیکی نتیجهٔ کوششهائی است کـه دانشمندان برای ساختن اشیاء از مواد بعمل آورده‌اند بیشتر احکام تئوری اعداد نتیجهٔ کوششهائی است که دانشمندان کرده‌اند تا از اعدادچیزهائی بسازند . و ، درست مـانند فیزیك ، بعضی از این احکام از «راه ریاضی» اثبات شده‌اند وبرخی هنوزکاملا بوضع تجربی بـاقیمانده ومغزهای بهترین ریاضی‌دانان را برای پیدا کردن دلیل وبرهان دعوت‌می کنند .

برای مثال بعددهای اول توجه کنید ، یعنی‌بعددهائی که ممکن‌نیست به حاصلضرب دویا چندعدد کوچکترتجزیه شوند ، مانند ۱و۲ و۳ و۵ و۷ و۱۱ و۱۳ و۱۷ ، ۱۲ عدد اول نیست چون که مساوی است ۳×۲×۲ .

آیا رشتهٔ عددهای‌اول بی‌انتهاست یا می‌توان بزرگترین عدد اول را بدست آورد بقسمی که هرعددی راکه بعد ازآن باشد بتوان بحاصلضرب عددهای اولی که قبلا بدست‌آمده‌اند تجزیه کرد ؟ بـرای حل این مسئله اولین بار اقلیدس دست بکار شد و با دلیلی بسیارساده و ظریف ثابت کرد که برای اعداد اول حدی نیست وچیزی بعنوان « بزرگترین عدد اول » وجود ندارد .

۱ـ Theory of Abstract Groups

۲ـ Noncommutable Algebra

برای تحقیق این مطلب بطور موقت فرض کنید که عده اعداد اول محدود و عدد بسیار بزرگ N بزرگترین عدد اول باشد. همهٔ این عددهای اول از ۱ تا N را درهم ضرب می کنیم و بحاصلضرب ۱ می‌افزائیم و چنین می‌نویسیم :

$$(۱\times۲\times۳\times۵\times۷\times۱۱\times۱۳\times\ldots\times N)+۱$$

مسلم است که عددی که باینطریق بدست می‌آید خیلی ازعدد N که «بزرگترین عدد اول» فرض شده است بزرگتر است . از طرفی هم مسلم است که این عدد بهیچیك ازعددهای اول از ۱ تا N قابل قسمت نیست زیرا که ازطرز ساختن آن می‌توان نتیجه گرفت که آنرا بهریك از اعداد مذکور تقسیم کنیم باقیمانده ۱ خواهد بود .

پس عددی که باین ترتیب بدست آمده است یا خود اول است و یا بعدد اولی که بزرگتر از N باشد قابل قسمت است . و این هر دو نتیجه مخالف فرضی است که کردیم و N را بزرگترین عدد اول موجود دانستیم.

این طرز استدلال «تبدیل بمحال» است یا «رسیدن به نتیجه مخالف فرض» واین نوع استدلال درریاضیات بسیارمطلوب است .

حال که دانستیم رشتهٔ عددهای اول بی‌پایان است باید ازخود سؤال کنیم که آیا راهی نیست که با آن همهٔ عددهای اول را پشت سرهم بنویسیم و حتی یکی را جانگذاریم ؟ یك راه بوسیلهٔ **اراتستن** فیلسوف و ریاضی‌دان قدیمی یونانی پیشنهاد شده است که معمولا «غربال» نامیده می‌شود . کاری که باید بکنید منحصر باین است که تمام عددهای صحیح ۱ و ۲ و ۳ و ٤ و... را بنویسید آنگاه آنچه مضرب ۲ است بزنید ، سپس مضربهای ۳ را، و بعد مضربهای ۵ را ، وبهمین طریق ... غربال اراتستن را برای اعداد ۱ تا ۱۰۰ در شکل ۹ نشان داده‌ایم . این غربال فقط شامل ۲٦ عدد اول است با این روش سادهٔ «غربال کردن» جدول عددهای اول از ۱ تا یك بلیون را تنظیم کرده‌اند .

البته اگر ممکن بود دستوری یافت که بکمك آن خودبخود وبسرعت هرعدد اول حساب شود خیلی ساده‌تر بود . اما با وجود کوششهای فراوانی که در طی قرنهای متوالی بعمل آمده چنین دستوری تاکنون یافته نشده است .

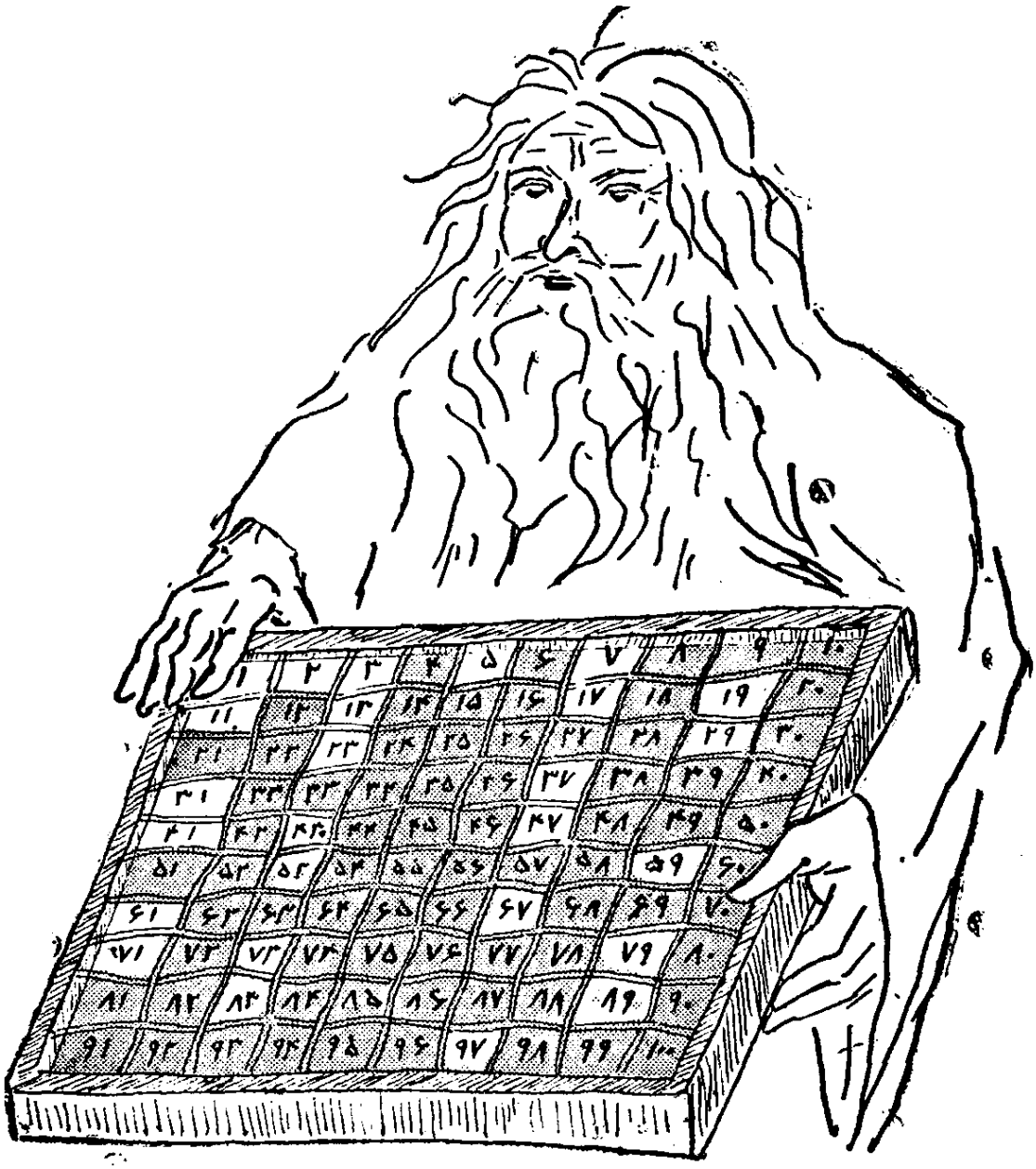
بسال ۱٦٤۰ م (= ۱۰۱۸ هـ . ش ۰) ریاضی‌دان نامدار فرانسوی بنام «**فرما**» تصور کرد که دستوری یافته است که مسئله راحل کرده وتعیین عددهای اول را میسر ساخته است .

در این دستور یعنی $۲^{۲^{n}}+۱$ عدد n یکی ازعددهای رشتهٔ طبیعی عددهای صحیح ۱ و۲ و۳ و٤ و... است . با استفاده از این دستور باین نتیجه می‌رسیم :

$$۲^{۲^{۲}}+۱=۵$$

$$۲^{۲^{۲}}+۱=۱۷$$

$$۲^{۲^{۳}}+۱=۲۵۷$$



$$۲^{۲^{٤}}+۱=۶۵۵۳۷$$

درحقیقت هریك ازاین اعداداول است. اما تقریباً یك قرن پس ازاین

ادعای فرما ریاضی‌دان معروف آلمانی بنام « **اولر** » ثابت کرد که پنجمین عددی که با فرمول فرما بدست می‌آید یعنی $۱+۲^{۲^{۵}}$ یا ۴۲۹۴۹۶۷۲۹۷ عدد اول نیست بلکه حاصلضرب ۶۷۰۰۴۱۷ در ۶۴۱ است . باین ترتیب ثابت شد قاعدهٔ تجربی فرما برای محاسبهٔ عددهای اول غلط از کار درآمده است .

دستور قابل ملاحظهٔ دیگری که با آن می‌توان اعداد اول بسیار بدست آورد :

$$n^۲ - n + ۴۱$$

است که در آن نیز به n باید تمام مقدارهای ۱ و ۲ و ۳ و . . . داده شود . دیده شده است که بازاء مقدارهای از ۱ تا ۴۰ که به n بدهیم نتیجه محاسبهٔ این دستور عدد اول می‌شود ولی بدبختانه در مرحلهٔ چهل و یکم نتیجه غلط وغیر اول درمیآید :

درحقیقت عدد $۴۱^۲ = ۴۱ + ۴۱ = ۴۱ \times ۴۱$

و بطوریکه می‌بینید این عدد مجذور است نه عدد اول .

بازهم دستور دیگری امتحان شده و آن فرمول

$$n^۲ - ۷۹n + ۱۶۰۱$$

است که بازاء n از ۱ تا ۷۹ نتیجهٔ صحیح داده و بازاء $n = ۸۰$ غلط درآمده است . باین ترتیب مسئلهٔ یافتن دستوری که با آن بتوان عددهای اول را پیدا کرد هنوز حل نشده است .

مثال جالب دیگری از یك قضیهٔ تئوری اعداد که تاکنون نه صحت آن ثابت شده است و نه خلافش مطلبی است که « گلدباخ »[۱] در سال ۱۷۴۲ میلادی (= ۱۱۲۰ ه . ش .) عنوان نمود . حکمی که گلدباخ بیان کرد این است : **هر عدد جفت را می‌توان بصورت حاصل جمع دو عدد اول نوشت .** در کمال آسانی می‌توانید صحت این گفته را درباره عددهای ساده‌ای مانند ۵ $= ۷ + ۷$ و $۱۲ = ۱۷ + ۷$ و $۲۴ = ۳ + ۲۹$ و $۳۲ = ۱۳ + ۱۹$ امتحان کنید. باوجود کوششهای معتنابهی که تاکنون شده‌است ریاضی‌دانان نتوانسته‌اند صحت این حکم را ثابت کنند و نه عدد جفتی یافته‌اند که مبین خلاف این گفته باشد . تازگیها ، یعنی در ۱۹۳۱ م . (= ۱۳۰۹ ه . ش .) ، یك

---

۱ - Goldbach

ریاضی‌دان روسی بنام «شنیرلمان»[1] موفق شد که اولین قدم مثبت را بطرف اثبات قضیه بردارد .وی توانست ثابت کند **که هیچ عددجفتی نمی‌تواند مجموع بیشتر از ۳۰۰۰۰۰ عدداول باشد** . پس ازوی بازهم ریاضی‌دان روسی‌دیگری‌بنام «وینو گرادف»[2] قدم‌دیگری‌برداشت‌وفاصلهٔ زیادبین **دو**عدد اول و **سیصد هزار** عدد اول را خیلی کم کرد وثابت نمود **که هیچ عدد جفتی نمی‌تواند مجموع بیش‌از ۴ عدداول باشد** . اما چنین‌می‌نماید که فاصلهٔ کوتاه بین دو عدد اول گلدباخ وچهارعدد اول وینو گرادف‌بسیار صعب‌العبور است و معلوم نیست که آیا تا چند سال ، یا چند قرن ، دیگر موفق باثبات صحت یا بطلان این حکم خـواهند شد یا مطلب بهمین وضع باقی خواهند ماند .

پس دیدید که ظاهراً خیلی ازدست‌یافتن بدستوری که بدست‌آوردن هرعدد اول‌بزرگ دلخواهی رابرایمان میسر کند دورهستیم وهیچ‌اطمینانی هم‌نیست که روزی چنین دستوری بدست‌آید .

حالا ممکن است مسئلهٔ خیلی کوچکتری طرح کنیم . مسئلهٔ اینکه درفاصلهٔ عددی معینی چند درصداعداد عدد اول هستند . آیا وقتی‌بااعداد بزرگتر وبزرگترسروکار پیدا کنیم بازاین نسبت بطورتقریب ثابت خواهد ماند ؛ واگرثابت‌نماند ترقی‌می‌کندیا تنزل ؟ سعی می کنیم که باین‌سئوال به تجربه و با شمردن اعداد اولی که درجداول داده شده‌اندجواب بگوئیم. باین ترتیب می‌بینیم که ۲۶ عدداول کوچکتراز ۱۰۰ ، ۱۶۸ اعدداول کوچکتر ازهزار، ۷۸۴۹۸ عدداول کوچکتر ازملیون‌و ۵۰۸۴۷۴۷۸ عدداول کوچکتر ازمیلیارد وجود دارد . اگرتعداد این اعداد اول رابفواصل‌عددی‌تقسیم کنیم این‌جدول بدست می‌آید :

---

۱ ـ Schnirelman

۲ ـ Vinogradoff

فاصلهٔ از ۱ تا عدد	تعداد عددهای اول بین ۱ تا	نسبت	عکس لگارتیم طبیعی عدد	میزان انحراف درصد
۱ تا ۱۰۰	۲۶	۰ر۲۶۰	۰ر۲۱۷	۲۰
۱ تا ۱۰۰۰	۱۶۸	۰ر۱۶۸	۰ر۱۴۵	۱۶
۱ تا $۱۰^{۶}$	۷۸۴۹۸	۰ر۷۸۴۹۸	۰ر۷۲۳۸۲	۸
۱ تا $۱۰^{۹}$	۵۰۸۴۷۴۷۸	۰ر۵۰۸۴۷۴۷۸	۰ر۴۸۲۵۴۹۴۲	۵

این جدول قبل‌ازهرچیز نشان می‌دهد که‌بتدریج هرقدراعداد بزرگتر می‌شوند تعداد عددهای‌اول به‌نسبت کم‌می گرددامّا هیچگاه بجائی‌نمی‌رسیم که ازآن پس عدد اولی وجود نداشته باشد .

آیا راه ساده‌ای یافت می‌شود که بآن راه بازبان ریاضی ایـن تنزل تدریجی تعداد عددهای اول را که نسبت به‌بزرگ شدن اعداد روی‌می‌دهد نمایش دهیم ؟ بلی چنین راهی هست‌و کشف قاعده‌ای که نسبت متوسط عدهٔ عددهای اول به عددهای طبیعی را بدست می‌دهد یکی‌ازمهمترین‌اکتشافات سراسرتاریخ علوم ریاضی است .

این قاعده چنین است : **نسبت درصد عدهٔ اعداد اول بین ۱ تا هرعدد n ، هرقدر n بزرگ باشد ، بطورتقریب بالگارتیم طبیعی عدد n**[۱] بستگی داردوهرچه n بزرگترشود مقدارتقریب‌به تحقیق‌نزدیکتر می‌شود .

در ستون چهارم جدولی که در بالا آورده‌ایم لگارتیم طبیعی عدد n را می‌بینید . هر گاه این‌لگارتیم طبیعی را بانسبتی که درستون سوم‌است مقایسه کنید مشاهده‌خواهید کرد که‌تساوی‌بین‌آنها تقریباً برقراراست وهر چه عدد n بزرگترشود آن دوبیکدیگر نزدیکترمی گردند .

قضیهٔ مربوط باعداد اول ، مانند بسیاری ازقضایا واحکام دیگرتئوری اعداد، در آغازکار بطور تجربی کشف ووضع گردیده و تـا مدتی مدید با

۱ ـ بطورخیلی ساده باید گفت کـه لگارتیم طبیعی هر عـدد عبارت است از حاصلضرب لگارتیم معمولی یعنی اعشاری‌آن عدد درضریب ثابت ۲ر۳۰۲۶

دلائل و براهین ریاضی اثبات نشده بود . تقریباً دراواخر قرن گذشته بود که آدامار[۱] فرانسوی ودولاواله پوسن[۲] بلژیکی موفق باثبات آن گردیدند اما با روشی آنقدر پیچیده ودشوار که ذکر آن دراینجا مقدور نیست .

روانیست که بحث در بارهٔ عددهای صحیح را بپایان بریم و از قضیهٔ بزرگ فرما یادی نکنیم . این قضیه نمونهٔ نوع مسائلی است که باخواص عددهای اول ارتباط حتمی ندارند . ریشهٔ این قضیه را باید درمصر باستان جستجو کرد که درآن هر نجار قابلی می‌دانست که درهر مثلثی که اضلاعش به نسبت ۳و٤ و ٥ باشند یك‌زاویهٔ قائمه وجود دارد. درحقیقت مصریان‌چنین مثلثی را ، که امروز به مثلث مصری معروف است، بجای گونیای نجاری بکار می‌بردند .[۳]

درقرن سوم دیوفانتوس[٤] اسکندرانی درصدد برآمد که بداند آیا فقط عددهای صحیح ۳ و٤این خاصیت دارند که مجموع مربعهایشان‌مساوی مربع عدد صحیح دیگری شود یا عددهای دیگری هم این خاصیت را دارا هستند ؟وی‌توانست‌ثابت کند که عدهٔ بسیاری (یعنی‌درحقیقت عدهٔ‌بیشماری) از دسته‌های سه‌تائی اعداد می‌توان یافت که همان خاصیت داشته باشند و قاعده‌ای هم برای یافتن آنها بدست داد . این گونه مثلثهای قائم‌الزاویه که اضلاعشان اعداد صحیح‌باشند اکنون بنام مثلثهای فیثاغورسی‌معروفند و مثلث مصری اولین آنهاست . مسئلهٔ ساختن مثلثهای فیثاغورسی را باید در کمال سادگی حل معادلهٔ جبری $x^۲+y^۲=z^۲$ دانست که در آن x و y و z عددهای صحیح باشند[٥] .

در سال ۱٦۲۱ م(= ۹۹۹ هـ . ش .)«پی‌یرفرما» درپاریس‌نسخه‌ای از ترجمهٔ جدید فرانسوی کتاب «اریثمطیقا»[٦]ی دیوفانتوس را که درآن در بارهٔ مثلثهای فیثاغورسی بحث شده‌بود خرید و وقتی که آن را خواند در حاشیهٔ آن یادداشت کوچکی نوشت حاکی از اینکه هرچند معادلهٔ $x^۲+y^۲=z^۲$ جوابهای بیشمار قبول می کند **هیچ معادلهٔ دیگری از نوع** $x^n+y^n=z^n$ که در آن n از ۲ بزرگتر باشد مطلقاً دارای جوابی نیست که عدد صحیح باشد .

۱_ Hadamard

۲_ De la Vallée Poussin

۳_ درهندسهٔ مقدماتی درقضیهٔ فیثاغورس ثابت میشود که $۳^۲+٤^۲=٥^۲$

٤_ Diophantos

٥ و ٦ _ شرح درصفحهٔ‌مقابل

فرما بدنبالهٔ یادداشت خود نوشته بود « من برای اثبات این حکم استدلالی یافته‌ام که براستی شگفت‌انگیز است ولی این حاشیه کوچکتر از آن است که بتوان استدلال را در آن نوشت»

هنگامی که فرما در گذشت کتاب دیوفانتوس در کتابخانهٔ وی کشف شد و آنچه در آن نوشته‌شده بود برعالمیان فاش گردید . از آن‌زمان‌تا کنون سه‌قرن می گذرد و در این مدت بهترین ریاضی‌دانان هر کشور سعی کرده‌اند که استدلالی را که بهنگام نوشتن یادداشت برحاشیهٔ آن کتاب درمغز فرما بوده است بازیابند . اما تا کنون دلیلی پیدا نکرده‌اند . برای اطمینان خاطرها باید گفت که پیشرفتهای بسیار بسوی هدف نهائی شده است و شاخهٔ نوینی از ریاضیات بنام «تئوری آرمانها»[1] بوجود آمده است تا تلاش کند وقضیهٔ فرما را ثابت نماید . «اولر» ثابت کرد که غیرممکن است معادلات $x^3+y^3=z^3$ و $x^4+y^4=z^4$ دارای جوابهای عدد صحیح باشند . «دیریشله»[2] همین حکم را درمورد معادلهٔ $x^5+y^5=z^5$ ثابت نمود و در

---

۵ ــ قاعدهٔ دیوفانتوس چنین است : دو عدد a و b را چنان اختیار کنید که $2ab$ مجذور صحیح باشد آنگاه x و y و z را باین ترتیب بنمایانید $x=a+\sqrt{2ab}$ و $y=b+\sqrt{2ab}$ و $z=a+b+\sqrt{2ab}$ در اینصورت با جبر مقدماتی بسهولت ثابت میشود که $x^2+y^2=z^2$ است . حال چون دستور دیوفانتوس را بکار ببریم می‌توانیم جدولی بسازیم که در آن تمام جوابهای ممکن موجود باشد . اینك چند جواب اول :

$$۳^2+۴^2=۵^2$$
$$۵^2+۱۲^2=۱۳^2$$
$$۶^2+۸^2=۱۰^2$$
$$۷^2+۲۴^2=۲۵^2$$
$$۸^2+۱۶^2=۱۷^2$$
$$۱۹^2+۱۲^2=۱۵^2$$
$$۹^2+۴۰^2=۴۱^2$$
$$۱۰^2+۲۴^2=۲۶^2$$

۶ــ Arithmetica

۱ــ Theory of Ideals

۲ــ Dirichlet

نتیجهٔ مساعی مشترك دانشمندان متعدد تا کنون صحت حکم در باب اعداد از ۳ تا ۲٦۹ ثابت شده است . اما اثبات کلی که دربارهٔ همهٔ مقادیر n صادق باشد هنوز بدست نیامده است وبیش‌ازپیش این گمان تقویت می‌شود که‌خود فرما نیز برای اثبات قضیهٔ خود دلیلی نیافته یا درآن اشتباهی کرده باشد. این‌قضیه مخصوصاً وقتی‌مورد علاقهٔ همگان قرار گرفت که یك جایزهٔ‌بزرگ صد هزارمارك آلمانی برای کسی که باثبات آن موفق گردد تعیین شد اما کوشش علم دوستان سودجوی هم بجائی نرسید .

پس همیشه امکان هست که این قضیه صحیح نباشد وروزی مثالی‌یافته که درآن مجموع قوای متشابه دوعد صحیح x و y مساوی همان قوهٔ عدد صحیح سومی گردد . اما کسانی که بخواهند چنین مثالی بیابند باید اعداد بزرگتراز۲٦۹ را بیازمایند وچنین‌کاری ساده وآسان نیست .

۳ـ عدد اسرارآمیز $\sqrt{-۱}$

اکنون بریاضیات کمی عالی‌تر می‌پردازیم. دو دوتا می‌شود چهارتا، سه‌سه‌تا می‌شودنه‌تا، چهارچهارتا می‌شود شانزده‌تا، پنج‌پنج‌تا می‌شود بیست وپنج تا . پس جذر ٤ ، ۲ است و جذر ۳،۹ و جذر ٤،۱٦ و جذر۲۵،۱۵[۱]

اما جذرعددهای منفی چیست ؟آیا عبارتهائی‌مانند $\sqrt{-۵}$ و $\sqrt{-۱}$ هیچ مفهومی دارند ؟

اگر بخواهید از راه استدلالی وارد این مسئله شوید بی‌شك باین نتیجه خواهید رسید که عبارتهای مذکور بکلی بیمعنی هستند . اگر عین جمله‌ای راکه براهمین بهاسکارا[۲] ، ریاضی‌دان قرن دوازدهم ، گفته است‌بکار بریم : «مربع یك عدد مثبت و همچنین مربع یك عدد منفی مثبت است . پس جذر یك عددمثبت دوعلامت دارد هم مثبت وهم منفی . برای عدد منفی جذروجودنداردزیراکه عدد منفی مجذورنیست .»

اماعلماء ریاضی‌مردمی سمج‌هستند و وقتی که چیزی که بنظربی‌معنی رسد درفرمولهای‌آنان بچشم بخورد نهایت کوشش را می کنند که برای‌آن معنائی پیدا کنند .ومسلماً ریشهٔ دوم عددهای‌منفی چیزی است که درهرنوع جائی بچشم می‌خورد،خواه درمسائل سادهٔ حساب که فکرریاضی‌دانان سلف

۱ـ یافتن جذر عددهای بسیار دیگر نیز کاری سهل است . مثلا جذر ۵ عدد ۲٫۲۳٦٫۰۰۰ است زیراکه ۵ = ۲٫۲۳٦٫۰۰۰ × ۲٫۲۳٦٫۰۰۰ و جذر ۷٫۳ عدد ۲٫۷۰۱٫۰۰۰ است بدلیل آنکه ۷٫۳ = ۲٫۷۰۱٫۰۰۰ × ۲٫۷۰۱٫۰۰۰

۲ـ Brahmin Bhøskara

را بخود مشغول می‌داشت وخواه درمسئلهٔ قرن بیستم که عبارت‌است ازیکی کردن فضا وزمان درقالب نظریهٔ نسبیت .

مرد با شهامتی که برای اولین بارفرمولی را که شامل موضوع بظاهر بی‌معنی جذر عدد منفی بود برروی کاغذ آورد ریـاضی‌دان ایتالیائـی قرن شانزدهم بنام «کاردان» بود . موقعی که در بارهٔ امکان تجزیهٔ عدد ۱۰ بـدو جزء که حاصلضربشان مساوی ۴۰ شود بحث می کرد ثابت نمود که هرچند مسئله راه حل‌استدلالی ندارد امامی‌توان جواب مسئله‌را بصورت‌حاصلضرب دوعدد $۵ + \sqrt{-۱۵}$ و $۵ - \sqrt{-۱۵}$ که تعبیرشان ازراه ریاضی ممکن‌نبود بدست آورد[۱].

کاردان سطور فوق را با علم وقبول اینکه موضوع بی‌معنی و خیالی و موهوم است نوشت . ولی بهرحال آنرا نوشت .

و اگر کسی جرأت کند که ریشهٔ دوم اعداد منفی را ، هـرچند کـه موهوم باشند ، بنویسد مسئلهٔ تجزیهٔ ۱۰ بدوجزء ، چنـان که گفتیم ، حـل شده است . وقتی که سدشکسته شد ریاضی‌دانان مختلف جذرعددهای‌منفی را که دریکی از یادداشتهای‌کاردان **«عددهای موهوم»** نامیده شده بود بکاربردند اماهمیشه جانب احتیاط واعتذاررا مراعات می کردند .در کتاب جبری که ریاضی‌دان آلمانی **لیونارد اولر** بسال ۱۷۷۰ (= ۱۱۴۸ هـ . ش.) منتشر کرد عددهای موهوم درموارد زیاد بکار رفته‌اند اما مؤلف‌آنها را چنین توصیف کرده است : « همهٔ عبارتهای نظیر $\sqrt{-۱}$ و $\sqrt{-۲}$ و . . . عددهای موهوم یا عددهای غیر ممکن هستند زیرا که نمـایندهٔ ریشهٔ دوم مقادیر منفی هستند و دربارهٔ اینگونه اعداد باید اذعان کنیم کـه نه هیچ هستند ونه‌بزرگتر ازهیچ ونه کوچکتر ازهیچ ، یعنی موهومند وغیرممکن.»

اما باوجود همهٔ این احتیاطها واعتذارها طولی نکشید که‌درریاضیات بکار بردن عددهای موهوم بهمان اندازه ضروری و اجتناب‌ناپذیر شد کـه بکار بردن کسرها وریشگی‌ها ، وعملا دیگرممکن نیست که ازبکاربردن آنها صرف‌نظرشود .

درحقیقت می‌توان گفت که گروه اعداد موهوم تصاویر موهوم اعداد معمولی واقعی درآینه‌ای بشمارمی‌روند ودرست همانطور که ممکن‌است‌همهٔ

۱ـ اینک دلیل این راه‌حل: $۱۰ = ۵ + ۵ = (۵ + \sqrt{-۱۵}) + (۵ - \sqrt{-۱۵})$

$$(۵ + \sqrt{-۱۵}) \times (۵ - \sqrt{-۱۵}) = ۵ + ۵ + ۵\sqrt{-۱۵} - ۵\sqrt{-۱۵} - \sqrt{-۱۵} \times \sqrt{-۱۵} = ۵ + ۵ + \sqrt{-۱۵۰}$$

$$= ۲۵ - (-۱۵) = ۲۵ + ۱۵ = ۴۰$$

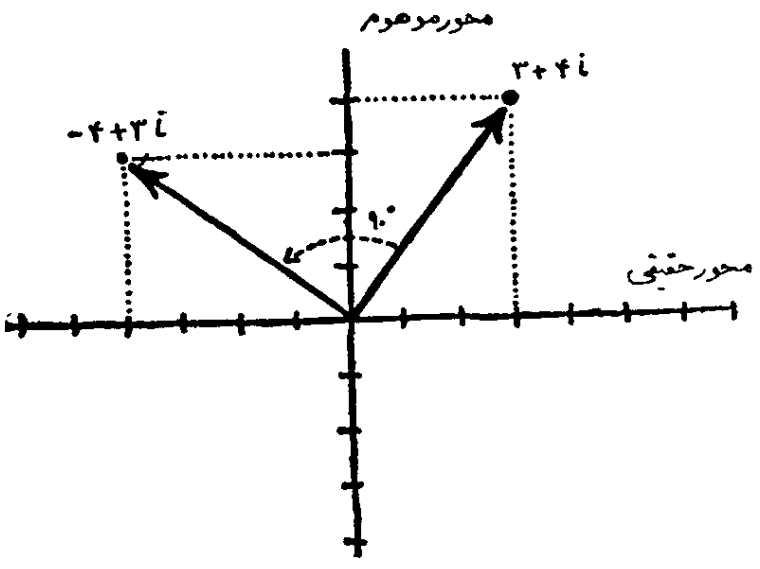
اعداد حقیقی را باشروع‌ازمبنای۱ ساخت می‌توان‌همهٔ اعداد موهوم‌را بمبنای $\sqrt{-۱}$ تشکیل داد . $\sqrt{-۱}$ را معمولا باعلامت i نمایش می‌دهند .

بسیار بآسانی‌می‌توان دریافت که $\sqrt{-۹} = \sqrt{۹} \times \sqrt{-۱} = ۳i$ و $\sqrt{-۷} = \sqrt{۷} \times \sqrt{-۱} = ۲٫٤٦\,i$ و ... باین ترتیب هـرعدد حقیقی جفتی درعددهای موهوم دارد . همچنین می‌توان یك عدد حقیقی راباعددی موهوم ترکیب کرد وعبارت واحدی بصورت

$$۵ + \sqrt{-۱۵} = ۵ + i\sqrt{۱۵}$$

بوجود آورد و این همان‌کاری است که «کاردان» برای اولین بار کرده‌بود. اینگونه‌عددهای«دور گه»را معمولا عددهای «مختلط»[1] می‌نامند.

تا مدت دو قرن بعد ازآنکه عددهای موهوم درحیطهٔ ریاضیات ورود کردند در لفافه‌ای پیچیده شده بودند که آنها را مرموز وباورنکردنـی جلوه می‌داد تا اینکه دو دوستدار ریاضی ، یکی یك نقشه‌کش نروژی بنام «وسل»[2] و دیگری یك کتابدارپاریسی بنام «ربرآرگان»[3]، تعبیر هندسی ساده‌ای ازاین گونه اعداد کردند .



شکل۱۰

بنابرتعبیر ایشان یك عدد مرکب‌مانند $۳ + ٤i$ را بایدمانند شکل ۱۰ نمایش داد که درآن ۳ برروی محورافقی و٤ برروی محورقائم یا محور عرضها جدا می‌شود .

درحقیقت همهٔ اعداد حقیقی ، اعم از مثبت ومنفی را می‌توان بوسیلهٔ نقاطی واقع برمحور افقی و کلیهٔ اعدادموهوم‌را بوسیلهٔ نقاطی واقع برمحور

۱ــ Complex number

۲ــ Wessel

۳ــ Robert Argand

قائم نمایش داد . وقتی که ما یك عدد حقیقی مثلا ۳ را که نمایندهٔ نقطه‌ای واقع برمحور افقی است در واحد موهوم i ضرب کنیم عددی موهوم بدست می‌آید که باید برروی قائم جدا شود بنابراین **ضرب یك عدد در i ، از نظر هندسی،معادل است بایك دوران۹۰ درجه‌درجهت‌مخالف حرکت عقربه‌های ساعت .** (رجوع شود به شکل ۱۰)

حال اگر عدد ۳ i را بار دیگر در i ضرب کنیم تعبیرش اینست که یکبار دیگر نقطه را باندازهٔ ۹۰ درجه درجهت مخالف حرکت عقربه های ساعت دوران دهیم؛ درنتیجه نقطه مجدداً برروی محورافقی قرارمی گیرد ، اما درجهت منفی آن . بنابراین $۳i \times i = ۳i^۲ = -۳$ یا $i^۲ = -۱$

باین ترتیب عبارت «مربع i مساوی است با ۱-» خیلی بیشتر قابل فهم است تاعبارت«اگردوباردرجهت مخالف حرکت‌عقربه‌های ساعت‌باندازهٔ ۹۰ درجه دوران کنید با امتداد مخالف مواجه خواهید شد» .

همین قاعده را در ضرب عددهای مختلط (یعنی مرکب از حقیقی و موهوم) می‌توان بکار برد .

چون $۳+٤i$ را در i ضرب کنیم چنین خواهیم داشت :

$$(۳+٤i)\,i = ۳i+٤i^۲ = ۳i-٤ = -٤+۳i$$

وبطوریکه فوراً می‌توانید از شکل ۱۰ درك کنید نقطهٔ $-٤+۳i$ همان نقطهٔ $۳+٤i$ است که باندازهٔ ۹۰ درجه درجهت مخالف حرکت‌عقربه‌های ساعت حول نقطهٔ مبدأ دوران کرده‌است . بوجه مشابه می‌توان ضرب در i- را یك دوران ۹۰ درجه حول مبداء درجهت حرکت عقربه‌ها دانست . این موضوع درشکل ۱۰ بخوبی مشهود است .

اگربازهم گردا گرد اعداد موهوم پرده‌ای از استتار احساس کنید مثال ساده‌ای که درآن عددهای موهوم مورد استعمال عملی پیدا کرده‌اند بیان می کنیم، شاید بتوانید بکمك آن این پردهٔ استتار را عقب بزنید :

مردی جوان و حادثه‌جو دربین اسناد جد اعلای خویش کاغذ کهنه‌ای پیدا کرد که برروی آن محل گنجی را ثبت کرده بودند . راهنمائیها باین ترتیب نوشته شده بود :

«باکشتی بنقطه‌ای بعرض شمالی...وطول غربی... سفر کن[۱] در آنجا جزیره‌ای متروك خواهی یافت . درساحل شمالی این جزیره چمن بزرگی است

---

۱ ـ ارقام واقعی طول وعرض جغرافیائی در اصل سند داده شده است اما ما ، برای برملانشدن راز، ازذکرآنها خودداری می کنیم .

که حصار و دیواری ندارد و در آن تنها یك درخت بلوط و یك درخت صنوبر[1] خواهی دید. بعلاوه در آنجا چوبه‌داری کهن‌سال خواهی یافت که سابقاً خیانت پیشگان را مطابق معمول بآن می‌آویختیم. از پای چوبهٔ دار بطرف درخت بلوط برو و گامهای خود را بشمار. از پای درخت بلوط باندازهٔ یك زاویهٔ قائمه **براست** بپیچ و همان اندازه که شمرده بودی قدم بردار و در محلی که رسیدی نشانه‌ای برروی زمین بگذار. آنگاه بپای چوبهٔ دار باز گرد و از آنجا تا پای درخت صنوبر را قدم کن و در آنجا باندازهٔ یك قائمه به **چپ** بپیچ و باز بهمان اندازه که شمرده بودی قدم بردار و درهرجا که رسیدی نشانهٔ دیگری برزمین نصب کن. در نقطه‌ای که درست دروسط دو نشانی است زمین را بشکاف تا به گنج دست یابی.»

دستور هائی که داده شده بود بسیار روشن و واضح بود. پس جوان سفینه‌ای فراهم کرد و بادبان را بسوی دریای جنوب برافراشت. جزیره و مزرعه و درختان بلوط و صنوبر را یافت اما با کمال تأسف متوجه شد که از چوبهٔ دار اثری نیست. زمانی درازتر از آنچه تصور می‌شد از تاریخ تنظیم گنجنامه گذشته بود و باد و باران و تابش آفتاب چوبهٔ داررا پوسانیده و برزمین غلطانیده بودند و هیچ اثری هم ازجای آن برجای نمانده بود.

جوان حادثه‌جو دستخوش نومیدی شد وسپس درحالیکه ازخشم دوچار جنون شده بود همهٔ نقاط مزرعه را درطلب آنچه می‌جست زیرورو کرد اما همه کوشش او بهدر رفت، جزیره بزرگتر از آن بود که کاوش همهٔ آن میسر شود. پس جوان با دست خالی جزیره‌را ترك کرد. و شاید هنوز هم دفینه بحال خود وبجای خود باقی باشد.

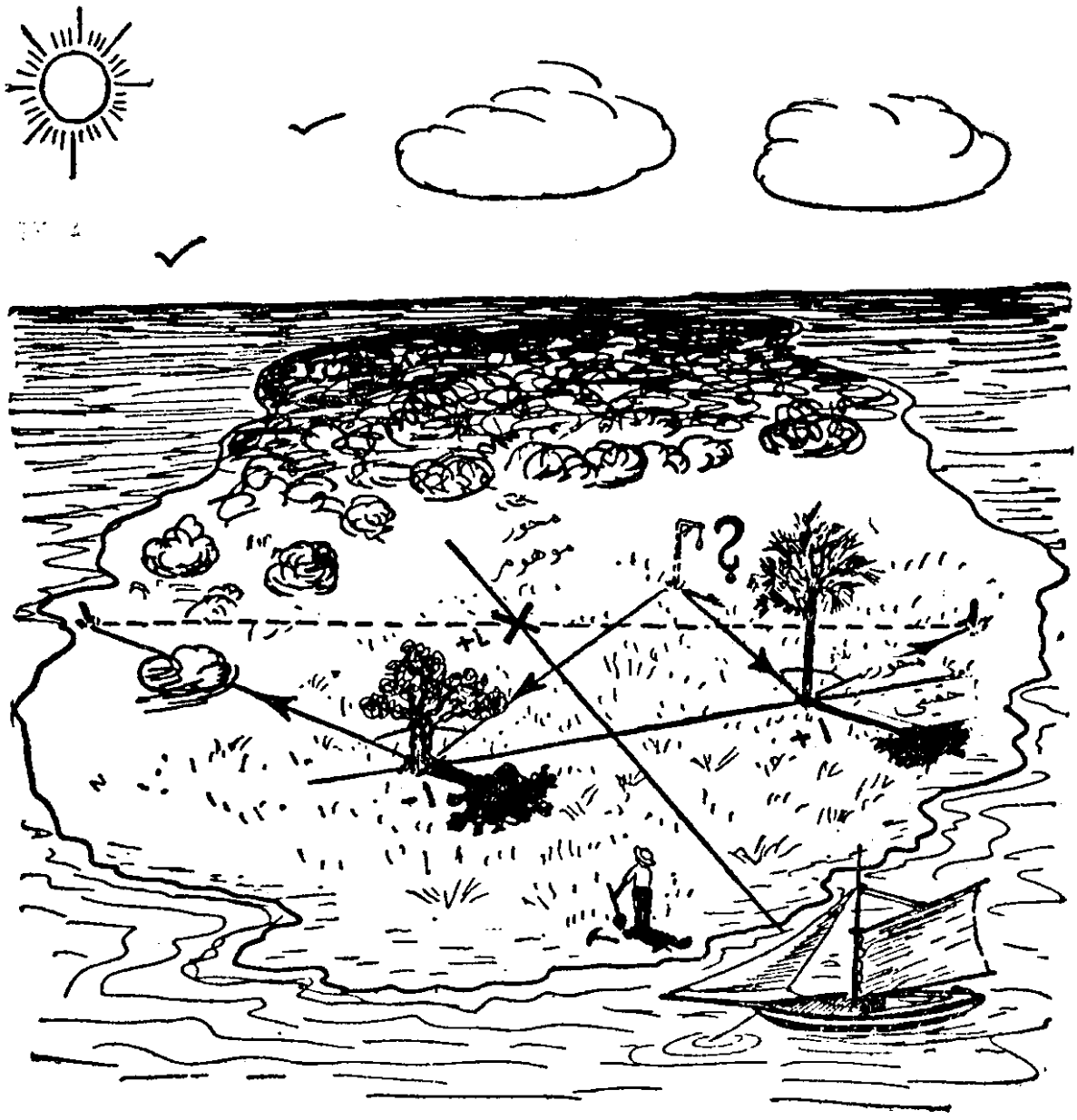
داستان غم‌انگیزی بود. اما غم‌انگیزتر آنکه بدانیم که هرگاه جوان اندکی ازریاضیات، خاصه ازموارد استفاده ازعددهای موهوم، اطلاع داشت بر گنج دست یافته بود. حال ببینیم آیا می‌توانیم دریافتن گنج باو کمکی کنیم، هرچند که دیگر وقت گذشته است و از گنج اورا حاصلی و نفعی نخواهد بود.

جزیره را صفحه‌ای انگارید که در آن عددهای مختلف نمایش داده شوند. یکی ازدومحور، یعنی محور حقیقی، را بر نقاط پای دودرخت بگذرانید و محور دیگر، یعنی محور موهوم، را بر نقطه ای بیك فاصله از دو درخت مرور دهید(ش۱۱). اگر نصف فاصلهٔ دودرخت را واحد اختیار کنیم می‌توانیم

---

۱ ـ بهمان دلیل که قبلاذکر شد نام درختان را تغییر دادیم. شك نیست که درجزیره‌ای از مناطق گرمسیر که در آن گنجی نهفته باشد درختان دیگری نیز یافته می‌شوند.

گفت کـه درخت بلوط در نقطهٔ ۱+ روی محور حقیقی قرار دارد و درخت صنوبر در نقطهٔ ۱− بر روی آن محور . ما نمی‌دانیم که چوبهٔ دار در کدام نقطه بوده است . پس محل فرضی آنرا در نقطه‌ای که باحرف Γ (گامای بزرگ یونانی که بی‌شباهت بچوبهٔ‌دار نیست) نمایش داده شده‌است معین می کنیم. چون چوبهٔ دار الزاماً برروی یکی از دو محور نبوده است باید آنرا عدد مرکبی فرض کنیم بصورت $\Gamma = a + bi$ ، در این رابطه معنی a و b آن است که درشکل ۱۱ توضیح گردیده است .



شکل ۱۱

اکنون با قاعدهٔ ضرب عدد های موهوم ، که کمی بالاتر به بیان آن پرداختیم، چندحساب‌ساده‌می کنیم. هر گاه چوبهٔ‌داردر Γ ودرخت‌بلوط‌در ۱− باشندفاصلهٔ آنها ازحیث مقداروامتداد باعبارت $(\Gamma + ۱) - = -\Gamma - (۱ -)$

معین می‌شود . بوجه مشابه فاصلهٔ چوبهٔ دار از درخت صنوبر با عبارت $\Gamma - ۱$ معین می گردد . اگر بخواهیم این دو فاصله را باندازهٔ یك زاویهٔ قائمه درجهت حرکت عقربه‌ها (یعنی براست) یادرجهت مخالف حرکت عقربه ها (یعنی بچپ) بگردانیم باید برطبق قواعدی که گفتیم آنها را در $i -$ و i ضرب کنیم و نقاطی‌را که باید نشانه‌هارا درآنها قراردهیم باین‌نحو تعیین نمائیم :

نشانهٔ اول : $(-i)[-(۱+\Gamma)]+۱=i(\Gamma+۱)+۱$

نشانهٔ دوم : $(+i)\ (۱-\Gamma)-۱=i(۱-\Gamma)-۱$

چون محل گنج دروسط راه بین دو نشانه است باید نصف مجموع دو عدد مرکبی را که بدست آوردیم تعیین نمائیم . چنین‌خواهیم داشت :

$$\frac{۱}{۲}[i(\Gamma+۱)+۱+i(۱-\Gamma)-۱]=\frac{۱}{۲}[+i\Gamma+i+۱+i-i\Gamma-۱]$$

$$\frac{۱}{۲}(+۲i)=+i$$

اکنون می‌بینیم که محل مجهول چوبهٔ دار درحساب ما دخالتی‌ندارد و نقطهٔ Γ هرجا که باشد محل گنج درنقطهٔ $+i$ است .

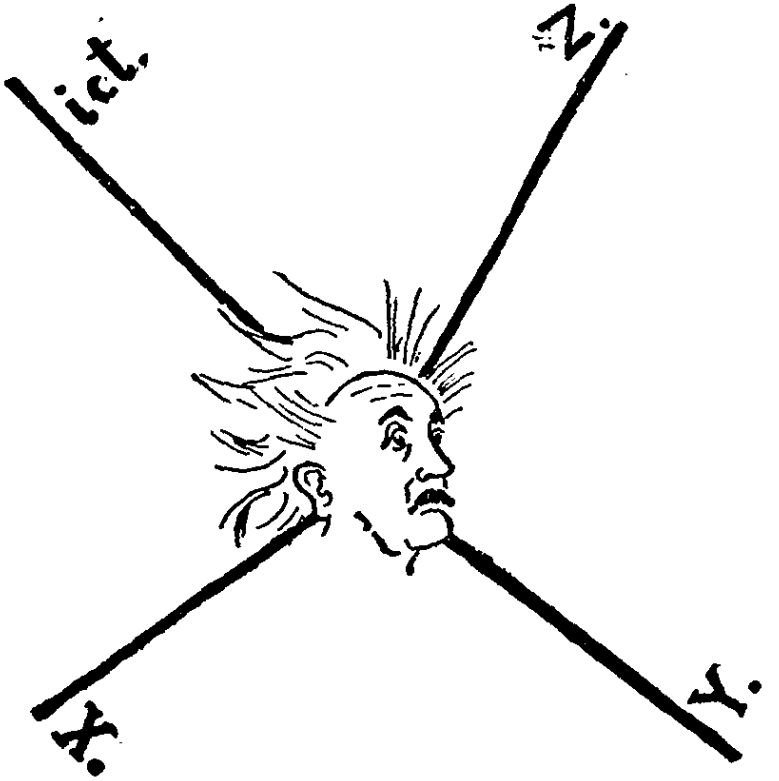
باین ترتیب اگر جوان ماجرا جوی ما توانسته بود که این حساب مختصر را بکند حاجت بآن نداشت که سراسر جزیره را زیرو زبر کند و کافی بود درنقطه‌ای که درتصویر ۱۱ علامت‌ضرب در گذاشته شده‌است دفینهٔ مطلوب را بجوید وآن‌را بدست آورد .

اگر هنوز باور ندارید که برای یافتن محل گنج هیچ احتیاجی به ـ دانستن محل چوبهٔ دار نبود صفحهٔ کاغذی بردارید ومحل دو درخت را بر ـ روی‌آن تعیین کنید ودستوری را که در گنجنامه داده شده است دقیقاً اجرا کنید باین ترتیب کـه چند بار چند نقطه مختلف کاغذ را محل چوبهٔ دار فرض نمائید ؛ خواهید دید که همیشه بهمان یك نقطه معین خواهید رسید که درروی صفحهٔ اعداد موهوم بحرف $+i$ مشخص گردیده است .

گنج نهان دیگری که بکمك جذر موهوم عدد ۱ـ بدست‌آمده است عبارت است ازاین کشف حیرت انگیز که فضا و زمان معمولی سه بعدی ما ممکن است دریك قالب چهاربعدی که تابع قوانین هندسی چهاربعدی‌است یکی شوند وبصورت واحد درآیند. دربارهٔ این کشف مهم دریکی‌ازفصلهای دیگر کتاب، آنجا که ازاندیشه‌های آلبرت اینشتاین وتئوری‌نسبیت اوصحبت خواهد شد ، گفتگو خواهیم کرد .

بخش دوم

فضا، زمان و انیشتاین

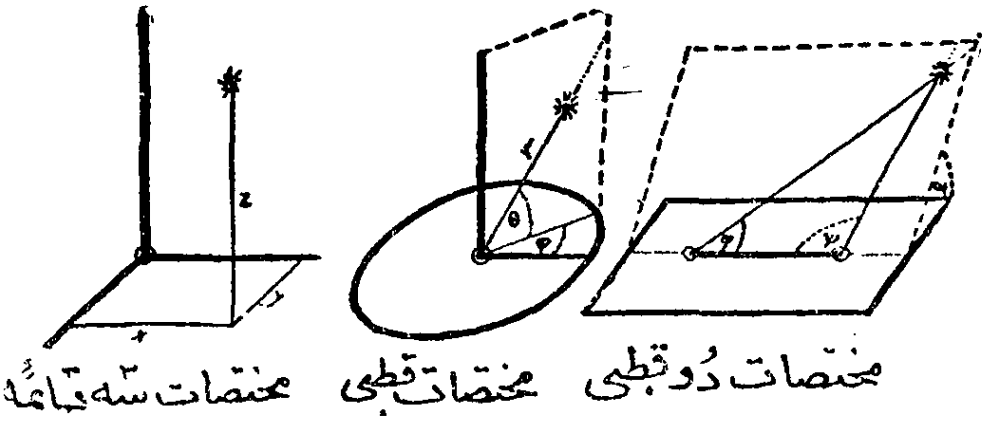


خواص غیرعادی فضا

۱ ـ ابعاد و مختصات

همه می‌دانیم که فضا چیست. اما اگر ازما بخواهند که از آنچه در نظر داریم تعریف دقیقی کنیم اغلب دوچار اشکال خواهیم شد. شایدجواب بدهیم که فضا **آن‌چیزی** است که مارا احاطه کرده‌است وما می‌توانیم در آن بعقب وجلو، بچپ وراست وبیالاو پائین حرکت کنیم. وجودسه امتداد مستقل، که دوبدو برهم‌عمودند، یکی ازاساسی‌ترین خواص فضای‌فیزیکی‌ـ ایست که مادرآن زندگی می کنیم؛ می گوئیم که‌فضای‌ما سه امتدادی یاسه بعدی است. هرنقطهٔ فضارامی‌توان باتوجه باین سه‌امتداد مشخص کرد. اگر به‌شهر ناآشنائی واردشده باشیم‌واز دفتر مهمانخانه‌ای که درآن متوقف شده‌ایم سئوال کنیم که مثلا ادارهٔ فلان‌مؤسسهٔ معروف کجاست، ممکن‌است دفتردار مهمانخانه چنین جواب‌دهد: «از اینجابطرف جنوب پنج‌ساختمان بشمارید، بعد براست به پیچید، ساختمان دوم، طبقهٔ‌هفتم». سه عددی راکه‌باین ترتیب بیان‌شده اند معمولامختصات می‌نامند ودرمثالی که گفتیم

مرجع آنها رابطهٔ بین خیابانهای شهروطبقات ساختمان ونقطهٔ مبداء ، یعنی نقطه ایست که در سرسرای مهمانخانه ایست که درآنجا ازدفتردار نشانی‌را پرسیده‌ایم .واضح است که ممکن بود ازهرنقطهٔ دیگری هم‌بکمك مختصات بنقطه‌ای که می‌خواستیم‌رهبری شویم واین مختصات جدید رابطه صحیح بین نقطه مبداء جدید ومقصدرابیان می کنندواین مختصات جدید،رامی‌توان‌با محاسبهٔ‌ریاضی ساده‌ای‌ازآن‌مختصات سابق‌نتیجه گرفت وبدست‌آورد مشروط بآنکه وضع‌نسبی مبداء مختصات جدید رانسبت به‌مبداء سابق بدانیم .این عمل ومحاسبه را **تبدیل‌مختصات** می گوئیم . در اینجا باید علاوه کنیم که بیان‌هرسه مختص‌نقطه بااعدادی که نمایندهٔ طول‌و فاصله‌باشند الزامی‌نیست بلکه ، درحقیقت ، دربعضی‌حالات بهتر است که مختصات زاویه‌ای بکاربریم.



شکل ۱۲

مثلا اگر در شهر نیویورك نشانی‌ها را ، معمولا، با استفاده از خیابانها و کوچه ها ، بشکل مختصات سه‌قائمه می‌دهند در مسکو، پایتخت روسیه ، بهتر آن است که آنها رابامختصات قطبی بیان کنند . شهر کهنسال مسکو در اطراف قلعهٔ مرکزی کرملین توسعه یافته و خیابانها بشکل شعاعهای دایره احداث گردیده اند و چندین خیابان عریض بشکل دایره های هم مرکزاین خیابانهای شعاعی را بهم مربوط می‌سازند، بقسمی که برای‌دادن نشانی محلی بهتر است بطورطبیعی گفته شود که مثلا «خانه بیستم درشمال شمال‌غربی دیوار کرملین» قرار دارد .

هر کسی که در زمان جنك دوم جهانی درواشینگتن بوده وبـا امور مربوط بجنگ سروکارداشته است بادستگاه مختصات قائم‌الزاویهٔ قطبی‌خاصی که‌در ساختمان اداره امور دریائی وزارت جنگ‌متداول است آشناست .

در شکل ۱۲ مثالهای متعددی رسم کرده ایم تا نشان‌دهیم که چگونه می‌توان ازراههای مختلف وضع نقطه ای را بوسیلهٔ سه‌مختص ، که بعضی‌طول و برخی زاویه اند ، مشخص کرد . ولی هریك‌از دستگاههای مختصات را بکار بریم ناچار بسه مختص احتیاج داریم زیرا که سر وکار ما با یك فضای سه بعدی است .

برای ما که درقالب مفهوم فضای سه بعدی خود محدود هستیم دشوار است که یك«فوق‌فضائی» تصور کنیم که بیشتر ازسه‌بعد داشته‌باشد (اگرچه بعد خواهیم‌دید که چنین فضائی وجود دارد) ، اما تصور «دون‌فضائی» که کمتر ازسه بعد داشته باشد دشوار نیست . صفحه ، سطح کره ، ودرحقیقت هرسطحی ، یك «دون فضای» دوبعدی است ، بدلیل آنکه وضع هرنقطه بر روی آن‌بوسیلهٔ دومختص مشخص می‌شود . همچنین هرخط ،اعم از مستقیم ومنحنی ، یك‌دون فضای یك‌بعدی است که فقط یك‌عدد برای مشخص کردن وضع نقطه ای برروی آن‌کافی است . ونیزمی‌توان نقطه رایك دون فضای‌بی بعد ، یا صفر بعدی ، دانست زیرا که برروی‌آن دو جای مشخص نمی‌توان یافت ؛ اما کیست که بنقطه توجهی داشته باشد !

چون ما مخلوقات سه بعدی هستیم برای‌ما درك خواص هندسی‌خطوط وسطوحی که «ازخارج» بآنها نگاه می کنیم بسیارآسانتر است تادرك همان خواص در فضای سه بعدی که خود جزء آنیم . پس‌معلوم شد که چرا شما ازدرك معنی‌ومفهوم یك‌خط یایك سطح‌منحنی عاجز نیستید امابسیار متعجب و متحیر می‌شوید وقتی بشنوید که این فضای سه بعدی هم ممکن است منحنی باشد .

اما اگر کمی تمرین کنید و معنی‌حقیقی کلمهٔ «انحناء»[1] راهم خوب بفهمید خواهید دید که درحقیقت درك مفهوم‌یك فضای‌سه بعدی منحنی‌خیلی ساده است و در اواخر فصل بعد(انشاالله) خواهید توانست که‌بآسانی از مفهوم دیگری ، که در بدو امر دهشتناك بنظر می‌رسد، یعنی ازیك فضای منحنی چهار بعدی صحبت کنید .

اما پیش از ورود باین مبحث خوب است با بعضی حقایق فضاهای سه بعدی و سطوح دوبعدی وخطوط یك بعدی اندکی ورزش ذهنی کنیم .

۲ ـ هندسهٔ بی‌اندازه

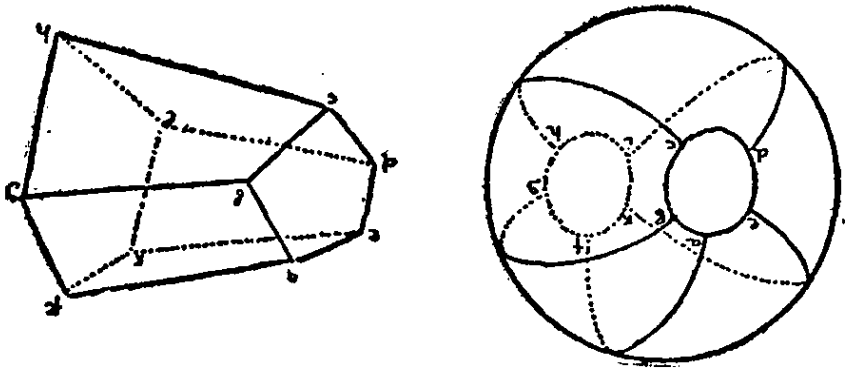
هرچند ازآنچه درهندسه ای که دردورهٔ تحصیل آموخته اید ،یعنی از

---

۱ ـ Curvature

آنچه ازعلم اندازه گیریهای فضا[1] بخاطر دارید ، ممکن‌است این فکر برای شما پیدا شده باشد که‌قسمت اعظم هندسه‌عبارت است ازعدهٔ زیادی‌قضایای مربوط بروابط عددی بین طولها وزاویه های گوناگون (از قبیل قضیه مهم فیثاغورس بین‌اضلاع‌مثلث‌قائم‌الزاویه)، حقیقت آن است که عدهٔ بسیارزیادی ازخواص‌اساسی فضا مطلقاً محتاج باندازه گیری طول‌وزاویه نیست . قسمتی ازهندسه که بااین گونه خواص سروکار دارد **مکان شناسی** یا توپولوژی[2] نامیده‌می‌شود ویکی ازجالب ترین وسخت‌ترین شاخه‌های ریاضی است .

بعنوان مثالی ساده و نمونه ای از مسائل مکان شناسی یك سطح محدود ، یعنی سطح کره ای ، رادر نظر می گیریم که با شبکه ای ازخطوط که برروی آن‌رسم شده است بچندین ناحیهٔ مجزا ازهم تقسیم شده باشد . برای تهیه چنین شکلی‌می‌توانیم نقاطـی چند باختیار بر روی سطح کـره بگذاریم وآنها را باخطهای غیر متقاطع بیکدیگر وصل کنیم . بین تعداد نقاطی که گذاشته بودیم وتعداد خطوطی که حدودنواحی مجاوررا مشخص می‌سازند وتعدادخودآن نواحی چه‌روابطی وجوددارد ؟



شکل ۱۳

کره‌ای که تقسیم‌بندی شده وتبدیل‌به چندوجهی گردیده است .

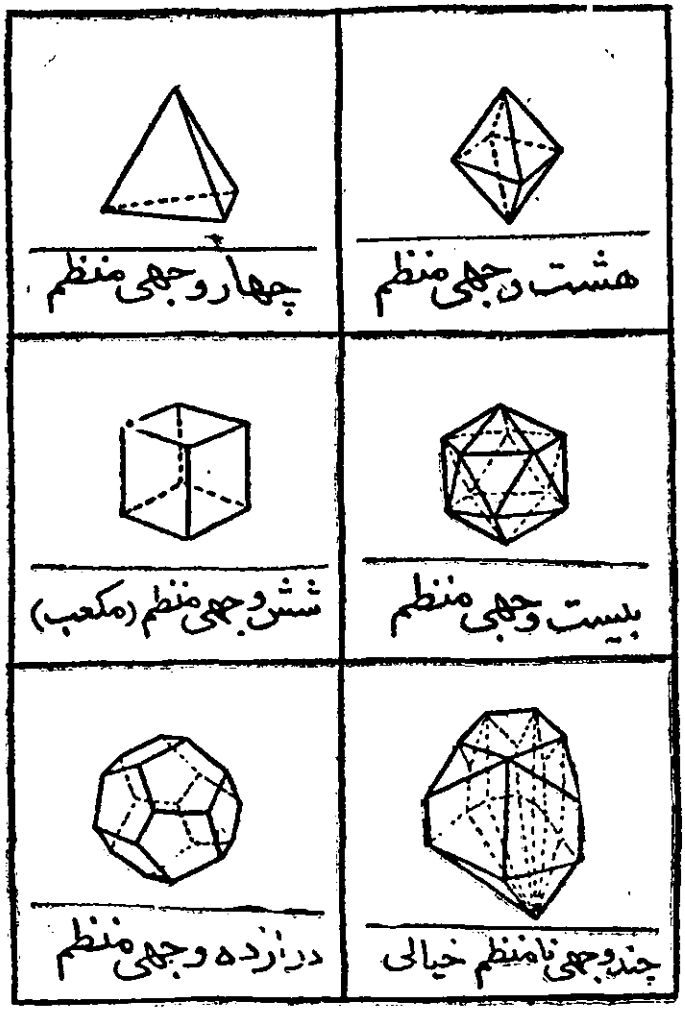
نخست باید گفت که اگر بجای کره‌یك جسم مسطح ترشبیه به گوجه فرنگی یا یك جسم کشیده تر ،مانند خیار ، داشتیم بازتعداد نقاط‌وخطوط ونواحی درست همان بود که درمورد یك کرهٔ کامل‌بوده است .

---

۱ ـ هندسه را بزبانهای فرانسوی و انگلیسی Géometrie و Geometry می گویند. این کلمه ازدو کلمهٔ یونانی ge یعنی زمین وmetrein یعنی اندازه گیری تشکیل شده است . گوئی این لغت زمانی وضع شده که علاقهٔ یونانیان قدیم بخاك و ملك‌بر سایرعلایق چیرگی داشته است .

۲ ـ Analysis Situs یا Topology

درحقیقت اگر یك بادکنك‌لاستیکی رابگیریم وآن رابوسیلهٔ کشیدن یافشردن یاهرکار دیگری غیر ازپاره کردن بهرصورتی که ممکن باشددر ـ آوریم و باین ترتیب سطوح مسدود مختلفی بوجود آوریم بیان مطلب یـا جوابهای مسئله کوچکترین تغییری نمی کند . این‌حقیقت‌واقـع با حقایق هندسی معمولی ، یعنی روابط عددی ازنوع روابطی که بین طولها وسطحها وحجمهای اجسام هندسی بر قرار است ، مباینتی بارز دارد . حقیقت آنکه اگرما مکعبی راآن‌قدر بکشیم تامتوازی‌السطوح بشود یا کره‌ایرا آن‌قدر فشاردهیم تا مسطح شود سطح‌و حجم‌آن‌ها بکلی تغییر می کند.



شکل ۱۴

پنج تنهاچند وجهی‌منتظمی که ممکن است‌وجود داشته باشدو یك چند وجهی نا منتظم خیالی

یکی ازکارهائی که می‌توانیم بکنیم این‌است که پس‌ازآنکه سطح کره رابچند ناحیه تقسیم کردیم هرناحیه را مسطح کنیم بقسمی که کره تبدیـل بیك چند وجهی شود. خطهائی که حدود نواحی رامشخص می کنند تبدیل

به‌یالهای چندوجهی و نقاط اصلی که برروی کره گذاشته بودیم مبدل برئوس چندوجهی می شوند .

مسئله‌ای که قبلاطرح کرده بودیم ، بی‌آنکه درمعنی ومفهومش تغییری حاصل شود ، بصورت مسئله جدیدی درمی‌آید وآن تحقیق رابطهٔ بین تعداد رئوس وتعداد یالها و تعداد وجوه یك‌چند وجهی غیرمشخص‌است .

در شکل ۱۴ پنج‌چند وجهی‌منتظم رانشان داده‌ایم ، یعنی‌چندوجهی‌هائی که در همهٔ وجوهشان تعداد اضلاع ورئوس ، ونیزخود آن اضلاع ، متساویند ، باین‌پنج‌جسم یك‌چند وجهی‌نا منتظم خیالی افزوده‌ایم .

درهریك ازاین اجسام هندسی‌می‌توانیم‌تعداد رئوس ویالها ووجوه را بشماریم . آیا بین آنها رابطه‌ای وجوددارد ؟ واگروجود دارد چیست ؟

باشمردن‌آنها می‌توانیم این جدول را تنظیم کنیم :

نام چندوجهی	ر تعدادروس	ی تعدادیالها	و تعدادوجوه	و+ر	ی+۲
چهاروجهی (هرم)	۴	۶	۴	۸	۸
شش‌وجهی (مکعب)	۸	۱۲	۶	۱۴	۱۴
هشت‌وجهی	۶	۱۲	۸	۱۴	۱۴
دوازده‌وجهی	۱۲	۳۰	۲۰	۳۲	۳۲
بیست‌وجهی	۲۰	۳۰	۱۲	۳۲	۳۲
چندوجهی نا منتظم	۲۱	۴۵	۲۶	۴۷	۴۷

در آغاز بنظرمی‌رسد که‌اعدادی که درسه ستون اول(زیرحروف ر،ی،و) ثبت‌شده اند رابطه ای بایکدیگر نداشته باشند اما پس از اندکی مطالعه خواهید دید که مجموع اعداد ر و و همیشه باندازهٔ ۲ ازعدد ی بزرگتر است. پس‌می‌توانیم این‌رابطهٔ ریاضی را بنویسیم :

$$۲+ی=و+ر$$

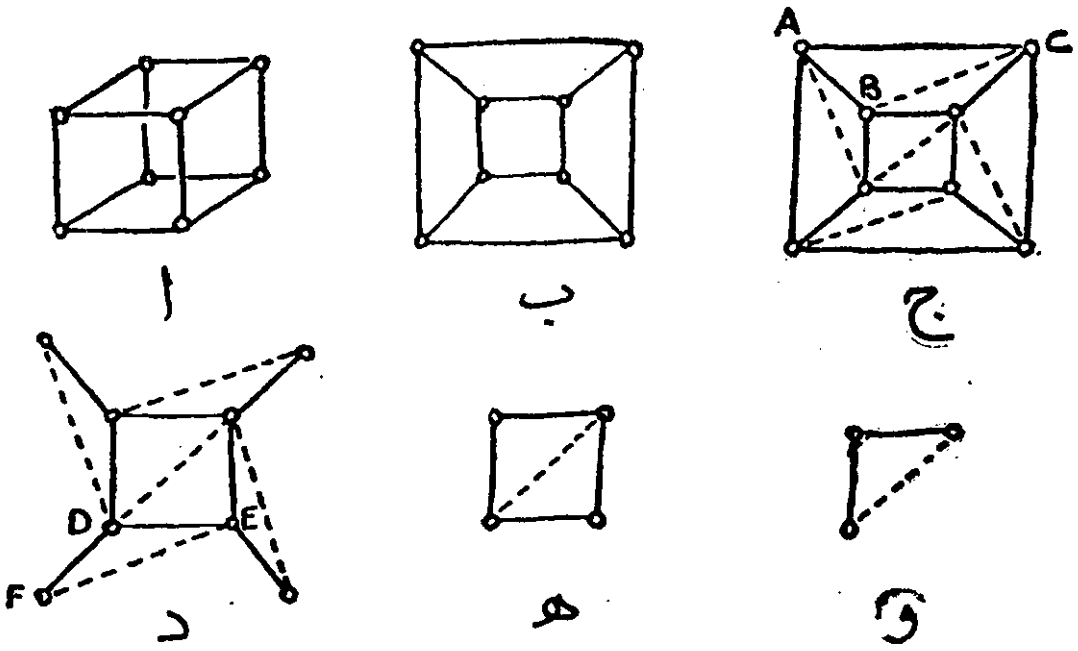
آیااین‌رابطه‌فقط درپنج‌چندوجهی‌منتظمی که‌درشکل ۱۴ نشان‌داده‌ایم صادق است یادر هرچند وجهی‌دیگر هم‌صدق می کند؟ اگر سعی کنید که

چندین چندوجهی دیگر ، غیر از آنچه درشکل ۱۵ هست ، رسم کنید و تعداد رئوس و یالها ووجوه را بشمارید خواهید دید که رابطه ای که گفتیم برای همهٔ چند وجهی‌ها صحیح است .

بنظر می‌رسد که رابطهٔ **۲** + ی = و + ر ، که بستگی به طول یالها و مساحت‌وجوه ندارد‌وفقط‌تابع تعدادواحدهای‌هندسی، یعنی‌رأس ویال ووجه است ، یك رابطهٔ توپولوژی باشد .

رابطه‌ای‌را که‌بین‌تعدادرئوس‌ووجوه‌ویالهای‌چند وجهیها گفتیم‌نخستین بار **نه‌دکارت** ریاضی دان نامی‌فرانسوی‌قرن‌هفدهم، کشف کرد وسپس‌نابغهٔ ریاضی دیگری بنام **لئونارداولر** آنرا ثابت نمود و از این روی « رابطهٔ اولر» نامیده می‌شود .

برای اینکه نمونه‌ای ازاثبات این‌نوع‌قضایای هندسی‌نشان داده باشیم اثبات‌کامل قضیهٔ اولر را از روی کتاب « ریاضیات چیست ؟»[۱] ر . کوران[۲] و ه . رابینس[۳] نقل‌می کنیم[۴] :



شکل۱۵

اثبات قضیهٔ اولر ــ در این شکل مکعبی در نظر گرفته شده است ولی نتیجه ای که بدست می آید برای هر چند وجهی‌دیگر نیز صحیح‌است.

۱ ــ What Is Mathematics

۲ ــ R . Courant ۳ــ H . Robbins

۴ ــ مؤلف‌ازدکتر کوران ودکتررابینس،و نیزازمؤسسهٔ مطبوعاتی «اکسفورد یونیورستی پرس» که بوی اجازهٔ استنساخ این قسمت را داده اند تشکر می کند و بخوانندگانی که‌بمسائل توپولوژی، که‌نمونه‌هائی ازآن‌دراینجا ذکرشده‌است علاقمند شده باشند توصیه‌می کند به کتاب «ریاضیات چیست؟»مراجعه کنند .

«برای اثبات قضیهٔ اولر فرض‌می کنیم چندوجهی ساده‌ای تو خالی باشد ووجوه آن ازلاستیك‌نازکی ساخته شده باشند (ش۱۵آ) ، حال‌اگر یکی‌از وجوه‌را قطع‌وجدا کنیم ممکن است بجسم تغییر شکل دهیم وآنقدر آنرا ازهر طرف بکشیم تا مسطح‌شود وبر صفحه قرار گیرد(ش۱۵ب)؛البته دراین عمل‌مساحت‌وجوه وزاویه های‌بین‌یالها تغییر می کند اماتعداد رئوس ویالهای شبکه ای که برروی‌صفحه‌تشکیل‌می‌شود باتعداد رئوس ویالهای‌چند وجهی یکی است ، حال‌آنکه تعداد چند ضلعیها یکی از تعداد وجوه چند وجهی اصلی کمتر است ، زیرا که یکی ازوجوه آنرا برداشته ایم .اکنون ثابت خواهیم کرد که درشبکهٔ مسطحی که تشکیل شده است ۱ = و + ی ـ ر است بقسمی که هرگاه وجهی را هم که از آن صرفنظر کرده ایم بحساب آوریم در چند وجهی اصلی رابطهٔ ۲ = و + ی ـ ر برقرار باشد .

«نخست شبکهٔ مسطح راتبدیل بیك‌عده مثلث می کنیم، یعنی درهر وجهی که مثلث نباشد قطری رسم می کنیم. بازاء هر قطر که رسم کنیم یکی به‌وجوه‌ویکی به یالها علاوه می‌شود، پس‌به **و** و **ی** ۱علاوه می‌شود ودرنتیجه درمقدار (و + ی ـ ر) تغییری حاصل نمی گردد . رسم‌قطرهارا ادامه می‌دهیم تا ، بفرجام ، درشبکه جز عده‌ای مثلث چیزی نباشد (ش۱۵ـج) و چون رسم قطرها وتقسیم شکل‌به مثلثها درمقدار (و + ی ـ ر) تغییری عارض‌نکرده مقدار این‌عبارت همان است که بوده است .

« اضلاع بعضی‌ازمثلثها روی دوره ظاهری‌است . بعضی مثلثها ،مانند **ABC** ، فقط یك‌ضلع برروی این‌دورهٔ ظاهری دارند وبرخی دوضلع . ماهر مثلثی راکه درمجاورت دورهٔ ظاهری است درنظر می گیریم وهرقسمت‌آنرا که بایك وجه دیگر مشترك نباشد حذف‌می کنیم (ش۱۵ـد) مثلا از**ABC** ضلع **AC**ووجه‌را برمی‌داریم ورئوس **A**و**B**و**C** ودوضلع **AB** و **BC** رابحال خود می گذاریم وازمثلث **DEF** وجه ودوضلع **DF** و**FE**ورأس **F** را حذف می کنیم .

حذف مثلثی ازنوع **ABC** ازتعداد **ی** و **و** یکی کم می کندولی درر تغییری حاصل نمی‌شود، یعنی (و + ی ـ ر) بهمان مقدار باقی می‌ماند .

برداشتن مثلثی ازنوع **DEF** از **ر** یك واحد ، از **ی** ۲ واحد ، واز **و** نیز یك‌واحد می‌کاهد بقسمی که باز درمقدار (و + ی ـ ر) تغییری حاصل نمی‌شود . اگر عمل‌حذف مثلثهائی راکه یك‌ضلعشان برروی دورهٔ ظاهری است بوضع‌مناسبی ادامه دهیم سرانجام بجائی می‌رسیم که‌یك‌مثلث بیشتر باقی نماند . دراین شبکهٔ‌سادهٔ یك‌مثلثی ۱ = ۱ + ۳ ـ ۳ = و + ی ـ ر ؛ اما

دیدیم که باحذف یکایك مثلثها درمقدار(و+ی-ر) تغییری حاصل نمی‌شود . پس دراولین شبکه ای هم که از مسطح کردن جسم بوجود آمده ، یعنی در جسمی که یك وجه آنرا جدا کرده باشیم نیز ۱ = و+ی-ر بوده است ، بنابراین نتیجه می گیریم که درچندوجهی اصلی ۲ = و+ی-ر است . باین ترتیب اثبات فرمول اولر کامل می‌شود.»

یکی ازنتایج جالب فرمول اولر اثبات این مطلب است که **فقط پنج چند وجهی منظم وجود دارد** که همانهائی‌هستند که‌در شکل۱٤ نمایش داده و نام برده‌ایم .

هر گاه بدقت در بحثی که در چند صفحهٔ اخیر کردیم مطالعه کنید متوجه خواهیدشد که هم درترسیم انواع چند وجهی‌ها وهم دراستدلال ریاضی که منجر با ثبات قضیهٔ اولر گـردید همیشه یك‌فرض «مقـدر» ومخفی را مراعـات کردیم که مارا درانتخاب جسم‌بحد قابل ملاحظه ای محدودساخته است . ما خود را بچند وجهی هائی محـدود کرده ایم که باصطلاح ، هیـچ سوراخ ندارند . وقتی که ازسوراخ سخن می گوئیم مقصود سوراخی نیست مانند پارگی یك بادکنك ، بلکه مانند سوراخ بزرگی است که در نـان شیرمال چنبر شکل یاقسمت خالی یك‌لاستیك توئی اتومبیل احداث کنند .

نگاهی که بشکل۱٦ می کنیم‌وضع‌را روشن خواهد کرد . دراین شکل دوجسم دیده‌می‌شوند که‌هریك ازآنهاچند وجهی‌ایست که از هیچیك ازچند وجهی هائی که در شکل ۱٤ دیدیم پای کمی ندارد .

حال ببینیم که آیا قضیهٔ اولر دراین چندوجهی‌های تازهٔ ما هم صادق است ؟

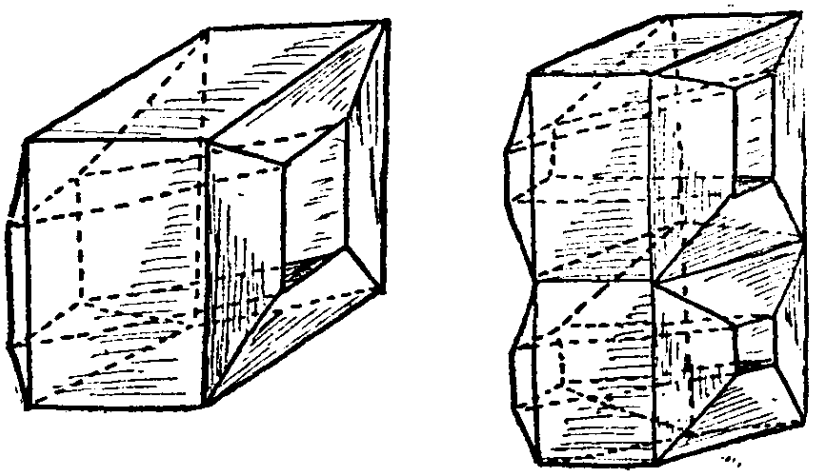
درحالت اول برروی‌هم ۱٦ رأس و۳۲ یال و ۱٦ وجه می‌شماریم ؛ پس ۳۲ = (و+ر)و۳٤ = (۲+ی) است . درحالت‌دوم۳۸ رأس و٦۰ یال و۳۰ وجه داریم بقسمی که۵۸ = (و+ر) و٦۲ = (۲+ی) . بازهم نتیجهٔ غلط !

چرا چنین است وچرا استدلال قضیهٔ اولر ، که جلوتر ازآن صحبت کردیم ، دراین حالتها درست در نمی‌آید ؟

البته نگرانی دراینجاست که اگرچند وجهی‌هائی راکه سابقاً دیدیم بتوانیم به«وسی» توپ فوتبال یا به‌بادکنك تشبیه کنیم چندوجهی های‌نـوع جدید شبیه به لاستیك توئی اتومبیل یابه محصول پیچیده تـری از صنایع لاستیك سازی است . استدلال ریاضی‌را که کرده‌بودیم نمی‌توان باین چنـد وجهی‌ها منطبق ساخت زیرا که در بارهٔ آنها نمی‌توانیم همه کارهائی را کـه

برای اثبات قضیه لازم بود انجام دهیم . در حقیقت گفته شده بود که«یکی‌از وجوه چند وجهی میان تهی را دور سازیم و بقیه را آنقدر بکشیم که جسم مسطح شود . »

اگرشما وسی فوتبالی رابگیرید وبا قیچی‌قسمتی‌ازسطح آنرا ببرید بقیه‌را می‌توانید بی‌زحمت زیاد بصورتی که گفته شده‌است درآورید . اماهر قدر کوشش کنیـد وزحمت بکشید ایـن‌کار را نمی‌توانید بالاستیك توئـی اتومبیل انجام دهید . اگر توجه به شکل ۱۶ شما را اقناع نکند ممکن است‌لاستیك توئی اتومبیلی رابدست آورید و امتحان کنید !



شکل ۱۶

این دورقیب مکعب معمولی دارای یك ودوسوراخ هستند. وجوه آنها مستطیل های مرتب و کامل‌نیست ، ولی بطوریکه دیدیم ، این امر در توپولوژی تأثیری ندارد

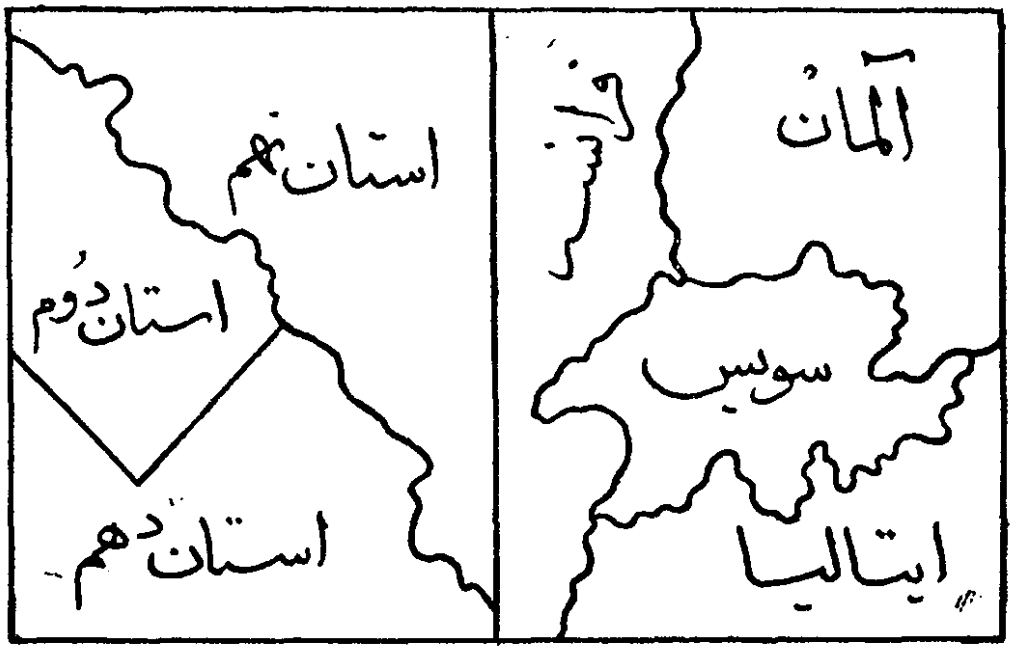
باوجود این نباید تصور کنید که درچند وجهـی‌های پیچیده تر بین **ر و ی و و** رابطه‌ای نیست ؛ رابطه وجوددارد ، امابصورت دیگر . در چند وجهی‌های چنبره شکل ، یاحلقه ای شکل ، ی = و + ر ودرچند وجهی‌های حلقه ای دوطبقه ۲ ـ ی = و + ر دستور کلی ۲m ـ ۲ + ی = و + ر است که درآن m عدهٔ سوراخهاست .

مسئلهٔ توپولوژی دیگری که بعنوان‌نمونه‌می‌توان‌ذکر کرد وبسیار با قضیهٔ اولرمربوط است مسئله ایست معروف به «مسئلهٔ چهار رنگ» .فرض کنیم سطح کره‌ایرا بیك‌عده نواحی مجزا ازهم تقسیم کرده باشیم وبخواهیم این‌نواحی راچنان رنگ کنیم که هیچ دوناحیهٔ مجاور (یعنی دوناحیه ای که فصل مشترك دارند) دارای یك رنگ نشوند . حداقل تعداد رنگ‌هائی که برای‌تأمین‌این نظر لازم خواهیم داشت چندتاست ؟ واضح است که دورنگ برای این منظورکافی نیست زیرا که معمولا درمورد ۸ دود سه ناحیه ای که

دریك نقطه اشتراك دارند (مانند نقطه‌تلاقی سه کشور درروی نقشهٔ جغرافیا) محتاج به سه‌رنگ است .

گاهی هم ناحیه ای می‌توان‌یافت که بین سه ناحیـهٔ دیگر محصـور باشد (مانند کشورسویس که‌پیش ازجنگ دوم‌و پس ازالحاق اتریش بآلمان بین‌سه کشور فرانسه وایتالیاوآلمان واقع گردیده بود) ودراین مورداحتیاج به چهار رنگ پیدامی‌شود (ش۱۷)[1]

اما هرقدر تلاش کنید نخواهید توانست برروی کره یا درروی صفحه کاغذ [2] نقشهٔ موهومی بسازید که برای آن بیش از چهار رنگ لازم شود . بنظرمی‌رسد که‌نقشه هرچند پیچیده ودرهم باشد همیشه بـرای احتراز از هر گونه اشتباهی درمرزها چهار رنگ کفایت می کند.



شکل ۱۷
نقشه استانها (در طرف چپ) وکشورهای سویس و فرانسه و آلمان و ایتالیا (در طرف راست)

بسیارخوب ، اگر این حکم صحیح بـاشد باید بتوان آن را از راه ریاضی ثابت کرد . اما علی‌رغم همه کوششهائی که ریاضی‌دانان « نسلا بعد نسل» کرده‌اند هنوز بچنین‌کاری توفیق نیافته‌اند . این نمونهٔ بارزی است از یك حکم ریاضی که «عملا» هیچکس دربارهٔ آن تردیدی ندارد و « علماً »

۱ـ پیش‌ازالحاق سه رنگ‌کافی بود: سویس سبز فرانسه واتریش قرمزآلمان وایتالیا زرد .

۲ ـ موارد نقشه‌های مسطح یاکره‌های مصنوعی از حیث مسئلهٔ رنگ آمیزی مشابه است . پس ازآنکه مسئله را در مورد کره حل کردیم‌دریکی ازناحیه‌های‌رنگ زده سوراخی‌می کنیم وکره رابشکل صفحه « باز می کنیم » . این هم یك نمونهٔ دیگر ازمسائل توپولوژی‌است.

هیچکس نتوانسته است آنرا ثابت کند .

بهترین کاری که تاکنون از جنبهٔ ریاضی انجام شده است اثبات‌این مطلب است کـه همیشه پنج رنگ کافی است ، این اثبات بر اساس رابطهٔ **اولر** است که در بارهٔ تعداد کشورهـا و تعداد حدود آنها و تعداد نقاطی که در آنها سه یا چهار ، یا تعداد بیشتری ، کشور بـه یکدیگر برخورد می کنند بحث می کند.

چون اثبات این قضیه پیچیده و دشوار است و مارا از بحث اصلی که درنظر داریم دورمی کند از آن‌صرف‌نظر می کنیم. اما خوانندهٔ کتاب‌می‌تواند آنرا در کتابهای مختلفی که دربارهٔ « توپولوژی » نوشته شده است بیابد و یك سرشب دلپذیر ، و شاید هم یك شب تمام را که خواب ازسرش پریده باشد ، صرف تماشا و مطالعهٔ آن کند .

خواننده هم می‌تواند سعی کند که استدلال‌را نه‌فقط‌درمورد پنج‌رنگ بلکه درمورد چهار رنگ بیابد ونشان دهد کـه با چهاررنگ می‌توان هر نقشه‌ای را رنگ کرد وهم ، در صورتی کـه نسبت باعتبار این حکم تردید داشته باشد، می‌تواند کوشش کند کـه نقشه‌ای ترسیم نماید که برای رنگ کردنش چهار رنگ کافی نباشد . درهرحال اگر بیکی ازاین دو امر توفیق یابد نام وی برای قرنهای آتـی در کتابها و تاریخهای ریاضیات مضبوط و مخلد خواهد شد .

مسئلهٔ رنگ کردن که، اگر ازسرطعنه سخن گوئیم ، با کمال‌موفقیت از یافتن‌راه حلی درمورد کره یا نقشهٔ مسطح شانه خالی کرده است تقریباً ممکن است بهمین سادگی در مورد سطوح پیچیده تری از قبیل چنبره و حلقهٔ مارپیچی حل‌شود . مثلا بطورقطع ثابت‌شده است که برای‌رنگ کردن انواع تقسیمات جزئی که دریك سطح چنبره‌ای ممکن باشد هفت رنگ‌کافی است تاهیچگاه دوجزء مجاورهمرنگ نشوند ومثالهائی هم دیده شده‌است که درآنها وجود هرهفت رنگ ضروری است .

اگر خوانندهٔ عزیز بخواهد برای‌خوددردسر تازه‌ای بتراشدمی‌تواند هفت رنگ ولاستیك توئی پر بادی فراهم آورد وسعی کند کـه سطح لاستیك را چنان‌رنگ کند که‌هر ناحیهٔ‌رنگینی‌مجاورش‌ناحیه‌به‌شش‌رنگ‌دیگر باشد. پس ازآنکه چنین‌کاری کردمی‌تواند ادعا کند که «راه خودرا گرداگرد یك چنبره‌می‌شناسد».

۳ـ پشت وروکردن فضا

تاکنون‌مابخصوص دربارهٔ‌خواص‌سطوح مختلف، یعنی «دون‌فضاهای»

دو بعدی صحبت کرده‌ایم؛ ولی تردیدی نیست که همین گونه مسائل را می‌توان دربارهٔ فضای سه بعدی ، که ما خود در آن زندگی می کنیم، طرح کرد. باین ترتیب مسئلهٔ رنگ کردن نقشه را اگر بفضای سه بعدی تعمیم دهیم باید آن را با یك چنین عبارتی بیان کنیم ؛ از ما خواسته‌اند که با قطعاتی از مواد مختلف که بشکلهای گوناگون ساخته شده‌اند یك«موزائیك» فضائی تشکیل دهیم بقسمی که هیچگاه سطوح دوقطعه که از یك ماده ساخته شده باشند با یکدیگر تماس پیدا نکنند . چند نوع ماده لازم داریم ؟

مسئلهٔ رنگ کردن برسطح یك کره یا یك چنبره چه وجه شبهی با جسم سه بعدی دارد ؟ آیا می‌توان یك فضای سه بعدی مخصوصی تصور کرد که نسبتش بفضای معمولی ما مانند نسبت سطح کره یاچنبره باشد بصفحهٔ مستوی معمولی ؟ دربدو امر این پرسش بی‌معنی بنظرمی‌رسد. درحقیقت‌ما که درنهایت آسانی می‌توانیم سطوحی باشکال مختلف تصور کنیم میل‌داریم باین عقیده باقی بمانیم که‌فقط یك نوع فضای سه بعدی وجود دارد که‌همان فضای فیزیکی خودمانی‌است که مادر آن‌زیست‌می کنیم . اما چنین‌عقیده‌ای بمنزلهٔ آن است که بوضعی خطرناك شانه اززیربار درك حقیقت خالی کنیم. اگر کمی قوهٔ تخیل خود را تقویت کنیم به تصور برخی فضاهای سه بعدی موفق خواهیم شد که با آنچه در کتاب‌های‌هندسهٔ اقلیدسی آموخته‌ایم‌تفاوت داشته باشد .

اشکال اساسی تصور چنین فضاهای غیرعادی دراین است که ما چون خودمان مخلوقات سه بعدی هستیم مجبوریم‌باصطلاح از «داخل» بفضا نگاه کنیم درصورتی که بسطوح مختلف و گوناگون از «خارج» نظاره می کنیم . اما اگرفکرخودرا کمی‌ورزش‌دهیم می‌توانیم بی‌دغدغهٔ خاطر بتصوراینگونه فضاهای غیرعادی قادر شویم . نخست نمونه‌ای از یك فضای سه بعدی که خواصی‌همانندسطح کره‌داشته باشدمی‌سازیم. البته‌خاصیت‌اصلی‌سطح کروی آن‌است که با اینکه حدودی ندارد دارای مساحتی معین است زیرا که دور می گردد و بروی خود بسته می‌شود. آیا می‌توانیم یك‌فضای سه بعدی‌فرض کنیم که مانند کره بروی خودبسته شودودر نتیجه بی‌آنکه حدود مشخص و قاطعی داشته‌باشد دارای‌حجمی محدودومعین باشد؟دوجسم کروی که‌بدوسطح کروی‌محدودشوند تصور کنید،مانند دوسیب که‌جسمشان به‌پوستشان‌محدود می‌شود .

حالا فرض کنید که این دوجسم کروی در درون یکدیگرقرار گیرند

وبسطح خارجی مشترکی محدود شوند . البته ما برسرآن نیستیم که بشما بگوئیم که دوشیئی فیزیکی‌را می‌توانیم‌دریک محل قرار دهیم ، مثلادوسیب را چنان درهم بفشاریم که در هم فرورونـد وپوستهایشان بهم‌بچسبند . سیبها متلاشی می‌شوند اما هیچگاه دریکدیگرداخل نمی گردند .

پس لازم است سیبی را درنظرمجسم کنیم که دردرون آن یک‌سلسله نقبها بوسیلهٔ کرمها ایجاد شده باشد . باید دونژاد مختلف کرم ، مثلاسفید وسیاه ، فرض کرد که یکدیگر را دوست ندارند وبا اینکه نقبهای آنها از دونقطهٔ مجاوریکدیگرواقع برسطح سیب شروع شده است هیچگاه بیکدیگر راه پیدا نمی کنند . سیبی که مورد تهاجم این دو دسته کرم واقع شده باشد تقریباً بوضعی که درشکل ۱۸ می‌بینید درمی‌آید که دوسلسله نقب‌پیچ‌در پیچ درون آنرا کاملا پر کرده‌اند . اما با اینکه این نقبهای سفید و سیاه خیلی از نزدیک یکدیگر رد می‌شوند تنهاراه بـرای رفتن از یکی از این نقبها بدیگری آن است که بسطح سیب رسیده از مدخل آن وارد شوند . حالا اگرفرض کنید که‌نقبها پیوسته باریک‌وتعدادشان پیوسته زیادترشودبفرجام لحظه‌ای راباید‌فرض کرد که داخل‌سیب ازدوفضای‌متداخل‌مستقل‌تشکیل‌شود که فقط درسطح خارجی اشتراك داشته باشند .

اگر باکرم میانه ای ندارید فرض کنید که در درون کرهٔ مصنوعی بسیار بزرگی ، نظیر آنچه زمانی دریك بازار مکارهٔ بین المللـی کـه در نیویورك تشکیل شده بودساخته بودند ، دورشتهٔ مجزادالان وپلکان ساخته شده باشدوهررشته درتمام قسمتهای داخلی کره پیشرفته باشد امااگر کسی بخواهد از یك‌نقطهٔ یکی از دورشته به‌نقطهٔ مجاورش که در رشتهٔ دیگر است برود مجبور باشد که تمام طول یك رشته را بپیماید تا بسطح کره برسد و درآنجا وارد رشتهٔ دیگر شود و همان مسافت را بعقب باز گردد تا بنقطهٔ مطلوب‌برسد. می گوئیم دو کره‌دریك مکان‌واقع هستند بی‌آنکه دریکدیگر داخل‌شده باشد و ممکن است که یك دوست شما خیلی بشما نزدیك باشد اما برای اینکه اورا ببینید ودست‌اورا بفشارید مجبورباشید که مسافتی‌دراز را به پیمائید . نکتهٔ مهم این است که باید توجه داشت که نقطهٔ اتصال دو راهرو درونی کره مطلقاً با هیچیك از نقاطی که در درون کره است تفاوتی ندارد چون‌همواره‌ممکن است شکل تمام ساختمان‌جسم راتغییر دادبقسمی که نقطهٔ اتصال بدرون کره رانده شود و یکی از نقاطی که سابقاً در درون کره بودجای آنرا در سطح کره بگیرد . نکتهٔ‌مهم دوم در بارهٔ نمونه‌ای که

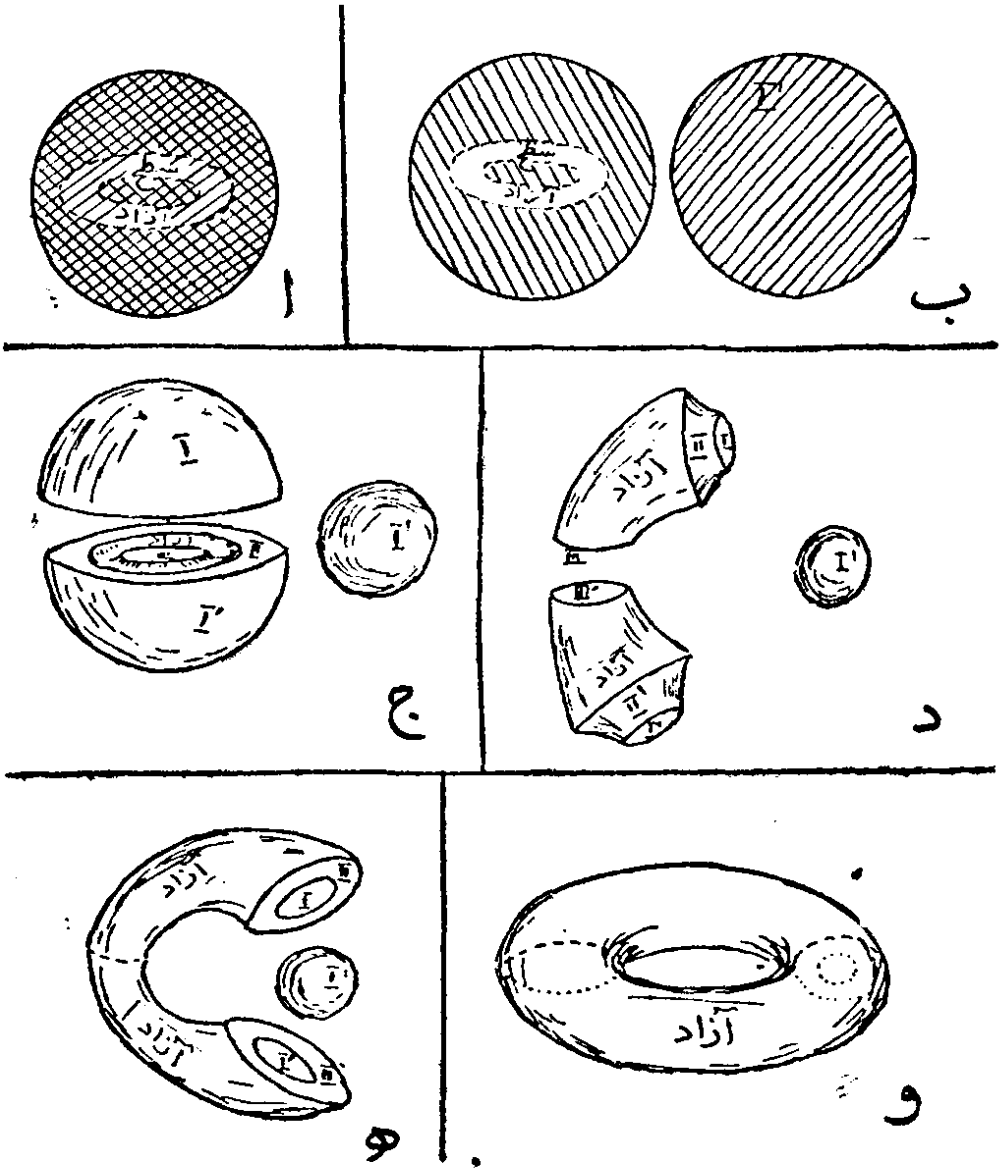
مورد بحث ما است این است که با آنکه درحقیقت مجموع طولهای راهرو محدود و معین است نقطه «ایستی» وجود ندارد وشما می‌توانیددالانها و پلکانها رایکی پس ازدیگری به‌پیمائید بی‌آنکه بدیواری وحائلی بر بخورید وهر گاه باندازهٔ کافی راه‌پیمائی کنید بناچاربه نقطه‌ای خواهید رسید که از آن عزیمت کرده اید . کسی که از خارج بتمام این دستگاه نگاه می کند می‌تواند بگوید که‌شخصی که درداخل راهروهای درونی حرکت می کند عاقبت به‌نقطه عزیمت خود خواهد رسید فقط بدلیل سادهٔ آنکه راهرو زیر زمینی بتدریج«دور میزند» . اما درنظر مردمی که در **درون** آن هستند و حتی ازچیزی که بنام «خارج» وجود دارد اطلاعی ندارند **فضا دارای اندازه ای محدود است ولی‌درعین حال هیچ حد معینی ندارد .** همچنانکه دریکی از فصول آینده خواهیم دید این «فضای سه بعدی بخود

شکل ۱۸

محدود» که ظاهراً حدی ومرزی ندارد ولی مطلقاً نامحدود و بی‌پایان هم نیست بهنگام بحث دربارهٔ خواص جهان بیکران بسیار مفید واقع می‌شود. درحقیقت ازمشاهداتی که درحد نهائی قدرت دوربین های‌نجومی شده است چنین برمی آید که دراین فواصل بسیار عظیم فضا شروع می کند به منحنی شدن وبنحوی محسوس‌میل‌می کند که بعقب گراید وبروی‌خود بسته شود،

درست مانند معبرهائی که‌درمثال سیب گفتیم وفرض کردیم که بوسیله کرمها ایجاد شده باشند . اما پیش ازآنکه به‌بسط مقال درمورد این گونه مسائل هیجان‌آور بپردازیم لازم است که اطلاعات بیشتری دربارهٔ فضا بدست‌آوریم و بیاموزیم .

هنوز کاملا از سیب و کرمها دست برنداشته ایم و سئوال دیگری طرح می کنیم این است که آیا ممکن است چنین سیب کرم خورده ای را بشکل چنبره درآورد ؟ منظورم شکل جسمی است که در هندسه چنبره یا حلقه نامیده می‌شود . سیب«مضاعفی» ، نظیر آنچه درقسمت پیشین در باره‌اش بحث کردیم ، یعنی دوسیب که در «درون یکدیگر» نفوذ کرده ودر سراسر سطح خارجی بیکدیگر «چسبانیده»شده باشندبدست می‌آوریم .



شکل ۱۹

چگونه می‌توان یك‌سیب مضاعف کرم خورده را بیك‌چنبره تبدیل کرد . چشم بندی نیست بلکه توپولوژی است .

فرض کنید کرمی در داخل سیبی نقب مستدیر بزرگی مانند آنچه‌درشکل ۱۹ می‌بینیم حفر کرده باشد . درست توجه کنید ؛ فرض این است که کرم فقط یکی از سیب ها را خورده باشد بقسمی که هر نقطهٔ واقع‌در خارج آن نقب متعلق بهردو سیب باشد ولی درداخل نقب فقط «گوشت» سیبی وجود داشته باشد که کرم آن‌رانخورده است . در این‌حالت سیب مضاعف ماسطح آزادی در داخل خود پیدا کرده که از دیواره های داخلی‌نقب مورد بحث تشکیل شده است (شکل ۱۹ آ)

آیامی‌توانید شکل این سیب فاسد شده‌را تغییر دهید و آن‌را بصورت چنبره ای درآورید ؟ البته فرض این است که جنس سیب پلاستیك است وشما می‌توانید آنرا به هر شکل که بخواهید تغییر دهید بشرط آنکه در آن دریدگی ایجاد نشود . برای آسان‌شدن‌کار ممکن است ماده ایرا که سیب باآن‌ساخته شده است‌پاره کنیم بشرط آنکه‌پس ازآنکه آنرا بصورتی که‌خواستیم درآوردیم پارگی را رفو کنیم و بچسبانیم .

در آغازکار پوستهای دوسیب را «شل» می کنیم و آنهارا از یکدیگر جدا می‌سازیم (ش۱۹ب) دو سطحی راکه باین نحو از هم جدا می گردند I و I′ می‌نامیم تا بتوانیم تغییرات آنهارا درکارهای بعدی دنبال کنیم و قبل از اتمام عمل آنهارا درجائی که لازم است بهم‌بچسبانیم . حالا جزئی راکه شامل‌نقب است ازوسط‌قطع کنید بقسمی که‌نقب ازعرض‌بریده شود(ش۱۹ج) این‌عمل دومقطع جدید ایجاد می کند که نامشان را II و II′ وIII وIII′ می گذاریم تا بدرستی بدانیم که بعداً کجاها را بیکدیگر مربوط کنیم . بعلاوه این عمل سطوح آزاد نقب راکه باید سطح آزاد چنبره را تشکیل دهند بیرون می‌آورد . آنگاه قسمت‌های بریده شده را اختیار کنید و آنها رابکشید تا بصورتی که در(شکل ۱۹ د) نموده شده است درآیند . سطح آزاد جسم اکنون بمقدار زیادی کشیده شده است(اما مطابق فرضی که کردیم‌جنس آن بازهم‌کاملاقابل کشش است). درهمین‌اثنا ابعاد سطوح‌بریده شدهٔ I وII وIII تقلیل یافته‌است . درهمان حال که مادربارهٔ یك‌نیمهٔ «سیب مضاعف» اعمالی را که گفتیم اجرا می کنیم باید نیمهٔ دیگر را با فشردن کوچك کنیم تابانداز‌هٔ یك‌آلبالو شود . حالادیگر آماده‌هستیم تا برشهائی راکه داده بودیم بهم بچسبانیم . نخست کاری‌را که‌آسان است‌انجام دهیدو سطحهای III و III′ رابهم ملصق کنید تاشکلی‌را که در۱۹ ه نموده شده است بدست آورید . آنگاه نیمه فشردهٔ دیگر سیب رابین دوسر گازانبری

که باین نحو تشکیل شده است بگذارید و دوسر آن‌را بهم آورید . سطح گلوله که علامت I دارد بسطح I' که در اصل ازآن جدا شده است ملحق می‌شودوسطوح بریده شدهٔ II و II' بهم‌ملصق‌می گردند . درنتیجه چنبره‌ای ظریف و زیبا بدست می‌آوریم .

مقصود از اینها که گفتیم چیست ؟

هیچ . مگر تمرینی درهندسه تصوری و نوعی ورزش فکری که بشمادر فهم موضوعات غیرعادی مانند فضای‌منحنی وفضائی که بروی خود بسته‌شده باشد کمك خواهد کرد .

اگر بخواهید فکر خود را قدری بیشتر «کش بدهید» باین «مورد استعمال عملی» دستوری که گفتیم توجه کنید .

بدن‌شما هم بشکل چنبره است در صورتیکه باغلب احتمال هرگز چنین تصوری نکرده اید . درحقیقت هر موجود زنده ای در مقدماتی‌ترین مرحله رشد(یعنی در حال جنینی) از مرحله‌ای بنام «گاسترولا» می گذرد ودر آن مرحله بشکل کره ایست که نقب‌بزرگی درداخل آن است . ازیك سر نقب غذا داخل‌می‌شود وپس ازآنکه آنچه مورد نیاز جسم است بوسیلهٔ آن‌مصرف شد مازادازسر دیگر نقب خارج می گردد . درموجوداتی که‌بسط کامل یافته باشند نقب داخلی باریکتر وپیچیده تر می‌شود اما اصل تغییر نمی کندوتمام خواص‌چنبره محفوظ وبحال خود باقی می‌ماند .

بسیار خوب ، حالا که شما چنبره هستید سعی کنید که استحاله ای عکس آنچه درشکل۱۹ دیدیدبوجود آورید و(درعالم خیال) کوشش کنید که‌خود رابسیب مضاعفی که نقبی درون‌آن باشد تبدیل نمائید . بخصوص متوجه خواهید شد که قسمتهای مختلف بدن‌شما که‌جزء بجزء دریکدیگر تداخل کرده‌اند جسم «سیب مضاعف» را تشکیل می‌دهند تمام جهان ، از جمله زمین وماه وخورشید و اختران آسمان ، فشرده شده و درداخل نقب درونی جای گرفته‌اند !

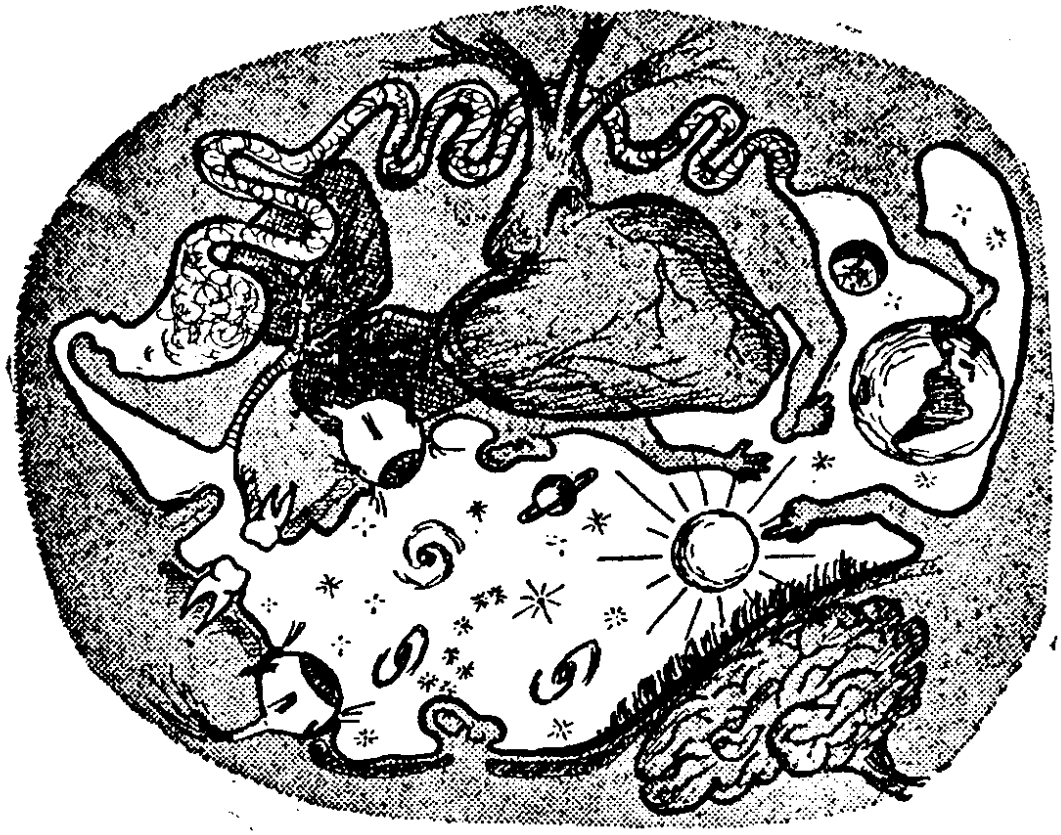
سعی کنید که تصویری از آنچه بنظرخواهد رسید رسم کنید واگر باین‌کار خوب توفیق یابید «سالوادردلی»[۱] هم درمقابل استادی شمادرنقاشی «سور رآلیستی»[۲] سپرخواهد انداخت (شکل ۲۰)

با اینکه این بخش طولانی‌شد نمی‌توانیم‌آنرا بپایان بریم مگراینکه

۱_ Salvador Dali

۲_ Surrèalistic

دربارهٔ اجسام«راست» و«چپ» ورابطهٔ آنها باخواص عمومی فضا نیز بحثی کرده باشیم . مناسبترین وضع برای‌ورود باین مسئله آن است که یك‌جفت دستکش درنظر بگیریم . اگر شما دولنگهٔ یك‌جفت‌دستکش را باهم مقایسه کنید (ش۲۱) خواهید دید که از حیث هراندازه‌ای با هم یکسان هستند ولی در عین حال تفاوت بسیار بارزی دارند بدلیل آنکه نمی‌توانید لنگهٔ چپ را برروی لنگهٔ راست قراردهید، یا بعکس . همین تفاوت بین اشیاء

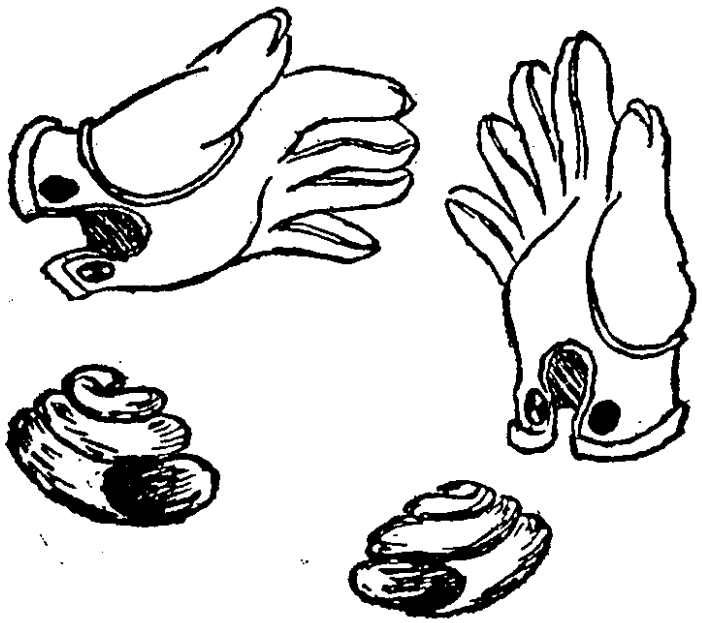


شکل ۲۰

راست و چپ رامی‌توان در کفشها ودردستکاههای‌رانندگی (دل)اتومبیلهای نوع آمریکائی و انگلیسی و در چوگانهای بازی گلف و دربسیاری چیزهای دیگر یافت .

جهان پشت‌وروشده . این‌نقاشی سوررآلیستی انسانی‌رانشان‌می‌دهد
که برسطح‌زمین راه می‌رودوبستارگان نگاه می‌کند .
تصویر ازجنبهٔ توپولوژی برطبق روشی که درشکل۱۹
گفتیم استحاله‌یافته است‌ودر نتیجه زمین‌و خورشید و
ستارگان درنقب بالنسبه تنگی که دردرون‌جسم‌انسان
است ازدحام کرده اند واعضاء داخلی بدن‌آنها را
احاطه نموده اند

از طرف دیگر چیزهائی مانند کلاه مردانه ، راکت تنیس و بسیار چیزهای دیگر چنین تفاوت هائی ندارند . هیچکس آنقدر ابله نیست که دستور یك دست فنجان «چپ» بدهد یا خیلی مسخره است که کسی بخواهد از همسایه‌اش یك آچار «چپ» بعاریت بگیرد . بین این دو نوع چیزها چه تفاوتی است ؟ اگر کمی فکر کنید متوجه خواهید شد که چیزهائی مانند کلاه وفنجان دارای چیزی هستند که ماسطح تقارنش می‌نامیم وممکن است در امتداد آن بدو نیمهٔ کاملا همانند بریده شوند . چنین سطحی در دردستکش و کفش نیست و هرچه کوشش کنید نخواهید توانست دستکشی را بدو نیمهٔ همانند تقسیم نمائید. اگر چیزی صفحهٔ تقارن نداشته وباصطلاح «نامتقارن» باشد بناچار دوبخش متمایز خواهد داشت : راست و چپ . این تفاوت فقط درچیزهائی که ساختهٔ بشر است مانند دستکش و چوگان



شکل ۲۱
اشیاء راست و چپ بنظر کاملا شبیه یکدیگرند اما کاملا باهم تفاوت دارند .

دیده نمی‌شود بلکه غالباً در طبیعت هم بنظرمی‌رسد. مثلا دو نوع حلزون وجود دارد که ازهرحیث بیکدیگر شبیه‌هستند جز درطرز ساختمان خانه‌شان که با یکدیگر اختلاف دارند . جلد یکی از این دونوع درجهت حرکت عقربه‌های‌ساعت می‌پیچد ودومی درجهت مخالف حرکت عقربه‌های‌ساعت، حتی ملکولها ، یعنی ذرات بسیار کوچکی که تمام مواد مختلف از آنها ساخته شده‌اند ، اغلب راست وچپ دارند، شبیه به لنگه‌های راست وچپ

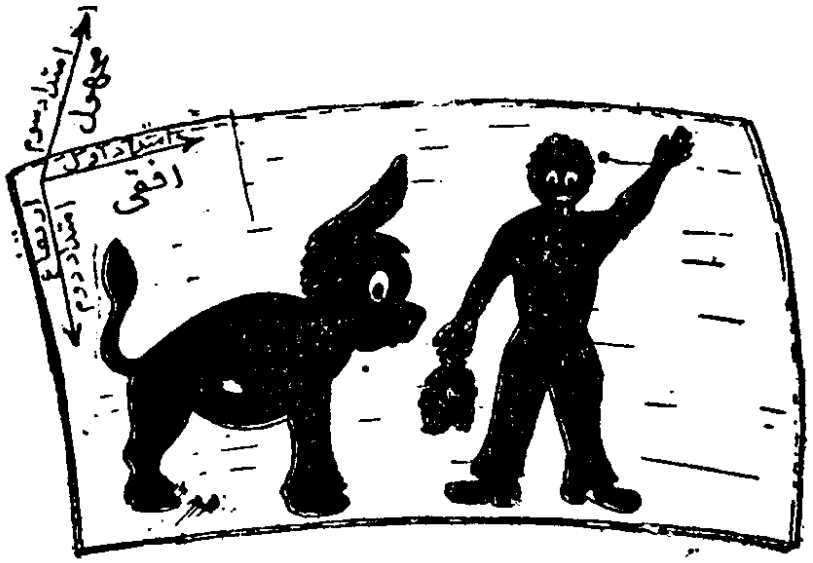
دستکش یا جلدهای موافق جهت حرکت عقربه‌های ساعت یامخالف جهت حرکت عقربه‌های ساعت حلزونها . البته‌شما نمی‌توانید ملکولها رابینید اما عدم تقارن درشکل بلورها یا برخی خواص نوری این مواد مشهوداست. مثلا دو نوع قند وجود دارد : چپ وراست و ، باور کنید یا نکنید، دو نوع هم باکتری قندخوار وجود دارد که هر نوع نوعی‌قند مربوط بخودرامصرف می کند .

بطوریکه بالاتر گفتیم کاملا غیرممکن بنظرمی‌رسد که بتوان یك‌شیئی راست ، مثلا یك لنگهٔ راست دستکش ، را به چپ تبدیل کرد . ولی آیا براستی این‌طوراست ؟ یا ممکن است«حقه‌ای» درفضا زد ویکی‌رابدیگری تبدیل نمود؟ برای جواب‌دادن باین پرسش نخست این موضوع را ازدریچهٔ چشم ساکنان مسطح یك سطح مطالعه می کنیم ، درحالیکه خود آنان مورد مطالعهٔما که دروضع عالیترسه بعدی‌قرار گرفته‌ایم‌هستند. بشکل ۲۲ توجه کنید: درآن نمونه‌ای ازساکنان‌سرزمین‌مستوی، یعنی فضای‌دوبعدی ، می‌بینید. مردی راکه درشکل می‌بینید که‌خوشهٔ انگوری‌دردست‌دارد می‌توان یك «مرد رخ» نامید زیرا که فقط«رخ» دارد و« نیمرخ» ندارد. اماحیوان «خر نیمرخ»است، واگر بخواهیم دقیقترصحبت کنیم «خر نیمرخ راست» است. البته‌می‌توانیم یك «خر نیمرخ چپ» هم رسم کنیم وچون هردو خر محدودند وباید درسطح‌باقی‌بمانند ازجنبهٔدوبعدی‌همان‌اندازه با هم تفاوت دارند که دولنگهٔ راست و چپ دستکش درفضای معمولی سه‌بعدی‌متفاوتند. شما نمی‌توانید «خرچپ» را بر«خر راست» منطبق کنید زیرا که اگر بخواهید پوزهٔ آنها برروی هم ودم آنها برروی هم قرار گیرند باید یکی را برگردانید وباژگونه کنید بقسمی که پاهایش بجای اینکه برروی زمین استوارباشد درهوا قرار گیرد .

اما اگریکی‌ازخرها را ازصفحه خارج کنید وآنرا درفضابرگردانید و بار دیگر برروی سطح قرارش دهید هر دو خر وضعی مشابه پیداخواهند کرد . بطریق مشابه می‌توان گفت که لنگهٔ راست دستکشی را می‌توان به لنگهٔ چپ تبدیل کرد مشروط بآنکه‌آنرابفضای چهاربعدی ببریم‌وبه‌نحوی خاص برگردانیم وبفضای سه بعدی بازآوریم. امافضای فیزیکی‌بعدچهارمی نداردوروشی راکه بالاتر گفتیم بایدکاملا غیرممکن‌دانست . آیاراه‌دیگری هم هست ؟

بفضای دوبعدی خود بازمی گردیم، اما بجای آنکه یك سطح مستوی

معمولی ، چنان که در شکل ۲۲ نموده شده است ، در نظر گیریم بخواص سطحی بنام «سطح موبیرس[1]» توسل می‌جوئیم. این سطح را ، که بنام یك



ش ۲۲

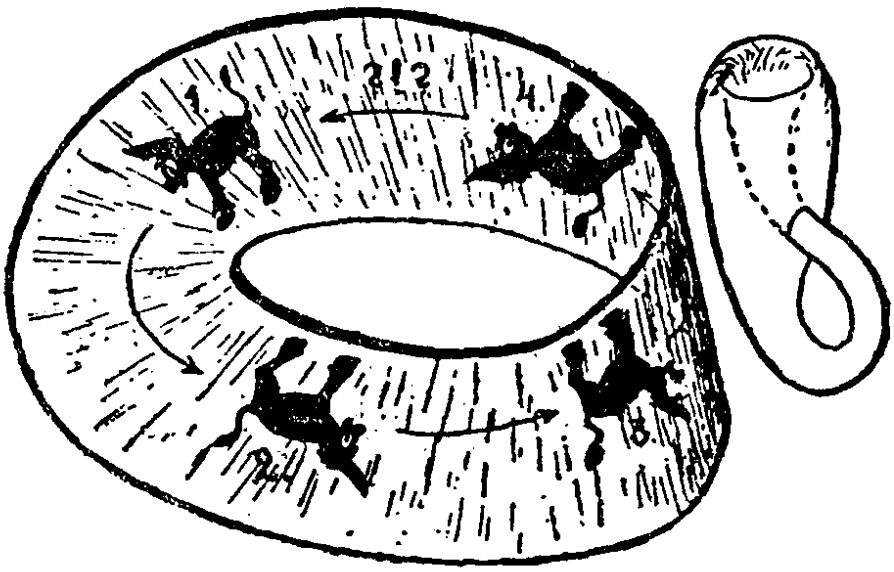
تصوری از موجودات «سایه‌ای» یا دو بعدی . مردی که دراین شکل است « رخ » دارد و «نیمرخ ندارد» . او نمی‌تواند انگوری را که در دست دارد در دهان بگذارد : خر می‌تواند انگور را بخورد اما فقط می‌تواند بطرف راست حرکت کند و اگر بخواهد بچپ برود باید بعقب حرکت کند . ازخرها چنین چیزی استبعاد ندارد اما پسندیده نیست .

ریاضی‌دان آلمانی ، که تقریباً یك قرن پیش برای اولین بار آنرا مورد مطالعه قرار داد خوانده شده است ، می‌توان بآسانی ساخت باین ترتیب که یك نوار کاغذی را اختیار می کنیم وپیش از آنکه دو انتهای آنرا بهم بچسبانیم آنرا یك «تاب» می‌دهیم . برای درك طرز عمل بشکل ۲۳ توجه کنید . این سطح خواص عجیبی دارد یکی ازآن جمله که بآسانی کشف می‌شود این که‌اگر آنرا باقیچی درطول خطی موازی بعدکاغذ مثلاامتدادی که تیرها نشان می‌دهند قطع کنید قطعاً انتظار دارید که این حلقه کاغذی بدو حلقهٔ مجزا تقسیم شود ، اما این کاررا بکنید تا ببینید که حدس شما غلط بوده‌است و بجای دوحلقه بازهم یك حلقه خواهید داشت منتهی طول آن دوبرابر وعرض آن نصف شده است .

حالا ببینیم که‌برسر یك « خرمسطح » که گردا گرد سطح موبیوس در

۱_ Mobius

حرکت‌است چه می‌آید. فرض کنید که این «خرسایه» ازوضع۱ (شکل۲۲) بحرکت‌درآید. دراین‌لحظه بشکل «نیمرخ چپ» دیده‌می‌شود. کم کم‌ازاوضاع ۲و۳ که‌درشکل‌می‌بینیدمی گذردوسرانجام به‌نقطهٔ‌عزیمت‌خود نزدیك‌می‌شود. اما کمال‌تعجب بشما وبه خردست خواهد داد وقتی که توجه شود که بوضع٤



شکل ۲۳

سطح موبیوس و بطری کلاین

در آمده و پا های آن رو بهوا قرار گرفته است. البته حیوان می تواند به سطح خود باز گردد و پاهایش بطرف پائین‌قرار گیرد اما در این صورت جهت آن عوض شده است.

خلاصه خر «نیمرخ چپ» ما در نتیجهٔ راه رفتن بـرروی یك سطح موبیوس‌به خر «نیمرخ راست» مبدل گردیده‌است. و،درست توجه‌بفرمائید، این تغییر باوجود این‌حقیقت رخ داده است که خردرتمام وقت برروی‌سطح باقی مانده وازآن خارج نگردیده ودر فضا دوران نکرده است.

پس معلوم می‌شود که **اگریك شیئی دست راست بر روی سطح تابدار تغییرمکان دهد فقط براثر حرکت بدور تاب به‌شیئی دست چپ، شیئی چپ به‌شیئی راست، تبدیل می گردد.** نوارکاغذی موبیوس که درشکل۲۳ نموده‌شده‌است جزئی‌ازیك حالت‌کلی‌تراست که بنام «بطری کلاین[1]» معروف است (و درطرف راست شکل ۲۳ دیده می‌شود) و فقط یك طرف دارد وفاقد حـدود تند وتیز است و بروی خـود بسته می‌شود .

۱ـ Klein

اگر این امر در یک سطح دوبعدی ممکن باشد باید درفضای سه بعـدی نیز ممکن شود مشروط بآنکه این فضا بنحوخاصی تاب بخورد . طبعاً تصور فضائی که مانند سطح موبیوس درفضا تاب خورده باشدکاری سهل نیست. ما نمی‌توانیم بقسمی که به سطحی که خر درآن است نگاه کـردیم از خـارج بفضائی که درآنیم نظر اندازیم . همیشه همینطور است ، وقتی که درست در میان چیزهائی قرار گرفته باشید دیدن آن چیزها دشوار است . اما هیچ غیر ممکن نیست که فضای سماوی بروی خود بسته شده و موبیوس‌وار تاب خورده باشد .

اگر درواقع چنین باشد کسانی که دورجهان‌سفر کنند باتغییرجهت بجای خود بازخواهند گشت و قلبشان در طرف راست سینه‌هـایشان قـرار خواهد گرفت وسازندگان‌دستکش و کفش‌این‌مزیت مشکوک‌را خواهندداشت که فقط یک نوع دستکش و کفش بسازند ونیمی از آن رابه سفردورجهان بفرستند تادرباز گشت بشکلی که لازم است درآیندوبکارنصف دیگردستها و پاهای جهانیان بخورند .

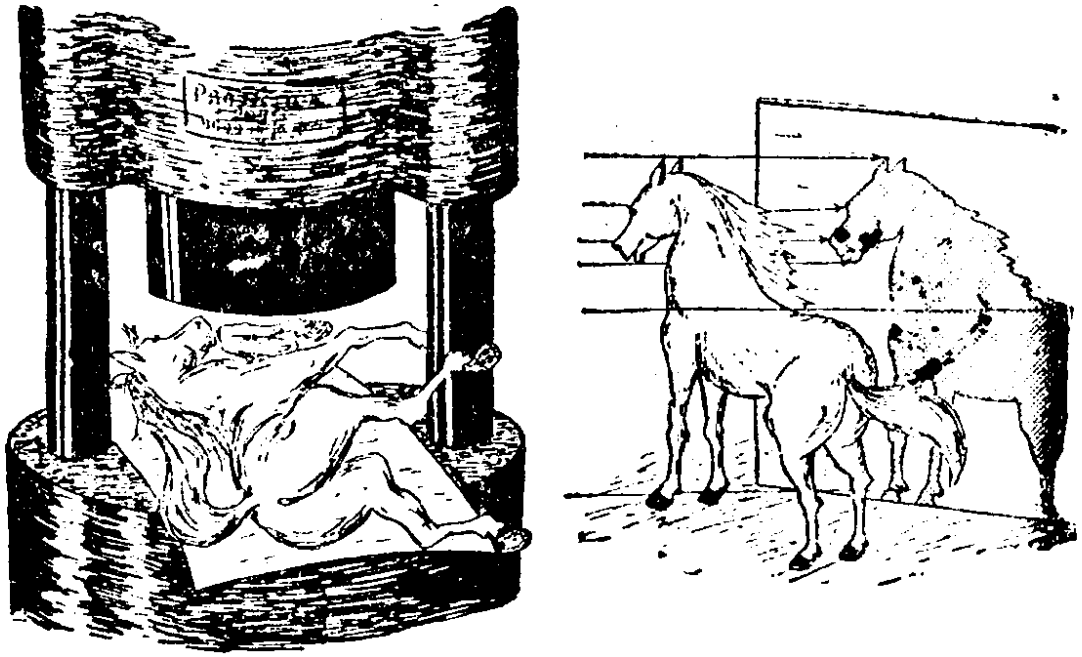
با این فکر موهوم به بحث خود در بارهٔ خواص غیرعادی فضا خاتمه می‌دهیم .

جهان چهار بُعدی

۱ ـ زمان بعد چهارمی است

مفهوم بعد چهارم معمولا در رموز واسرار پیچیده است . چگونه ما ، مخلوقاتی که طول وعرض وارتفاع داریم ، جرأت می کنیم که از فضای چهار بعدی سخن برانیم ؟ آیا ممکن است با بکار انداختن تمام هوش سه بعدی خودیك «فوق فضای» چهار بعدی تجسم نمائیم؟ یك مکعب یا کرهٔ چهار بعدی چگونه خواهد بود؟ اگر بگوئیم اژدهائی «**تصور کنید**» که دمش از پولکهای بزرگ پوشیده شده و آتش از سوراخهای بینیش زبانه بکشد و یا هواپیمای فوق العاده بزرگی «**تصور کنید**» که یك استخر شنا ودوزمین بازی تنیس برروی بالهایش قرارداشته باشد ، فوراً یك تصویر ذهنی از آن رسم می کنید و آنرا در مقابل نظر مجسم می‌سازید . و شما این تصویر را برروی یك زمینهٔ فضای معمولی سه بعدی که در آن اشیاء عادی وخود شما جای دارید رسم می کنید . اگر معنی تصور کردن این باشد که گفتیم محال است که بتوانید تصوری ازفضای چهار بعدی برزمینهٔ فضای معمولی درذهن راه دهید، همچنانکه ممکن نیست یك جسم سه بعدی را بافشار مسطح کنید، وبریك صفحه قرار دهید . اما اندکی صبر کنید . ما وقتی تصویر یك شیئی فضائی را بر روی یك صفحه رسم می کنیم درحقیقت آن را به یك معنی مسطح می‌نمائیم . در این حالت

البته ما یك منکنهٔ آبی یا نیروی فیزیکی دیگری برای مسطح کردن شیئی بکار نمی‌بریم بلکه ازروش معروف « تصویرهندسی » یا «رسم سایه» استفاده می کنیم. اختلاف بین‌دوطریقهٔ مسطح کردن جسمی(مثلا اسبی) برروی‌صفحه بخوبی ازشکل۲٤ درك می‌شود .



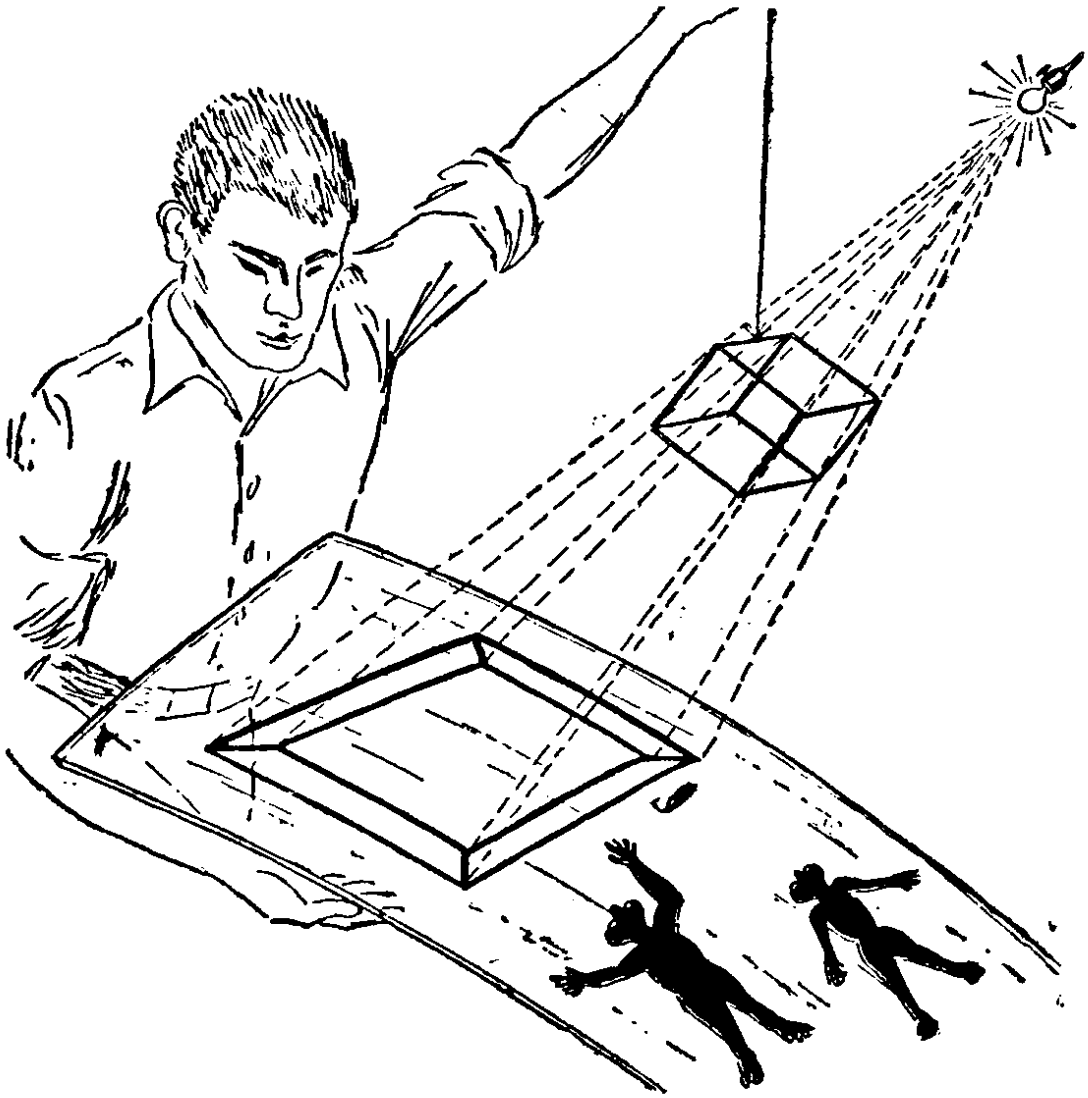
شکل ۲٤

یك روش غلط و یك روش صحیح فشردن یك جسم سه بعدی برای اینکه مسطح شود و برروی یك سطح دو بعدی قرار گیرد .

با روشی شبیه به‌آنچه دیده شد می‌توان گفت که اگر ممکن نباشد که اجسام چهاربعدی را بی‌آنکه به برخی ازقسمتهای آنها لطمـه‌ای وارد شود دریك فضای سه بعدی بفشاریم ومترا کم کنیم می‌توانیم «تصویر» آنها را در فضای سه بعدی مجسم سازیم . اما باید توجه داشت که همانقسم کـه تصاویراجسام سه‌بعدی‌اشکال‌دوبعدی، یامسطح، هستند تصاویر«فوق‌اجسام» چهاربعدی اجسام سه‌بعدی خواهند بود .

برای توضیح بیشتری نخست یك مکعب سه بعدی را از دریچهٔ فکر موجودهای مسطح‌دوبعدی مطالعه می کنیم . بآسانی می‌توان تصور کرد که ما که موجودهای غالی‌سه‌بعدی هستیم بعالم دوبعدی از«بالا»، یعنی‌ازامتداد بعد سوم، نگاه می کنیم . تنها راه مترا کم کردن مکعبی درصفحه آن است که آنرا مطابق آنچه درشکل۲۵دیده می‌شود برصفحه تصویر کنیم .دوستان دوبعدی ما با مطالعهٔ این تصویروتصویرهای اوضاع دیگر مکعب که‌ازدوران آن حاصل می‌شود خواهندتوانست لااقل «تصویری» از« مکعب سه‌بعدی »

پیدا کنند . البته نمی‌توانند از صفحـه بیرون بجهند و مکعب را آنچنان



شکل ۲۵
مخلوقات دو بعدی که با تعجب بسایهٔ یك مکعب سه بعدی که برروی صفحهٔ آنها افتاده است نگاه می کنند .

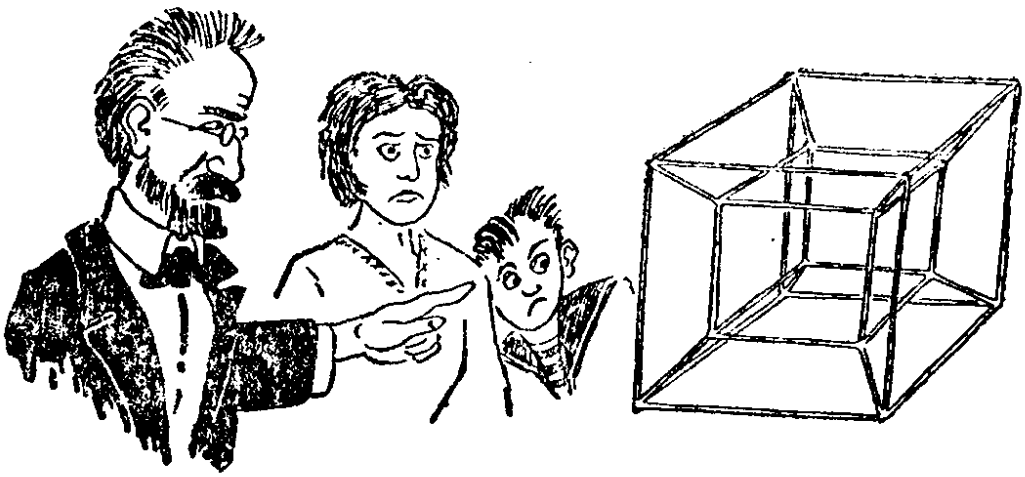
که ما می‌بینیم مجسم کنند اما با مطالعهٔ دقیق‌تصاویر مثلا خواهندتوانست بگویند که هرمکعب هشت رأس و دوازده یال دارد .

حالا اگر بشکل ۲۶ توجه کنید خود را درست درهمان حالی خواهید یافت که مخلوقهای بیچارهٔ دو بعدی که در روی صفحهٔ خود مشغول مطالعهٔ مکعب سه بعدی بودند داشتند . درحقیقت آنچه که بانهـایت سر گشتگی‌و حیرت موردتوجه‌ومطالعهٔ افراد خانواده قرار گرفته تصویر یك«فوق‌مکعب» چهار بعدی در فضای معمولی سه بعدی ما است[1].

---

۱ ـ اگر درست بگوئیم شکل ۲۶ تصویری است که برروی صفحهٔ کاغذ از تصویری که از « فوق مکعب » چهار بعدی در فضای سه بعدی تشکیل شده ترسیم گردیده است .

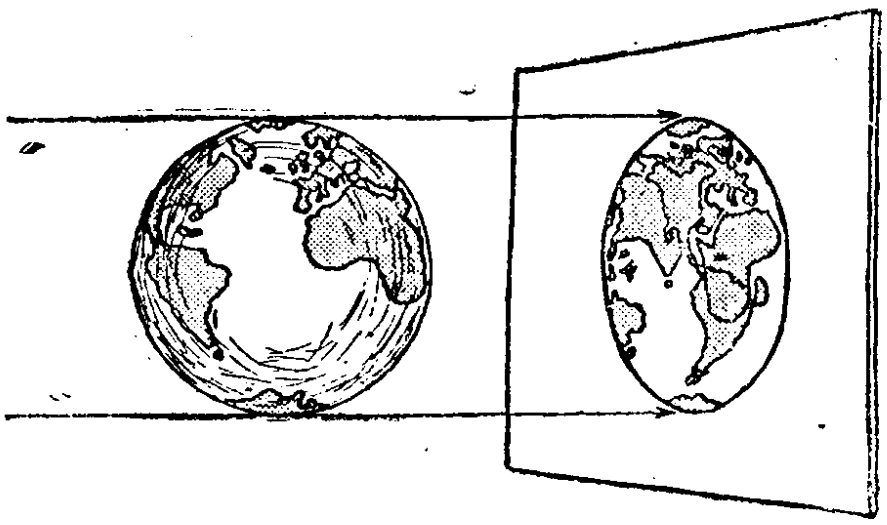
بدقت بشکل نگاه کنید تابآسانی متوجه شوید که همان خصوصیاتی پیش‌می‌آید که‌برای مخلوقهای مسطح‌شکل۲۵ تولیداشکال ومعما کرده‌بود. همانطور که تصویرمکعب معمولی درفضای دوبعدی مرکب ازدومربع است که رئوسشان دو بدو بیکدیگر وصل شده اند تصویر « فوق مکعب » چهار بعدی در فضای عادی سه بعدی مرکب از دو مکعب است که رئوسشان



شکل ۲۶

یك‌نفر که مشغول‌مطالعهٔ بعد چهارم‌است! تصویرمستقیم یك فوق مکعب چهار بعدی .

همانطور دو بدو بیکدیگر مربوط گردیده‌اند . وچون تعداد رئوس ویالها را بشمارید متوجه می‌شوید که فوق مکعب چهاربعدی ۱۶ رأس و۳۲ یال و ۲۴ وجه دارد . چه طرفه مکعبی !



شکل ۲۷

تصویر مستوی کره .

حالا ببینم یك کرهٔ چهاربعدی بچه می‌ماند ؟ برای درك مطلب بازهم خوبست بچیزی که با آن بسیار آشنا هستیم ، یعنی بتصویر کرهٔ معمولی برروی سطح مستوی ، مراجعه کنیم . کرهٔ شفافی فرض کنید که قاره‌ها و اقیانوسها را برروی آن نمایش داده وآنرا برروی دیوارسفیدی تصویر کرده باشند (ش۲۷) . البته تصویرهای دونیمکره برروی هم قرارمی گیرند و در تصویر تصور می شود که فاصلهٔ مثلا تهران از نیویورك بسیار کوتاه است . اما این تصورخطاست . درحقیقت هرنقطهٔ تصویر، تصویر دو نقطهٔ کره است که در دونیمکرهٔ متقابل قراردارند و برای اینکه برروی کره از تهران به نیویورك پرواز کنیم باید درتصویرمسافت تهران تا حد تصویر را بپیمائیم و بار دیگراین فاصله راطی کنیم تابه‌نیویورك برسیم . وهرچند که‌تصویرهای دو هواپیما که در این مسیر مشغول پرواز هستند ممکن است بر روی هم قرار گیرند اگر دو هواپیما عملا در دو نیمکره باشند خطرتصادفی‌درمیان نیست .

این است خصوصیات تصویرمستوی یك کرهٔ عادی . اگر قدری بمغز خود فشار آوریم تجسم تصویر فضائی یك «فوق کرهٔ» چهاربعدی برایمان ممکن خواهد شد . درست همانطور که تصویر مستوی یك کرهٔ متعارفی مرکب از دو قرص دایره است که نقطه بنقطه بر یکدیگر منطبق هستند وفقط درطول منحنی‌محیط‌خودبا یکدیگراشتراك دارند . تصویر فضائی‌یك « فوق کره » را باید بصورت دوجسم کروی فرض کرد که در درون یکدیگر قرار گرفته‌وفقطدرسطح خارجی‌بایکدیگراشتراك داشته باشند .هم‌اکنون، در فصل پیشین ، دربارهٔ چنین ساختمان فوق‌العاده‌ای بحث کردیم و از یك فضای کروی سه بعدی که دردرون یك سطح کروی محدود شده باشدسخن گفتیم . آنچه باید در اینجا علاوه کنیم‌این‌است که‌تصویرسه بعدی یك کرهٔ چهار بعدی چیزی است شبیه بسیب مرکب از دو سیب معمولی که مانند دوقلوهای سیامی با هم دردرون پوست مشترکشان رشد کرده وبعمل آمده باشند .

بهمین طریق وبااستفاده‌ازروش‌مشابه می‌توانیم به‌بسیاری ازپرسشهای دیگر دربارهٔ خواص اشکال چهاربعدی جواب بگوئیم . اما هرچه‌سعی کنیم نخواهیم توانست بعد چهارمی‌را که بستگی بفضای فیزیکی ما نداشته باشد تجسم وتصور نمائیم .

اما اگر قدری بیشترفکر کنید متوجه می‌شوید که برای درك بعد چهارم لازم نیست بمطالب مرموزونهفته معتقد شویم . درحقیقت همهٔ ما هر روزکلمه‌ای‌را بکار می‌بریم که‌باغلب احتمال، و با وضع فعلی معلومات‌بشری بطورمسلم، بعدچهارم فضای فیزیکی مارا تشکیل می‌دهد . منظورما زمان است که، توأم‌بامکان، پیوسته برای‌توضیح وقایعی که‌دراطراف ما رخ می‌دهد بکار می‌رود . وقتیکه ازهرگونه پیش‌آمدی صحبت می داریم ، خواه دیدار عادی دوستی در خیابان باشد یامنفجرشدن ستاره‌ای دوردست ، معمولافقط نمی گوئیم این پیش‌آمد **کجا** وقوع یافت بلکه بیان نیز می کنیم که **کی** واقع شد . باین ترتیب بسه امتدادی که واقعیت دارند و جارا درفضا معین می کنند واقعیت چهارمی ، یعنی زمان ، را می‌افزائیم .

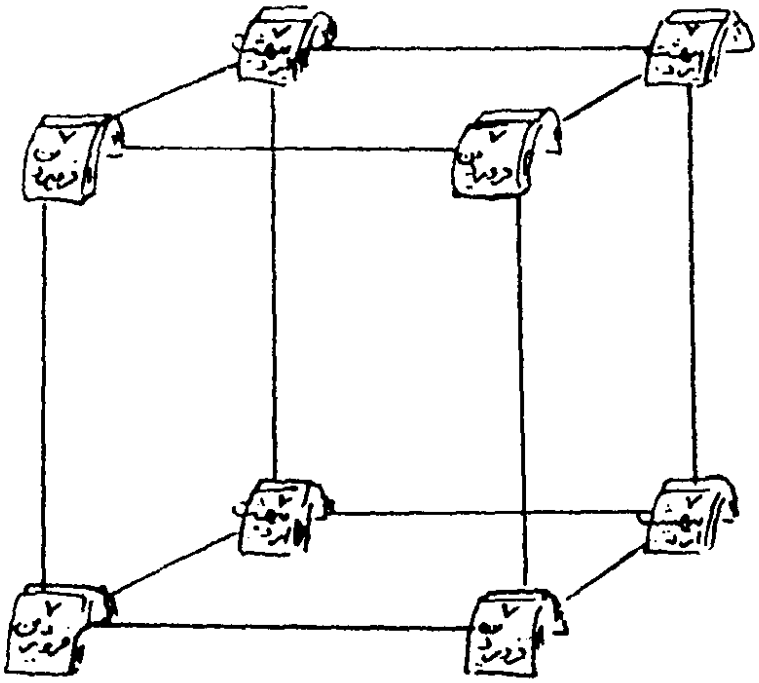
اگر باز بدقت بمطالعهٔ خود ادامه دهید بآسانی تجسم خواهید کرد که هرشیئی چهاربعد دارد: سه‌بعد درمکان ویکی در زمان. پس خانه‌ای که درآن زندگی می کنید از حیث طول و عرض و ارتفاع وزمان ابعادی‌دارد و بعد چهارم آن از وقتی آغاز می‌شود که خانه ساخته شده است و تاوقتی ادامه خواهدیافت که خانه بسوزد، یا آنرا برهم‌بکوبند تاخانهٔ‌نوی‌بسازند، یا بعد ازمدتی خیلی درازبطورطبیعی ویران شود .

البته‌باید گفت که‌امتدادزمان‌کاملامانند امتدادهای‌فضا نیست. فواصل زمانی را با ساعت اندازه می گیرند ، که درسرثانیه‌ها « تیك تاك » و در سرساعتها «دنگ دنگ» می کند، درصورتیکه فواصل مکانی را بامترمعین می کنند . و هرچند که شما طول وعرض و ارتفاع را با یك وسیله اندازه می گیرید نمی‌توانید آن وسیله رابرای اندازه گیری زمان بکاربرید . وبا اینکه شما می‌توانید درفضا بجلویا براست یا ببالا حرکت کنید و بجای خود باز گردید درزمان بازگشت میسر نیست و زمان شما را بناچار از گذشته به‌آینده می‌راند. اما باپذیرفتن همهٔ‌این اختلافهائی که بین‌امتداد زمانی وسه امتداد فضائی وجوددارد بازمی‌توانیم‌درعالم وقایع فیزیکی‌زمان رابجای بعد چهارم‌بکاربریم، البته‌بشرط آنکه‌فراموش‌نکنیم که‌ازنوع‌بعدهای دیگرنیست .

با اختیار زمان بمنزلهٔ بعد چهارم تجسم اشکال چهار بعدی ، که در آغاز این فصل‌درباره‌شان‌بحث کردیم، آسانترخواهد شد . مثلاشکل‌عجیبی راکه تصویریك مکعب چهاربعدی بود بیاد بیاورید : ۱۶ رأس و۳۲ ضلع و۲۴ وجه ! عجب نیست که اشخاص شکل۲۶ با چنان حالت‌حیرت‌ودهشتی

باین مخلوق عجیب هندسی نگاه می کنند .

امامطابق آنچه درقسمت اخیر گفتیم یک مکعب چهاربعدی عبارت ازیک مکعب معمولی است که در زمان مشخص ومعینی وجود داشته باشد. فرض کنید که در ۷ فروردین با ۱۲ قطعه مفتول مکعبی ساخته باشید و همان را در ۷ اردیبهشت درنظر بگیرید . هررأس این شکل را باید عملا خطی دانست که در امتداد زمان باندازهٔ یک ماه کشیده شده باشد . ممکن است درهر رأس آن تقویم کوچکی نصب کنیدوهر روز یک صفحه آنرا ورق بزنیدتا پیشرفت زمان را مراعات کرده باشید .



شکل ۲۸

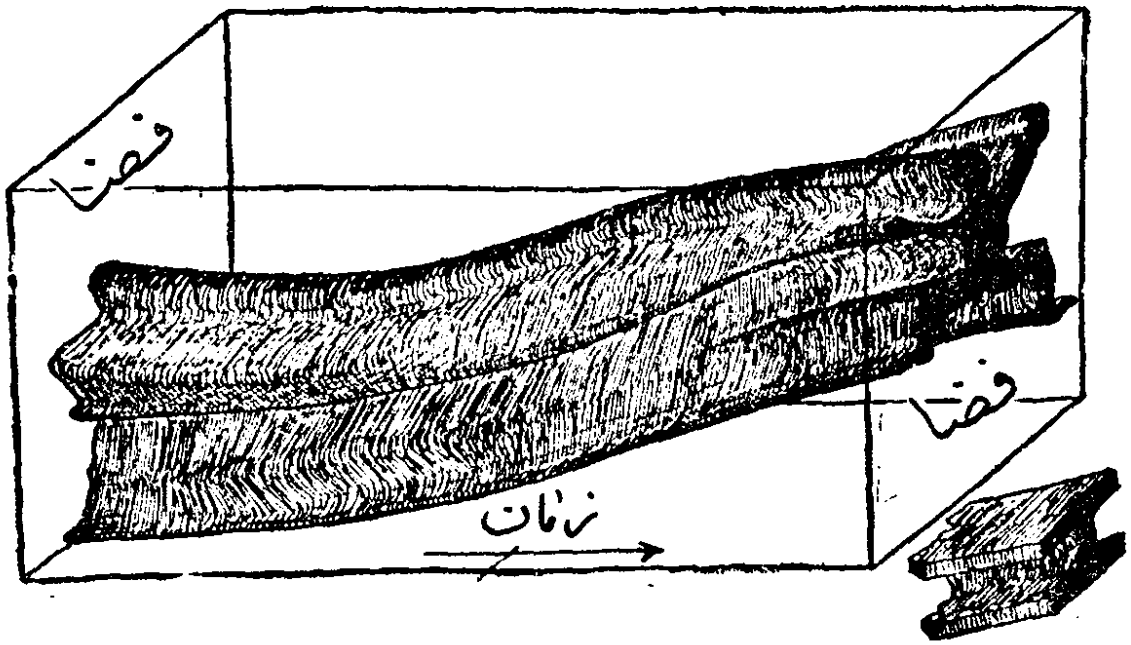
حالا شمردن تعداد اضلاع در شکل چهار بعدی ما سهل است . در حقیقت شما ۱۲ ضلع «مکانی» درآغازکار داشته‌اید و درمدت یک ماه هشت ضلع «زمانی» بآن علاوه شده و درآخر مدت باز ۱۲ ضلع مکانی دارید[1] یعنی بر رویهم ۳۲ ضلع ، بهمین نحو می‌توان ۱۶ راس قائل شد ، ۸ رأس «مکانی» در ۷ فروردین و۸ رأس در ۷ اردیبهشت . شمردن تعداد وجوه چنین مکعبی را ، که بطریق مشابه انجام می‌شود ، بعنوان تمرین بر عهدهٔ خوانندهٔ عزیز می گذاریم . درشمردن وجوه باید توجه داشت که بعضی از آنها وجوه معمولی مکعب اصلی هستند و برخی دیگر وجوه «نیمه مکانی و نیمه زمانی» که از اطالـهٔ یالهای مکعب در طـول زمان از ۷ فروردین تا

۱ــ اگراین مطلب رادرست نفهمیدید مربعی با چهار رأس وچهار ضلع در نظر بگیرید وفرض کنید که آنرا درامتداد عمود برصفحه‌اش، یعنی درامتداد سوم، باندازهٔ طول ضلعش تغییرمکان دهید .

۷ اردیبهشت بوجود آمده‌اند .

آنچه‌رادر بارهٔ مکعب چهاربعدی گفتیم می‌توان‌در بارهٔ هرشکل‌هندسی دیگر وهرشیئی مادی ، اعم از موجود یا معدوم ، گفت .

بخصوص کمی در بارهٔ خود بعنوان یك موجود چهابعدی فکر کنید ، یعنی چیزی شبیه بیك میلهٔ لاستیکی که از زمان تولد تا پایان عمر طبیعی شما کشیده شود . بدبختانه نمی‌توان اشکال چهاربعدی را روی کاغـذ رسم کرد . باینجهت در شکل ۲۹ برای تجسم این اندیشه اشخاص دو بعدی را درنظرمی گیریم وفرض‌می کنیم که امتدادزمان همان امتداد فضائی عمود برصفحه‌ای که اشخاص درآن هستند باشد . شکل ۲۹ فقط نمایندهٔ مقطع کوچکی ازتمام طول عمرموجودهای مسطح ماست. طول تمام عمررا بایستی با میلهٔ لاستیکی‌خیلی طویلتری نشان دهیم که درآغازکار ، یعنی وقتی‌انسان کودکی پیش نیست ، خیلی باریك باشد و درطی عمر هردم رشد بیشتری کند ودرزمان مرگ‌باندازهٔ ثابتی برسد(زیرا که مرده حرکت نمی کند)



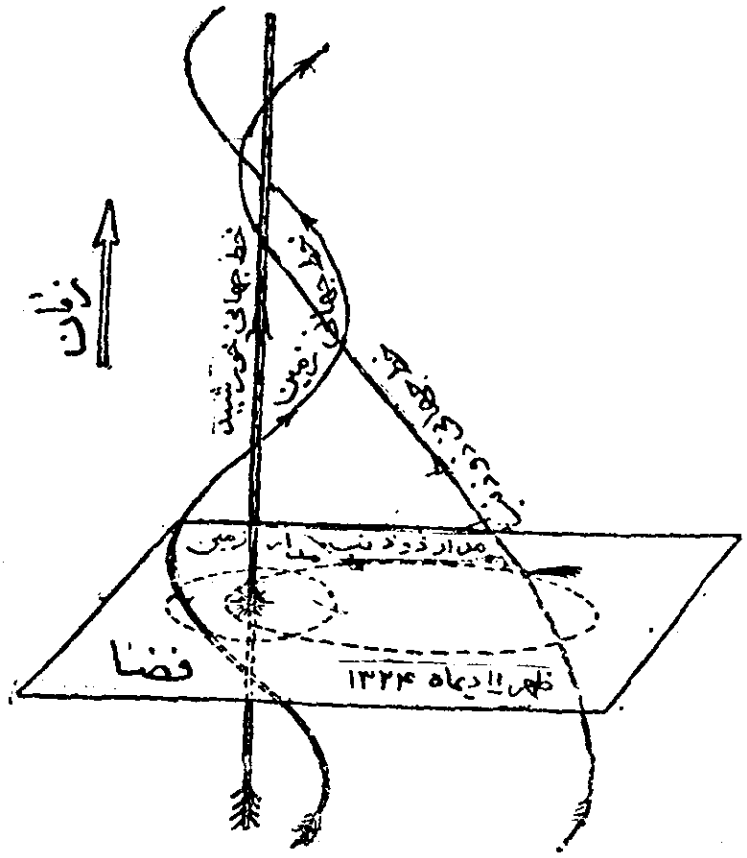
شکل ۲۹

و از آن پس بطرف نیستی سیر نماید .

سخن درست‌تر بگوئیم ، این میلهٔ لاستیکی چهار بعدی از عدهٔ بسیار زیادی الیاف جداگانه ، و هریك از آن الیاف ازاتمهای جداگانه ،تشکیل گردیده است. درسراسرعمر بیشتراین الیاف‌دائماً دسته‌دسته با هم هستند و فقط معدودی از آنها از میان می‌روند، مانند وقتی که ناخنها رابگیرند یا موها را قطع کنند . چون اتمها انهدام پذیر نیستند تجزیهٔ بدن انسان

را پس ازمرگ باید درحقیقت پراکنده شدن الیاف جداگانه در امتداد-های مختلف دانست (شاید الیافهای استخوانها ازاین قاعده مستثنی باشند).

درزبان هندسهٔ چهاربعدی «زمانی مکانی» خطی که نمایندهٔ تاریخچهٔ هر ذرهٔ مادی جداگانه‌است به «خط جهانی» آن معروف‌است. بنحو مشابه ممکن است از «نوارهای جهانی» سخن گفت که مرکب از «خطوط جهانی» تشکیل دهندهٔ یك جسم مرکب باشند.



شکل ۳۰

در شکل ۳۰ یك مثال نجومی زده شده که خطهای جهانی[1] خورشید و زمین وستارهٔ دنباله‌داری را نشان می‌دهد. اینجا هم، مانند مثال قبل که در آن صحبت از مردی که درحال جهیدن است بود، یك فضای دو بعدی (یعنی صفحهٔ مسیر زمین را) درنظر می گیریم وامتداد جهت‌دار محور زمان را بر آن عمود اختیار می کنیم. چون خورشید بی‌حرکت فرض می‌شود[2] در

۱ــ صحیح‌تر این بود که بجای خطجهانی «نوارجهانی» گفته شود اما ازجنبهٔ ستاره‌شناسی می‌توان هریك ازثوابت و سیارات را نقطه فرض کرد.

۲ــ درواقع خورشید بیحرکت نیست بلکه نسبت بستارگان ثابت حرکتی‌دارد واگربخواهیم خط جهانی‌خورشید را نسبت‌بدستگاه ثوابت رسم کنیم بایدآنرامتمایل بیکطرف ترسیم نمائیم.

این شکل خط جهانی آن با مستقیمی موازی بامحور زمان نمایش داده‌شده است . از آنجا که کرهٔ زمین برروی مسیری که خیلی نزدیك بدایره است حرکت می کند خط جهانی آن مارپیچی است که بدورخط خورشیدچرخ می‌زند حال آنکه خط‌جهانی ستارهٔ دنباله‌دار گاهی بخط خورشید نـزدیك می‌شود وزمانی از آن دورمی گردد .

می‌بینم که هر گاه از جنبهٔ هندسهٔ چهاربعدی مکانی زمانی نگاه کنیم تاریخ و جغرافیای جهان بصورت یك نواخت وهم‌آهنگی با یکدیگرممزوج می‌شوند وبایدانبوهی‌ازخطوط جهانی بهم‌تابیده را درنظر بگیریم که‌نمایندهٔ حرکت اتمهای مجزا یا جانوران ویا ستارگان هستند .

۲ـ تعادل زمان ومکان

وقتی که زمان رابه منزلهٔبعدچهارمی که کمابیش معادل سه بعدفضائی است درنظرآوریم با مسئلهٔ دشواری روبرومی‌شویم . وقتی که طول وعرض و ارتفاع را اندازه می گیریم درهرسه مورد یك واحد، مثلا ، سانتیمتر یامتر، بکار می‌بریم . اما طول‌زمان را نمـی‌توان با سانتیمتر و متر اندازه گرفت بلکه بایدازآحاد بکلی متفاوتی‌مانندثانیه وساعت استفاده کرد. این‌دونوع واحد مختلف را چگونه باهم مقایسه کنیم ؟ اگر یك مکعب چهاربعدی در نظربگیریم که سه بعد آن یعنی طول وعرض وارتفاعش یك متر باشد بعـد چهارم یعنی زمان را چقدر اختیار کنیم تا با سه بعد دیگر مساوی باشد ؟ یك ثانیه مناسبتراست یایك ساعت یا ، همانگونه که درمثالی ذکر کردیم، یك ماه ؟ یك ساعت ازیك متر بلندتراست یا کوتاه‌تر؟

در بدوامر این سئوال بی‌معنی بنظرمی‌رسد اما اگر اندکـی بیشتر تأمل کنید متوجه می‌شوید که‌طول رامی‌توان بنحو معقولی با زمان مقایسه کرد . بسیارشنیده‌اید که می گویند «ازاینجا تا خانهٔفلان با اتوبوس‌بیست دقیقه راه است» یا «فلان محل درفاصلهٔ پنج ساعت با قطار راه‌آهن است». دراین مثالها فواصل را بازمانی که‌باوسیلهٔ نقلیه‌معینی‌می‌توان‌طی کردمقایسه کرده‌ایم .

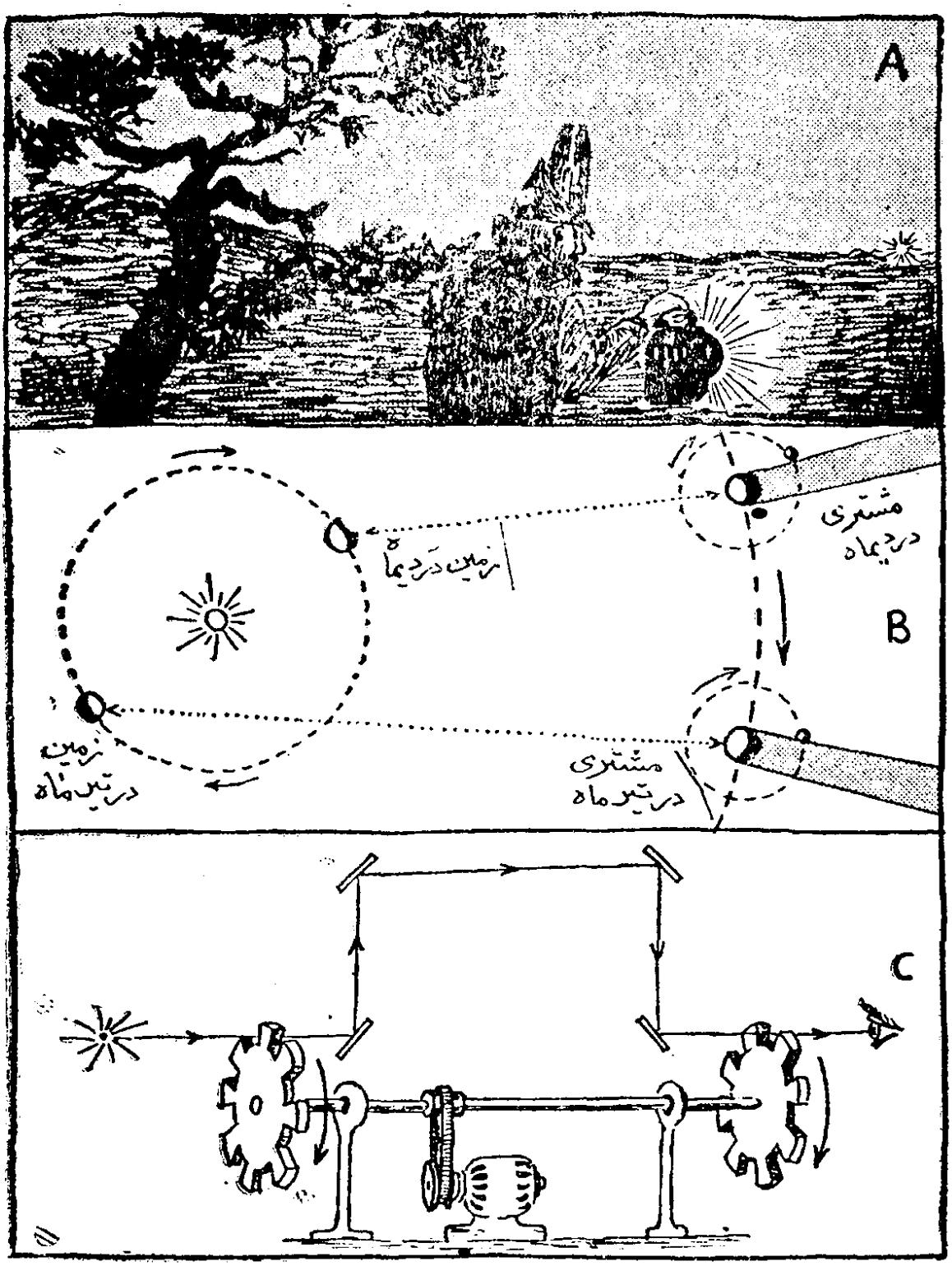
باین ترتیب اگر ممکن بود دربارهٔ « سرعت مأخذی » توافق کنیم می‌توانستیم فواصل زمانی را باواحدهای طول یا مسافتها را با واحد هـای

زمان بیان کنیم ومسلم است که «سرعت مأخذ» که باید بعنوان عامل اصلی انتقال اختیار نمود باید هم اساسی و هم کلی باشد یعنی مقدار آن بستگی به فعالیتهای بشری و وقایع طبیعی نداشته و همواره یکی وثابت باشد. تنها سرعتی که امروز در فیزیك وجود دارد ودارای کلیتی است که مورد احتیاج ما است سرعت سیر نور درخلاءِ است . حق این‌است که بجای «سرعت‌سیر نور» گفته شود «سرعت انتشارمبادلات فیزیکی» ، بدلیل آنکه هر نیروئی که براجسام مادی‌تأثیرمی‌بخشد، اعم ازنیروهای‌جاذبهٔ الکتریکی یانیروی جاذبهٔ ثقل، درخلاءباهمان سرعت انتشارپیدا می‌کنند . و بعلاوه بطوریکه بعداً خواهیم دید، سرعت نورحد نهائی سرعتهای مادی بشمار می‌رود و هیچ جسمی ممکن نیست باسرعت بیشتری درفضا سیر کند .

اولین تلاشی که برای اندازه گیری‌سرعت شد درقرن هفدهم‌میلادی بوسیلهٔ گالیله ، ریاضی دان معروف ایتالیائی ، بود . درشب تاریکی گالیله با همدستی معاون خود به کشتزارهای اطراف فلورانس رفت ، هریك از آن دوچراغ فانوسی داشت که به درمکانیکی مخصوصی مجهز بود . آن دونفردر فاصلهٔ‌چند کیلومتررو بروی یکدیگرایستادند و گالیله‌درلحظهٔ معینی‌دریچهٔ فانوس خود را بازکرد وشعاع نوری بطرف معاونش فرستاد (ش ۳۱ آ) ؛ بمعاون دستور داده شده بود که بمجرد آنکه نور چراغ گالیله را دید او هم با چراغ خود علامت بفرستد . چون مدتی لازم بود تا نور از گالیله بمعاون وازمعاون بگالیله برسد انتظار می‌رفت که بین لحظه‌ای که گالیله دریچهٔ فانوس خود را می گشاید ولحظه‌ای که نورچراغ‌معاونش را می‌بیند فاصلهٔ مختصری باشد . فاصله‌ای هم مشاهده‌شد ، اما وقتی گالیله آزمایش را دروضعی تکرار کرد که فاصلهٔ با شاگردش را دو برابر کرده بود در آن فاصلهٔ زمانی تغییری حاصل‌نکردید . چنین بنظررسید که‌سرعت نوربقدری زیاد است که برای پیمودن فاصلهٔ چند کیلومتری عملاوقتی صرف نمی‌شود و تأخیری که حاصل شده بود نتیجه آن بود که معاون گالیله نتوانسته بود که دریچهٔ فانوس خود را درست درهمان آن باز کند که نور فانوس گالیله را دیده بود، یعنی تأخیری که روی‌داده بود باصطلاح‌امروزی نتیجهٔ رفلکس، یعنی کندی انتقال دستگاههای عصبی ، بود .

هرچند آزمایش گالیله هیچ نتیجهٔ مثبتی نداد اما یکی ازاکتشافات دیگر او، یعنی کشف ماههای سیارهٔ مشتری ، وسیلهٔ اندازه گرفتن سرعت

واقعی نور را تأمین کرد . توضیح آنکه « رومر » ، منجم دانمارکی ، که بسال ۱۶۷۵ مشغول مطالعه در خسوف ماههای مشتری بود ، متوجه شد که مدت زمانی که ماه درسایهٔ سیاره قرارمی گیرد واز نظر پنهان می‌شود



شکل ۳۱

همیشه یکی نیست و گاهی درازتر و گاهی کوتاه‌تر است واین امر بستگی بفاصلهٔ مشتری از زمین دارد . رومر فوراً دریافت که این تفاوت زمان نتیجهٔ

بی‌نظمی درحرکتهای مشتری نیست بلکه نتیجهٔ آن است که چون فاصلهٔ مشتری از زمین زیاد و کم می‌شود نور از آن دیرتر یا زودتر بزمین می‌رسد . براثراین‌مطالعه وترصد ، سرعت نوردرحدود ۲۹۷۰۰۰ کیلومتر در ثانیه بدست آمد ، پس عجب نیست که گالیله نتوانسته‌بود با اسبابی که تعبیه کرده بود سرعت نور را بدست آورد ، زیرا که نور مسافت بین او و معاونش را در چند صد هزارم ثانیه می‌پیموده است .

اما آنچه را که گالیله نتوانسته بود با وسائل علمی خیلی مقدماتی بدست آورد بعد از او با اسبابهای فیزیکی خیلی ظریفتر و دقیقتر بدست آوردند . در شکل ۳۱ ج دستگاهی را که‌فیزو، فیزیك‌دان فرانسوی، بکمك آن سرعت نور را در فاصلهٔ بالنسبه کوچکی اندازه گرفته است می‌بینید . قسمت اساسی دستگاه اودو چرخ دندانه داراست که‌حول یك محور بقسمی کار گذاشته شده‌اند که اگر بموازات محور بچرخها نگاه کنیم دندانه های یکی فواصل بین دندانه‌های دیگری را سد کرده وپوشیده‌اند . باین‌ترتیب محور را بهروضعی که درآوریم هر گاه شعاع کوچك نوری را بموازات آن بتابانیم نور راه عبورنخواهد داشت . حالا فرض کنیم که دستگاه مرکب‌از این دو چرخ دندانه‌دار را بسرعت بچرخانیم . چون نوری که از وسط دو دندانهٔ چرخ اول می گذرد زمانی لازم دارد تا بچرخ دوم برسد اگر در این زمان چرخ دوم باندازهٔ نیم دندانه حرکت کرده باشد شعاع نور راه عبوری از آن خواهد یافت . در اینجا وضع عیناً مانند وضع‌اتومبیلی است که با سرعت معینی در خیابانی مشغول حرکت باشد و در آن خیابان عده‌ای چراغهای راهنمای همزمان باشند که با هم خاموش وروشن شوند . اگر سرعت دوران چرخهای دندانه دار دو برابر شود وقتی که نور بمحل سابق می‌رسد دندانهٔ دوم‌هم بآنجا رسیده و مانع عبور نور می‌شود . اما اگر بازهم سرعت دوران رابیشتر کنیم دندانهٔ دوم‌هم ازسر راه نور رد می‌شود ونور از شکاف دیگر امکان عبور خواهد داشت . باین ترتیب وقتی که سرعت دوران چرخ را که مربوط بدو عبور متوالی نور از شکاف بین دندانه‌هاست بدانیم خواهیم‌توانست که سرعت نور را حین سیر بین‌دوچرخ حساب کنیم ، بمنظور کمك به‌آزمایش و کم کردن‌سرعت دوران چرخ‌ممکن است نوررامجبور کنیم که‌بهنگام‌سیرازچرخی به چرخ دیگرمسافت‌بیشتری را طی کند . این کار بکمك آینه هائی که مطابق شکل ۳۱ ج تعبیه شده باشند صورت می‌پذیرد . در این آزمایش فیزو برای اولین بار نوری را که

ازفاصلهٔ بین دودندانهٔ چرخی که باونزدیکتر بود می گذشت وقتی توانست ببیند که دستگاه با سرعت ۱۰۰۰ دور در ثانیه می گشت. در اینجا ثابت شد که هردندانه نصف فاصلهٔ بین خود دندانهٔ دیگر را درمدتی که برای سیر نور از چرخی بچرخ دیگرلازم بود طی کرده است. چون هرچرخ ۵۰ دندانهٔ کاملا متساوی داشت فاصلهٔ بین هر دو دندانه مسلماً یك صدم محیط دایرهٔ چرخ بود وزمان لازم برای طی فاصلهٔ بین دو دندانه یك صدم زمانی بود که در آن چرخ یکدورکامل می گشت. وقتی که فیزو این محاسبه رابا مسافتی که نور بین دو چرخ طی کرده بود مربوط ساخت سرعت نور را ثانیه‌ای ۳۰۰۰۰۰ کیلومتر یافت واین عدد تقریباً همان بود که رومراز روی خسوف ماههای مشتری بدست آورده بود.

پس ازدو دانشمند مذکورآزمایشهای مستقل متعدد دیگر هم از راه فیزیکی وهم ازطریق نجومی برای تعیین سرعت نوربعمل آمد. دقیقترین نتیجه‌ای که‌تاکنون بدست‌آمده‌است سرعت نوردرفضا که معمولا به c نمایش می‌دهند چنین معین می کند:

(میل درثانیه ۱۸۶۳۰۰ =) کیلومتر درثانیه ۲۹۹۷۷۶ = c

این سرعت سرسام‌آور نورمجال آن داده است که‌آنرا مانندمعیاری برای اندازه گرفتن فواصل نجومی بکار برند زیرا که این فواصل چنان بزرگ است که اگربخواهندآنها رابا کیلومتر، یا میل، معین کنند برای نوشتنشان صفحات متعدد ضرورت‌پیدا می کند. با این معیار در هیأت گفته می‌شود که فلان ستاره از زمین در فاصلهٔ پنج «سال نوری» است، همانطور که درعرف گفته می‌شود که فلان نقطه ازنقطهٔ دیگر درفاصلهٔ پنج ساعت راه باقطارراه آهن‌است. چون در هرسال ۳۱۵۵۸۰۰۰ ثانیه‌است یك‌سال نوری مطابق‌است‌با کیلومتر ۹۴۶۰۰۰۰۰۰۰۰۰ = ۲۲۹۷۷۶ × ۳۱۵۵۸۰۰۰

با پذیرفتن «سال نوری» بعنوان واحد مسافت مادرحقیقت عملازمان را فاصله شناخته و واحدهای زمانی را برای اندازه گرفتن مسافات بکار برده‌ایم. بعکس می‌توانیم‌اصطلاح «کیلومترنوری» را بکاربیریم ومرادمان از آن زمانی باشد که برای طی یك کیلو متر لازم است. اگر این زمان را حساب کنیم رقم ۰٫۰۰۰۰۰۳۳ ثانیه بدست می‌آید یعنی یك کیلو متر نوری‌مساوی‌است‌با۳۳ده‌ملیونم‌ثانیه. بهمین‌ترتیب‌می‌توان«متر نوری» را که تقریباً مساوی۰٫۰۰۰۰۰۰۰۰۳۳ (۰٫۰۳۳ میلیاردم)ثانیه است بیان کنیم. باینوسیله می‌توانیم برای مکعب چهار بعدی که در قسمت سابق مورد بحث ما بود جوابی پیدا کنیم. هر گاه ابعاد فضائی این مکعب یك متردریك‌متر

در یك متر باشد بعد زمانی آن ۳ میلیاردم ثانیه است . اگر فرض کنیم که چنین مکعبی یکماه باقی مانده باشد باید چنین در نظر بگیریم که در امتداد بعد چهارم، یعنی محورزمان، بمقدار قابل ملاحظهٔ «یکماه» ادامه یافته و کشیده است .

۳ـ مسافت چهار بعدی

اکنون که ازمسئلهٔ مربوط بواحدهای قابل مقایسه‌ای که باید درطول محورهای زمان بکاربریم فراغ یافتیم می‌توانیم در این باره به تأمل پردازیم که درجهان‌چهار بعدی«فضازمانی»مقصودازفاصلهٔ دو نقطه‌چیست . باید بخاطر بیاوریم که درچنین حالتی ازهر نقطه‌بیك «واقعه» تعبیرمی‌شود یعنی‌ترکیبی ازموقعیت نقطه با زمان مورد نظر برای‌اینکه مطلب روشنتر و واضحتر شود بعنوان مثال ازدو « واقعه » یاد می کنیم :

واقعهٔ اول ـ درساعت ۹و۲۱دقیقهٔصبح روز ٦ مرداد ۱۳۲٤ بیانکی که مرکزش درطبقهٔاول ساختمانی‌واقع‌درمحل تقاطع خیابان پنجم وخیابان پنجاهم نیویورك بود[1] دستبرد زده شد .

واقعهٔ دوم ـ درساعت۹و۳٦دقیقهٔ صبح‌همان‌روزیك هواپیمای‌نظامی که‌راه خودرا در میان‌مه گم کرده‌بود بدیوار طبقهٔ هفتاد ونهم آسمانخراش « امپایراستیت‌بیلدینگ »[2] واقع‌درخیابان سی‌وچهارم وبین‌خیابانهای پنجم وششم نیویورك‌تصادم کرده‌فاصلهٔمکانی این‌دوواقعه‌ازیکدیگرعبارت بوداز۱٦ رشته ساختمان‌شمالی جنوبی‌ونصف یك‌رشته ساختمان‌شرقی غربی‌و۷۸طبقه ساختمان امپایراستیت وفاصلهٔ زمانی‌آنها پانزده‌دقیقه بود . البته‌برای‌بیان فاصله‌ای که درفضابین نقاط وقوع آن‌حوادث وجود دارد احتیاجی به‌در نظر گرفتن‌همهٔ خیابانهاوساختمانهای‌بین‌آن دو نقطه‌نیست‌وکافی‌است که‌بااستفاده ازقضیهٔ معروف فیثاغورس فاصله را از روی‌جذر مجموع مربع‌های مختصات بدست‌آورد(رجوع کنید بگوشه شکل ۳۲) . البته‌باید برای استفاده ازقضیهٔ مذکور نخست تمام فواصل مورد مطالعه را با واحد مشخصی معین کنیم. اگرطول یکرشته ساختمان شمالی‌جنوبی مثلا٦۰متر و طول‌یکرشته ساختمان شرقی غـربی ۲۵۰ متر و ارتفاع متوسط هر طبقهٔ آسمانخراش

---

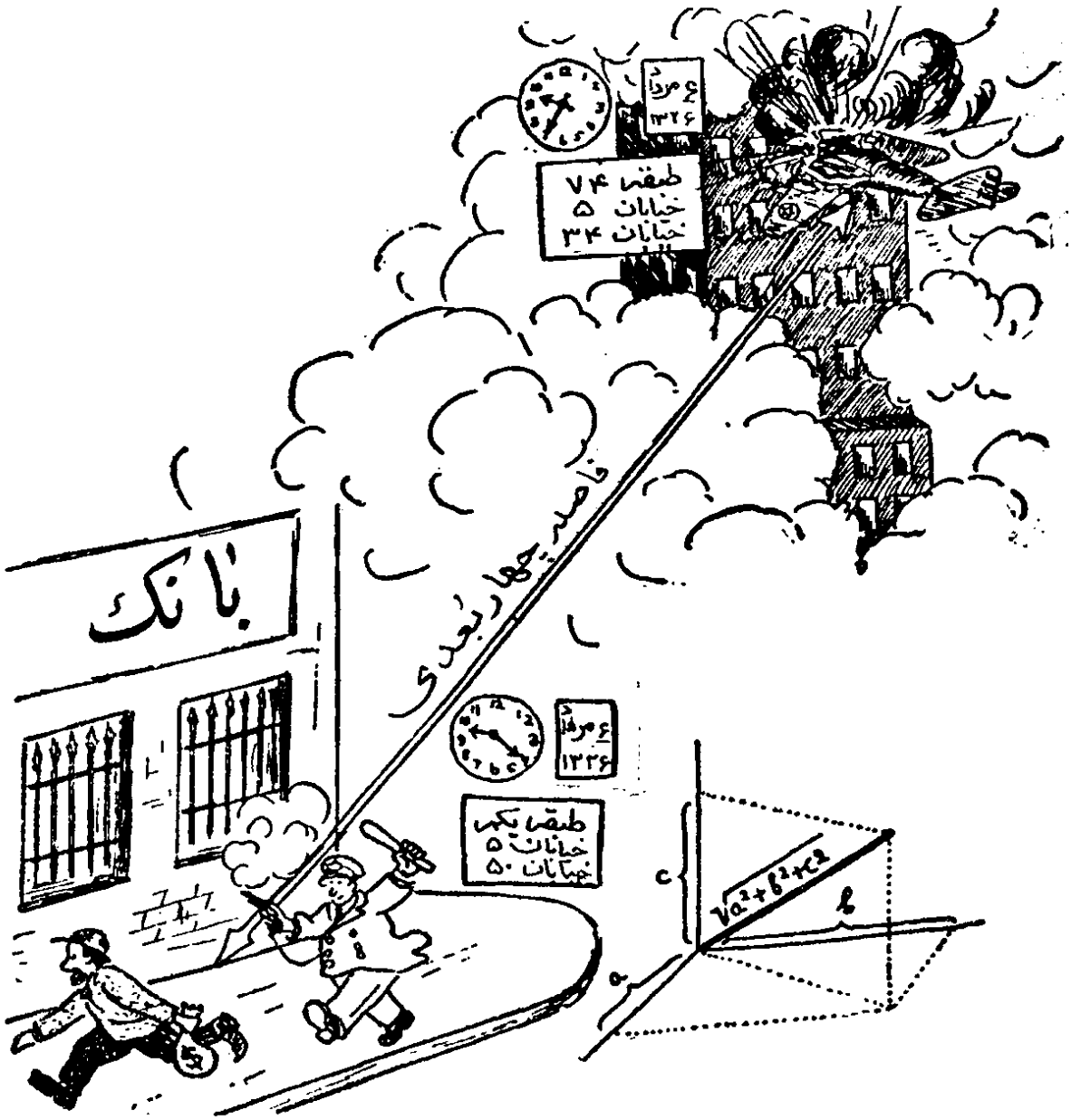
۱ ـ مثال فرضی است واگردرهمان محل‌واقعاً بانکی وجود داشته باشدامری کاملا اتفاقی است .

۲ ـ Empire State Building

« امپایراستیت بیلدینگ» ۳٫۵متر باشدفاصلهٔ نقاط وقوع دوواقعهٔ مذکور در امتداد شمال بجنوب ۹۶۰ = ۶۰ × ۱۶ متر و در امتداد شرق بغرب ۱۲۵ = $\frac{۱}{۲}$ × ۲۵۰ مترودرامتداد پائین ببالا ۲۷۳ = ۳٫۵ × ۷۸متر می‌شودوبرطبق قضیهٔ فیثاغورس فاصله رابدست می آوریم :

$\sqrt{۹۶۰^۲ + ۱۲۵^۲ + ۲۷۳^۲} = \sqrt{۱۰۱۱۷۵۴} = ۱۰۰۵٫۸$ متر

اگر مفهوم زمان بمنزلهٔ بعد چهارم عملا ارزشی داشته باشدبایدحالا بتوانیم فاصلهٔ مکانی ۱۰۰۵٫۸ متری رابا ۱۵ دقیقه‌ای که‌دوواقعه راازهم جدا

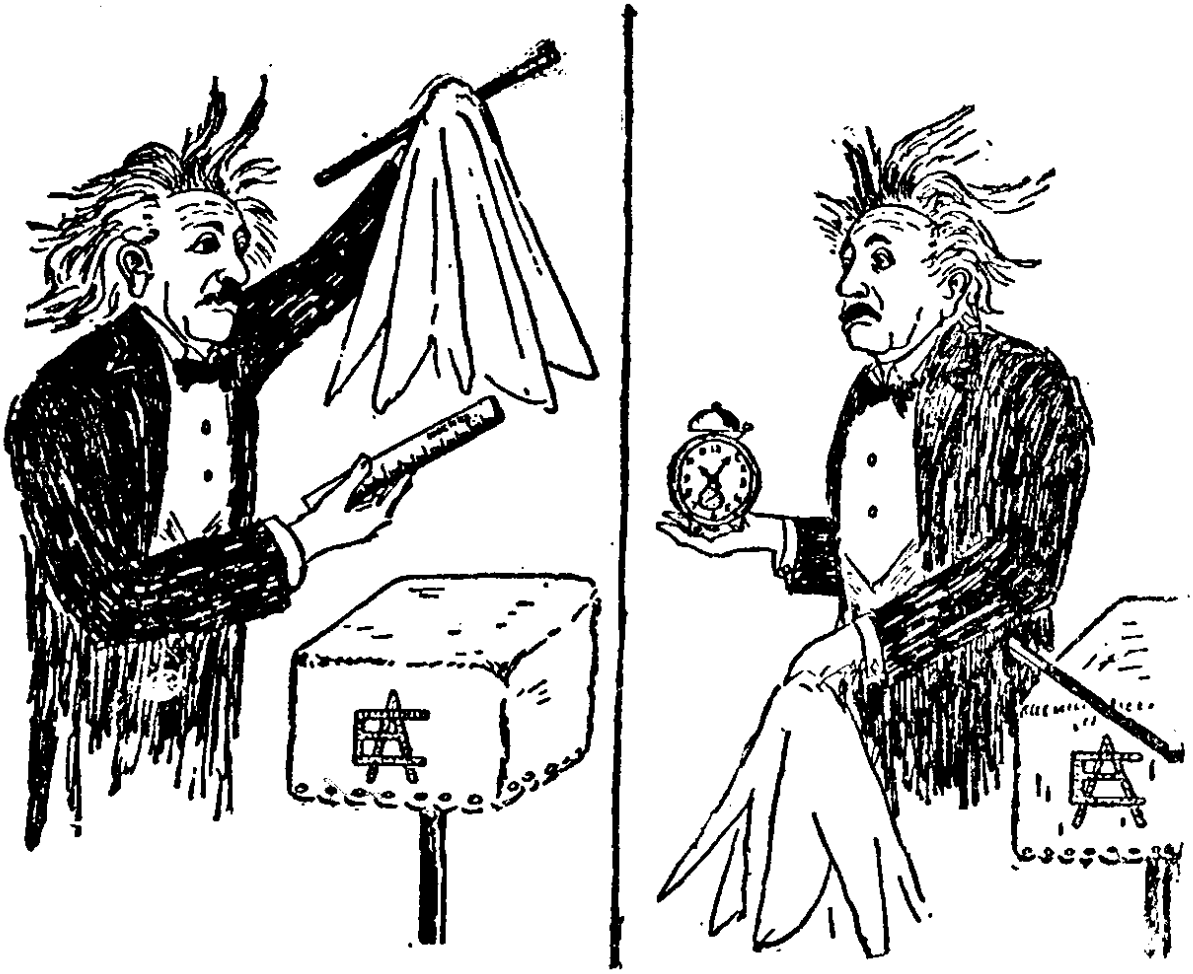


شکل ۳۲

می‌کند ترکیب کنیم وعددواحدی بدست آوریم که مبین فاصلهٔ چهاربعدی دو واقعه باشد .

برطبق عقیدهٔ ابتکاری اینشتاین عملاچنین فاصلهٔ چهار بعدی رابسادگی فقط با تعمیم قضیهٔ فیثاغورس می‌توان معین کرد واین فاصله دررابطهٔ فیزیکی بین دو واقعه نقشی مهمتر واساسی‌تر از فاصلهٔ مکانی یا زمانی بین همان وقایع دارد .

اگر بخواهیم معلومات زمانی ومکانی رابایکدیگر ترکیب کنیم البته باید همه رابایك واحد بیان نمائیم ،همانطور که تمام فواصل لازم برای تعیین فاصلهٔ مکانی نقاط را بایك واحد(یعنی متر) بیان کردیم . کمی جلو تردیدیم که این کار رامی‌توانیم انجام دهیم ، بشرط آنکه سرعت نور را عامل انتقال بدانیم وفاصلهٔ ۱۵ دقیقه‌ای بین دو واقعهٔ مذکور را با متر نوری بیان کنیم ، یعنی باعدد ۳۳۳،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰ . حال اگر قضیهٔ فیثاغورس راتعمیم دهیم باید بفکر بیفتیم که مسافت چهاربعدی را بصورت جذر مجموع مربعهای چهار مختص نقطه ، یعنی سه مختص مکانی ویك مختص زمانی ، نمایش دهیم .



شکل ۳۳

اما اگر چنین کنیم درحقیقت اختلاف بین فضا وزمان رابکلی از میان برده

و امکان تبدیل اندازه‌های مکانی را با اندازه‌های زمانی و بعکس پذیرفته‌ایم .

ولیکن تا کنون هیچ کس ، حتی اینشتاین بزرگ ، نتوانسته است که متری رادر زیر پارچه‌ای پنهان نماید وعصائی سحر آمیز را حرکت دهدو الفاظی عجیب‌ومرموزبرزبان آوردواززیر پارچه‌بجای متر یك ساعت‌شماطه‌ای درخشان خارج کند .

پس اگر بخواهیم اندازه‌های فضائی و زمانی رادر دستور فیثاغورس باهم گردآوریم باید این‌کار را بوضعی‌خاص وغیرعادی انجام دهیم تابعضی از اختلافات طبیعی آنها محفوظ بماند .

بعقیدهٔ اینشتاین‌می‌توان اختلاف طبیعی بین فواصل مکانی‌و زمانی را درفرمول فیثاغورس باین‌طریق حفظ کرد که درمقابل‌مربع زمان علامت‌منفی بکاربرد . یعنی فاصلهٔ چهاربعدی بین‌دو نقطه رابصورت جذر مجموع‌مربعهای سه‌مختص مکانی منهای مربع مختص زمـانی آن بیان کرد ، درصـورتی که البته مختص زمانی نیزبا آحاد مکانی بیان‌شده باشد .

باین ترتیب فاصلهٔ چهار بعدی بین دستبرد ببانك وتصادم هواپیما با آسمانخراش‌بادستور $\sqrt{۹۶۰^۲ + ۱۲۵^۲ + ۲۷۳^۲ - ۳۳۳\,۰۰۰\,۰۰۰\,۰۰۰^۲}$ بیان می‌شود .

علت اختلاف بسیار فاحش بین‌مقدار عددی مختص چهارم(زمانی) با سه مختص دیگر این‌است که ما مثال‌خود را اززندگی عادی روزانه اختیار کرده‌ایم وبا معیارهای زندگی روزانه واحد زمان در حقیقت بسیار کوچك وناچیز است . اگر بجای دو واقعه کـه در شهر نیویورك روی داده است از دو واقعهٔ جهانی ، که در فضای بی انتهـا روی داده بود ، صحبـت می‌داشتیم عددهای شایان توجه تری بدست می‌آوردیم . مثلا اگر واقعهٔ‌اول‌انفجاربمب اتمی درجزیرهٔ مرجانی «بیکینی»[۱] در ساعت ۹صبح روز ۱۰ تیرماه ۱۳۲۵ وواقعهٔ دوم‌سقوط یك‌سنگ‌آسمانی در کرهٔ مریخ‌درساعت ۹ و یك دقیقهٔ صبح همان روزباشد بایدفاصلهٔ زمانی ۲۰،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰ متر نوری رابا فاصلهٔ مکانی ۲۱۶،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰ متردر نظر بگیریم ودراینصورت‌فاصلهٔ‌چهاربعدی‌دو واقعه $\sqrt{۲۱۰،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰^۲ - (۲۱۶\times۱۰^۹)^۲ - (۲۰\times۱۰^۹)^۲} = ۱۵\times۱۴\times۱۰^۹$ متر می‌شود که هم بافاصلهٔ زمانی و هم با فاصلهٔ مکانی ، اگرجدا جدا در نظر گرفته شوند ، کاملا متفاوت است .

---

۱ ـ Bikini atoll

البته ممکن است بعضی اشخـاص ایرادی مقعول بگیرند و این نوع هندسه را ، که درآن دستگاهی باشد که طرزعمل یکی ازمختصاتش باطرز عمل سه‌مختص‌دیگر تفاوت اساسی داشته باشد ، غیرمنطقی بدانند امانباید فراموش کنند که هر دستگاه ریاضی که برای توضیح وضعی از جهان مادی وضع می‌شود باید بامنظور وهدفی که درپیش است مناسب باشد . وچون‌فضا وزمان در ارتباط چهاربعدی‌خودبایکدیگر تفاوت بارزدارند طرح‌وقواعـد هندسهٔ چهاربعدی هم ، که مربوط بآنهاست ، بایدمناسب‌آنها باشد . بعلاوه درمان‌ریاضی‌ساده‌ای‌وجوددارد که هندسهٔ «فضازمانی» اینشتاین را بصورت هندسهٔ قدیمی اقلیدس که در مدرسه آموخته و با آن خوی گرفته ایم در می‌آورد . این درمان را ریاضی‌دان آلمانی‌بنـام **مین کوسکی**[۱] یافته‌است وعبارت ازآن‌است که مختص چهارم‌رامقداری کاملا موهوم فرض کنیم .لابد بیاد دارید که در فصل دوم این کتاب گفتیم که‌هر عدد معمولی را که‌در ۱- ضرب کنند عددی موهوم بدست می‌آید وعدد های موهوم با وضعی مناسب در حل مسائل گوناگون هندسی بکار می‌روند . بعقیدهٔ مین کوسکی برای اینکه زمان بعد چهارم محسوب شود نه تنها باید باواحد های فضائی بیان گردد بلکه باید در ۱- ضرب شود .باین ترتیب چهار مختصی که مربوط بمسئلهٔ مورد بحث ما هستند عبارتند از :

مختص اول :	۹۶۰ متر
مختص دوم :	۱۲۵ متر
مختص سوم :	۲۷۳ متر
مختص‌چهارم:	$۱۰^۹ \times ۳۳۳$ متر نوری

و حالا می‌توانیم فاصلهٔ چهار بعدی را بصورت جذر مجموع مربعهای هر چهار مختص بیان کنیم . در حقیقت چون مربع هر عدد موهوم همیشه منفی‌است مختصات مین کوسکی که بصورت عبارت فیثاغورسی بیان می‌شود از نظر ریاضی معادل است با مختصات اینشتاین که بظاهر برخلاف منطق ریـاضی است .

داستانی‌از پیرمردمبتلابروماتیسمی‌نقل می‌کنند که ازدوست‌تندرستی پرسید که برای احتراز از بیماری روماتیسم چه‌می‌کند .

دوستش‌جواب داد: «درتمام‌عمرهرروزصبح زیردوش آب سردمی‌روم .»

پیر مرد با تعجب گفت : « عجب ! پس‌شما مبتلا بمرض دوش آب‌سرد هستید ! »

---

۱ - Minkowsky

بسیار خوب ، اگر شما هم قضیهٔ بظاهر روماتیسمی اقلیدسی رادوست نداشته باشید بجای آن بدوش آب سرد مختصات موهوم مبتلاشوید .

موهوم بودن مختص چهارم درجهان «فضا زمانی» ایجاب می کند که از جنبهٔ فیزیکی دو نوع مختلف فواصل چهار بعدی درنظر بگیریم .

درواقع در حالاتی نظیر دوواقعهٔ مورد بحث که درنیویورك روی داده و در آن فاصلهٔ مکانی سه بعدی بین دوواقعه ازحیث عدد کوچکتر است ازفاصلهٔ زمانی بین آندو (که با واحد های مناسب بیان شده باشد) عبارت رابطهٔ فیثاغورس که در زیر رادیکال است منفی است **و برای فاصلهٔ چهار بعدی عددی موهوم بدست می آید** . در برخی حالات دیگر فاصلهٔ زمانی کوچکتر از فاصلهٔ مکانی است و در زیر رادیکال عدد مثبت بدست می آید یعنی **فاصله چهار بعدی بین دوواقعه عددی است حقیقی** .

چون ، همانطور که بالاتر گفتیم ، فاصلهٔ مکانی راباید حقیقی وفاصلهٔ زمانی را کاملا موهوم دانست باید بگوئیم که فاصله های چهار بعدی وقتی که حقیقی باشند بیشتر بستگی بفواصل معمولی مکانی دارند ووقتی که مجازی باشند بیشتر بفواصل زمانی . اگر اصطلاحاتی را که مین کوسکی وضع کرده است بپذیریم فواصل چهار بعدی نوع اول رامکانی (بآلمانی راومارتیك)[۱] ونوع دوم رازمانی (بآلمانی تسایتارتیك)[۲] می نامیم .

در قسمت بعد خواهیم دید که می توان جدائی مکانی را بفاصلهٔ منظم فضائی وجدائی زمانی را بفاصلهٔ منظم زمانی تبدیل کرد . اما این مطلب که یکی از آندوبا عددی حقیقی ودیگری باعددی موهوم بیان می شودسدی غیر قابل عبوردرمقابل تبدیل آنهابیکدیگر بوجود آورده است ومانمی توانیم متر رابساعت وساعت رابمتر تبدیل کنیم .

---

۱ ـ Raumartig

۲ ـ Zeitartig

نسبی بودن فضا و زمان

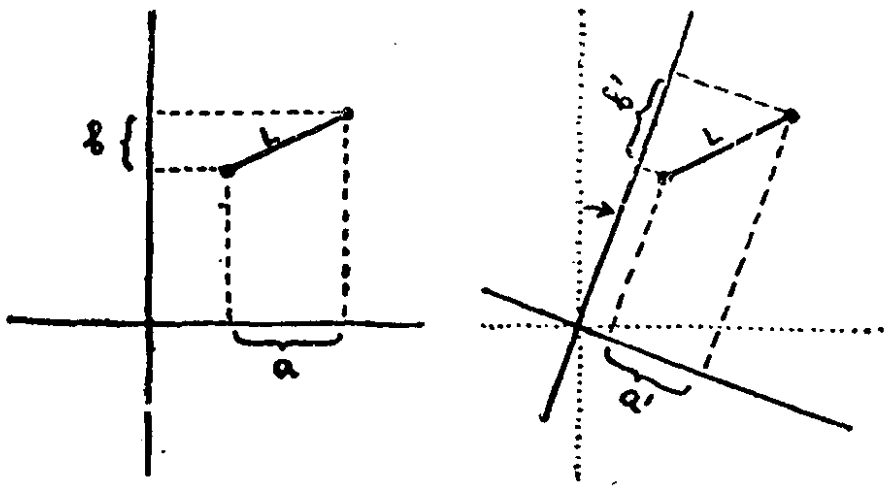
۱ ـ تبدیل فضا بزمان و بعکس .

هرچند که مساعی ریاضی دانان برای اثبات وحدت فضا وزمان در قالب یك جهان واحد چهاربعدی اختلافهای بین فضا وزمان راکاملا ازمیان نبرده است امابی‌شبهه شباهتی که‌بین این دومفهوم برقرار ساخته‌است‌خیلی بیشتر ازآن است که در فیزیك پیش از اینشتاین بود . درحقیقت **اکنون باید فواصل مکانی وفواصل زمانی بین وقایع مختلف را تصاویر فاصلهٔ اصلی چهار بعدی آن وقایع بر روی محور فضا ومحور زمان دانست بقسمی که نتیجهٔ‌دوران‌محورهای‌متعامد چهاربعدی تبدیل جزئی فواصل‌مکانی بفواصل‌زمانی وبعکس باشد .** اماباید دید مقصود ازدوران محورهای متعامدچهاربعدی فضا زمانی‌چیست ؟

نخست دو محورعمود برهم‌مختصات مکانی ودونقطه‌بفاصلهٔ 1ازیکدیگر درنظر می‌گریم (ش ۳٤آ) . فرض می‌کنیم‌چون این‌فاصله رابرروی‌محورها تصویر کنیم فاصلهٔ دونقطه درامتداد محوراول a سانتیمتر ودر امتداد محور

دوم b سانتیمتر باشد . حال اگر دستگاه مختصات راحول نقطهٔ تقاطع دو محور باندازهٔ زاویه ای دوران دهیم (ش۳٤ ب) تصویرهای فاصلهٔ l بر روی دو محور جدید دومقدار a′ b′ می‌شود . اما بموجب قضیهٔ فیثاغورس که «مربع وتر مثلث قائم الزاویه مساوی مجموع مربعهای دو ضلع آن‌است » مجموع مربعهای تصویرها در هردو حال یکی است زیرا که باوجود دوران محورها فاصلهٔ واقعی بین دو نقطه تغییری نکرده است . پس

$$\sqrt{a^2+b^2}=\sqrt{a'^2+b'^2}$$



a ش ۳٤ b

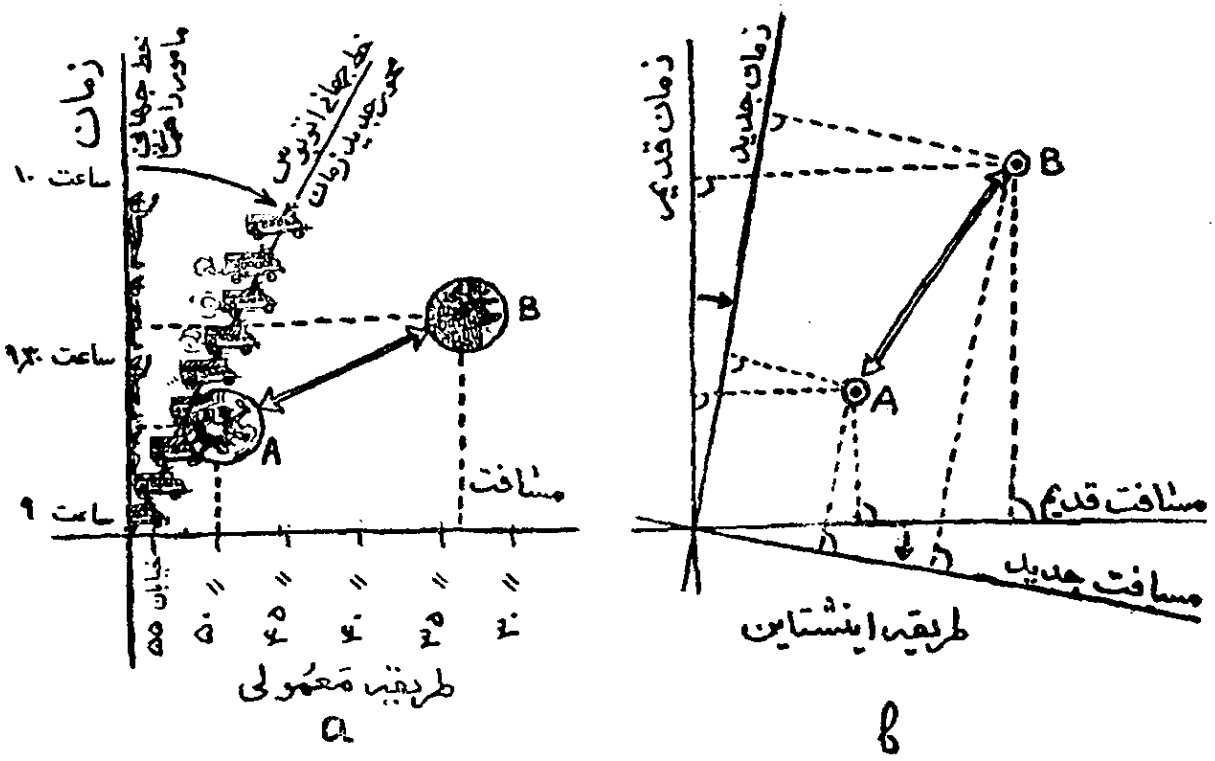
می گوئیم که جذر مجموع‌مجذورهای تصویر درصورت دوران محور‌های مختصات **تغییر ناپذیر** است درصورتی که‌مقدار هرتصویر تغییر پذیر وتابع دستگاه مختصات است .

حالا دومحورمتعامد درنظر می گیریم که یکی نمایندهٔ فاصله ودومی نمایندهٔ زمان باشد . دراین صورت دو نقطهٔ ثابتی که در مثال پیشین گفتیم مبدل بدو واقعهٔ معین می‌شوند و تصویرهای بردو محور مختصات بترتیب فاصلهٔمکانی وفاصلهٔ زمانی آن دو واقعه رانشان می‌دهند . اگر دوواقعه‌ایرا که دربخش پیشین دربارهٔ آنها بحث کردیم ، یعنی دستبرد به بانك وتصادم هواپیما را ، در نظربگیریم می‌توانیم شکل ۳۵ آ را که خیلی شبیه به‌شکل ۳٤ آ است‌رسم کنیم .

حالا برای دوران دادن محور چه‌باید بکنیم ؛ جواب این پرسش بر خلاف انتظار،حتی گیج کننده ، است: « اگرمی‌خواهید محورهای فضازمان

رادوران دهید سوار اتوبوس شوید» .

بسیار خوب ! فرض کنید که براستی در روز سوم مرداد درطبقهٔفوقانی اتوبوس دوطبقه‌ای نشسته واز «خیابان پنجم» بطرف پائین می‌رفته ایم . به غریزهٔ خودپسندی بایستی علاقمند بوده باشیم که بدانیم دستبرد ببانك یا



شکل ۳۵

تصادف هواپیما درچه فاصله از اتوبوس ما روی داده است تالا اقل بدانیم که آیا می‌توانسته ایم ناظر این وقایع باشیم یانه .

اگر درشکل ۳۵ آ ، که درآن علاوه برواقعه های دستبرد وتصادف ، اوضاع متوالی «خطجهانی» اتوبوس هم نمایش داده شده است ، دقیق‌شوید متوجه خواهید شد که در اینجا فواصل با آنچه که بنظر پاسبانی که در گوشه ای ایستاده بوده می‌رسیده است تفاوت دارد . چون اتوبوس در طول خیابان حرکت می‌کرده ومثلادرهرسه دقیقه ازیك رشته ساختمان می گذشته است (ازاین سرعت کم تعجب نکنید ، عبور ومرور در نیویورك آنقدر زیاد است که چنین سرعتی بعید نیست) فاصلهٔ مکانی بین دوواقعه درنظر کسی که در اتوبوس بوده کوچکتر می‌شده‌است .درحقیقت چون‌در ساعت۹و ۲۱ دقیقه که دستبرد ببانك وقوع یافته اتوبوس از خیابان پنجاه و دوم عبور می‌کرده فاصلهٔ آن‌ازواقعهٔ دستبرد دورشته ساختمان بوده است ودر

ساعت ۹ و۳۶ دقیقه که هوا پیما باعمارت تصادف کرده اتوبوس در خیابان چهل وهفتم بوده و از محل واقعه ۱۴ رشته ساختمان فاصله داشته است . پس باین نتیجه می‌رسیم که اگر فاصلهٔ دو واقعه را نسبت به ساختمانهای شهر مقایسه کنیم فاصلهٔ آنها ۱۶ = ۳۴ـ۵۰ رشته ساختمان بوده و در صورتی که فاصله را نسبت باتوبوس مقایسه کنیم ۱۲ = ۲ـ۱۴ رشته ساختمان از یکدیگر فاصله داشته‌اند . چون بار دیگر به شکل ۳۵ آ نگاه کنیم می‌بینیم که اگر فواصل را از نظر ناظری که در اتوبوس است مورد توجه قرار دهیم نباید آنها را ازمحور قائمی که خط جهانی پاسبانی است که در یك نقطه متوقف است اندازه بگیریم بلکه بایدازخط موربی که نمایندهٔ خط جهانی اتوبوس است محسوب‌داریم بقسمی که درحقیقت این‌خط بمنزلهٔمحور جدید زمان بشمار می‌آید .

مطالبی راکه بزبان عامیانه گفتیم می‌توان دراین‌عبارت‌خلاصه کرد: برای اینکه منحنی نمایش وقایع رانسبت بمحورهای زمان ومکان وازدریچهٔ چشم کسی که‌درحال‌حرکت‌است‌ترسیم‌کنیم‌باید محورمکان‌راثابت‌نگاهداریم ولی محور زمان را باندازهٔ زاویهٔ معینی (که بستگی بسرعت حرکت‌دارد) دوران دهیم .

این عبارت که از جنبهٔ فیزیك کلاسیك ، و باصطلاح «عقل سلیم» ، کاملا صحیح است بااندیشه های نوینی که از جهان چهار بعدی فضا زمانی در فکر ما راه یافته است مباینت صریح دارد . در حقیقت هر گاه زمان را مختص مستقل چهارم انگاریم باید **محور زمان همواره بر سه محور مختصات‌فضائی عمود باشد** وبستگی بآن نداشته باشد که ما دراتوبوس هستیم یادر راه آهن یا بر روی زمین قرار داریم .

دراین مورد ما بناچار بایدازیکی از این دوطرز فکر پیروی کنیم : یا بآنچه سابقاً دربارهٔ فضا وزمان قرار داده شده بود معتقد وعلاقمندبمانیم واز هر نکتهٔ جدیدی دربارهٔ هندسهٔ فضا زمانی انصراف حاصل کنیم یا بـا آنچه «عقل‌سلیم»حکم می‌کند قطع ارتباط نمائیم وفرض کنیم که درمنحنی نمایش فضا زمانی **محورزمان هم بایدباندازهٔ‌محور مسافات دوران کند بقسمی که‌همواره برآن عمود بماند** (شکل ۳۵ ب)

امـا همانطور که تعبیر فیزیکی‌دوران محور زمان اینست که **فاصلهٔ مکانی دوواقعه ، درنظر ناظری متحرك‌و ناظری ساکن ، مقادیر مختلف‌دارد (۱۲ رشته و۱۶رشتهٔ ساختمان درمثال قبل)**اگرمحور

مسافات را دوران دهیم معنی آن این خواهد بود که **فاصله زمانی دو واقعه از نظر شخصی که درحال حرکت است و شخصی که در نقطه ای از زمین متوقف باشد تفاوت می کند .** باین ترتیب اگر فاصلهٔ زمانی بین دستبرد بیانك و تصادم هواپیما مطابق ساعت شهرداری ۱۵ دقیقه بوده باشد این فاصله مطابق ساعت مچی یکی از مسافران اتوبوس جز آن خواهد بود وسبب اختلاف آن نیست که دستگاههای مکانیکی که ساعتها را می گردانند نقص داشته باشند بلکه سبب آن است که **در وسایط نقلیه ای که باسرعت-های مختلف در حرکت باشند زمان باسرعتهای مختلف جریان پیدا می کند و دستگاه مکانیکی که زمان را ثبت می کند و نشان می دهد بهمان نسبت کند می شود** ، هرچند باسرعت کمی که اتوبوس دارد این تاخیر بقدری ناچیز است که مشهود نیست (درهمین فصل در بارهٔ این پدیده مفصلتر صحبت خواهیم کرد) .

بعنوان مثالی دیگر مسافری را در نظر می گیریم که در واگن غذا-خوری قطار راه آهنی مشغول صرف غذا باشد . نسبت بمستخدم این واگن مسافر ما اول و آخر غذای خود را در یك نقطه صرف می کند (مثلا در کنار میز سوم نزدیك پنجره) ، اما نسبت بدو سوزن بان راه آهن که از کنار راه بقطار نگاه می کنند واولی درموقع شروع غذا ودومی درپایان آن بمسافر می نگرند دو واقعهٔ شروع و ختم غذا در دو نقطه بفاصلهٔ چند کیلومتر از یکدیگر وقوع می یابند ، پس می توانیم بگوئیم که : **دو واقعه که در نظر ناظری در یك مکان اما در دو زمان مختلف روی دهند در نظر ناظران دیگر که وضع یا اوضاع مکانی دیگری داشته باشند درمکانهای مختلف وقوع می یابند .**

ازجنبهٔ تعادل فضا زمانی می توانیم درجمله ای که بالاتر گفتیم کلمهٔ « مکان » را به «لحظه» و «لحظه» را به « مکان » تبدیل کنیم وعبارت را چنین بخوانیم : **دو واقعه که در نظر ناظری دریك لحظه و دردو مکان مختلف روی دهند در نظر ناظر دیگری که وضع مکانی دیگری داشته باشد در زمانهای مختلف وقوع می یابند .**

اگر بهمان مثال واگن غذا خوری قطار راه آهن رجوع کنیم باید انتظار داشته باشیم که مثلا پیشخدمت واگن سوگند یاد کند که دو مسافری که در دو انتهای واگن نشسته بودند سیگارهای خود را درست دریك لحظه آتش زدند اما کارگر سوزنبانی که بیحرکت در کنار خط ایستاده واز پنجره

بدرون واگن نگاه‌می‌کند موکداً اظهاردارد که یکی ازدونفر مسافرسیگار خود رازود تر از دیگری آتش‌زده است .

باین ترتیب **دوواقعه که درنظر ناظری باهم روی داده اند ممکن است درنظر ناظر دیگری‌چنان نمایدکه مدتی بینشان‌فاصله بوده است .**

اینها نتایج اجتناب ناپذیر هندسهٔ چهاربعدی است که **درآن‌زمان و مکان فقط تصویرهای یك‌مقدار لایتغیراند برروی محورهای مربوط .**

۴ ـ باداثیرو سفرشعرای‌یمانی

اکنون ازخود می‌پرسیم که‌آیا فقط‌هوس‌بکاربردن زبان هندسهٔ‌چهار‌ـ بعدی برای تغییرات انقلابی بزرگی که در مفهومهای کهنسال و بی آزار فضا وزمان وارد ساخته ایم دلیلی موجه است ؟

هرگاه‌باین پرسش‌جواب مثبت‌بدهیم درحقیقت‌باتمام دستگاه‌فیزیك کلاسیك ، که بنیانش بر تعریفهائی استواراست که دوقرن ونیم پیش‌اسحق نیوتن بزرگ ازفضا وزمان کرده سرناسازگاری‌داریم . نیوتن می‌گوید که «اگر فضای مطلق بخودی خود وبدون هیچ‌رابطه ای باهیچ شیئی خارجی‌در نظر گرفته شود پیوسته یك سان و بی‌حرکت خواهد ماند » و «زمان مطلق وحقیقی ریاضی‌بخودی خود وبه‌تبعیت از طبیعت خویش وبی ارتباط باآنچه درخارج آن‌است بنحوی یکنواخت جریان می‌یابد » . وقتی که نیوتن این دوعقیده را گفت ونوشت مسلماً تصور نمی‌کرد که چیز تازه یا مطلب قابل بحثی را عنوان می‌کند بلکه فقط منظورش‌این بود که مفهوم زمان وفضا را بصورتی که درنظر هرصاحب عقل‌سلیمی تجلی می‌نمود بازبانی علمی‌وصریح بیان کند . درحقیقت ایمان به‌صحت این‌عقاید کلاسیك بحدی راسخ بود که فیلسوفان آنها را « **بدیهی و مسلم** » می‌دانستند و بخاطر هیچ اهل‌علمی (تاچه رسد بمردم‌عامی) خطور نمی‌کرد که این عقایدممکن است نادرست بوده احتیاج بمطالعه و مداقهٔ دیگری‌داشته باشد . پس‌چرا ما اکنون‌مسئله رااز نوطرح کرده ومورد بررسی قرار داده ایم ؟

جواب اینست که ترك و طرد عقاید فیزیك کلاسیك دربارهٔ فضـا و زمان ویکی کردن آنها در یك تصویر واحد چهار بعدی نه‌نتیجهٔ هوس ومیل اینشتاین به « زیبائی شناسی » بود ونه‌نتیجهٔ ضرورت تجلی نبوغ ریاضی او،

بلکه اثروجود حقایق مسلمی بود که پیوسته ازخلال تتبعات وتحقیقات تجربی ظاهرمی گردید و با مفاهیم کلاسیك فضا وزمان مستقل ازیکدیگر سازگار نبود .

اولین ضربتی که باساس وبنیان دژ زیبای فیزیك کلاسیك ، دژی که بنظر فنا ناپذیرمی رسید ، واردآمد ، ضربتی که هر سنگ بنیان این دژ را تکان داد وحصارآنرا ازبن برافکند . نتیجهٔ یك آزمایش بظاهر ساده وبکلی «بی‌داعیه ای» بود که یك‌فیزیك دان آمریکائی‌بنام مایکلسن [۱] بسال۱۸۸۷ میلادی (۱۲۵۵ یا ۱۲۵۶ شمسی هجری) انجام داد . اساس فکری آزمایش مایکلسن بسیار ساده است‌وبر این‌فرض فیزیکی استوار است که‌نور بوسیلهٔ امواجی‌نشرمی‌یابد که در «اثیرناقل نور» سیرمی‌کنند . این اثیرماده‌ای فرض‌می‌شد که سراسر فضای‌بین ستارگان ، ونیز فواصل بین اتمهای‌اجسام مادی ، را پر کرده‌بود .

سنگی‌دراستخری‌بیندازید ، خواهیددید که امواج آب‌تشکیل‌می‌شوند وبهر طرف پراکنده‌می گردند . نوری که ازجرم روشنی‌برمی‌خیزد وصوتی که از دیاپازن مرتعشی خارج می‌شود نیز بصورت امواج نشر می‌یابند و پراکنده می‌شوند . اما مسلم است که امواج سطح استخر نمایش حرکت ذرات آب است و امواج صوت نتیجه ارتعاش هوا یامواد دیگری است که صوت درآنها سیرمی‌کند ، درصورتی که ملائی که‌نقل امواج نوردرآن‌میسر شود شناخته نشده بود زیرا که درحقیقت فضائی که نور درآن بابن‌سرعت‌و سهولت (برخلاف صوت) سیرمی‌کند بکلی‌خالی‌بنظر می‌رسید .

اما چون در جائیکه ملائی برای‌ارتعاش وجود نداشته باشدصحبت از ارتعاش کردن برخلاف منطق است فیزیك دانان ناچار شدند که هرجا که‌صحبت از انتشار نور بود ملاء خاصی بنام « اثیر ناقل‌نور» فرض کنند تا درحقیقت از جنبهٔ دستور زبان فاعل فعل « بارتعاش درآمدن » محسوب شود . اگر فقط دستور زبان را ، که برطبق آن برای‌هرفعلی فاعلی‌ضرورت قطعی دارد ، در نظر بگیریم شاید نتوان وجود « اثیر ناقل نور » نور را انکار کرد . اما ــ وچه « اما» ی مهمی ــ قواعد دستور زبان معرف خواص فیزیکی‌اسمهائی که دریك «جمله درست» وجود دارد نیستند و نمی‌توانند باشند .

اگر بگوئیم‌نور عبارت است ازامواجی که در«اثیر نور» سیرمی‌کنند

---

۱ ـ Albert Abraham Michelson فیزیك دان آلمانی که تبعیت آمریکا را پذیرفت (۱۸۵۲ تا ۱۹۳۱)

وبرای شناساندن «اثیر نور» بگوئیم که **آن‌چیزی** است که امواج نوردر آن‌سیر می‌کنند مطلبی کاملا صحیح گفته ایم امادرعین حال«حشوی‌قبیح» بکار برده ولفاظی‌بیهوده ای کرده ایم . دانستن اینکه « اثیر نور » چیست مسئله ایست و اینکه خواص فیزیکی آن کدام است مسئله ای دیگـر . در اینجا دیگر دستور زبان گرهی از مشکل مـانمی گشاید وجواب راباید از علم فیزیك خواست .

بطوریکه در بحث آینده خواهیم دید بزرگترین خطای فیزیك‌قرن نوزدهم آن بود که فرض می‌کرد خواص فیزیکی اثیر نور همانند خـواص موادی است که در اطراف ما هستند و با آنها آشنائی داریـم . از سیال بودن ، سخت بودن ، خواص ارتجاعی گونـاگون داشتن اثیر نور و حتی‌ازاصطکاك داخلی آن‌صحبت‌می‌شد . مثلا این‌حقیقت که‌اثیر نور ازیکطرف در انتقال نورمانند جسمی جامد عمل‌می‌نماید وارتعاشات را نقل می‌کند [1] واز طرف دیگر جسمی کاملا سیال‌بنظـر می‌رسد و کوچکترین مقاومتی در مقابل حرکات اجرام‌سماوی نشان نمی‌دهد باین‌صورت تعبیر می‌شد که‌آنرا با موادی مانند لاك مهر کاغذ مقـایسه کنند . لاك ومواد دیگری که مشابه آنند در حقیقت بسیار سخت هستند ودر مقابل نیرو های مکانیکی که تأثیر سریع داشته باشند مرتعش می‌شوند اما اگرمدتی درازبحال خود بمانند درتحت تأثیر وزن خود مانند عسل سیلان می کنند . درنتیجهٔ این‌شباهت فیزیك قدیم معتقد شده بود که اثیری که تمام فضای بین ستارگان را پر کرده است درمقابل هرخلجان بسیارسریع مانند سیر نور خاصیت‌جامدات را ابراز می‌دارد ولی درمقابل‌حرکت ستارگان ثابت وسیار ، که سرعتشان هزاران بار ازنور کمتراست مانند مایعات عمل می‌کنند .

اینگونه نظر که سعی می‌کرد برای چیزی که بکلی مجهول بود و جز اسمی‌ازآن‌نمی‌دانستند خواص مواد متعارفی راقائل شود ازهمان آغاز کارخوب‌استقبال‌نشد . وباوجود کوششهای‌بسیارهیچ‌تعبیرمکانیکی قابل‌قبولی ازاین ناقل مرموزنورمیسر نگردید .

امروز بااطلاعاتی که بدست آورده ایم بآسانی سبب بی‌نتیجه بودن این کوششهارادرك می‌کنیم . درحقیقت امروزمی‌دانیم که‌همهٔ خواص‌مکانیکی

---

۱ ـ ثابت شده بود که ارتعاشات اثیر درمورد امواج نورنسبت بامتداد سیر نور عرضی است. در مواد متعارفی ارتعاش عرضی فقط در جامدات‌مشهود است ودر مایعات وگازهای ارتعاشات طولی است یعنی در امتداد سیر موج وقوع می‌یابد .

مواد را می‌توان به فعل و انفعال بین اتمهائی که مواد را تشکیل داده اند منسوب دانست . مثلا خاصیت سیلان شدید آب و ارتجاع لاستیك و سختی الماس نتیجهٔ آن‌است که ملکولهای آب می‌توانند بدون اصطکاك زیاد از پهلوی یکدیگر بلغزند و ملکولهای لاستیك می‌توانند بآسانی تغییر شکل دهند واتمهای کربنی که بلورالماس‌راتشکیل می‌دهندبسیارسخت‌بیکدیگر چسبیده وجسمی بسیار استواربوجود آورده اند . باین ترتیب دیده‌می‌شود که تمام خواص مکانیکی مواد مختلف معلول ساختمان اتمی آنهاست اما این‌قاعده رانمی‌توان بمادهٔ کاملا مداومی مانندتاثیر نور بافرضی که دربارهٔ ساختمان‌آن کرده بودند اطلاق کرد ودر بارهٔ آن‌صادق دانست .

اثیر نورماده ای‌ازنوعی خاص است که هیچ‌گونه شباهتی بآنچه‌مانند موزائیکی ازاتم است وما آنرا ماده می‌نامیم ندارد . ممکن است اثیرنور را « ماده » بنامیم تا از نظر دستور زبان برای فعل « مرتعش شدن » فاعلی داشته باشیم یا آنرا « فضا » بنامیم ، البته با توجه باینکه مطابق آنچه‌قبلا دیدیم‌و بعداًهم خواهیم‌دیدفضا یك‌خصوصیات ومشخصات ترکیبی‌وساختمانی دارد که‌آنرا بسیارپیچیده ترازفضائی‌می‌سازد که‌مفهومش ازهندسهٔ اقلیدسی در خاطر ها نقش بسته است . در حقیقت باید گفت که در فیزیك جدید « اثیرنور » (که‌از تمام‌خواص مکانیکی که بآن اسناد داده‌شده بودخلع‌شده باشد) و«فضای فیزیکی» مرادف یکدیگرند .

اما تجزیه وتحلیل‌حکمتی وفلسفی «اثیرنور» مارا زیاد ازاراه‌منحرف ساخت واکنون بایدبموضوع آزمایش مایکلسن‌باز گردیم . همچنانکه‌پیشتر گفتیم فکری که اساس این آزمایش است بسیار ساده است : اگر نور عبارت از امواجی باشد که در اثیر سیر می‌کنند باید سرعت آن ، که با اسبابهای‌علمی که درسطح‌زمین‌کار گذاشته شده‌اند اندازه گرفته می‌شود ، در نتیجهٔ حرکت زمین در فضا دوچار اختلال شود . همانسان که شخصی که برعرشهٔ کشتی تندروی ایستاده باشد باوجود سرعت وبیحرکت بودن هوا درصورت خوداحساس وزش بادی‌می‌کند ماهم که برسطح زمینی که باسرعت زیاد برروی مداربیضی شکل خود بدور خورشید درحرکت است ایستاده‌ایم باید « باداثیر » را احساس کنیم . البته ما «باد اثیر» را احساس نمی‌کنیم چون فرض اینستکه این باد می‌تواند بی‌هیچ زحمت‌واشکالی‌بین اتمهائی که بدن‌ما راتشکیل می‌دهند نفوذ کند اماباید بتوانیم درنتیجهٔ اندازه گرفتن سرعت نور در امتدادهای مختلفی که نسبت بحرکت زمین در نظر گرفته می‌شوند بوجوداین باد پی ببریم . همه کس‌می‌داند که سرعت صوتی که در

امتداد باد سیر کند بیشتر است تا سرعت صوتی که در جهت مخالف وزش باد منتشر شود . طبیعی بنظر می‌رسد که همین اختلاف در مورد نوری که‌در امتداد باد اثیر یا جهت مخالف آن‌سیر می کند وجودداشته باشد .

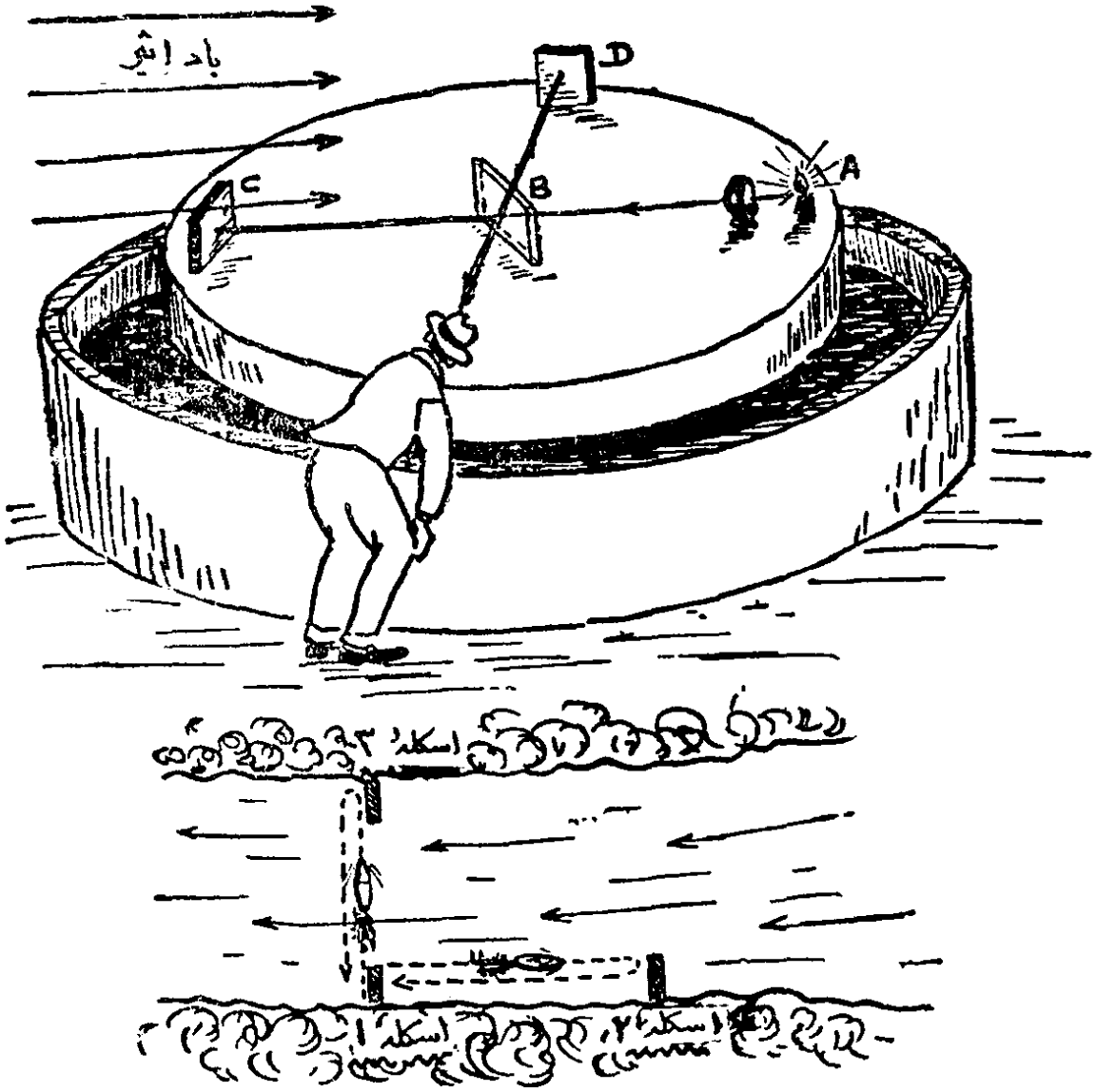
بعد از این‌استدلال پروفسور مایکلسن دست بکار ساختن اسبابی‌شد که باآن سرعت نور را درامتدادهای مختلف اندازه بگیرد . ساده‌ترین‌راه این‌بود که اسبابی را که‌فیزو اختراع کرده بود ، وقبلا ازآن سخن گفته‌ایم ودر شکل ۳۱ ج نیز آنرا آورده‌ایم ، بیگیرد وآنرا در امتداد های‌مختلف بچرخاند و اندازه گیریهای متعدد متوالی بجا آورد . اما این طرز عمل نمی‌توانست دقیق باشد وحال آنکه بدقت‌وتحقیق بسیار زیاد احتیاج بود . درحقیقت چون اختلافی که درطلبش بودند (ومساوی سرعت حرکت زمین بود) معادل‌یك‌ده هزارم $\frac{۱}{۱۰۰۰۰}$ سرعت نوربودمی‌بایستی هرعمل اندازه ـ گیری که انجام می‌شود دارای حداعلای دقت باشد .

اگر دوقطعه چوب‌دراز وتقریباً بیك‌طول داشته باشید و بخواهید بدقت اختلاف آنها رامعین کنید ممکن است که‌آنها راپهلوی هم‌قرار دهید بقسمی که یك سرشان درست مقابل هم باشند و در انتهای دیگر اختلاف آنها را اندازه بگیرید . این روش را «روش نقطهٔ‌صفر» می نامند .

اسبابی که مایکلسن تعبیه کرده بودو بطور خیلی ساده طرح آن در شکل ۳۶دیده می‌شود بمنظورآن‌بود که سرعت نوررا دردوامتداد عمودبرهم باروش نقطهٔ « صفر» اندازه بگیرد .

قطعهٔ مرکزی این اسباب یك‌صفحهٔ شیشه این B است که‌ازیك قشر نازك نیم شفاف نقره پوشیده شده است بقسمی که نیمی از نوری را که بآن می‌تابد برگرداند ، یعنی منعکس کند ، ونیمی دیگر رااز خود بگذراند . پس شعاع نوری که ازسر چشمهٔ A می‌آید بدو جزو متساوی تقسیم می‌شود که دردو امتداد عمود بر هم سیر می کنند . این دوشعاع پس ازبرخورد با آئینه های C وD که‌بیك فاصله‌ازصفحهٔ مرکزی قرار دارند منعکس‌می‌شوند وبطرف‌آن صفحه بازمی گردند . جزئی‌ازشعاعی که‌ازD بازمی گردد بوسیلهٔ قشر نازك نقره منتقل می‌شود وبا جزئی ازشعاعی که از C می‌آید و بوسیلهٔ همان قشر منعکس می گرددمختلط ومتحد می‌شود . باین‌ترتیب دوشعاعی که در موقع ورود باسباب ازهم جدا شده بودند در موقع ورود به چشم ناظر با یکدیگر یکی می‌شوند . برطبق یکی از قوانین‌معروف مبحث نوردوشعاع با یکدیگر تداخل می کنند و یك رشته نوارهای تاریك وروشن که با چشم قابل

رؤیت است بوجود می‌آورند [۱] اگر فاصله های BD و BC متساوی باشند بقسمی که دوشعاعی که از C و D باز می گردند باهم بصفحهٔ مرکزی برسند نوار روشن درمرکز تشکیل می‌شود اما اگر فاصله ها اندکی تغییر کنند بقسمی که یکی ازشعاعها نسبت‌بدیگری تأخیر پیدا کند نوارها بطرف‌چپ یا راست نقل‌مکان می‌کنند .



شکل۳۶

چون دستگاه بر روی زمین قرار دارد و چون زمین بسرعت در فضا حرکت می‌کند باید انتظارداشت که باداثیر باسرعتی مساوی‌سرعت‌حرکت زمین بردستگاه بوزد . فرض کنید که این باد (طوریکه درشکل۳۶ نشان داده شده است) ازطرف C به B جریان داشته باشدوما بخواهیم که‌تأثیر آنرا در اختلاف سرعت دو شعاعی که بطرف نقطهٔ تقاطع خود سیر می‌کنند

۱ ــ رجوع کنید بصفحات ۱۲۵ و ۱۲۶

مطالعه کنیم .

بیاد بیاورید که یکی از این دوشعاع درجهت مخالف وزش باد پیش می‌رود و در امتداد وزش آن باز می‌گردد در صورتیکه شعاع دیگر بهنگام رفتن وباز گشتن‌مسیر بادرا قطع‌می‌کند . کدام شعاع زود تر بازمی گردد ؟

رودخانه ای در نظر آورید که یك قایق موتوری درروی آن درجهت مخالف جریان آب از اسکلهٔ ۱ بطرف اسکلهٔ ۲ برود و در امتداد جریان آب از۲ بطرف۱ باز گردد ، درقسمت‌اول این مسافرت آب درمقابل‌حرکت قایق مقاومت می‌نماید اما در موقع باز گشت بحرکت آن کمك می‌کند . شاید شمافکر کنید ومعتقد باشید که‌این دواثر یکدیگر راجبران می‌کنند اما چنین‌نیست . برای اینکه‌این‌مطلب راخوب بفهمید فرض کنید که‌سرعت قایق مساوی سرعت جریان رودخانه‌باشد . دراینصورت قایقی که از اسکلهٔ ۱ حرکت کند هیچگاه باسکلهٔ ۲ نخواهد رسید ! درك این مطلب‌دشوار نیست که وجود رودخانه طول مدت مسافرت رفتن وبر گشتن را با ضریبی مساوی

$$\frac{۱}{۱-\left(\frac{V}{v}\right)^{۲}}$$

دراز تر خواهد کرد . در این ضریب v سرعت قایق و V سرعت رودخانه است[۱]. باین ترتیب اگر مثلا سرعت حرکت قایق ده برابر سرعت جریان آب باشد مدت مسافرت برابر مدت مسافرت در آب ساکن خواهد بود

$$۱٫۰۱ = \frac{۱}{۰٫۹۹} = \frac{۱}{۱-۰/۰۱} = \frac{۱}{۱-\left(\frac{۱}{۱۰}\right)^{۲}}$$

یعنی باندازهٔ ۰٫۰۱ ازمدت‌مسافرت درآب ساکن بیشترطول خواهد کشید .

براهی شبیه بآنچه گفتیم‌می‌توانیم تأخیری راکه باید در رفت وآمد

۱ــ درحقیقت اگرفاصلهٔ بین دواسکله را L فرض کنیم وبیاد بیاوریم که سرعت مرکب درجهت جریان رودخانه $v+V$ و درجهت مخالف جریان رودخانه $v-V$ خواهد بود زمان لازم برای رفتن وباز گشتن قایق چنین خواهد بود :

$$t = \frac{L}{v+V} + \frac{L}{v-V} = \frac{۲vL}{v^{۲}-V^{۲}} = \frac{۲L}{v} \times \frac{۱}{۱-\frac{V^{۲}}{v^{۲}}}$$

در عرض رودخانه روی دهد حساب کنیم . این تأخیر نتیجهٔ آن است که در واقع قایق برای اینکه ازاسکلهٔ ۱ باسکلهٔ ۳ برسد بناچاربابد برای جبران انتقالی که در نتیجهٔ جریان آب پیدا می‌کند اندکی بطرف پهلو حرکت کند . دراین حالت‌تأخیر اندکی کمتراست وبستگی بعامل

$$\sqrt{\frac{1}{1-(\frac{V}{v})^2}}$$

دارد ، مثلادرمثالی که جلوتر گفتیم تأخیر فقط درحدود نیم درصد ($0/0-\frac{1}{2}$) خواهد بود . اثبات این دستور بسیارساده است وما آنرا برعهدهٔ خوانندهٔ محقق می گذاریم . حالا بجای رودخانه اثیری را که در حال جریان است وبجای قایق موج نوری را که دراثیر تغییر مکان می‌دهد و بجای اسکله ها آینه هائی را که درآزمایش مایکلسن در دوانتها قرارداده شده‌اند در نظر بگیرید . شعاع نوری که از B به C می‌رود و به B باز می گردد دستخوش تأخیری می‌شود که بستگی به ضریب

$$\frac{1}{1-(\frac{V}{c})^2}$$

دارد . مقصود از c سرعت سیر نوردراثیراست . نوری که از B به D می‌رود وباز می گردد دوچار تأخیری که تابع ضریب

$$\sqrt{\frac{1}{1-(\frac{v}{c})^2}}$$

است می‌شود. چون سرعت باد اثیر، که برابر باسرعت زمین است ، ثانیه‌ای ۳۰ کیلومتر وسرعت نور ثانیه‌ای ۳ × ۱۰۵ کیلو متراست دوشعاع نور باید بترتیب ۰٫۰۱ و ۰٫۰۰۵ درصد تأخیر داشته باشند . پس بسیارآسان است که بکمك دستگاه مایکلسن اختلاف بین سرعتهای دوشعاع نور را که یکی درجهت باد اثیر ودیگری درجهت مخالف‌آن سیر می‌کند معین کرد.

حالا شاید بتوانید درك کنید که وقتی که مایکلسن آزمایش خود را انجام داد و کوچکترین اثری ازتغییرمکان امواج‌متداخل نیافت دوچار چه تعجب وحیرتی شد .

چنان‌می‌نمود که‌باداثیرهیچگونه‌تأثیری‌درسرعت‌نورندارد، اعم از آنکه نور در امتداد باد اثیر سیر کند یا درامتداد مخالف آن .

این‌حقیقت چنان شگفت انگیز بود که درآغاز مایکلسن خودش نیز آنرا باور نمی‌کرد ؛ اما آزمایشهای مکرر نشان داد که نتیجه‌ای که اول عاید شده بود ، هرچند مایهٔ شگفتی بود ، درست بود .

تنها تعبیری که ممکن بود از این نتیجهٔ خلاف انتظار کرد این فرض دشوار بود که میز سنگی عظیمی که آینه های مایکلسن برآن قرار داشتند اندکی درامتداد حرکت زمین درفضا متراکم و جمع شده باشد . (این تراکم را تراکم فیتزجرالد می‌نامند)[1] در حقیقت اگر فاصلهٔ BC باندازهٔ عامل

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

کوتاه شود و فاصلهٔ BD تغییری نکند تأخیرهائی که در مدت سیر هر دو شعاع نورروی‌می‌دهند با هم مساوی می‌شوند ونبایدانتظارداشت که درامواج متداخل تغییری روی دهد .

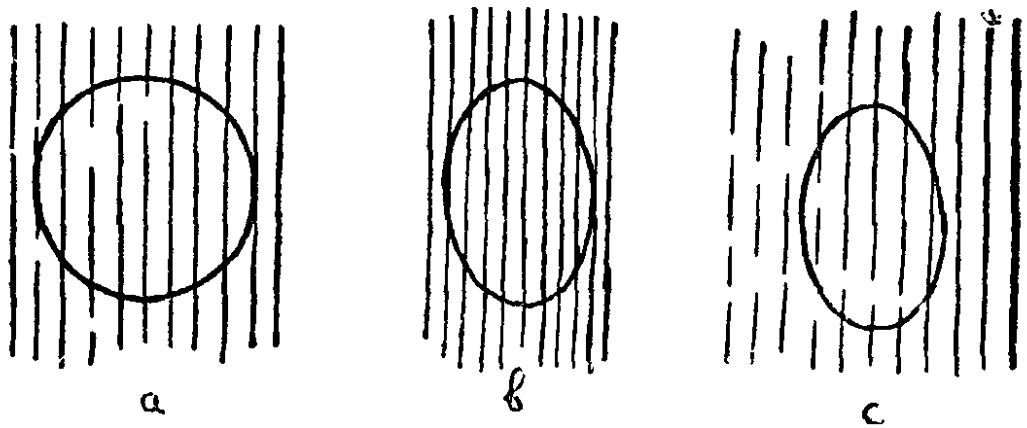
اما اگر تصور متراکم و کوتاه شدن میز مایکلسن آسان بود فهم و درك این مطلب بسیاردشوار می‌نمود . راست است که منتظریم اجسام مادی که در محیط مقاومی تغییر مکان می‌دهند اندکی متراکم‌شوند ، مثلا قایق موتورداری که برروی دریاچه‌ای درمسابقهٔ سرعت شرکت می‌کند براثر دو نیرو، که یکی نتیجهٔ حرکت پروانه‌ایست که قایق را بجلومی‌راند ودیگری مقاومتی است که آب در سینهٔ آن نشان می‌دهد ، اندکی فشرده وکوتاه می‌شود . اما اندازهٔ این کوتاه شدن بستگی بجنس ماده ای دارد که قایق از آن ساخته شده‌است . قایق پولادین از قایق چوبین کمتر فشرده و متراکم می‌شود . اما تراکم و کاهش طولی که موجب و مسبب نتیجهٔ منفی آزمایش مایکلسن گردید فقط تابع سرعت حرکت بود و مطلقاً بجنس و استقامت ماده بستگی نداشت . اگر میزرا بجای سنگ از چدن ، یا چوب ، یا هر جنس دیگر ساخته بودند مقدار تراکم کاملا و دقیقاً یکی بود و تفاوتی نمی‌کرد . پس واضح است که دراینجا با یك پدیدهٔ کلی سر و کار داریم که

۱ـ Fitz Geraid نخستین فیزیك دانی بود که باین‌اصل اشاره کرد وآنرا یك اثر سادهٔ مکانیکی حرکت دانست .

موجب آن می‌شود که تمام اجسام متحرك بیك اندازه فشرده و کوتاه شوند.
یا بنا به توصیفی که اینشتاین درسال ۱۹۰٤ میلادی ازاین پدیده کرده بود
دراینجا با تراکم خود فضا سروکار داریم و تمام اجسامی که با یك سرعت سیرمی کنندازآن روی بیك اندازه متراکم می گردند که همه درمیان یك فضای فشرده ومتراکم جای‌دارند.

درطی دوفصل گذشته آنقدر ازخواص‌فضا صحبت داشته‌ایم که بتوانیم حکم اخیررا معقول‌بشناسیم . برای اینکه وضع روشنترشود می‌توانیم فرض کنیم که فضا برخی ازخواص مادهٔ ژلاتینی قابل ارتجاعی را داشته باشدکه با آن حدود اشیاء مختلفی را مرتسم و مجسم کرده باشیم . وقتی که شکل این فضا را بوسیلهٔ فشردن یا کشیدن یا تابیدن‌آن بنحوی تغییر دهیم شکل اجسامی که در درون آن جای دارند خود بخود بهمان نحو تغییر می کنند. این تغییر شکلهای اجسام را کـه تابع تغییر شکل فضاست نباید با تغییر شکلهای خاصی اشتباه کـرد که نتیجهٔ نیروهائی است که از خارج بر آن اجسام وارد می‌آیند وموجب کششها وفشارهائی درداخل اجسام می‌شوند و شکل آنها را دگرگون می‌سازند .

شاید مطالعهٔ شکل **۳۷** ، که درآن یك شکل دوبعدی درنظر گرفته و نمایش داده شده است ، بدرك این اختلاف مهم کمك کند .



ش ۳۷

اما پدیدهٔ کوتاه شدن فضا ، که برای فهم اصول اساسی فیزیك دارای کمال اهمیت است ، درزندگی عادی ما بهیچ روی مشهود ومحسوس نیست، زیراکه هنوز بزرگترین سرعتهائی که درزندگی‌ما مؤثرند درمقابل‌سرعت نور درحکم صفرهستند.مثلا طول اتومبیلی که با سرعت ساعتی ۸۰ کیلومتر حرکت می کند باندازهٔ

$$\sqrt{1-(\frac{۸۰}{۳۰۰۰۰۰۰۰۰})^{۲}} \text{ ر} ۰۹۹۹۹۹۹۹۹۹۹۹۹۹$$

یعنی باندازهٔ قطر هستهٔ یك اتم کوتاه می‌شود ؛ وازطول هواپیمای جتی که با سرعت بیش از ۱۰۰۰ کیلومتر درساعت درپرواز است باندازهٔ قطر یك اتم کاسته می گردد؛ ودرازی راکتی بطول ۱۰۰متر که باسرعت ساعتی۴۰۰۰۰ کیلو متر فضای بین ستارگان را درنوردد باندازهٔ یك صدم میلیمتر کوچك خواهد شد .

هر گاه بتوانیم اجسامی فرض کنیم که با سرعتی مساوی ۵۰ در صد، ۹۰ درصد و۹۹ درصد سرعت نور تغییرمکان دهند ازطولی که بحال سکون دارند بترتیب ۱۴ درصد ، ۴۵ درصد و۸۶ درصدکاسته می‌شود .

تأثیر کوتاه شدن نسبی هر جسمی را که بسرعت در حرکت باشد شاعری شوخ ،اما ناشناس ، دراین شعرمجسم ساخته است :

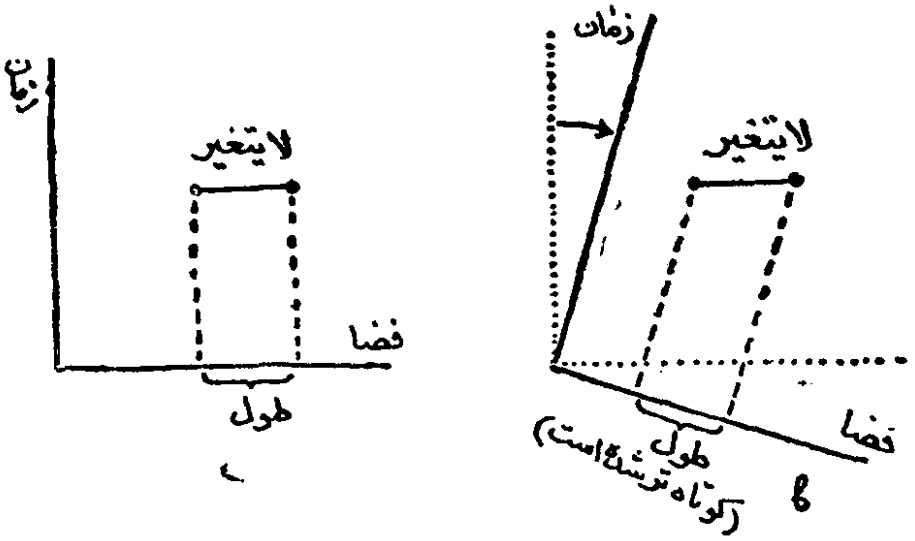
حکایت کنند ازیکی‌شیرمرد ،
چنان تند وچالاك اندر نبرد،
که «قانون کوتاهی فیتزجرالد »
سنانش بیك دشنه تبدیل کرد !

طرفه شیرمردی که بسرعت برق نیزه بازی‌می کرده‌است !

از نظر هندسهٔ چهار بعدی کوتاه شدن طول‌اشیاءِ متحرك را می‌توان بسادگی به تغییری که تصویرمکانی طول لایتغیر چهاربعدی آنها در نتیجهٔ دوران محورهای « فضا زمانی» پیدا می کند تعبیر نمود . درحقیقت‌ازبحثی که دربخش‌پیشین کردیم بایدبیادداشته‌باشید که هر گاه بخواهیم مشاهداتی را که ازدرون یك دستگاه متحرك کرده‌ایم توضیح وتبیین کنیم بایدازدستگاه محورهای مختصاتی استفاده نمائیم که محورهای فضا و زمان آن باندازه زاویهٔ معینی ، که بستگی بسرعت حرکت دارد ، دوران کرده باشند. باین ترتیب اگر تصویر یك فاصلهٔ چهار بعدی روی محور فضا در دستگاه ثابتی یك صدم باشد (ش ۳۸ آ) تصویر آن بر روی محور جدید فضا همیشه کوچکترخواهد بود(ش ۳۸ ب)

نکتهٔ مهمی که باید بخاطر داشت این است که مقداری که انتظار داریم از طولی‌کاسته شودکاملا متناسب است با دو دستگاهی که نسبت بیك‌دیگر درحرکت هستند. هر گاه شیئی را درنظربگیریم که نسبت بدستگاه دیگری درحال‌سکون باشد وآنرا بصورت خط لایتغیری موازی محورجدید فضا نمایش دهیم تصویر آن بر روی محور قدیم بهمان نسبت کوتاه خواهد شد .

باین ترتیب نه لازم است و نه از جنبهٔ فیزیکی معنی ومفهومی دارد که تصریح کنیم کدام یك از دو دستگاه عملا در حرکت است . آنچه مهم



ش ۳۸

است آن است که آنها **نسبت به یکدیگر درحرکت اند .** باین ترتیب هر گاه در آینده دو کشتی فضا پیمای « شرکت محـدود مسافر بری بین سیارات » که با سرعتی بسیار زیاد در حرکت باشند در نقطه ای بین زمین و زحل از پهلوی یکدیگر عبور کنند مسافران یکی از پنجره پهلوی دست خود کشتی دیگر را بسیار« کوتاه شده » خواهند دید درصورتی که متوجه کوتاه شدن کشتی خود نیستند. وکاملا بی‌فایده خواهد بود که کسی بخواهد بداند کدام یك از دو کشتی درحقیقت و« عملا » کوتاه تر شده است، زیرا که هر کشتی در نظر مسافران کشتی دیگر کوتاه شده و هیچیك در نظر مسافران خود کوتاه نگردیده‌است.[۱]

همچنین ، نحوهٔ استدلال چهاربعدی بما مجال می‌دهد که بفهمیم چرا کوتاه شدن نسبی اشیاءِ متحرك وقتی محسوس می‌شود که سرعت سیر آنها بسرعت نور نزدیك گردد . درحقیقت زاویهٔ دوران دستگاه مختصات « فضا زمانـی » بوسیلهٔ نسبتی معین می‌شود کـه صورتش مسافت طی شدهٔ بوسیلهٔ

۱ـ مسلماً آنچه گفتیم یك فرض کاملا «نظری» است . عملا وقتی که دو کشتی فضاپیما باسرعتی که مورد بحث ما است ازپهلوی یکدیگر بگذرند مسافران هیچیك قادر بدیدن کشتی دیگر نیستند ، همانطور کـه ما نمی‌توانیم گلولهٔ تفنگی را که از بالای سرما می گذرد ، وسرعتش کسری‌ازسرعت آن کشتیهاست ، ببینیم .

دستگاه متحرك و مخرجش زمان لازم برای طی آن مسافت باشد . اگر مسافت را با متر و زمان را با ثانیه اندازه بگیریم نسبت مذکور همان سرعت معمولی است که برحسب متر در ثانیه بیان شده است . اما چون فواصل زمانی درجهان چهاربعدی بوسیلهٔ حاصل ضرب فواصل زمانی‌معمولی درسرعت نور نمایش‌داده می‌شوند نسبتی که‌باآن زاویهٔ دوران‌معین می گردد عبارت است ازخارج قسمت سرعت حرکت بر سرعت نور ، در صورتی که هر دوسرعت با یك واحد ، مثلا متر ، بیان شوند. پس هم‌زاویهٔ دوران وهم تأثیر آن‌در اندازه گرفتن مسافات وقتی محسوس می‌شوند که سرعت نسبی دو دستگاه بسرعت نور نزدیك شود .

همانگونه که دوران دستگاه مختصات « فضا زمانی » دراندازهٔ طولها مؤثر است دراندازهٔ زمانها نیز تأثیر دارد . اما می‌توان نشان داد که وقتی فضا کوتاهتر می‌شود زمان درنتیجهٔ صفت خاص موهوم بعد چهارم بودنش[1] درازتر می گردد . اگر ساعتی را در اتومبیلی که بسرعت در حرکت است، قرار دهید ازساعتی که برروی زمین و بی حرکت است کندتر کار خواهد کرد ؛ یعنی فاصلهٔ بین هردوصدای «تیك» متوالی آن درازتر خواهد شد . و درست همانطور که کوتاه شدن طولها بستگی بسرعت داشت دراز شدن زمان نیز یك « پدیدهٔ کلی » است کـه فقط تابـع سرعت متحرك است . ساعت مچی جدید وساعت پاندول دار قدیمی پدر بزرگ وساعتهای خیلی قدیمی رملی ، اگر با یك سرعت جابجا شوند ، بیك اندازه کند می‌شوند وعقب می مانند . این تأثیر فقط در دستگاههـای مکانیکی مخصـوصی کـه «ساعت» نام دارند دیده نمی‌شود بلکه هرعمل فیزیکی یاشیمیائی یاحیاتی نیز بهمین نسبت کند وبطی می گردد. پس اگردر کشتی فضاپیما بخواهید برای صبحانهٔ خود تخم مرغ بپزید و بسبب کندی ساعت تخم مرغها مدت بیشتری برروی آتش بمانند عیبی نخواهد داشت . عمل‌پخته شدن درداخل تخم مرغ نیز بطی تر می گردد بطوری که اگر با ساعت کند خود تخمها را پنج دقیقه در آب جوش بگذارید درست همان نتیجه را خواهید گـرفت که درحال فعلی تخم مرغ را پنج دقیقه بجوشانید. اگربجای اطاق ناهارخوری قطار راه آهن کشتی فضا پیمای بین ستارگان را مثال زدیم برای آن است کـه دراز شدن زمان هم مانند کوتاه شدن طولها وقتی محسوس می‌شود که

۱ــ یا ، اگر میل داشته ، درنتیجه آنکه فرمول فیثاغورس درفضای‌چهاربعدی نسبت بزمان تغییرشکل می‌دهد .

سرعت حرکت بسرعت نور نزدیك شود . درازشدن زمان هم مانند کوتاه شدن طول با عامل

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

بستگی دارد بااین تفاوت که در **طول** این عدد ضریب بود و در **زمان** باید خارج قسمت باشد .

اگر با سرعتی حرکت کنیم که طولها نصف شوند زمانها دو برابر می گردند . کند شدن سرعت زمان در دستگاههای متحرك در مسافرت بین ستارگان مفهوم خاص دلنشینی دارد . فرض کنید که بخواهید از یکی ازسیارات ستارهٔ شعرای یمانی ، که در فاصلهٔ ۹ سال نوری از منظومهٔ شمسی است ، دیدن کنید و برای این منظور از راکتی استفاده کنید که سرعتش مساوی سرعت نور باشد . خیلی طبیعی است که فکر کنید رفتن و برگشتن شما ۱۸ سال طول خواهد کشید و درنتیجه بخواهید ، که از راه احتیاط ، مقدار خیلی زیادی آذوقه همراه بردارید . اما اگر راکت شما بتواند با سرعتی نزدیك بسرعت نورسیر کند این احتیاط بکلی زائداست . درحقیقت اگر سرعت کشتی شما ۹۹/۹۹۹۹۹۹۹ درصد سرعت نور باشد ساعت شما ، قلب شما ، ریه‌های شما ، دستگاه گوارش شما ودستگاه فکری شما ۷۰،۰۰۰ مرتبه کند تر از معمول کار خواهند کرد و مدتی که برای رفتن به شعرای یمانی وبازگشتن ازآن لازم است ، و بنظر مردم زمین ۱۸ سال طول می کشد ، درنظر شما چند ساعتی بیشترجلوه نخواهد کرد . در حقیقت اگردرست پس ازصرف صبحانه اززمین حرکت کنید وقتی اشتهای صرف ناهار خواهید داشت که کشتی شما دریکی از سیارات شعرای یمانی فرود آید . اگر عجله داشته باشید وپس از صرف ناهار عزم بازگشت به زمین کنید باغلب احتمال شام را در خانهٔ خود خواهید خورد . اما اگر قوانین نسبیت را ازیاد برده باشید بسیار متعجب خواهید شد که خویشان و دوستان شما دل ازشما بریده و شما را دراین سفر بین‌ستارگان ازبین رفته پنداشته اندوبی حضورشما ۶۵۷۰ شام صرف کرده اند! چون شما باسرعتی نزدیك به سرعت نور سفر می کرده اید ومدت درازه ۱ سال درنظرشما مانند یکروز جلوه کرده است .

اما اگر سعی کنیم که با بیشتر از سرعت نور تغییر مکان دهیم چه خواهد شد ؟ قسمتی از جواب سئوال شما در این شعر نهفته است :

یکی دختری بود زیبا چو حور
که بد بیشترسرعت او ز نور؛
بقانون «اینشتاین» با عزوشان
با«راکت»سفر کردتا کهکشان
بروزی که گشت‌اززمین‌اوجدا
شب پیش بازآمد آن مه لقا !

باید ممطئن بود کـه اگر سرعتهائی در حدود سرعت نور زمان را بسیار کوتاه کنند سرعتهائی که بیشتر از سرعت نور باشند زمان را بعقب باز خواهند گـردانید ! بعلاوه چون علامت جبری در زیر رادیکال فرمول فیثاغورس عوض می‌شود مختص زمانی حقیقی خواهد شد ونمایندهٔ یك فاصلهٔ مکانی خواهد بود و در عوض ، در سرعتهای بالاتر از سرعت نور ، فواصل مکانی از صفر خواهند گذشت و موهوم خواهند شد و بفواصل زمانی مبدل خواهند گردید .

اگر چنین چیزهائی امکان پذیر بود تصویر شمارهٔ ۳۳ که اینشتاین را نشان می‌دهد که متررا تبدیل بساعت می‌کند تحقق می پذیرفت ، البته بشرط آنکه در مدت این چشم بندی سرعت او از سرعت نور بیشتر شده باشد .

اما جهان فیزیکی هر قدر شوریـده باشد باین شوریـدگی نیست و ممکن نبودن چنین‌چشم بندی را می‌توان دراین‌حکم خلاصه کرد که **هیچ شیئی مادی نمی‌تواند باسرعتی مساوی سرعت نور یابیشتر از آن حرکت‌کند .**

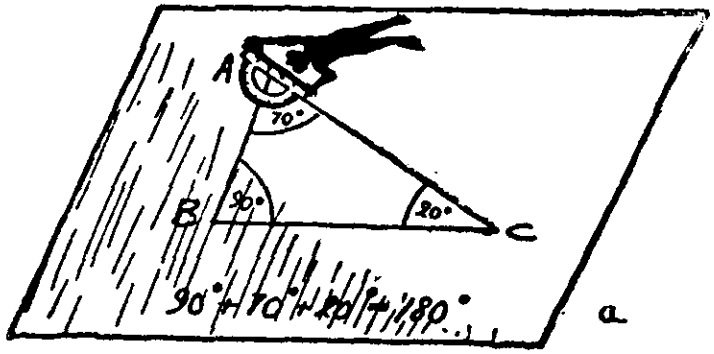
مبنا و بنیان فیزیکی این قانون اصلی طبیعت در این حقیقت ، که آزمایشهای بسیار نیزصحت آن را ثابت کرده‌اند ، نهفته است که **هرگاه سرعت حرکت اجسام بسرعت نور نزدیك شود جرم جبری آنها، که درحقیقت عبارت ازمقاومت آنهاست درمقابل افزایش شتاب، ازهرحدی تجاوز خواهدکرد .**

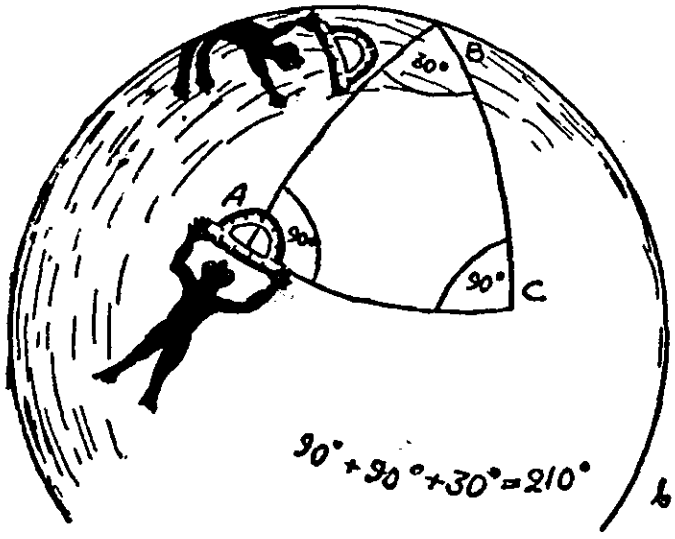
باین ترتیب اگر گلولهٔ تپانچه‌ای با سرعتی مساوی ۹۹٫۹۹۹۹۹۹۹ صدم سرعت نور حرکت کند مقاومت آن در مقابل افزایش شتاب مساوی مقاومت یك گلوله توپ ۳۰۰ میلیمتری خواهد بود و اگر سرعت گلولهٔ تپانچـه به ۹۹٫۹۹۹۹۹۹۹۹۹۹۹۹۹ صدم نور برسد مقاومت جبریش مساوی مقاومت جبری یك‌کامیون بسیار سنگین پر بار خواهد شد . صرف

نظر ازتلاش شگرفی که باید بگلولهٔ خود وارد آوریم تا دارای این سرعت شود هر گز نخواهیم توانست موانع را ازمیان برداریم وسرعت آنرا بسرعت حد یعنی سرعت نور برسانیم وبا آن باقطار جهان سفر کنیم .

۳ ـ فضای منحنی ومعمای جاذبه

بـا تقدیم معذرت بخوانندهٔ بیچاره ایکه در هفده صفحهٔ گذشته از تماس بامحورهای مختصات چهار بعدی احساس ناراحتی کرده است وی را دعوت‌می کنیم که باما بگردش در **فضای منحنی** بپردازد . همه کس‌می‌داند که‌خط‌منحنی وسطح‌منحنی کدام‌است اما بایددید که مراداز«فضای منحنی» چیست ؟ وقتی که می کوشیم که ازچنین فضائی «تصوری» درذهن تشکیل دهیم





ش۳۹

دانشمندان دو بعدی بر روی سطوح مستوی و منحنی در باب صحت قانون اقلیدسی راجع بمجموع زوایای مثلث مشغول تحقیق هستند

با اشکالی‌بزرگ مواجه می‌شویم واین اشکال فقط بدان‌سبب نیست که چنین

مفهومی غیرعادی است بلکه بیشتر از آن روی است که‌ما بخطها وسطح‌های منحنی ازخارج‌نگاه می‌کنیم اما بفضای‌منحنی باید ازداخل نگاه کنیم زیرا که خودما دردرون آن‌هستیم . برای اینکه بتوانیم تاحدی بفهمیم که‌چگونه ممکن است یك‌انسان سه‌بعدی انحنای فضائی را که درآن زندگی می‌کند درك نماید نخست بمطالعهٔ وضع‌فرضی‌وخیالی موجودهای مسطح دوبعدی که برروی سطح زندگی می‌کنند می‌پردازیم .

در شکل ۳۹ آ و ب ، دو دانشمند مسطح را می‌بینیم که بر روی‌دو جهان که سطحشان بترتیب مستوی ومنحنی (کروی) است مشغول‌مطالعات هندسی هستند . ساده ترین شکل‌هندسی که می‌توان مورد مطالعه قرارداد مثلث است که از تقاطع سه خط که یکدیگر رادر سه نقطهٔ هندسی قطع می‌کنند تشکیل‌می‌شود. همه کس ازهندسه ای که دردبیرستان آموخته‌است بیاد دارد که مجموع سه زاویهٔ هر مثلث‌مستوی مساوی است با ۱۸۰ درجه . وخیلی بآسانی می‌توان فهمید که این حکم‌دربارهٔ مثلثهائی که برروی‌یك سطح کروی رسم شده باشند جاری نیست . درحقیقت مثلثی که برروی یك کره ، مثلا زمین ، بین مثلا دو نصف‌النهار و یك مدار جغرافیائی حادث می‌شود در مجاورت قاعده دو زاویهٔ قائمه دارد وزاویهٔ رأس آن هم می‌تواند هر مقدار که بخواهیم بین«صفر» و ۳۶۰° حائز شود . در مثال شکل ۳۹ب که در آن دو دانشمند مسطح زوایای مثلث را اندازه می‌گیرند مجموع زاویه ها ۲۱۰ درجه‌است . پس می‌بینیم که دانشمندان دو بعدی می‌توانند بی آنکه از بیرون سطح کروی نگاه کنند انحناء آنرا دریابند .

اگر همین‌نکات‌را دربارهٔ جهانی که یك بعدبیشتر دارد درنظر بگیریم در کمال صفا باین نتیجه می‌رسیم که **دانشمندان جهان‌سه بعدی ممکن است بی‌آنکه ازاین جهان بیرون‌بجهند و در جهان چهاربعدی قدم گذارند فقط با اندازه‌گرفتن زاویه‌های بین سه خط‌که سه نقطه‌ازفضای‌آنانرابهم مربوط می‌سازندانحناء جهانی راتحقیق وتصدیق کنند. اگر مجموع سه زاویه۱۸۰ درجه شدفضا مستوی است وگرنه منحنی .**

اما پیش‌از آنکه توسن استدلال را پیشتر برانیم باید اندکی‌به‌تفصیل در بارهٔ آنچه **که خط مستقیم** نامیده می‌شودبحث کنیم . شاید که‌خوانندهٔ عزیز نگاهی بشکلهای ۳۹ آ وب بیفکند وبگوید که درجائیکه مثلث بر صفحهٔ مستوی قرار دارد (ش۳۹ آ) خطها مستقیم هستند و وقتیکه مثلث بر

سطح کروی واقع باشد اضلاع آن قوسهائی از دایرهٔ عظیمه اند [۱] ، پس منحنی می‌باشند .

چنین بیانی که بنیادش برتعاریف هندسی معمولی باشد امکان توسعهٔ هندسه رااز دانشمندان مسطح‌ما بکلی‌سلب خواهد کرد . مفهوم خطراست محتاج بیك تعریف ریاضی است که نه تنها در هندسهٔ اقلیدسی درست باشد بلکه شامل خطوطواقع درسطوح پیچیده تر ومشکلتر نیز بشود . این گونه تعمیم رامی‌توان با این تعریف کرد که خط راست کوتاه ترین‌فاصلهٔ بین‌دو نقطه است وبستگی به سطح یافضائی دارد که آن نقاط درآن قرار دارند . این‌تعریف در سطوح مستوی منطبق می‌شود با تعریفی که‌معمولا از خطراست می‌شود امادرحالتهای دشوارتر ، یعنی‌درسطوح منحنی ، دستهٔ معینی ازخطها را در نظر می‌آورد که خاصیت خطمستقیم صفحهٔ مستوی‌هندسهٔ اقلیدسی را دارندو« **خطهای زمین پیمائی** » یا **ژئودزیك** [۲] نامیده می‌شوند ووجه تسمیهٔ آنهاآن است که نخستین‌بار در **ژئودزی** [۳] ، یعنی علم اندازه گیری بر سطح زمین ، یا زمین پیمائی ، مورد بحث قرار گرفته اند . در حقیقت وقتی که‌ما از **خط مستقیم‌بین‌تهران و بوشهر** صحبت می‌داریم‌منظورمان کوتاه ترین خطمنحنی است که برروی سطح زمین بین تهران و بوشهرقرار دارد نه نقبی که با مته ای عظیم بخط مستقیم دردل زمین بین تهران وبوشهر ایجاد شود .

این تعریف کلی وعمومی‌خط راست یا ژئودزیکهابا این عمل‌فیزیکی کاملا تطبیق می‌کند که برای رسم خط راست بین‌دونقطه قطعه نخی اختیار کنیم وآنرا بین آن دونقطه‌بکشیم . اگر این‌کار را برروی صفحه بکنیم‌خط راست معمولی بوجود می‌آید واگر برروی کره انجام دهیم خط ژئودزیك کره ، یعنی قوس دایرهٔ عظیمه ، ایجاد می‌شود .

ممکن است بهمین راه تحقیق کرد که فضای سه بعدی که مادر آن زیست می‌کنیم مستوی است یا منحنی . آنچه لازم است آن‌است که بین‌سه نقطهٔ فضا نخهائی بکشیم وببینیم که مجموع‌زاویه های بین سه‌نخ ۱۸۰ درجه هست یا نیست . اما بهنگام‌طرح ریزی این آزمایش باید دونکتهٔ مهم رابیاد بیاوریم . نخست آنکه‌لازم است آزمایش را با مقیاس بزرگی انجام دهیم

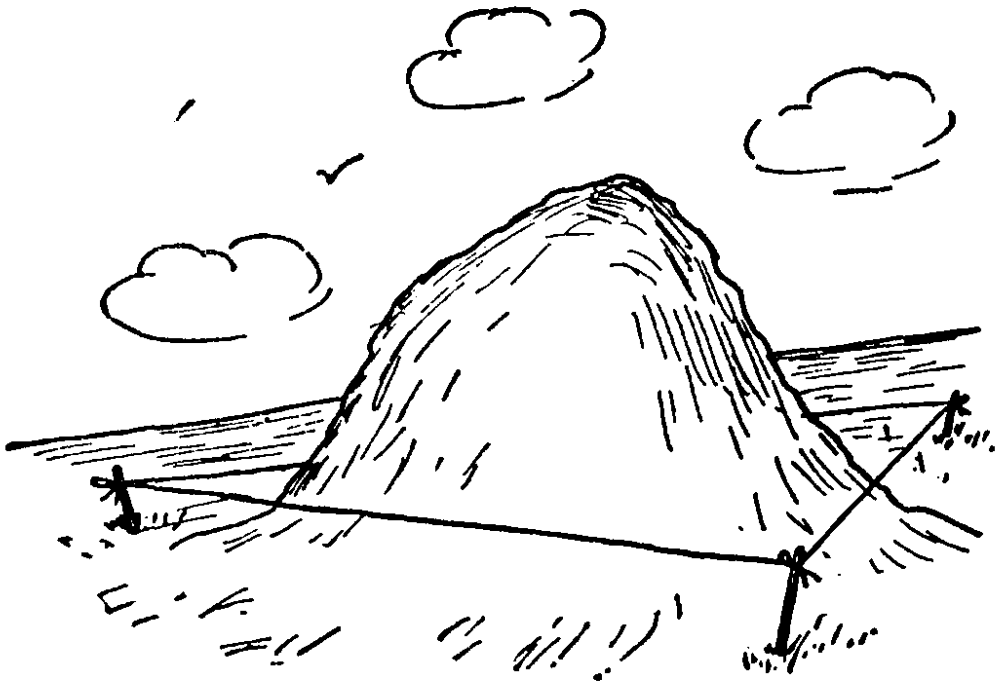
---

۱ ـ دایره های عظیمه مقطعهای کره اند با صفحه هائیکه بر مرکز کره می‌گذرند . استوا ونصف‌النهار ها دوایر عظیمه اند .

۲ـ Geodesics ۳ـ Geodesy

زیرا که در فواصل کوچك ممکن است فضای منحنی مستوی نماید . واضح است که ما انحناء کرهٔ زمین را نمی‌توانیم در حیاط خانهٔ خود تحقیق کنیم . دیگر آنکه هر سطح یا فضا ممکن‌است قسمتی‌مستوی وقسمتی‌منحنی باشد ، پس مطالعه ومراقبت کامل‌لازم است .

عقیدهٔ مهمی که‌اینشتاین بهنگام‌طرح اساس‌نظریهٔ عالم «فضای منحنی» اظهارداشته اینست که **فضای فیزیکی در مجاورت جرمهای بزرگ منحنی تر می‌شود** یعنی هرچه‌جرم بزرگتر باشدانحنای فضا بیشتراست. شاید بفکر بیفتیم که برای تحقیق صحت این عقیده گرداگرد تپهٔبزرگی سه پایهٔ چوبی بزمین فرو کنیم وسه ریسمان بآنها ببندیم (ش ۴۰ آ) و زاویه های بین ریسمانها رااندازه بگیریم . تپه را هرچه ممکن باشد ، بزرگتر ، حتی باندازهٔ کوه هیمالایا ، انتخاب کنید ، باوجود این اگر از

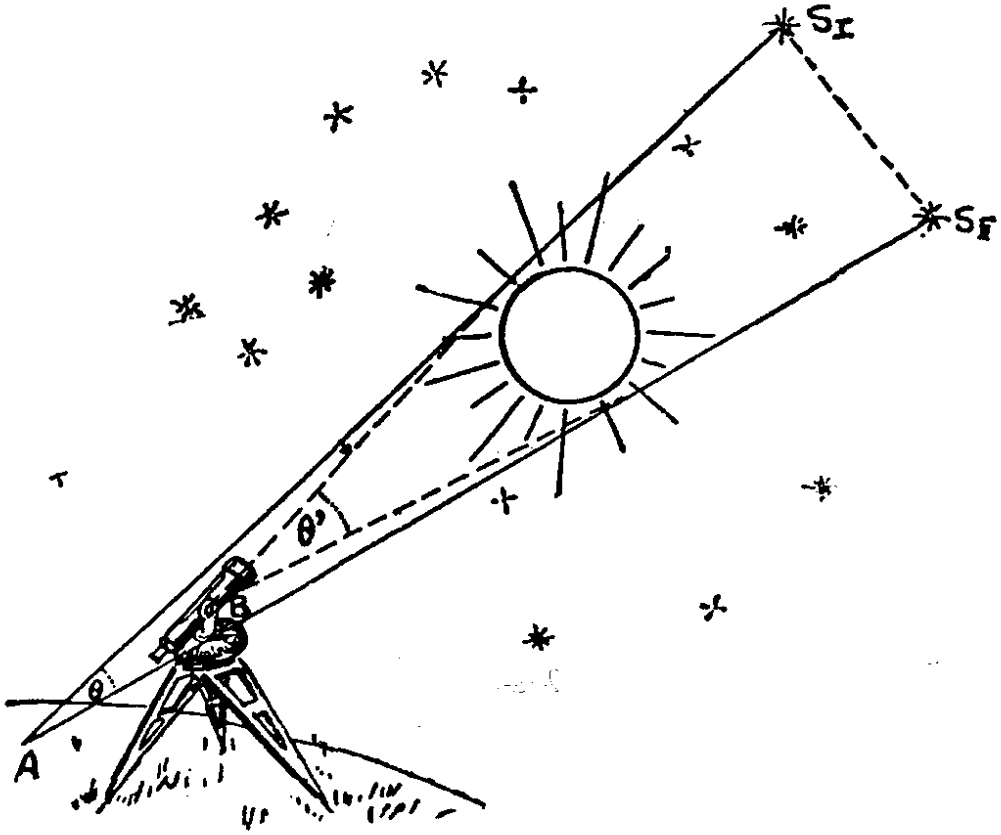


شکل ۴۰ آ

خطائی که ممکن است‌در اندازه گیری‌ها روی‌دهد صرف نظر کنیدخواهید دید که همیشه مجموع سه زاویه ۱۸۰ درجه خواهد شد . اما این نتیجه علامت آن نیست که اینشتاین خلاف گفته باشد وفضا در مجاورت جرمهای بزرگ منحنی نشود . شایدحتی کوه با عظمت‌هیمالایا نتواند فضا را آنقدر در اطراف خود منحنی سازد که دقیقترین اسباب‌های اندازه گیری ما بدرك وثبت آن‌قادر باشند . بخاطر بیاورید که وقتی گالیله خواست بافانوس‌خود سرعت نوررا اندازه بگیرد (ش ۳۱) دوچار چه اشتباهی شده‌بود .

پس نباید از رسیدن به نتیجه ناامید شوید بلکه باید با جرم بزرگتری آزمایش کنید ، مثلا با خورشید .

واینك شاهد مقصود ! اگر از زمین نخی بستاره ای بکشید و از آن ستاره بستارهٔ دیگر واز ستارهٔ دومی بزمین وصل کنید وستاره هاراطوری در درنظر بگیرید که خورشید در داخـل مثلثی که باین نحو می‌سازید واقع شود خواهید دید که مجموع سه زاویهٔ این مثلث با ۱۸۰ درجه تفاوتی قابل ملاحظه دارد . اگر نخ باین بلندی بدست نیاوردید شعاع نوری را جانشین آن سازید زیرا که درمبحث نورفیزیك دیده‌ایم که **نور درامتداد کوتاه‌ـ ترین راه سیر می‌کند .**

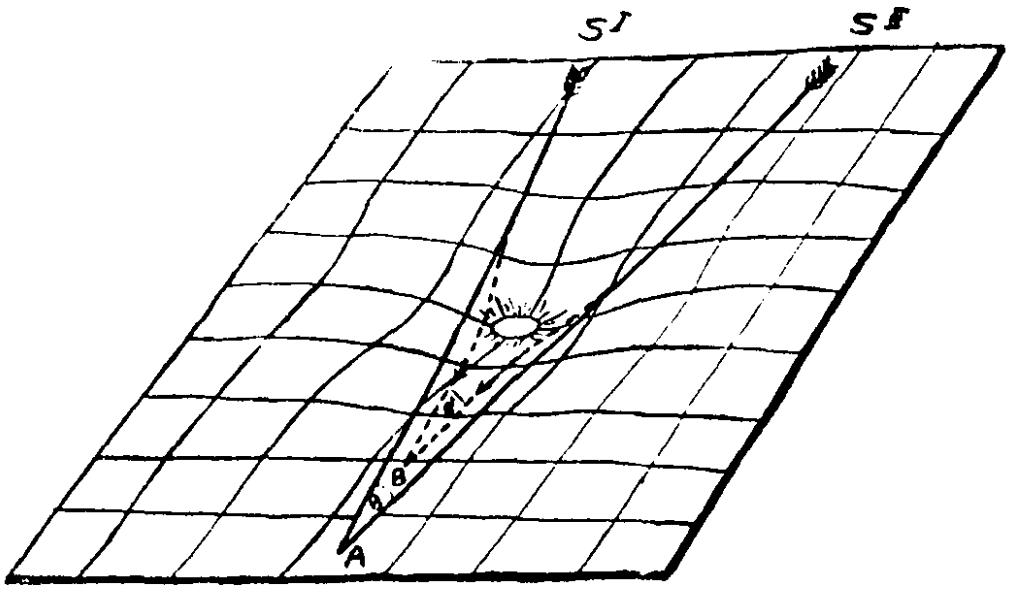


شکل ۴۰ب

آزمایش اندازه گرفتن زوایای بین شعاعهای نور را بتقریب در شکل ۴۰ ب نمایش داده‌ایم . ستاره‌های اول ودوم درموقع ترصد در دوطرف خورشید قرار داشته‌اند وشعاعهای نوری که ازآنها خارج می گردند بدوربین طولیابی وارد می‌شوند وزاویهٔ بین آنها با دوربین اندازه گرفته می‌شود ؛ پس ازآنکه خورشید از فضای بین‌ستارگان وزمین خارج شد باردیگر زاویهٔ بین دوشعاع نوررا اندازه می گیرند ودو زاویه راباهم مقایسه می کنند . اگر باهم تفاوت

داشته باشند نتیجه می گیریم که جرم خورشید انحنا را تغییر مـی دهد و اشعهٔ نور را درمجاورت خود از مسیر مستقیم‌منحرف می‌سازد . این آزمایش را اینشتاین برای تحقیق صحت فرضیهٔ خود پیشنهاد کرد . هر گاه خواننده این‌مورد را با مورد مشابه که در جهان دو بعدی در نظر گرفته شده و در شکل ٤١ نموده شده است مقایسه کند مطلب را بهتر درك خواهد کـرد .

واضح است که عملا در اوضاع‌عادی برای انجام آزمایشی که‌اینشتاین پیشنهاد کرده بود مانعی بزرگ وجود داشت و آن درخشندگی فوق‌العادهٔ خورشید است که مانع‌دیدن ستارگانی است که درمجاورت آن‌هستند . اما در موقع کسوف ، یعنی گرفتن‌خورشید ، ستارگان مجاور آن بهنگام روز



(شکل۴۱)

بخوبی دیده می‌شوند . بـرای استفاده از این موقع مساعـد بسال ۱۹۱۹ میلادی که کسوف کامل خورشید در جزایر «پرنسیپ» (افریقای غربی)دیده می‌شدیك هیئت‌علمی از انگلستان به‌آن‌جزایر اعزام شد و آزمایش راعملی کرد . اختلاف بین فواصل زاویه ای‌دو ستاره وقتی که خورشید درمیان آنها بود ۳۰+ ۱٫۶۱ بود . فرضیهٔ اینشتاین این اختـلاف را ۱٫۷۵ پیش بینی کرده بود . در آزمایشهای مختلفی‌هم که بعد از آن تاریخ‌بعمل آمدنتایجی مشابه عاید شد .

البته یك اختلاف یك ثانیه و نیمی در فاصلهٔ زاویه ای چـیز مهمـی نیست اما برای اثبات اینکه جرم خورشید فضا را در مجاورت خود منحنی می کند کافی است .

هر گاه‌می‌توانستیم بجای‌خورشیدستارهٔ بسیار بزرگتری راموردا‌ستفاده قرار دهیم خطائی که درقضیهٔ اقلیدس‌راجع بمجموع زاویه‌های مثلث‌مشاهده می‌شد ازجنس دقیقه وشاید هم ازجنس درجه می‌شد .

درك انحناء فضای سه بعدی که‌از داخل فضا مشهود شود ومعتادشدن باین اصل مستلزم مقداری وقت و مقدار خیلی بیشتری تفکر است اماوقتی که برآن دست یافتید ومسلط شدید مانند هراصل ومفهوم هندسی معمولی دیگر برای شما ساده و عادی خواهد شد .

اکنون بایدقدم مهمتر دیگری‌برداریم‌تافرضیهٔ فضای منحنی‌اینشتاین ورابطهٔ آن با مسئلهٔ اصلی جاذبهٔ عمومی را بفهمیم ، برای این‌کار باید بیاد بیاوریم که فضای سه‌بعدی که مورد بحث‌ما بود فقط جزئی از یك‌فضای چهار بعدی است که زمینهٔ همهٔ پدیده‌های فیـزیکی است . باین ترتیب انحنای فضای خاص باید انعکاسی از انحناء عامتر چهار بعدی جهان « فضا مکانی» باشد **وخطوط جهانی چهاربعدی راکه نمایندهٔ حرکت اشعهٔ‌نور واجسام مـادی درجهـان مذکور هستند بـایدخطوط منحنی‌این « فوق فضا» دانست .**

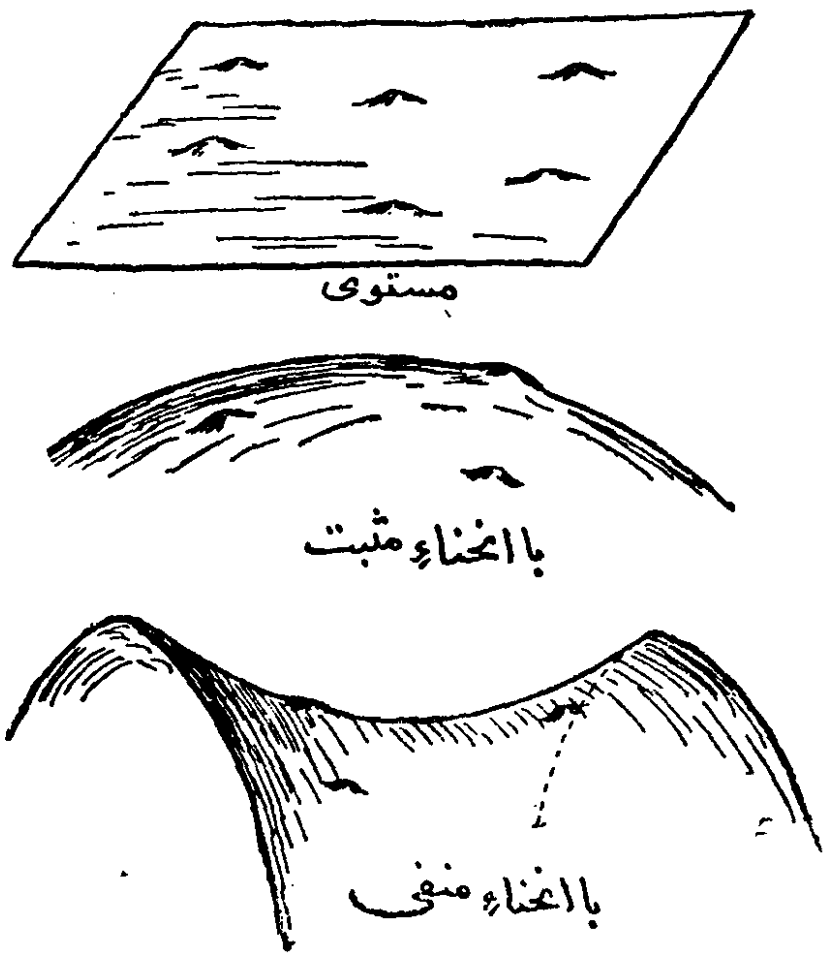
اینشتاین که‌مسئله را از این جنبه مورد مطالعه قرار داده بود بایـن نتیجهٔ‌مهم رسید که **پدیدهٔ‌جاذبه فقط تأثیرانحناء جهان فضامکانی چهار بعدی است .** درحقیقت اکنـون می‌توان این‌عقیدهٔ قدیمی را کـه « خورشید بر روی سیارات نیروئی اعمال می کند که آنها را بحرکت بر روی مدارهای مستدیر وا می‌دارد» بی‌اعتبار اعلام کرد . صحیحتر آن‌است که گفته شود **جرم خورشید جهان فضا مکانی را گرداگرد خود منحنی‌می‌سازد ومدارسیارات بصورتی‌که درشکل ۳۰دیده‌می‌شود از آن روی است‌کـه هـریك ازآنها سعی می‌کنـد که یك خط ژئودزیك درفضای منحنی رسم کند .**

باین ترتیب مفهوم‌جاذبه بعنوان یك‌نیروی مستقل‌بکلی ازاستدلالهای ما ناپدید می‌شود و جای‌خود را بمفهوم جدیدی در هندسهٔ فضائی می‌دهد عبارت از آنکه اشیاء مادی در طول «مستقیمترین خطهـا » ، یا خطهـای ژئودزیك ، حرکت می کنند و این خطوط تـابع انحنائی هستند که اثر و نتیجهٔ وجود جرمهای بزرگتر است .

۴ ـ فضاهای بسته وفضاهای باز

نمی‌توانیم این فصل‌را بپایان رسانیم مگر آنکه بیك‌مسئلهٔ مهم دیگراز هندسهٔ فضا زمانی‌اینشتاین هم اشاره‌ای، و دربارهٔ آن بحث مختصری، بکنیم. این مسئله اینست‌که جهان متناهی است یا نامتناهی ؟

تاکنون دربارهٔ انحناهای محلی فضا در مجاورت جرمهای بزرگی‌که مانند جوشهائی درچهرهٔجهان پراکنده‌اند بحث می‌کردیم . اما بایددیدکه، صرفنظر از این انحرافهای محلی ، سطح جهـان مستوی است یا منحنی ؟ و اگر منحنی‌است انحنایش درکدام جهت‌است ؟ در شکل ٤۲ یك فضای‌مستوی جوش دار و دو نوع فضـای منحنی را در تصویر دو بعدی نمایش داده‌ایم .



شکل ۴۲

فضائی را می‌گوئیم دارای انحنای مثبت است‌که مانند سطح‌کره یا سطح هر شکل‌بستهٔهندسی دیگر در هرامتداد وجهت‌که برروی‌آن حرکت‌کنیم‌همواره بیك سوی خم‌شده و انحناء داشته‌باشد . فضای نوع مخالف یعنی‌آنکه‌انحنای

منفی دارد در یك امتداد بطرف بالا و در امتداد دیگر بطرف پائین انحناء دارد وشبیه بشکل زین اسب‌است . تفاوت بین این‌دونوع انحناء را می‌توان بخوبی دریافت بدینمعنی‌که هرگاه دو قطعه چرم ، یکی از یك توپ فوتبال و دیگری از زین اسب جداکنید و سعی‌کنیدکه آنها را برروی سطح میزی مستوی سازید ، خواهید دیدکه هیچیك بدون‌کشیده شدن یا جمع‌شدن راست نمی‌شود. محیط قطعهٔتوپ‌را بایدکشید ومحیط قطعهٔ جداشده از زین‌را باید جمع‌کرد تا بصورت مستوی درآیند . قطعهٔفوتبال باندازهٔ کافی « ماده » در اطراف مرکز خود ندارد تا مسطح‌شدن آن را میسرکند ، قطعهٔ زین بیشتر از آن ماده داردکه این‌کار را ممکن سازد ، و هرچه بخواهیم آنهارا صاف و مستوی‌کنیم بازجمع وتا می‌شوند .

همین نکته را از راه دیگر نیزمی‌توانیم تحقیق کنیم . فرض‌کنید که بخواهیم تعداد جوشهائی راکه ابتدا از نقطه‌ای در یك یا دو یا سه‌سانتیمتر سطح پراکنده است بشماریم . در سطح مستوی تعداد آنها برنسبت مربع عددهای ۱ و ۲ و ۳ . . . یعنی برنسبت ۱ و ٤ و ۹ و . . . است ، در سطح کروی‌تعدادجوشها به‌نسبت کمتر و درسطح‌زینی‌شکل به‌نسبت بیشتر پراکنده‌اند. پس‌دانشمندان مسطحی‌که **برروی** سطح قرار دارند و نمی‌توانند ازآن‌خارج شوند تا بشکل آن واقف گردند می‌توانند با شمردن تعداد جوشهائی‌که در درون دوایری بشعاعهای‌مختلف قراردارند بشکل سطحی‌که برروی‌آن‌هستند پی‌ببرند. این‌نکته‌را هم می‌توان خاطرنشان‌کردکه مثبت بودن یامنفی‌بودن انحنا را می‌توان از اندازه گرفتن زوایای مثلث تشخیص داد . بطوری‌که در بخش پیشین دیدیم مجموع زوایای مثلثی‌که بر روی کره رسم شود همیشه از دوقائمه بیشتر است ولی هرگاه برروی سطح زینی‌شکل مثلثی بکشید و زاویه‌های آنرا اندازه بگیرید خواهید دیدکه همواره مجموع آنها از دو قائمه **کمتر** است .

نتایجی راکه درباره سطوح منحنی گفتیم می‌توان در بارهٔ فضاهای سه‌بعدی منحنی تعمیم داد و جدول صفحهٔ ۱۱٦ را تنظیم‌کرد :

نوع فضا	وضع فضا در فواصل دور	مجموع زاویه های مثلث	افزایش حجم کره
دارای انحناء مثبت (نوع کره)	برروی خود بسته می‌شود	بزرگتر از ۱۸۰°	کندتر از مکعب شعاع
مستوی (صفحه)	بی‌نهایت ادامه دارد	مساوی ۱۸۰°	برنسبت مکعب شعاع
دارای انحناء منفی (نوع زین)	بی‌نهایت ادامه دارد	کوچکتر از ۱۸۰°	تندتر از مکعب شعاع

ازاین جدول می‌توان در بحث در بارهٔ این مسئله که «جهان متناهی است یا نامتناهی» استفاده کرد . ما ازاین مسئله در فصل دهم ، که به بحث درشکل جهان اختصاص خواهد داشت ، صحبت خواهیم کرد .

بخش سوم

عالم صغیر[۱]

۱ ـ یا عالم بی‌نهایت کوچك Microcosmos

فصل ششم

رو بپائین پلکان

۱ ــ عقیدهٔ یونانی

برای مطالعه در اجسام مادی و تجزیه و تحلیل ساختمان آنها خوب است ازشیئی‌که بنظر آشنا و «باندازهٔ معمولی» باشد آغازکنیم و قدم بقدم در درون آن پیش برویم تا بجائی برسیم‌که سرچشمهٔ همهٔ خواص مادی از چشمان‌کنجکاو بشری درآن نهفته باشد. پس بحث خودرا ازیك کاسهٔ «آش شله‌قلمکار»، که دروسط سفرهٔ شما گذاشته شده باشد، شروع‌می‌کنیم. کاسهٔ آش را نه بسبب خوش‌طعم بودن یا مغذی بودن آن انتخاب‌کردیم بلکه بدان سبب آنرا در نظر گرفتیم‌که مثال بسیارخوبی از مواد «نامتجانس»[۱] است و حتی بی‌میکروسکپ می‌توانید ببینیدکه مخلوطی از مواد واجزاء مختلف: انواع حبوبات باقطعات‌کوچك پیاز و قدری‌سبزی و اندکی چربی ومقداری نمك و فلفل باهم جمع شده و «شله‌قلمکار» شما را تشکیل داده‌اند.

غالب موادی‌که ما در زندگی روزمره باآنها سروکار داریم، بخصوص

---

۱ ــ Heterogenous

موادآلی ، از اجزاء مختلف ترکیب یافته‌اند ولی بیشتر اوقات برای درك این‌حقیقت محتاج بکمك میکروسکپ هستیم . حتی گاهی کافی است‌که فقط ماده‌ای را چندبار بزرگ‌کنیم تا بمرکب بودن آن پی بریم . مثلا اگر شیر را چندباربزرگ‌کنیم می‌بینیم‌که این‌مایهٔ مغذی عبارت‌است از دانه‌های‌خیلی کوچك‌کره‌که در یك‌مایع سفید رنگ یکنواخت به‌حال تعلیق هستند .

خاك معمولی باغچه مخلوط بسیاردقیقی است از ذرات‌آهك ، کائولن، کوارتز ، اکسیدآهن ومواد معدنی و املاح دیگر توأم با مواد آلی‌مختلفی که ازپوسیدن مواد نباتی وحیوانی گوناگون بوجود آمده‌اند . هرگاه سطح سنگ‌خارائی را صیقل و جلا دهیم خواهیم دیدکه این سنگ هم از بلورهای بسیارکوچك سه مادهٔ مختلف (یعنی‌کوارتز و فلدسپات و میکا) تشکیل‌شده است‌که سخت بیکدیگر جوش خورده و خارا را بوجود آورده‌اند .

در مطالعهٔ ساختمان اصلی ماده درك مرکب بودن آن از اجـزاء غیر همجنس اولین قدمی است‌که برداشته‌ایم و در حقیقت اولین «پاگرد» پلکانی است‌که از آن پائین می‌رویم و باید قدم‌بقدم و پله بپله پیش برویم وتحقیق و پژوهش‌کنیم تا به ساختمان «همجنس» هریك از مواد ترکیب کنندهٔ جسم مخلوط برسیم. درمواد «همجنس» ، مانند یکقطعه سیم مسین ، یك استکان‌آب، هوائی‌که اطاق مارا پرکرده‌است (صرفنظر ازآنچه بصورت‌گرد و غبار در آن بحال تعلیق است) ، مطالعه وتحقیق با میکروسکپ‌هم اثری از اجـزاء مختلف ترکیب‌کننده نشان‌نمی‌دهد وماده‌کاملا یکدست ومداوم بنظرمی‌رسد .

حقیقت آن‌است‌که اگر سیم مسین ، وعملا هرجسم صلب (بجز اجسام شیشه‌این‌که متبلور نمی‌شوند) ، را خیلی بزرگ‌کنیم می‌بینیم‌که ازبلورهای میکروسکپی ساخته شده‌اند . اما بلورهای‌آنها همه یکنواخت هستند . یعنی بلورهای یك‌سیم مسین‌همه از یکنوع وبلورهای یك‌ظرف آلومینیوم نیز همه ازیکنوع هستند ؛ عیناً مثل آنکه اگر یك‌مشت نمك طعام را درنظر بگیریم همهٔ آن فقط وفقط از بلورهای‌کلرورسدیم تشکیل شده است . با روش علمی خاصی بنام « تبلور بطئی » می‌توانیم اندازهٔ بلورهای جسمی ، مثلا مس یـا آلومینیوم یا هرجنس «یکجنس» دیگر ، را بتدریج بزرگتر کنیم و این‌عمل را هرقدر بخواهیم ادامه دهیم . جسمی‌که باین‌ترتیب «یك‌بلوری» شود کاملا یکدست و یکنواخت ، مانند آب ، خواهد بود .

آیا نتایجی که ما از این مطالعات که هم با چشم و هم با قوی‌ترین میکروسکپها انجام میشوند می‌گیریم وعقیده ونظری‌که بر اثر این‌مطالعات

پیدا می‌کنیم صحیح وقطعی است و هرقدر اجسامی راکه «یك‌جنس» می‌نامیم بزرگ‌کنیم همواره‌آنهارا یك‌جنس ویکنواخت خواهیم یافت ؟ بعبارت‌دیگر آیا می‌توان قبول‌کرد که‌یك مقدار بسیارکوچك مس وآلومینیوم ونمك وآب همیشه خواص مقدارهای بسیار بزرگ از این مواد را خواهند داشت و ما می‌توانیم مقداربزرگی ازهریك ازمواد را تاجائی‌که دلمان بخواهد باجزاء کوچکتر تجزیه‌کنیم ؟

نخستین دانشمندی‌که این پرسش را طرح‌کرد وکوشیدکه جوابی‌برای آن بیابد «ذیمقراطیس»[1] یونانی بودکه درحدود بیست وسه قرن پیش درآتن میزیسته است . جواب وی باین سئوال منفی بود . ذیمقراطیس بیشتر باین عقیده متمایل بودکه یك ماده را ، هرقدرهم یکنواخت ویك‌جنس بنظرآید ، باید مرکب ازعدهٔ بسیار زیادی (اما نمی‌دانست بچه زیادی) ذرات مجزا از هم خیلی‌کوچك (اما نمی‌دانست بچه کوچکی) دانست ؛ وی این ذرات بسیارکوچك را «اتم» یا «تقسیم‌ناپذیر» نامید .

این‌اتمها یا ذرات تقسیم‌ناپذیر دراجسام مختلف ازحیث تعدادمتفاوت بودند اما از حیث‌چگونگی تفاوت آنهـا صوری وظاهری بـود نه حقیقی . اتمهای آتش و آب در حقیقت یکی بودند و فقط بظاهر با یکدیگر تفاوت داشتند . همهٔ اجسام در واقع از یکنوع اتم جاودانی تشکیل می‌شدند .

یکی از معاصران ذیمقراطیس بنام «انباذ قلس»[2] نظری مخالف عقیدهٔ وی داشت و معتقدبودکه چندنوع مختلف اتم وجود داردکه چون با نسبت‌های مختلف درهم آمیخته شوند مواد مختلف را بوجود می‌آورند .

انباذقلس باتکاء و برپایهٔ اطلاعات مقدماتی‌که در آن زمان از شیمی وجود داشت چهارنوع مختلف اتم قائل‌گردید که چهارعنصر اصلی‌را بوجود می‌آوردند وآن‌چهارعنصر عبارت‌بودند از: سنگ(خاك) ، آب ، هوا (باد) و آتش. مطابق این‌عقیده زمین‌ترکیبی‌بود ازعنصرهای خاك وآب‌که اتم باتم با یکدیگر آمیخته بودند و هرچه‌آمیختگی دقیقتر بود جنس خاك زمین بهتر می‌شد . گیاهی‌که از زمین می‌روئید عناصر خاك و آبرا با عنصرآتشی کـه از اشعهٔ خورشید می‌گرفت ترکیب‌می‌کرد و ذرات‌مرکب جنس‌چوب‌را بوجود می‌آورد. سوختن چوب موجب می‌شدکه عنصرآب آن ازمیان می‌رفت وچوب بدوعنصر آتش‌وخاك تجزیه می‌شدکه اولی بصورت شعله تجلی‌می‌کرد ودومی

۱ـ Democritus

۲ـ Empedocles

بشکل خاکستر برجای می‌ماند .

اکنون ما می‌دانیم که این توضیح و تفسیر دربارهٔ رستن گیاه وسوختن چوب ، که در آن زمان که علم دردورهٔ کودکی بود بظاهر کاملا منطقی می‌نمود، امروز بکلی باطل وغلط است ، می‌دانیم که گیاه بیشتر موادی راکه برای رشد به‌آنها احتیاج دارد ، برخلاف عقیدهٔ پیشینیان و شایدهم برخلاف تصور شما (اگر قبلا این‌مطلب بشما گفته شده باشد) ، از زمین نمی‌گیرد بلکه ازهوا دریافت می‌کند ، زمین گذشته از این‌که گیاه را نگاه می‌دارد و آبی راکه برای آن موردنیاز است ذخیره می‌کند کمکهای بسیار مختصری ازحیث تأمین برخی املاح لازم برای نمو گیاه بآن می‌نماید و چه‌بسیار ممکن است ازمقدار خاکی‌که دریك‌انگشتانه جابگیرد یك‌بوتهٔ بزرگ ذرت بوجودآورد.

حقیقت آنکه هوای جوکه ترکیبی است از اکسیژن و آزت (برخلاف عقیدهٔ پیشینیان کـه آنرا عنصری بسیط می‌دانستند) مقداری هم انیدرید-کربنیك دربر داردکه‌هرملکولش از اتمهای اکسیژن و اتمهای‌کربن‌ترکیب شده است. برگهای سبز گیاهان زیرتأثیر پرتو خورشید انیدریدکربنیك هوا را جذب می‌کنند و این‌گاز با آبی‌که بوسیلهٔ ریشهٔ گیاه جذب شده و بـآن رسیده است ترکیب می‌شود ومواد آلی مختلفی راکه‌گیاه ازآن تشکیل‌شده است بوجود می‌آورد . جزئی از اکسیژن بهوا بـاز می‌گردد و بهمین سبب است‌که « اگر گیاهی در اطاق باشد بتازه شدن هوای آن‌کمك می‌کند .»

وقتی‌که چوب می‌سوزد مادهٔ ترکیب‌کنندهٔ آن با اکسیژن هوا ترکیب می‌شود وبصورت انیدریدکربنیك و بخارآب در می‌آیدکه با شعلهٔ آتش بهوا می‌روند .

عنصر آتشی‌که قدما معتقد بودندکه درساختمان‌گیاه دخیل‌است وجود ندارد . پرتو خورشید فقط کارمایهٔ [1] لازم برای تجزیه کـردن ملکولهـای انیدریدکربنیك را فراهم می‌سازد و در نتیجهٔ این تجزیه غذائی‌که از هوا گرفته می‌شود برای نبات « قابل‌هضم و جذب» می‌گردد . پس چون « عنصر آتش » وجود ندارد شعلهٔ آتش سوزان را نمی‌توان نتیجهٔ آن دانست ، شعله فقط‌جریانی‌ازگازهاست‌که درنتیجهٔ کارمایه‌ای‌که ازعمل‌سوختن‌آزاد می‌گردد گرم و قابل دیده شدن می‌شوند .

اکنون درمثال دیگری هم اختلاف‌بین معتقدات قدیم وجدیدرا دربارهٔ تبدلات شیمیائی‌نشان می‌دهیم . البته می‌دانیدکه اگر سنگهای معدنی‌مختلف

---

۱ ــ انرژی

را درکوره‌های ذوب فلز آب‌کنیم فلزات مختلف بوجود می‌آیند . بظاهر و درنظر اول سنگهای معدنی اختلافی باسنگهای دیگر ندارند ، پس‌عجب‌نیست اگرپیشینیان تصور می‌کردندکه سنگهـای معدنی از جنس سنگهای معمولی هستند . اما می‌دیدندکه اگر سنگ‌آهن را در آتش زیاد بگدازنـد از آن چیزی بدست می‌آیدکه غیر از سنگ است ، یعنی مادهٔ درخشنده‌ای که باآن می‌توانستند دشنه وسنان خوب بسازند . بهترین توضیحی‌که می‌توانست‌بفکر مردم آن‌زمان راه‌یابد این‌بودکه فلز ازترکیب عنصرهای خاك وآتش بوجود می‌آید ، یا ، بعبارت دیگر ، ملکولهای فلز تشکیل شده‌اند از اتمهای خاك و آتش .

وچون همهٔفلزات را بدینگونه می‌دانستند معتقد بودندکه اختلاف‌بین آنها، مثلا اختلاف بین آهن و مس و طلا ، نتیجهٔ اختلاف نسبتهای‌آمیختگی اتمهای‌خاك و آتش بود . آیا واضح نبودکه در طلای درخشنده و تابناك عنصر آتش‌زیادتربود تا در آهن تیره و سیاهرنگ ؟

اما اگر چنین باشد چرا مقدار بیشتری «آتش» به آهن ، و بخصوص به مس ، علاوه نشود تا بطلای گرانبها تبدیل شوند ؟ با این اندیشه بود که کیمیاگران‌قرون وسطی عمری را درکنارکوره‌های‌کیمیاگری‌سرمی‌کردند و می‌کوشیدندکه ازفلزات ارزانتر «طلای ترکیبی» بسازند .

در نظرخود آنان کارشان همان اندازه معقول و منطقی بودکه کار شیمی‌دان امروزی‌که در پی بسط طریقهٔ ساختن‌کائوچوی‌ترکیبی است درنظر خود او است . اشتباه آنان در عقیده و عمل این بودکه طلا و فلزات دیگر را موادی‌مرکب می‌دانستند نه عناصری بسیط . ولی اگر مساعی آنان نبود تمیز مرکب از بسیط چگونه ممکن‌می‌شد ؟ اگرآنان تلاش‌کودکانه‌ای برای تبدیل آهن و مس بطلا نمی‌کردند ما هرگز نمی دانستیم‌که فلزات عناصری بسیط هستند و سنگهای فلزات ترکیبهائی هستند از اتمهای‌فلز و اکسیژن، یا بقول شیمی‌دانان امروز این سنگها اکسیدهای فلزات هستند .

تبدیل سنگ آهن به آهن درکوره‌های آهن‌گدازی ، برخلاف عقیدهٔ قدماکه تصورمی‌کردند عنصرخاك با عنصرآتش ترکیب‌می‌شود ،نتیجهٔ تجزیهٔ سنگ آهن است ، یعنی نتیجهٔ جداکردن اکسیژن از ملکولهای‌اکسیدآن : زنگی‌که مجاورت هوای مرطوب بر روی‌آهن تشکیل می‌شود نتیجهٔ آن‌نیست که عنصر آتش درنتیجهٔ تجزیه جداشود وعنصر خاکی باقی‌بماند بلکه نتیجهٔ ترکیب‌اتمهای‌آهن‌با اتمهای‌اکسیژن موجود درهوا یاآب وتشکیل‌ملکولهای

اکسید آهن است. [۱]

از بحثی که کردیم ظاهـر می‌شود که عقیدهٔ دانشمندان سلف در بارهٔ ساختمان داخلی ماده و نوع تبدلات شیمیائی اصولا صحیح بوده است ولی در تمیز و تشخیص عناصر اصلی راه‌خطا می‌رفته‌اند.

در حقیقت هیچیك از چهار ماده‌ای که انباذقلس عنصر و بسیط دانسته بود بسیط نیست: هوا مخلوطی است از گازهای متعـدد، ملکولهای آب از اتمهای اکسیژن و ئیدرژن تشکیل شده‌اند، خـاك ترکیبی داردکـه در آن عنصرهای گوناگون مداخله دارند و اتم آتش مطلقاً وجود ندارد[۲]

در حقیقت در طبیعت تنها چهارعنصر نیست بلکه ۹۲عنصر شیمیائی، یعنی ۹۲ نوع اتم مختلف‌وجود دارد، برخی از این۹۲عنصر شیمیائی، مانند اکسیژن‌وکربن وآهن‌وسیلیس (که از اجزاء اصلی‌ترکیب‌کنندهٔ‌سنگهاست)، بحدوفور وجود دارند و همه باآنها آشناهستیم و برخی دیگر بسیارکمیاب هستند، شاید شما هیچگاه اسم عنصر های پرازئودیمیوم[۳] و دیسپروسیوم [٤] و لانتانوم [٥] را نشنیده باشید. علاوه‌برعناصری‌که درطبیعت وجود دارند علم جدید توانسته‌است‌که چندعنصرشیمیائی مصنوعی بسازدکه اندکی بعدازآنها صحبت خواهیم داشت، و یکی ازآنها بنام **پلوتونیوم** نقش مهمی بر عهده دارد و آن آزادکردن کارمایهٔ اتمی برای استفاده در زمـان جنگ و اوان صلح است. وقتی‌که اتمهای ۹۲عنصر با نسبت‌های مختلف بایکدیگرترکیب شوند مواد مختلفی راکه تعدادشان از شماره بیرون است بوجود می‌آورند، از قبیل آب وکتاب، یا سنگ و نهنگ، یاکره و تره، و بسیار ترکیبات دیگر از قبیل «تری‌فنیل‌پی‌ریلیوم‌کلرید» [٦] یا «متیلزوپروپیل‌سیکلوهکذان» [۷]

---

۱ ـ باین‌ترتیب کیمیادانان‌کهنسال‌برای تهیه و استخراج آهن این‌فرمول: ملکولهای‌آهن ← اتمهای آتش + اتمهای خاك (یعنی سنگ‌معدن) وبرای زنگ آهن این فرمول:

اتمهای‌آتش + اتمهای خاك (یعنی زنگ) ← ملکولهای آهن

را بیان می‌کردند و ما امروز برای تهیهٔ آهن فرمول:

اتمهای اکسیژن + آهن ← ملکولهای اکسیدآهن (یعنی سنگ معدنی)

را بیان می‌کنیم وبرای زنگ آهن این‌فرمول را:

اتمهای اکسیدآهن (یعنی زنگ) ← اتمهای اکسیژن + اتمهای آهن.

۲ ـ بطوریکه بعداً در همین فصل خواهیم دیـد جزئی از عقیده بوجـود اتمهای آتش در تئوری کوانتای نور احیا شده است.

۳ ـ Praseodymium ۴ ـ Disprosium ٥ ـ Lanthanum

٦ ـ Triphenylpiriliumchloryde

۷ ـ Methylsopropylcyclohexane

این اصطلاحات را یکنفر شیمی‌دان خوب باید از بر بداند اما غالباً مردم عادی حتی نمی‌توانند بیك نفس آنرا برزبان آورند ، و صدها جلد کتاب و رسالهٔ شیمی نوشته شده است تا خواص وطرق تهیه و سایر خصوصیات این ترکیبات بی‌شمار اتمها را نشان دهد .

۲ ـ اتمها بچه بزرگی هستند ؟

هنگامی که ذیمقراطیس و انباذقلس از اتم سخن می گفتند مبنای دلایلشان بر عقاید مبهم فلسفی در بارهٔ این امربودکه « هرگز ممکن نیست تصورکردکه بتوان ماده را باجزاءکوچکتر و بازکوچکتری تقسیم کرد بی‌آنکه سرانجام بواحد غیرقابل تقسیمی رسید » .

امروز وقتی‌شیمی‌دانی از اتم‌صحبت می کند چیزمشخص‌تر ومنجزتری درنظر دارد . زیراکه لازم‌است دربارهٔ اتمها و طرز اختلاطشان‌برای‌تشکیل ملکولهای مرکب اطلاع دقیق و قطعی داشت تا بتوان این قانون شیمیائی‌را فهمیدکه «برطبق آن عنصرهای گوناگون شیمیائی زمانی‌باهم یکی و متحد می‌شوندکه وزنهایشان بنسبتهای مشخص و معینی باشد و این نسبت ها باید بتوانند بصراحت‌اوزان نسبی اتمهای جداگانهٔ این‌عناصررا منعکس‌سازند». مثلا شیمی‌دان باین‌ترتیب نتیجه می گیردکه اتمهای اکسیژن و آلومینیوم و آهن بایدبترتیب ۱۶ بار و ۲۷ بار و۵۶ بار سنگین‌تر از اتم ئیدرژن‌باشند.

اما هرچند وزن نسبی‌اتمی عناصر مختلف جزء اصلی واساسی‌اطلاعات شیمیائی‌است وزنهای‌فعلی اتمهاکه بگرم بیان شود مطلقاً درکارهای شیمیائی بی تأثیر است و وقوف‌باین‌وزنها بهیچ روی در حقایق شیمیائی و بکاربردن قوانین و روشهای خاص علم شیمی مؤثر نیست .

اما اگرفیزیك‌دانی با اتم سروکارپیداکند اولین‌پرسش او این‌خواهد بود که « اندازه‌های فعلی اتم برحسب سانتی‌متر و وزن آنها برحسب گرم چیست و درمقدار معینی از ماده چند اتم وملکول وجود دارد ؟ و آیا راهی هست‌که اتمها و ملکولها را یکی‌یکی دید وشمرد و لمس‌کرد ؟ »

راههای مختلف برای تخمین کردن اندازهٔ اتم و ملکول وجود دارد و ساده‌ترین این‌راهها آنقدر ساده‌است‌که شاید اگر ذیمقراطیس وانباذقلس هم بفکرآن افتاده‌بودند بدون‌داشتن وسایل آزمایشگاهی جدید می‌توانستند از آن راه استفاده‌کنند ، اگرکوچکترین جزء درساختمان یك چیز مادی ،

مثلا یك‌سیم مسین ، اتم باشد لابد واضح‌است‌که نمی‌توان از این‌ماده ورقه‌ای نازکتر از قطر این اتم ساخت . پس می‌توانیم سعی کنیم‌که آنقدر سیم مسین را بکشیم تا بشکل زنجیری از اتمهای منفرد درآید یاآنرا آنقدر بکوبیم تا ورقه‌ای بنازکی قطر یك‌اتم حاصل شود . حصول این امر در مورد مس یـا هرجسم جامد دیگرتقریباً غیرممکن‌است زیراکه پیش ازآن‌که ماده بنازکی مطلوب برسد درهم می‌شکند . اما در مـورد سیالات حصول‌آن ممکن است، مثلا می‌توان روغن را بقشر بسیار نازکی بر روی آب گسترد بقسمی‌که این قشر از ملکولهائی تشکیل شودکه همه پهلوی هم قرارگرفته باشـند ولـی هیچیك برروی دیگری نباشد . خوانندهٔ این‌سطور می‌تواند با حوصله وصبر زیاد این آزمایش را انجام دهد و با این وسیلهٔ ساده قطر ملکولهای روغن را اندازه بگیرد .

ظرف باریك‌کم‌عمقی مانند ظرف شکل۴۳ اختیارکنید وآنرا بر روی زمین یا میزی‌که کاملا تراز شده باشد قرار دهید . آنرا لبالب آب‌کنید و از روی آن ، درعرض ، سیمی بگذرانیدکه با سطح آب مماس شود . اگـر قطرهٔ‌کوچکی روغن خالصی در یك‌طرف سیم بچکانید روغن در سراسرقسمتی از ظرف‌که درهمان طرف سیم است گسترده می‌شود .

شکل۴۳

اگر قشر نازکی از روغن را که برسطح آب‌گسترده باشد زیاده از حد بکشیم متلاشی می‌شود

حالا اگر سیم را درطول لبهٔ ظرف جابجاکنید روغن بدنبـال آن بر بقیهٔ سطح مایع گسترده می گردد وضخامت‌آن‌کمتر می‌شود و سرانجام ممکن است بکلفتی‌قطر یك‌ملکول روغن‌برسد . ازآن‌پس اگر سیم را عقب‌تر ببرید

سطح مداوم روغن متلاشی می‌شود و سوراخهائی در آن پدید می‌آید که بسطح آب مربوط است . اگر مقدار روغنی‌راکه برسطح آب ریخته‌اید وسطحی را که روغن‌بدون متلاشی‌شدن برآن گسترده شده‌است بدانید می‌توانید ضخامت قشر روغن ، یعنی قطر یك‌ملکول منفرد آن ، را حساب‌کنید .

بهنگام انجام این آزمایش ممکن است به پدیدهٔ جالب دیگری نیز بربخورید : وقتی‌که چندقطرهٔ روغن بر سطح آبی بچکانید نخست رنگهای رنگین‌کمان معمولی را برسطح آب خواهیدیافت وکسانی‌که از لنگرگاهها وبندرهائی‌که محل‌آمد وشدکشتیهاست گذشته‌اند این‌منظره‌را بسیاردیده‌اند. پیدایش این رنگها نتیجهٔ پدیدهٔ معروف تداخل اشعهٔ نوری‌است‌که ازحدود زیرین وزبرین‌قشرروغن منعکس‌می‌گردند ، و تفاوت رنگها درنقاط‌مختلف نتیجهٔ آن است‌که سطح روغنی‌که از محل سقوط قطرهٔ روغن بر سطح آب پراکنده می‌شود همه‌جا دارای یك‌ضخامت‌نیست. اگر آنقدر صبرکنید تاقشر روغن برسطح‌آب یك‌نواخت شود تمام سطح آن یك‌رنگ بخود خواهدگرفت. هرچه ضخامت قشر روغن بتدریج‌کمترشود رنگ آن از قرمزی بزردی ، از زردی به‌سبزی ، از سبزی برنگ‌آبی وازرنگ‌آبی به رنگ‌بنفش می‌گراید، یعنی ازکوتاه شدن طول امواج نور از قرمز بطرف بنفش تبعیت می‌کند . هرگاه‌گسترده شدن روغن بر سطح آب بمقدار بیشتری ادامه یابد وقتی خواهد رسیدکه دیگر رنگ ازمیان برود . این امر نشانهٔ آن نیست‌که قشر روغن وجود ندارد بلکه مبین‌آنست‌که ضخامت قشر روغن ازکوتاه‌ترین‌موج نوری‌که بچشم ما قابل رؤیت است‌کمتر شده و رنگ آن بوضعی درآمده‌است که چشم ما بدرك آن قادر نیست . اما بازهم‌شما می‌توانید سطح از روغن پوشیده را از سطح آب خالص تمیز دهید زیراکه دوشعاع نوری‌که از سطح فوقانی و سطح تحتانی یك قشر بسیار نازك روغن منعکس شوند چنان با یکدیگر تداخل می‌کنندکه بنحوی از شدت کامل نور کاسته می‌شود . باین ترتیب وقتی‌هم‌که قشرروغن رنگ خودرا از دست می‌دهد از سطح‌آب‌خالص باین‌نحو متمایز می‌شودکه در نور منعکس اندکی «تیره» تر از آب خالص بنظر می‌رسد .

اگر آزمایش را عمل‌کنید و بموقع اجراگذارید خواهید دید که یك

میلیمتر مکعب روغن یك سطح یك متر مربعی را خواهد پوشانید امـا اگر بخواهیم آنرا بر سطح بزرگتری بگستریم متلاشی‌می‌شود و در نقاط مختلف آب خالص ظاهر می‌گردد .[۱]

۲ ـ دسته شعاعهای ملکولی

روش جالب دیگری برای اثبات ساختمان ملکولی ماده عبـارت است از مطالعهٔخروج گازها یا بخارها ازسوراخهای کوچك و انتشار اتمها درفضای خالی مجاور .

فرض کنید یك‌ظرف شیشه‌این بشکل حباب داشته باشیم (ش ٤٤) و درون آنرا کاملا ازهوا خالی کرده درآن کورهٔ برقی کوچکی قرار داده‌باشیم وکوره عبارت باشد ازیك استوانهٔ گلین که در دیوارآن سوراخ کوچکی تعبیه گردیده گرداگردآن مقاومت الکتریکی بشکل مفتول پیچیده شده باشد تا تولید حرارت کند . اگر قطعه فلزی از قبیل سدیم وپتاسیم ،کـه خیلی زود آب می‌شوند ، در داخل کوره بگذاریم درون کوره ازبخار فلز پر می‌شود و این بخار از سوراخ کوچك دیوارکوره بخارج تراوش می‌کند . پس ازآنکه این بخار بدیـوار سرد ظرف شیشه‌این برخورد کند بر روی آن می‌نشیند و می‌چسبد و ذرات آئینه مانندی که بر روی قسمتهای مختلف دیوارظرف‌ظاهر

---

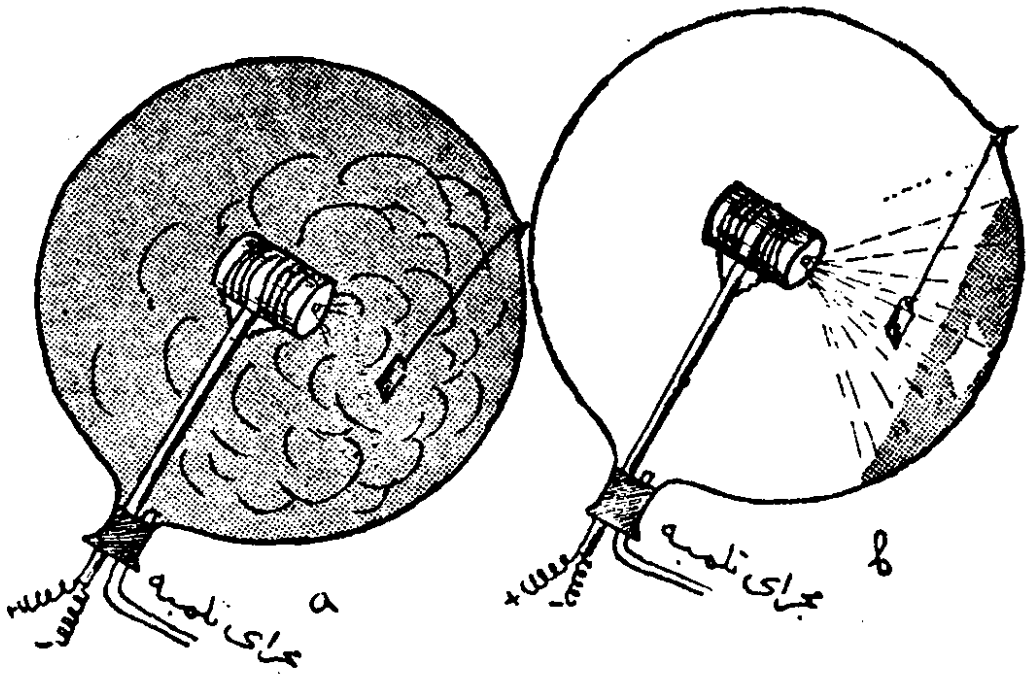
۱ ـ ببینیم که قشر روغن قبل ازاینکه متلاشی شود تا چه حد ممکن‌است بر سطح آب بسط پیدا کند ؟ بمنظور اجرای محاسبات لازم است قطرهٔ روغن را مکعبی فرض کنید که هرضلعش یك‌میلیمتر باشد . برای آنکه یك میلیمتر مکعب روغن بر سطح یك‌متر مربع گسترده شود باید سطح یك میلیمتر مربع آن که با سطح آب در تماس است از یك‌میلیمتر مربع بیك متر مربع افزایش یابد یعنی یك میلیون برابر شود و بنا براین باید ارتفاع مکعب هم یك‌میلیون مرتبه کوچکتر شود تا حجم ثابت بماند . از این محاسبه برای ضخامت نهائی قشر روغن ، یعنی برای قطر یك ملکول روغن ، مقداری درحدود :

$$\frac{۱}{۱۰۰۰۰۰۰۰} \text{ سانتیمتر} = ۱۰^{-۷} \text{ سانتیمتر} = ۱ر۰ \times ۱۰^{-۶} \text{ سانتیمتر}$$

بدست می‌آید و چون هرملکول از اتمهای متعدد تشکیل شده است قطر هر اتم از $۱۰^{-۷}$ سانتیمتر بمراتب کمتر است .

می‌شود بطور واضح نشان می‌دهد که ماده پس‌ازخروج ازکوره چگونه انتشار یافته است .

بعلاوه خواهیم دید که انتشار این ماده (که فیلم نامیده می‌شود) بر روی دیوار شیشه‌این برحسب درجات مختلف حرارت کوره تفاوت می‌کند . اگر درجهٔ حرارت کوره خیلی زیاد و درنتیجه تکاثف بخارفلز درداخل کوره بالا باشد پدیده انتشار ماده خیلی شبیه بچیزی است که هنگام خروج بخاراز سماور یا از دیگ ماشین بخاردیده می‌شود ، بخار پس از خروج از سوراخ بهرطرف پراکنده می‌شود (ش٤٤) ورسوب کمابیش یکنواختی درتمام‌سطح داخلی‌ظرف می‌گذارد .

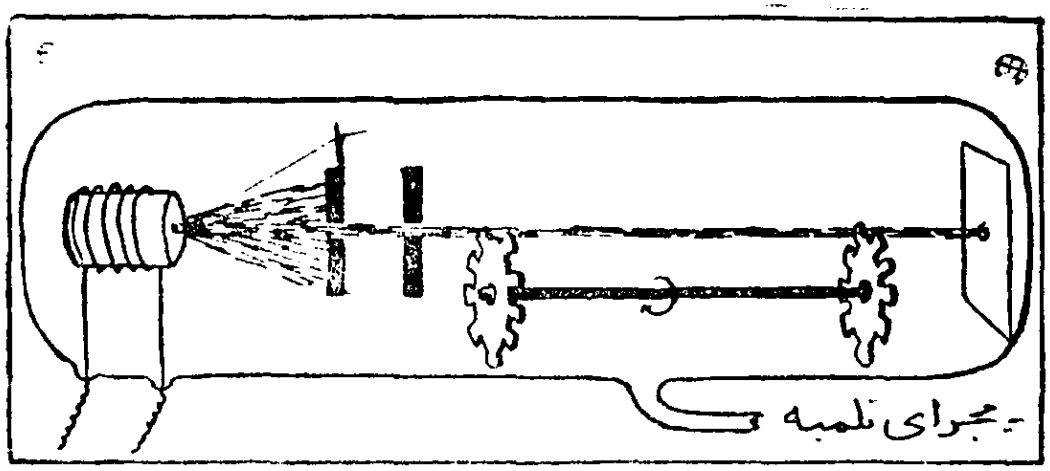


شکل ۴۴

اما اگردرجهٔ حرارت کوره کم وتکاثف بخارپائین باشد پدیده بصورتی کامل‌متفاوت ظاهرمی‌گردد و ماده پس از خروج از سوراخ بجای اینکه در همه طرف پراکنده شود تقریباً درامتداد خط مستقیم سیرمی‌کند وقسمت‌اعظم آنچه‌که بر روی شیشه می‌نشیند در قسمت مقابل سوراخ کوره واقع‌می‌شود . اگر چیزکوچکی در جلو سوراخ قرار دهیم این امربهتر و بیشتر محسوس می‌شود (ش ٤٤) : بر روی قسمتی از سطح ظرف که درعقب آن چیزکوچك است مطلقاً رسوبی قرار نمی‌گیرد و شیشه در آن قسمت شفاف باقی می‌ماند و حدود این قسمت شفاف کاملا دارای شکل سایهٔ هندسی همان چیز بر روی سطح شیشه خواهد بود .

هر گاه بیاد بیاوریم که بخار مرکب است از عدهٔ بسیار زیادی ملکولهای جدا گانه که بسرعت در فضا منتشر و در هر جهت پراکنده می‌شوند و پیوسته بیکدیگر تصادم می‌کنند می‌توانیم بآسانی به‌علت اختلاف بین گازهائی که با تکاثف زیاد یا تکاثف کم منتشر می‌شوند پی ببریم . وقتی که تکاثف بخار زیاد باشد خروج آن از سوراخ در مثل مانند جمع انبوه و آشفته‌ایست که از تماشاخانه ای که دستخوش حریق شده است بیرون می‌ریزند و وقتی هم که از در بیرون می‌آیند بیکدیگر تنه می‌زنند و بهرسوی خیابان پراکنده می‌شوند ، اما وقتی که تکاثف کم است مانند آن است که فاصله بفاصله کسی ازدر بیرون بیاید و بی تزاحم و بر خوردی راه خویش پیش گیرد و راست برود .

جریان مادهٔ بخار با تکاثف کم را که ازسوراخ کوره خارج می‌شود « دسته شعاعهای ملکولی » می‌نامند و مرکب از عدهٔ زیادی ملکولهای انفرادی است که پهلو بپهلوی هم در فضا سیر می‌کنند. این دسته شعاعها برای مطالعهٔ خواص انفرادی ملکولها فایدهٔ بسیار دارند . مثلا می‌توان از آنها در اندازه گرفتن سرعت حرکت حرارتی استفاده کرد .



شکل ۴۵

نخستین بار «اتوشترن» [۱] اسبابی ساخت که با آن در سرعت این گونه دسته شعاعهای ملکولی بمطالعه پرداخت . این اسباب عملا شبیه بدستگاهی بود که فیزو برای اندازه گرفتن سرعت نور بکار برده بود (رجوع کنید بشکل ۳۱) ، یعنی مرکب ازدو چرخ دندانه‌دار بود که برروی یك محور کار گذاشته شده بودند بقسمی که وقتی چرخها با سرعت زاویه‌ای معینی می‌چرخیدند یك شعاع ملکولی می‌توانست

---

۱ ـ Otto Stern

از لای دندانه‌های آن دوچرخ بگذرد (ش ٤٥) . اشترن با قراردادن صفحه‌ای بر سر راه یك شعاع ملکولی توانست نشان دهد که سرعت آن بسیار زیاد است (اتمهای سدیم درحرارت ۲۰۰ درجه ثانیه‌ای یك کیلومتر و نیم سرعت دارند) وهرچه درجهٔ حرارت گاز بالاتر رود سرعت شعاع ملکولی بیشتر می‌شود . این آزمایش دلیل مستقیمی برای نشان دادن تئوری حرکتی حرارت است که بموجب آن افـزایش درجهٔ حرارت جسمی عبارت است از افزایش حرکت حرارتی ملکولهای آن .

۴ ـ عکاسی اتمی

هر چند با مثالهائی که آوردیم جای تردیدی در درستی فرضیه‌های اتمی باقی نمی‌ماند باز بمصداق « شنیدن کی بود مانند دیدن » قاطعترین دلیل بر وجود اتم و ملکول آن است که آدمی این ذرات بسیار کوچك را بچشم ببیند. این اثبات بصری را تقریباً همین اواخر فیزیك دان انگلیسی **برگ** [۱] با گرفتن عکسی از اتمها و ملکولهای مجزای اجسام متبلور تحقق بخشید .

اما نباید پنداشت که گرفتن عکس اتمها کاری است آسان ، زیرا که در این کار باید توجه داشت که اگر طول موج نوری که با آن عکس گرفته می‌شود از طول شیئی که باید عکسش گرفته شود کوتاهتر نباشد عکس آنقدر محو خواهد بود که طرفی از آن بسته نخواهد شد. هیچگاه نمی‌توان با قلم موی رنگرزی یك مینیاتور ایرانی ساخت ! زیست شناسان که با موجودات زندهٔ میکروسکپی سروکار دارند خوب باشکال این کار واقفند زیرا که اندازهٔ یك باکتری (در حدود ۰/۰۰۰۱ سانتیمتر) در کوچکی بـا طول موج نور مرئی قابل قیاس است .

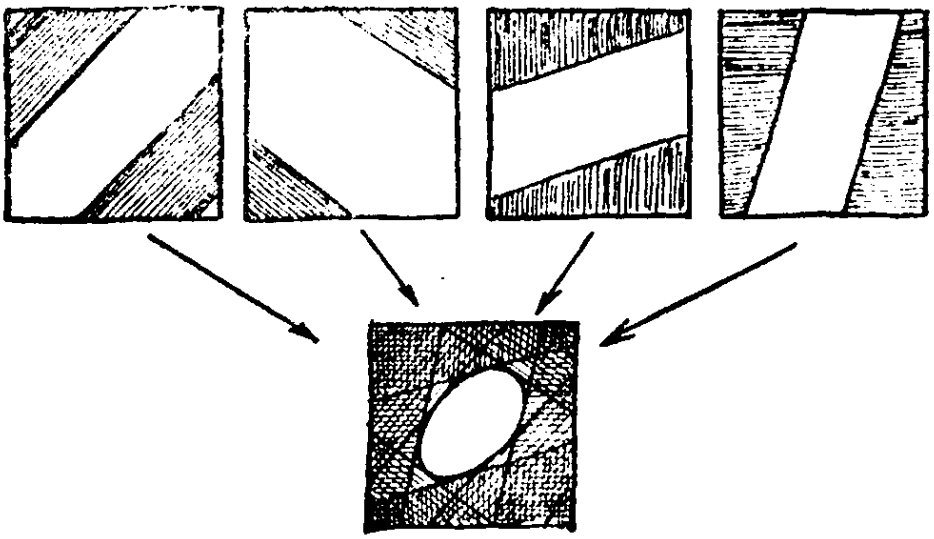
برای اینکه بدرجهٔ وضوح عکسهای میکروسکپی باکتریها بیفزایند این عکسها را با نور بالای بنفش (اولترا ویولت) می‌گیرند و باین نحو نتایج بهتری بدست می‌آورند. اما اندازهٔ ملکولهای یك شبکهٔ متبلور و فواصلشان از یکدیگر

---

۱ ـ Sir William Lawrence Bragg متولد ۱۸۹۰

آنقدر کوچك وکم‌است (حدود۰/۰۰۰۰۰۰۰۱ سانتیمتر) که نه نورمرئی در گرفتن‌عکس آنها بکارمی‌خورد ونه‌اشعهٔ‌بالای‌بنفش. برای‌اینکه این‌ملکولهارا جدا ازیکدیگر ببینیم‌بایدازتشعشعاتی‌استفاده‌کنیم‌که طول‌موجشان هزاران‌بار کوتاهترازطول امواج نورمرئی باشد ، یعنی بعبارت دیگر ازتشعشعاتی بنام اشعهٔ‌مجهول(ایکس) استفاده‌نمائیم. اما اینجا بااشکالی مواجه‌می‌شویم‌که‌بنظر ازبین‌نرفتنی است وآن‌این‌است‌که اشعهٔ‌مجهول ازهرجسمی می‌گذرد ومنکسر نمی‌شود بقسمی‌که با این اشعه هیچ‌عدسی و میکروسکپی کار نمی‌کند . این خاصیت وقتی‌که با قدرت نفوذ زیاد اشعهٔ مجهول توأم شود آنهارا درعلم‌طب بسیار مفید می‌سازد زیراکه اگراین اشعه بهنگام‌عبور از بدن انسان‌منکسر می‌گردید عکسهائی که با اشعهٔ مجهول گرفته می‌شوند بسیار محو و مبهم می‌شدند . اما عجب‌آنکه همین خاصیت امکان‌گرفتن هرگونه تصویر بزرگ شده‌ای بکمك اشعهٔ مجهول را ازمیان می‌برد .

درنظر اول راه چاره‌ای بنظر نمی‌رسد . اما «برگ» راهی مدبرانه و بی‌اشکال‌یافت . مبنای‌مطالعات او بر تئوری‌ریاضی میکروسکپ بودکه‌بوسیلهٔ «آبه»[۱] عرضه شده بود وبرطبق آن هرتصویر میکروسکپی را می‌توان نتیجهٔ برروی‌هم واقع شدن‌چندنقش دانست‌که هرنقشی‌مرکب باشد ازخطهای‌متوازی تیره‌ای‌که تحت زاویهٔ‌معینی درحوزه رسم شده باشند . تجسم سادهٔ این‌نظریه را می‌توان درشکل ٤٦ یافت‌که درآن تصویر یك سطح نورانی درمرکز یك



شکل۴۶

---

۱ ـ Abbé

زمینهٔ تیره از برروییهم قرارگرفتن چهارنقش مرکب ازخطوط متوازی‌بوجود آمده است .

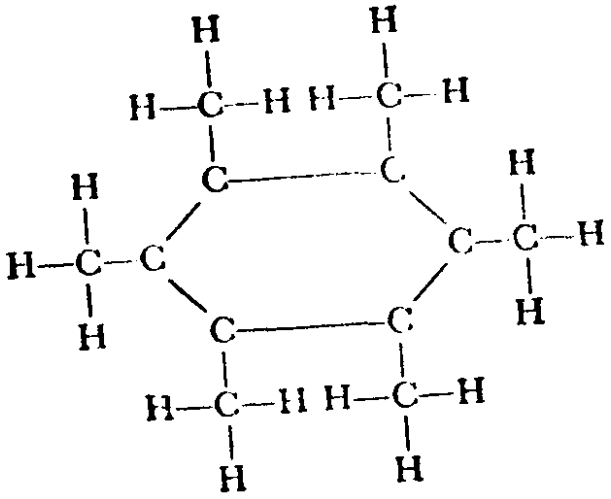
برطبق تئوری آبه کارمیکروسکپ عبارت است از : (۱) تجزیهٔتصویر اصلی بیك‌عده نقشهای مرکب از خطوط متوازی ، (۲) بزرگ‌کردن هـریك از آن‌نقشها و (۳) برروی هم قراردادن نقشهای بزرگ‌شده بنحوی‌که‌تصویر بزرگ شده‌ای بدست آید .

این طریقه را می‌توان با روش چاپ تصاویر الوان بوسیلهٔ برروی هم چاپ‌کردن یکعده نقشهای یکرنگ مقایسه‌کرد . وقتی‌که بهرنقش‌یکرنگ نگاه‌کنید نمی‌توانید بفهمیدکه تصویراصلی نمایندهٔ چیست اما همینکه تمام نقشهای یکرنگ برروی هم چاپ شدند تصویر درکمال وضوح دربرابرچشم نمایان می‌شود .

چون ممکن نیست عدسی‌ای ساخته شود که بکمك آن بتـوان با اشعهٔ مجهول تمام اعمال لازم برای‌گرفتن عکس را خودبخود انجام داد بناچـار قدم بقدم پیش می‌رویم وبکمك اشعهٔ مجهول از روی شیئی متبلور عدهٔزیادی نقشهای مرکب از خطوط متوازی با امتدادهای مختلف تهیه می‌کنیم وآنها را با روش مناسبی در روی یك‌صفحهٔ کاغذ بر روی هم قرار می‌دهیم . باین ترتیب کاری راکه‌بایستی عدسی‌بکند انجام می‌دهیم ، با این تفاوت‌که‌عدسی این‌کار را در یك‌لحظه انجام می‌داد ولی‌یك‌شخص عامل ومجرب برای انجام آن باید ساعتها وقت صرف‌کند. باین سبب‌است‌که با روش «برگ» می‌توانیم از «بلورها» ،که ملکولهایشان ثابت و پا برجا هستند ، عکسهائی تهیه‌کنیم اما تهیهٔ عکس ازمایعات یاگازها ،که ملکولهایشان دیوانه‌وارگرد یکدیگر در رقص و حرکتند ، ممکن نیست .

هرچند عکسهائی‌راکه با روش « برگ »گرفته‌می‌شوند نمی‌توان بایك اشارهٔ انگشت بدوربین عکاسی‌گرفت اما درجهٔ وضوح‌آنها خوب و بحدی‌است که از یك تصویر مرکب انتظار می‌رود. حقا هم اگروضع بنائی از نظرفنی اجازه ندهدکه عکس تمام آن برروی یك‌صفحه‌گرفته شود به عکاسی‌که آنرا با چندعکس مجسم ساخته است ایرادی نمی‌توان‌گرفت ! در تصویر خارج از

متن شمارهٔ ۱ عکس ملکول « هکزامتیلوبنزن » که فرمول شیمیائیش



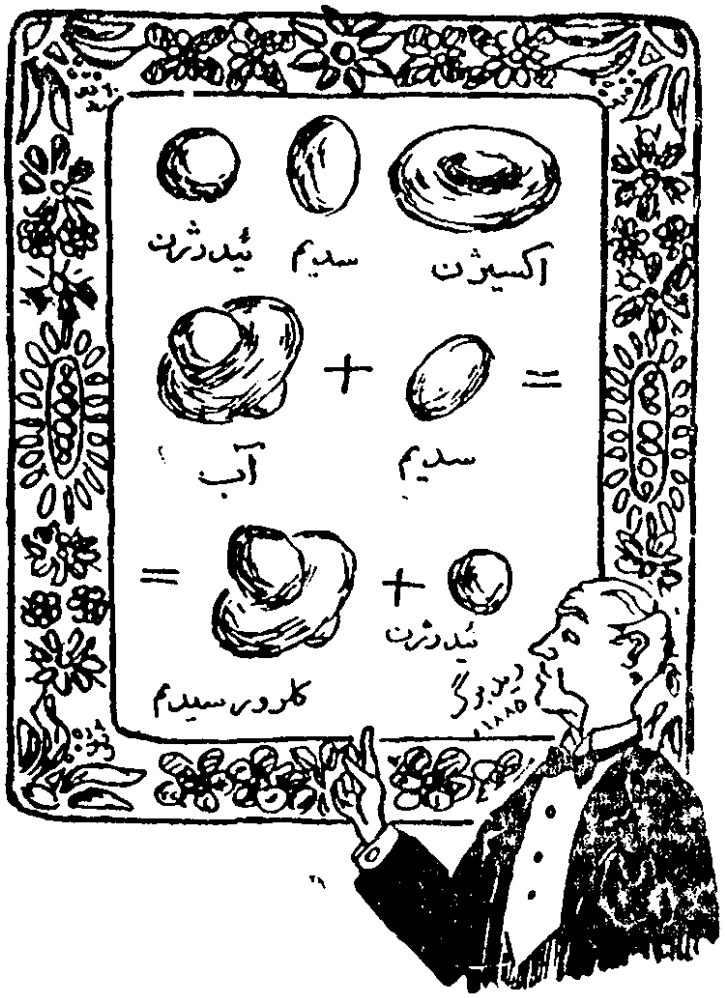
است دیده می‌شود . حلقه‌ای‌که ازشش اتم کربن مرکب است و شش‌اتم دیگر کربنی که بآن مربوطند بوضوح در عکس دیده می‌شوند اما آثار اتمهای سبکتر ئیدرژن بزحمت مشهودهستند .

حتی هرآدم دیرباوری وقتی‌که با چشم خود چنین عکسهائی را ببیند تصدیق می‌کندکه وجود ملکول و اتم محرز و مسلم شده است .

۵ــ خردکردن اتم

وقتی‌کــه ذیمقراطیس نام « اتم » را بر آن نهاد ، یعنی بیونانی آنرا « تقسیم‌ناپذیر» نامید ، نظرش این بودکه این ذرات‌کوچك حد نهائی مــاده هستند ، یعنی کوچکترین جزئی‌که ممکن است ماده را بآن اجــزاء تقسیم کرد . بعبارت دیگر اتمهــا کوچکترین و ساده‌ترین اجزاء ترکیب‌کننده و سازنده ماده بشمار می‌رفتند . وقتی که هزاران سال بعد وجود اتم ، که تا آن‌زمان جنبهٔفلسفی داشت ، درعلوم دقیق با هستی ماده توأم و قرین‌شناخته شد وباآزمایشهای دقیق وجودآن مسلم‌گردید تجزیه‌ناپذیربودن آن‌همچنان مورد قبول بود و اگر درخواص اتمهای عناصر مختلف فرقهائی دیده می‌شد گمان می‌رفت‌که این تفاوتها معلول اختلاف شکلهای هندسی آنهاست : مثلا

تصور می‌رفت که اتمهای ئیدرژن بشکل کروی و اتمهای سدیم و پتاسیم بشکل بیضوی کشیده‌اند. یا گمان می‌رفت که اتم اکسیژن بشکل چنبره‌ایست که سوراخ وسط آن بوسیلهٔ صفحه‌ای بدو جـزء تقسیم شـده است و در یك ملکول آب (H_2O) دو اتم کروی ئیدرژن در دوطـرف صفحهٔ سوراخ وسط چنبرهٔ اتم اکسیژن قرار گرفته‌اند (ش۴۷) .



(ش۴۷)

عقیده بر این بود که چون اتمهای بیضوی کشیدهٔ سدیم و پتاسیم برای قرار گرفتن درسوراخ چنبرهٔ اکسیژن مناسبتر از اتمهای کروی ئیدرژن بودند جانشین اتمهای ئیدرژن می‌شدند .

برطبق این نظریه اختلافی که درطیف نوری عناصر مشاهده می‌شد نتیجهٔ اختلاف بسامد (فرکانس) ارتعاشات شکلهای مختلف اتمهای آنها بود. برپایهٔ این استدلال ، فیـزیك دانان ، بی‌آنکه از مساعی خود نتیجـه ای بگیرند ، کوشیدند که از روی بسامد ارتعاشات نورهائی که ازعناصر مختلف ساطع می‌شد

بشکل اتمهای آنها پی‌ببرند ، درست همان‌طور که ما از روی صدا می‌توانیم بفهمیم که منشاء صدا ویولون است یا زنگ یا مثلا ساکسوفون .

اما هیچیك از کوششهائی که برای توضیح خواص شیمیائی و فیزیکی اتمهای مختلف برمبنای خاص شکل هندسی آنها شد نتیجهٔ صحیحی نداد و به پیشرفت قابل توجهی منجر نگردید و نخستین قدم حقیقی بطرف درك خواص اتمی وقتی برداشته شد که دانستند اتمها اجسام مقدماتی ساده‌ای که دارای شکلهای هندسی گوناگون باشند نیستند بلکه ، بعکس ، هریك دستگاه پیچیده و مفصلی است مرکب از عده‌ای اجزاء مستقل و متحرك .

افتخار اولین شکافی که بمنظور اجرای عمل بسیار دشوار تجزیه بجسم ظریف اتم واردآمد نصیب «تامسن[۱]» ، فیزیك‌دان نامی بریتانیائی ، است که توانست نشان بدهد که اتمهای عنصرهای گوناگون شیمیائی عبارتند ازاجزائی که دارای بارهای الکتریکی مثبت و منفی هستند و با نیروی جاذبهٔ الکتریکی حول یکدیگر نگاه‌داشته‌شده‌اند. بنظر تامسن اتم مقداری بار مثبت الکتریکی بود که بنحوی کما بیش یکنواخت توزیع یافته و در درونش تعداد زیادی ذراتی که بار منفی داشتند درحال حرکت و موج زدن بودند (ش ۴۸) . مجموع بار های منفی این ذراتی که بار منفی دارند و تامسن نامشان را الکترون گذاشت مساوی است با بارمثبت ، بقسمی که اتم برروی‌هم از جنبهٔ الکتریکی خنثی است . اما چون فرض می‌شد که پیوند الکترونها بیکدیگر در داخل اتم تا حدی سست است ممکن است یك یا چند الکترون از اتم جدا شوند وبجای خود اتمی که دارای بار مثبت است بنام **یون‌مثبت** باقی بگذارند . ازطرف دیگر اتمهائی که چندین الکترون اضافی را بداخل خود راه می‌دهند و می‌پذیرند دارای مقداری بار منفی اضافی می‌گردند و از این روی **یونهای** منفی خوانده می‌شوند . عمل دادن مقداری الکتریستهٔ مثبت یا منفی اضافی باتم را عمل « یون‌سازی »[۲] می‌گویند . مبنای این عقیدهٔ تامسن کار علمی «مایکل‌فارادی»[۳] بود که ثابت کرده بود هروقت اتمی بارالکتریکی داشته باشد

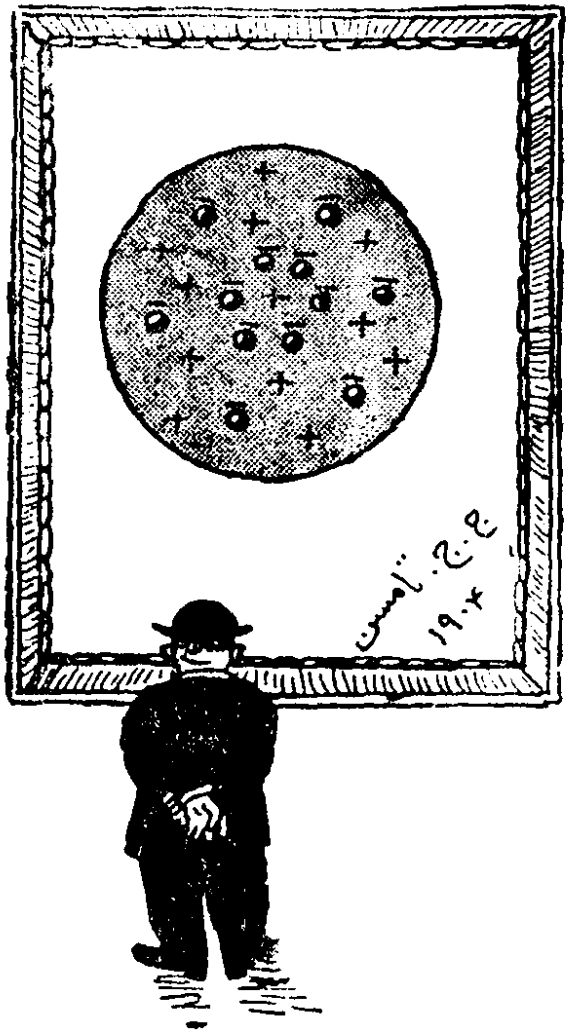
---

۱ ـ Sir Joseph John Thomson (۱۸۵۶ تا ۱۹۴۰ میلادی)

۲ ـ یونیزاسیون Ionisation

۳ ـ Michael Faraday

مقدار این بار مضربی است از مقداری بار اولیهٔ الکتریکی که مقدارعددیش ۱۰– ۱۰ × ۷۷ر۵ واحد الکتروستاتیك است. اما تامسن قدم بالاتر گذاشت و در نتیجهٔ بسط دادن طرز استخراج این بارهای الکتریکی از اجسام اتمی و مطالعهٔ دسته شعاعهای الکترونهای آزاد که با سرعت زیاد در فضا حرکت می‌کنند معتقد شـد که این بارهای الکتریکی بشکل ذرات مجزا و منفرد هستند .



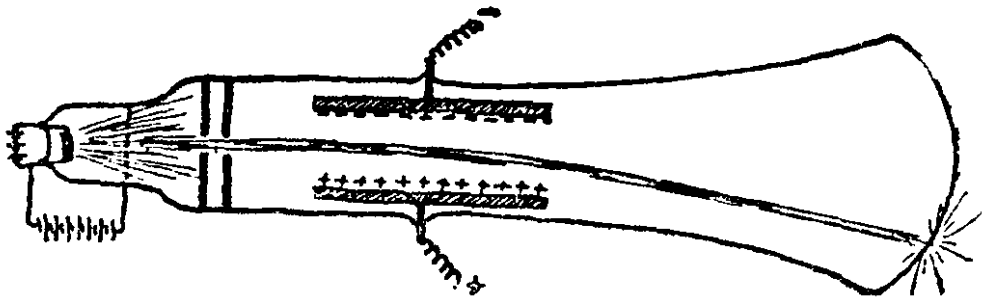
شکل ۴۸

مخصوصاً یکی از نتایج مهم مطالعاتی که تامسن در بارهٔ دسته‌شعاعهای الکترون‌های آزادکرده بود تخمین جرم آنها بود . تامسن بوسیلهٔ یك‌حوزهٔ الکتریکی قوی از جسمی مانند سیم برق ملتهب یك‌دستهٔ شعاع الکترونی بیرون‌کشیده و آنرا در فضای بین دوصفحهٔ یك خازن پر (ش۴۹) فرستاد .

الکترونهای این‌دسته که دارای بار الکتریکی منفی شده بودند ، یـا

بهتر بگوئیم خودشان بار الکتریکی‌منفی بودند ، بطرف الکترد مثبت جذب و بوسیلهٔ الکترد منفی دفع می گردیدند .

اگر این دسته شعاع را بر یك‌صفحهٔ فلورسان‌که درعقب خازن قرار داده شده باشد واردسازیم بآسانی می‌توانیم انحرافی راکه درنتیجهٔ داراشدن بار منفی نصیب آن می‌شود مشاهده‌کنیم . وقتی‌که بمقدار بار الکتریکی یك الکترون و میزان انحراف آن در یك حوزهٔ الکتریکی معین وقوف حاصل شد تخمین‌کردن جرم‌آن میسر گردید و ثابت شدکه این جرم درحقیقت‌بسیار کوچك است. تامسن دریافت‌که جرم یك‌الکترون ۱۸٤۰ مرتبه‌کوچکتراست از جرم یك اتم ئیدرژن و باین‌ترتیب معلوم شدکه قسمت اصلی و مهم جرم اتم درآن اجزاء آن است‌که دارای بار مثبت هستند .



شکل۴۹

تامسن در نظریهٔ خود دربارهٔ این‌که مقدار زیادی الکترون منفی در درون اتم درحال حرکت هستند محق بود اما دراین‌عقیده‌که بار مثبت بطور یك‌نواخت در اتم پراکنده و توزیع شده است بسیار ازحقیقت فاصله داشت. بسال ۱۹۱۱ روترفورد نشان داد که بار مثبت اتم ، و نیز قسمت اعظم جرم آن ، درهستهٔ بسیارکوچکی متمرکزشده است‌که درست دروسط‌اتم قراردارد. حصول‌باین نتیجه براثرآزمایشهای معروفی بودکه روترفورد برای پراکندن آنچه اصطلاحاً « ذرات آلفا » نامیده می‌شد بهنگام عبور ازماده انجام داد .

این ذرات آلفا گلوله های خیلی کوچك بسیار سریعی هستندکه در نتیجهٔ شکستن و متلاشی شدن ناگهانی اتمهای برخی از مواد بی ثبات و نا پایدار (مانند اورانیوم یا رادیوم) پرتاب می‌شوند و چون جرمشان نزدیك بجرم اتم و بارشان مثبت است باید آنها را اجزائی از قسمت مثبت

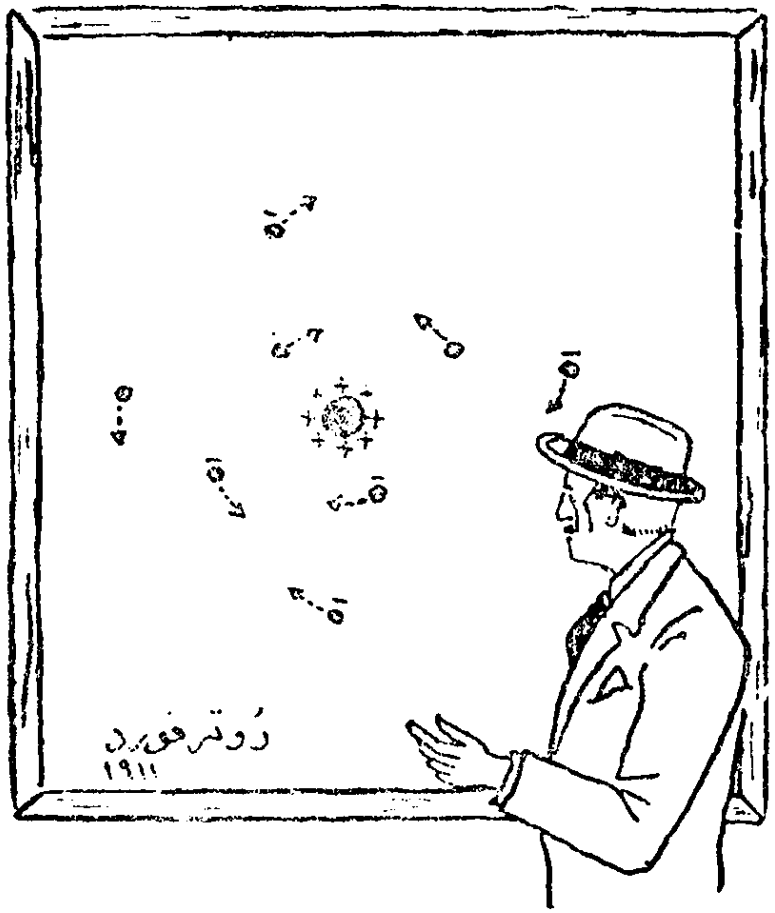
اتم دانست . وقتی‌که یك ذرهٔ آلفا از میان اتمهای ماده‌ای‌که مانند هدف بر سرراه آن‌است‌می گذرد تحت تأثیر نیروهای جاذبه الکترونهای اتم و نیروهای دافعهٔ قسمت‌های مثبت آن واقع می‌شود ؛ اما چون الـکترون‌ها بسیار سبك هستند نمی‌توانند درمقابل ذرهٔ آلفای‌تازه رسیده‌بیشتراز آن اظهار وجودکنند که مشتی پشه برای سد راه فیلی مست مزاحم حرکت‌آن‌می‌شوند . ازطرفی نیروی دافعه بین قسمت‌های مثبت‌اتم و بار مثبت ذرهٔ آلفائی‌که وارد شده‌است باید بحدی باشدکه بتواند ذرات آلفا را از مسیرعادی خود منحرف سازد، و بصورت دسته‌ای از ذراتی‌که خیلی بیکدیگر نزدیك باشند پراکنده‌کند .

هنگامیکه روترفورد مشغول مطالعه در پراکندن یکدسته ذرات آلفا در وسط یك سیم بسیار نازك آلومینیوم بود باین نتیجهٔ حیرت‌انگیز رسیدکه برای توجیه نتایجی‌که بدست آمده بود بایستی فرض شود که فاصلهٔ بین ذرهٔ تازه‌وارد آلفا و بـار مثبت اتم از یکهزارم قطر اتم کمتر شود . این عمـل مسلماً در صورتی امکان‌پذیر بود که **هم ذرهٔ تازه وارد آلفا و هم بار مثبت اتم هزاران بار ازخود اتم کوچکتر باشند .** باین‌ترتیب کشف روترفورد آنچه راکه تامسن بار مثبت پراکنده در سراسر اتم پنداشته بود به هستهٔ بسیار کوچکی ، درست در وسط اتم ، مبـدل ساخت‌که عـدهٔ زیادی الکترونهای منفی‌آن‌را حلقه‌وار درمیان گرفته‌اند ، و بجای اینکه اتم مانند هندوانه‌ای‌باشدکه الکترونها تخمه‌های آن باشند دستگاه بسیارکوچکی‌است شبیه بمنظومهٔ شمسی‌که هستهٔ اتمی خورشید آن والکترونها سیاراتش‌باشند. (ش۵۰)

عقیدهٔ شبیه‌بودن اتم بمنظومهٔشمسی با توجه باین‌حقایق راسخترمی‌شود که هستهٔ مرکزی ۹۹٫۹۷ درصد جرم تمام اتم را شامل است و ۹۹٫۸۷ در صد تمام جرم منظومهٔ شمسی درخورشید تمرکزیافته است ، ونسبت بین قطر هر الکترون بفاصلهٔ آن الکترون از هستهٔ مرکزی تقریباً مانند نسبت قطر سیارات است بفاصلهٔ آنها ازخورشید ، یعنی چندین هزاربرابر آن‌قطر .

اما مهمترین وجه شباهت در این‌است‌که نیروهای جاذبهٔ الکتریکی بین هسته و الکترونها تابع همان قواعد ریاضی است‌که بر نیروهای جاذبـهٔ بین خورشید و سیاراتش حکومت می‌کند ، یعنی نیروها برنسبت عکس مربع فواصل‌اند . در نتیجه مدار الکترونها حول هستهٔ مرکزی شبیه است بمدار

سیارات حول خورشید ، یعنی مستدیر یا بیضی است .



ش ۵۰

با توجه بآنچه که دربارهٔ ساختمان داخلی اتمها گفتیم فرق میان اتمهای عنصرهای مختلف شیمیائی را باید مربوط بتعداد الکترونهائی دانست که حول هستهٔ مرکزی در گردش هستند . چون اتم برروی هم ازجنبهٔ الکتریکی خنثی است عدهٔ الکترونهائی که حول هستهٔ آن در گردشند باید ازروی تعداد بارهای اولیهٔ الکتریستهٔ مثبتی که بوسیلهٔ هسته حمل می‌شوند معین گردد و این عده باید بنوبهٔ خود از روی تعداد ذرات پراکندهٔ آلفا که تحت تأثیر الکتریکی هسته از راه خود منحرف می گردند تعیین و تخمین شود . روترفورد کشف کرد **که درسلسلهٔ طبیعی عناصر شیمیائی که بترتیب افزایش وزن مرتب شده باشند در هرعنصری نسبت به عنصری که بلا فاصله قبل از آن است یك الکترون اتمی افزوده می‌شود.** باین ترتیب اتم ئیدرژن یك الکترون دارد، هلیوم ۲ الکترون ، لیتیوم ۳ الکترون ، بریلیوم ٤ الکترون ، و بهمین ترتیب تا برسد بسنگین ترین عنصر های طبیعی یعنی

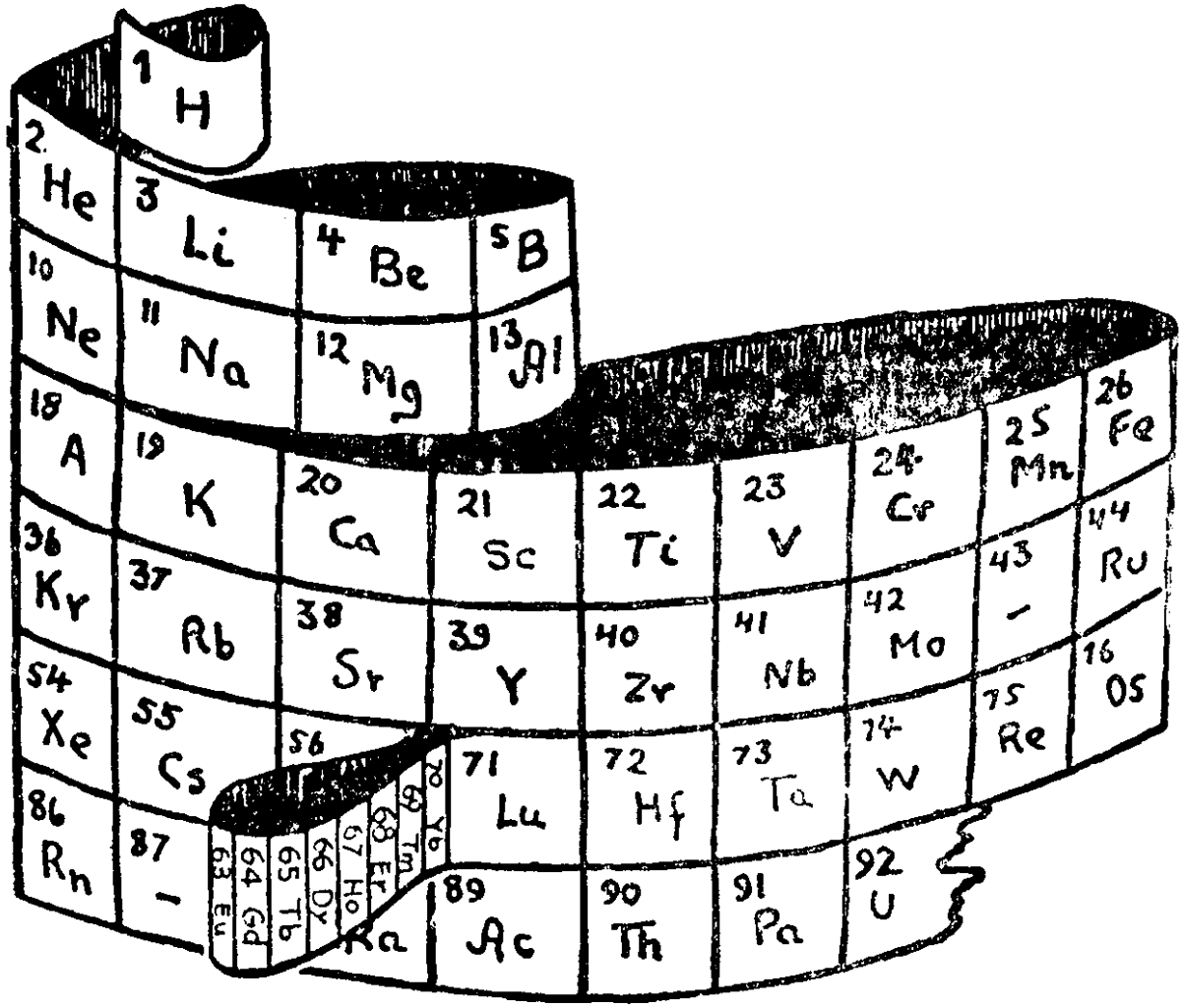
اورانیوم که برویهم دارای ۹۲ الکترون است . تعیین و تمییز هراتم بوسیلهٔ یك عدد معمولا شمارهٔ اتمی هرعنصر نامیده می‌شود و این شمارهٔ اتمی باشمارهٔ محلی عنصر تطبیق می‌کند ، یعنی با شماره‌ای که مبین محل عنصر در جدولی است که شیمی‌دانان عناصررا ، پس ازطبقه‌بندی برحسب خواص شیمیائیشان ، درآن ثبت نموده‌اند .

پس عددی که تعداد الکترونهائی راکه حول‌هستهٔ مرکزی‌اتم هرعنصر دوران می‌کنند معین می‌کند بآسانی و سادگی مبین تمام خواص فیـزیکی و شیمیائی آن‌عنصر است .

در اواخر قرن گذشته شیمی‌دان روسی مندلیف [۲] نشان داد که وقتـی عنصر هـای شیمیائی برحسب تسلسل طبیعیشان طبقه بندی شـوند در خواص شیمیائی آنها دورهٔ تناوب خاصی مشاهده می‌شود و خواص شیمیائی هرعنصر در فواصل معین درعنصر دیگرتکرار می‌گردد . این دورهٔ تناوب را درشکل ۵۱ نشان داده‌ایم در این شکل علائم اختصاری نامهـای ۹۲ عنصر طبیعی را برروی نواری بدنبال‌یکدیگر نوشته و نواررا بشکل مارپیچ دور استوانه‌ای بقسمی چسبانده‌ایم که عنصرهائی که خواص‌شیمیائی مشابه دارند بر روی یك ستون قرارگرفته‌اند . باین‌ترتیب می‌بینیم که گروه اول فقط شامل ۲ عنصر ئیدرژن و هلیوم است ، سپس دو گروه ۸عنصری داریم ، از آن ببعد خـواص شیمیائی بعد از هر ۱۸ عنصر تکرار می‌شوند . اگر بیاد بیاوریم کـه در رشتهٔ عناصر طبیعی اتم هرعنصر از اتم عنصر پیشین یك الکترون بیشتر دارد ناچار باید باین‌نتیجه برسیم که دورهٔ تناوب در خواص شیمیائی باید نتیجهٔ تجدید صورت‌بندی خاصی ازالکترونهای‌اتم ، بنام **مدارهای‌الکترونی** ، باشد . اولین مدار کامل الـکترونی باید مرکب از ۲ الکترون باشد و دو مدار بعدی هریك از ۸ الکترون و مدارهای دیگرهریك از ۱۸ الکترون .

۱ـ اکنون که ما کیمیاگری را (چنانکـه بعداً خواهیم دید) آموخته‌ایم می‌توانیم مصنوعاً عناصرپیچیده‌تری بسازیم . باین‌ترتیب عنصرمصنوعی‌پلوتونیوم که درساختن بمب اتمی مورد استفاده است ۹۴ الکترون دارد .

۲ ـ Dimitri Ivanovitch Mendeleev ۱۸۵۴ تا ۱۹۰۷

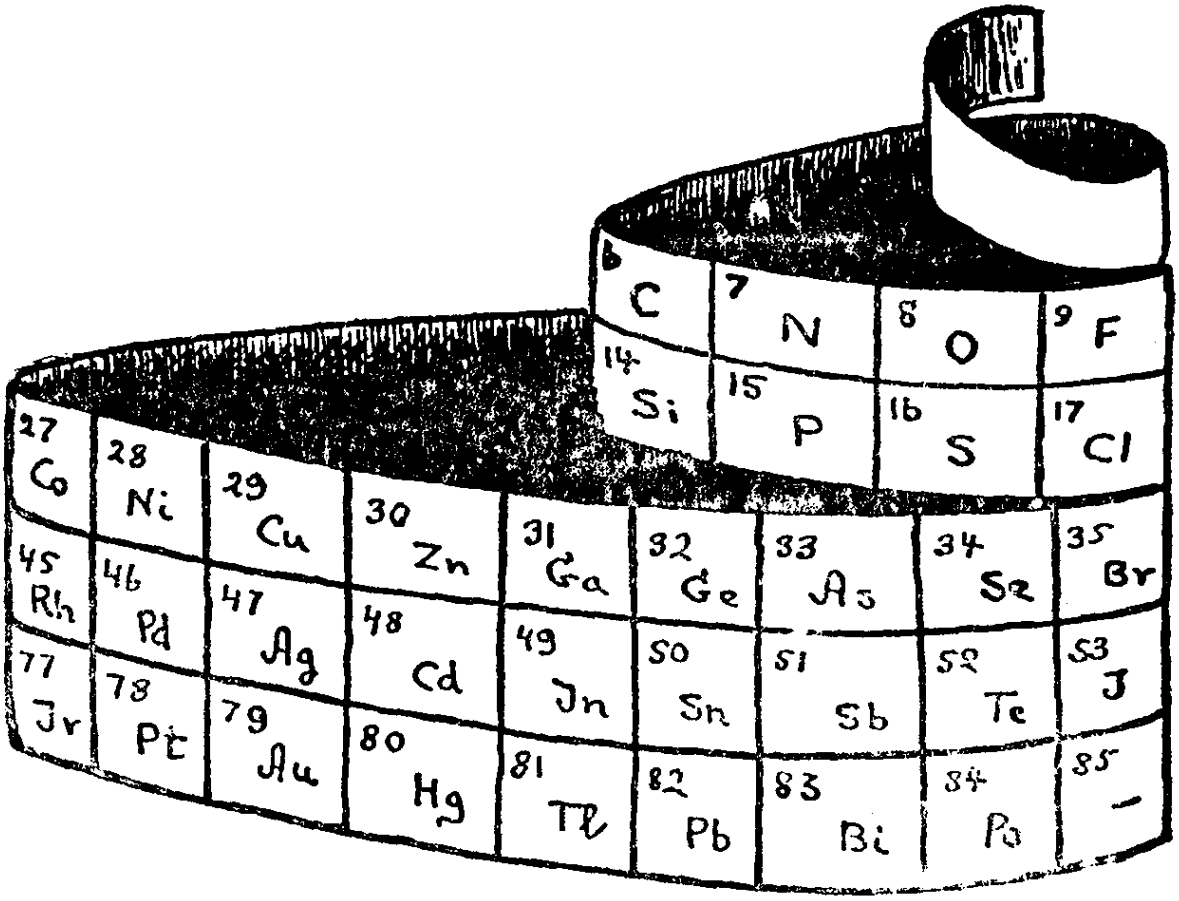


شکل۵۱ ، نمای روبرو

دستگاه تناوبی‌عناصر برروی یك‌نوار استوانی‌که دوره‌های تناوب ۲و۸و۱۸ را نشان می‌دهد . حلقه‌ای‌که در دورهٔ تناوب ششم حادث شده مربوط به‌عناصری‌است بنام «خاکهای‌کمیاب» که بسبب‌تجدید ساختمان مدارهای اتمی از دورهٔ تناوب منظم خارج گردیده‌اند .

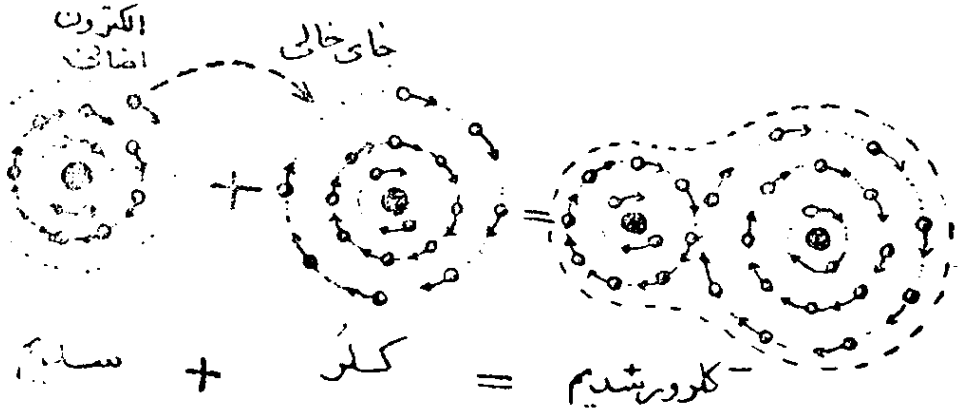
و نیز در شکل ۵۱ دیده می‌شودکـه وقتی بقسمت آخر تسلسل طبیعی عناصر نزدیك می‌شویم تناوب خواص شیمیـائی متزلزل می‌شود و از دقت آن کاسته می‌گردد و ناچار باید بعضی عناصررا ،که خاکهای‌کمیاب نامیده می‌شوند ، بر روی نواری بنویسیم‌که از سطح استوانه خارج گردد . درحقیقت این بی‌نظمی‌نتیجهٔ آنست‌که دراینجا با ساختمان داخلی خاصی ازمدارهای‌الکترونی مواجه می‌شویم‌که بخواص شیمیائی اتمهای موردنظر لطمه وارد می‌سازد .

اکنون‌که تصوری از اتم درمغز خود داریم می‌توانیم برای‌یافتن‌جواب این سئوال سعی‌کنیم‌که « چه نیروهائی اتمهای عناصر مختلف را با یکدیگر



شکل ۵۱ ، نمای عقب

پیوند می‌دهند تا ملکولهای پیچیدهٔ اجسام شیمیائی بیشمار را تولیدکنند ؟» مثلا چرا اتمهای کلرورسدیم با هم مربوط می‌شوند تا یك ملکول نمك طعام



شکل ۵۲

در این‌شکل طرز متحدشدن اتمهای سدیم و کلر در یك‌ملکول کلرور سدیم دیده می‌شود

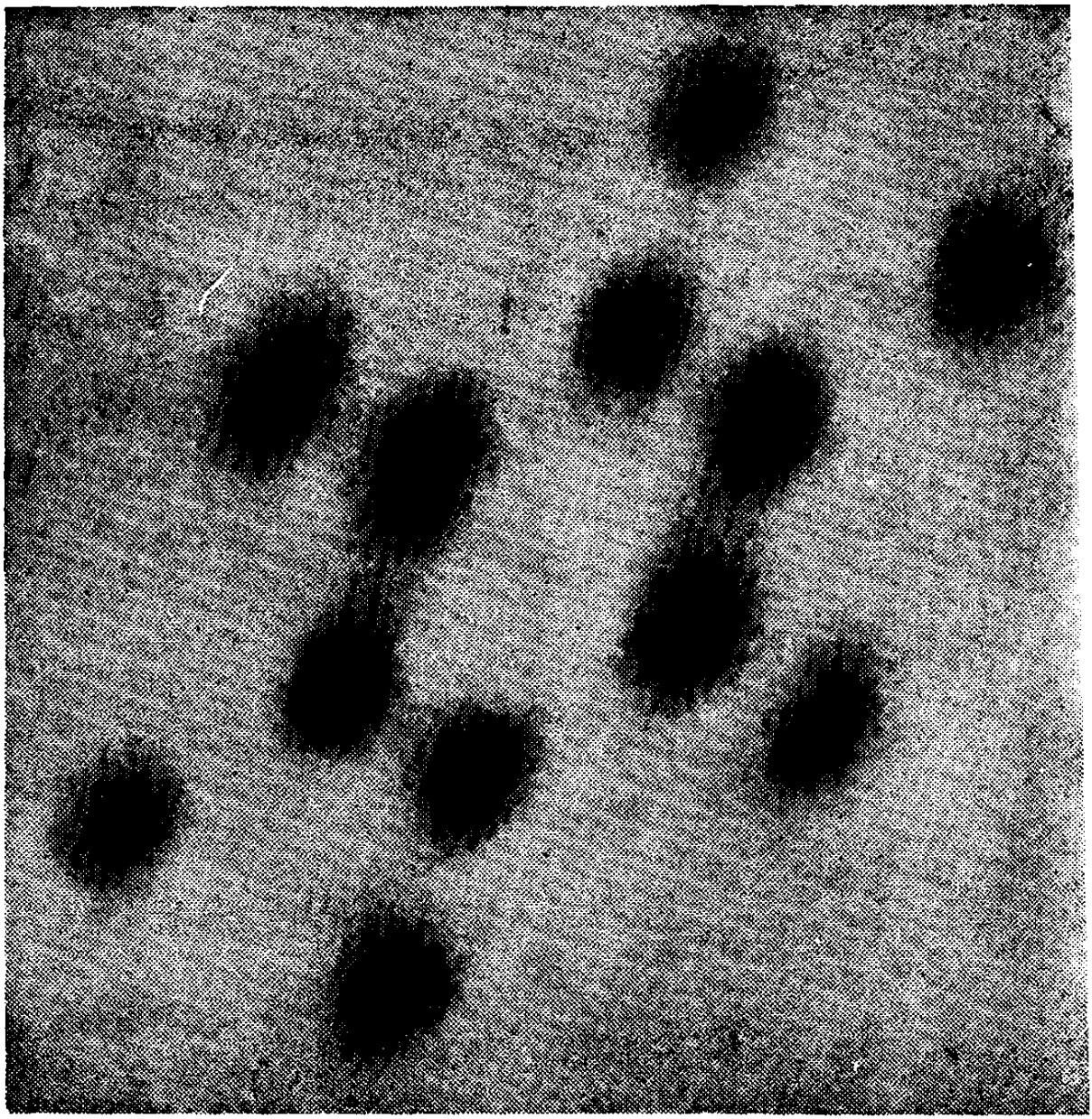
فراهم‌سازند؟ درشکل ۵۲ ،که در آن ساختمان مداری هر دو اتم نمایش‌داده شده است ، می‌بینیم‌که در مدار سوم اتم کلر جای یك الکترون خالی است ،

یعنی این اتم بیك الکترون احتیاج دارد تا مدار سوم خودرا تکمیل کند ، اما اتم سدیم پس از تکمیل مدار دوم خود یك الکترون اضافی دارد . پس باید در الکترون اضافی سدیم تمایلی باین‌امر باشدکه باتم کلر منتقل‌شود و مدارسوم‌آن‌را تکمیل‌نماید. درنتیجهٔ این‌انتقال ، اتم سدیم (که یك‌الکترون منفی از دست می‌دهد) دارای بار مثبت می شود و اتم‌کلریك الکترون منفی می‌گیرد و دواتمی‌که دارای بارالکتریکی شده‌اند (واز این پس یون نامیده می شوند) بر اثر نیروی جاذبهٔ الکتریکی بیکدیگر ملصق می‌گردند تایك ملکول‌کلرورسدیم یا نمك‌معمولی‌را بوجودآورند . بهمین ترتیب‌یك‌اتم‌اکسیژن که درمدار خود دو الکترون‌کم دارد این دو الکترون را از دو اتم ئیدرژن (که‌هریك فقط دارای‌یك‌الکترون است) مصادره می‌کند و یك ملکول H_2O یاآب بوجود می‌آورد . اما بین دو اتم اکسیژن وکلر ، یا دو اتم ئیدرژن و سدیم، هیچ تمایلی‌به ترکیب‌نیست زیراکه درصورت اول هردواتم می‌خواهند چیزی بگیرند ، نه اینکه چیزی بدهند ، ودر صورت دوم هیچیك نمی‌خواهد چیزی بگیرد .

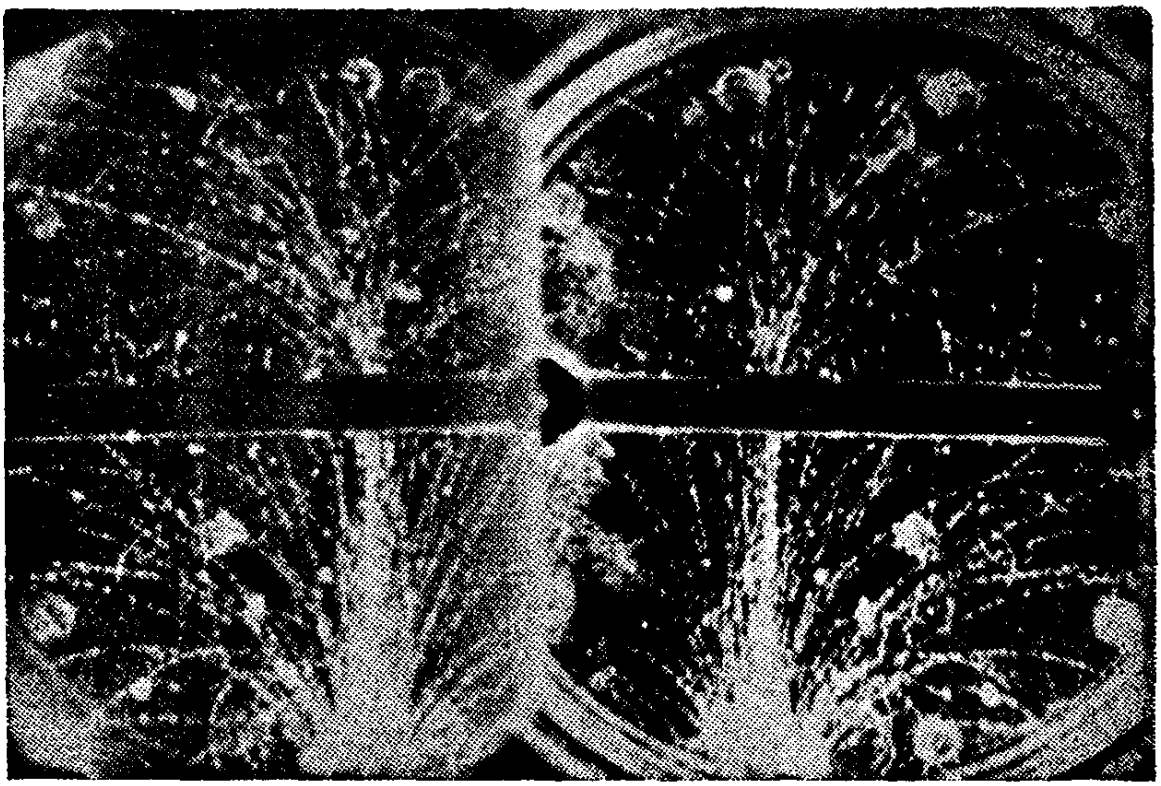
اتمهائی‌که مدارشان‌کامل‌است، مانند هلیوم‌وآرگون ونئون وگسنون، کاملا « سیر » هستند ونه الکترونی‌کم دارندکه بخواهند بگیرند ونه اضافی دارندکه قصد دادن داشته باشند و ترجیح می‌دهندکه با سربلندی « منفرد » بمانند و در صف عناصری‌که از جنبهٔ شیمیائی بی اثر و غیر فعال باشند (و گازهای‌کمیاب نامیده می‌شوند) قرارگیرند .

مبحث اتمها و مدارهای الکترونی آنها را با اشاره بنقش مهمی‌که الکترونها در موادی‌که عنوان دسته جمعیشان « فلزات » است دارند خاتمه می‌دهیم . درحقیقت فرق‌فلزات بامواد دیگر دراین‌است‌که پیوند الکترونها مدار خارجی اتم فلزات محکم نیست و غالباً یکی ازالکترونهای خود را از دست می‌دهند . باین ترتیب درون هر فلز پر است ازعدهٔزیادی الکترونهای بی بند و بارکه مانند مردم بیکار ، بی مقصد و هدفی ، باین سوی وآن‌سوی می‌روند. وقتی‌که‌نیروی‌برق دردوانتهای یك‌سیم فلزی‌اثرمی‌کندالکترونهای آزاد بطرف نیرو هجوم می‌برند و آنچه‌راکه جریان ، یا روان ، برق می‌نامیم بوجود می آورند .

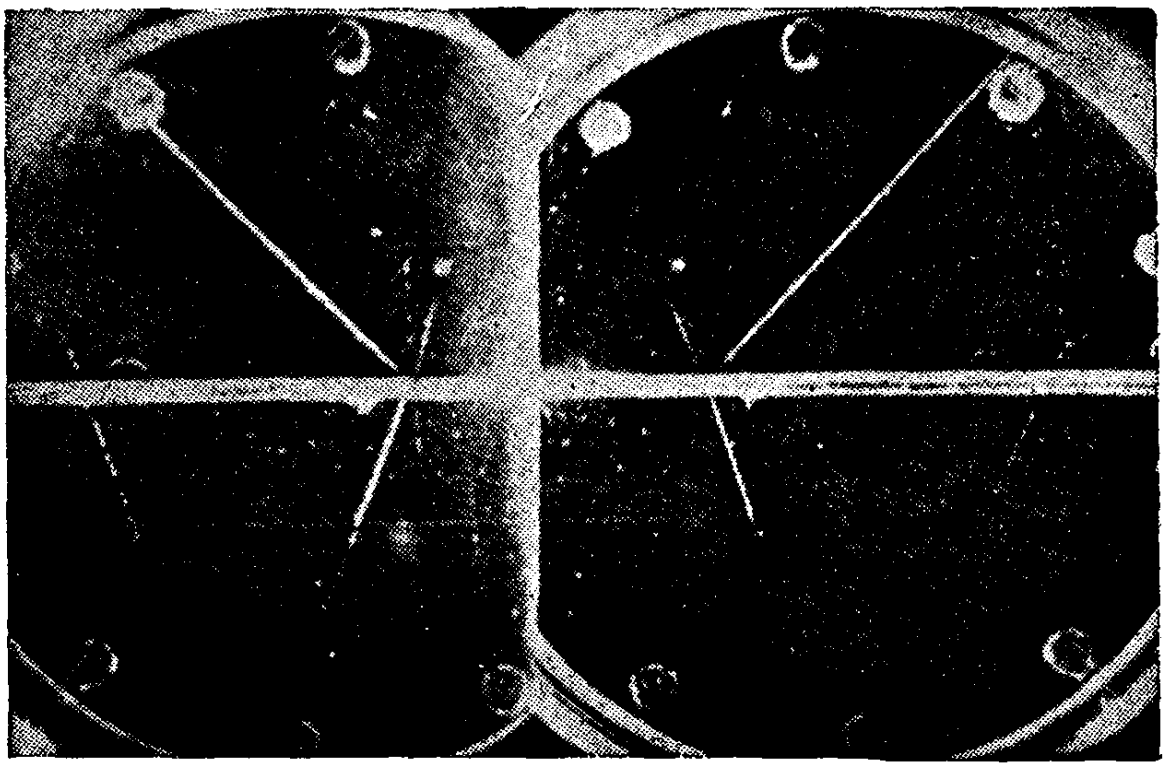
و نیز وجود همین الکترونهای‌آزاد است‌که قابلیت هدایت حرارت‌را ایجاد می‌کند ـ وما در یکی ازفصلهای‌آینده باین موضوع بازخواهیم گشت .



تصویر شمارهٔ ۱
عکس ملکول هکسامتیل بنزن که ۱۷۵،۰۰۰،۰۰۰ مرتبه بزرگ‌شده است.



A

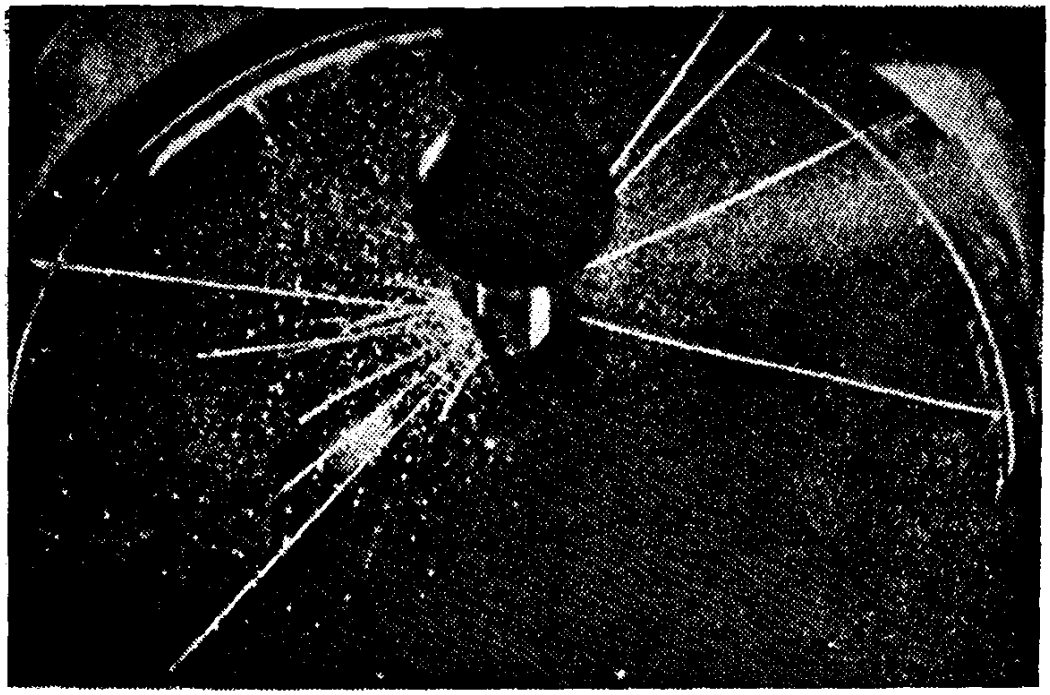


B

تصویر شمارهٔ ۲

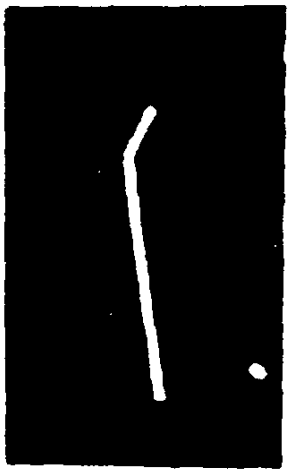
A- رگبار اشعهٔ کیهانی که از بیرون دیوار «اطاق ابر» سرچشمه می‌گیرند و همان اشعه در وسط صفحهٔ سربی. الکترونهای مثبت و منفی که رگبار را تشکیل می‌دهند بوسیلهٔ حوزهٔ مغناطیسی بدوطرف مقابل منحرف گردیده‌اند .

B- تجزیهٔ هسته بر اثر ذرات اشعهٔ کیهانی در صفحهٔ وسط



A

B



C

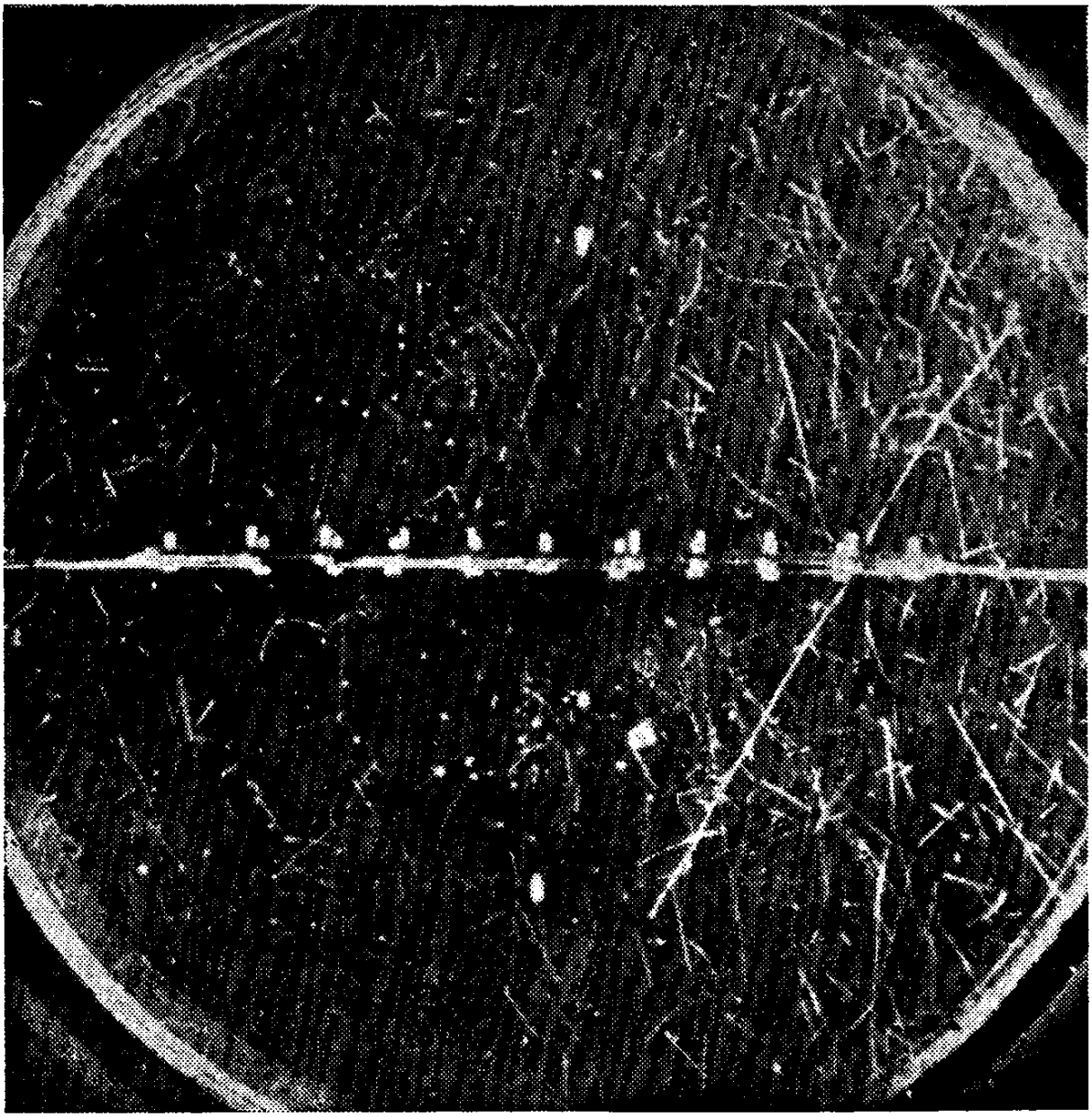
تصویر شمارهٔ ۳

تبدیل هسته‌های اتم بوسیلهٔ گلوله‌هائی که بطور مصنوعی شتاب پیدا کرده‌اند.

A ـ یك دیوترون سریع گاز ئیدرژن سنگین اطاق به دیوترون دیگر می‌خورد و هستهٔ تریتیوم وئیدرژن معمولی بوجود می‌آورد $({}_1D^2 + {}_1D^2 \longrightarrow {}_1T^3 + {}_1H^1)$

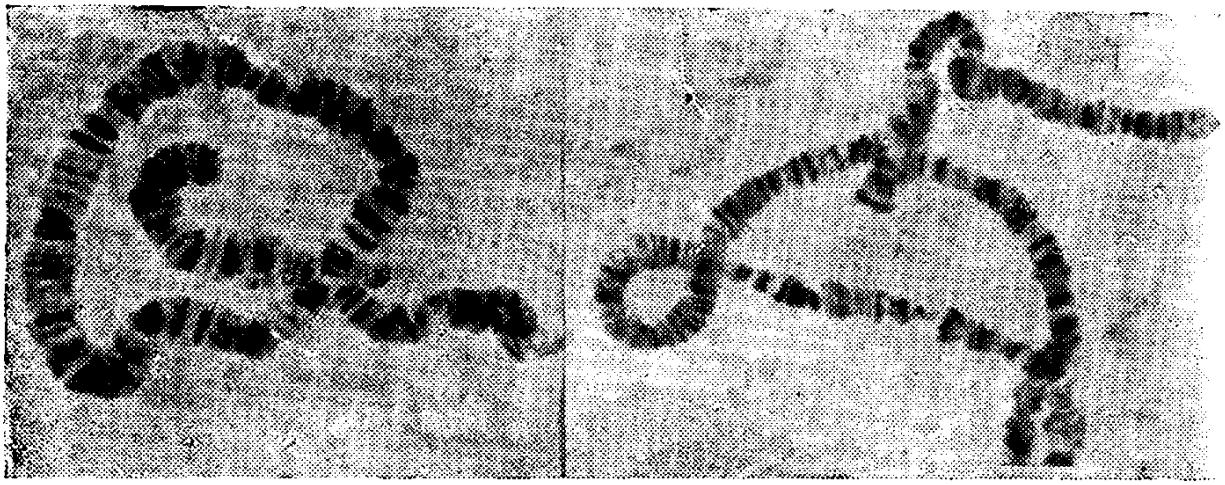
B ـ یك پروتون سریع به هستهٔ «بور» می‌خورد و آنرا بسه‌جزء متساوی تقسیم می‌کند $({}_5B^{11} + {}_1H^1 \longrightarrow 3\,{}_2He^4)$

C ـ نوترونی که ازسمت چپ می‌آید ودرعکس دیده نمی‌شود هستهٔ ازت را می‌شکند وبیك هستهٔ «بور» (مسیر روببالا) ویك هسته هلیوم (مسیر روبپائین) تبدیل می‌کند. $({}_7N^{14} + {}_0n^1 \longrightarrow {}_5B^{11} + {}_2He^4)$



تصویر شمارهٔ ٤

عکسی که بوسیلهٔ اطاق ابر از انشقاق یك هستهٔ اورانیوم گرفته شده است. نوترونی (که البته در عکس دیده نمی‌شود) بیکی از هسته‌های اورانیوم، که بصورت قشر نازکی در اطاق ابر گذاشته شده است برمی‌خورد . دو مسیر، مربوط بدو جزئی هستند که بر اثر انشقاق بوجود آمده‌اند و هریك با کارمایه‌ای در حدود ۱۰۰ ملیون الکترون ولت بطرفی می‌گریزد .



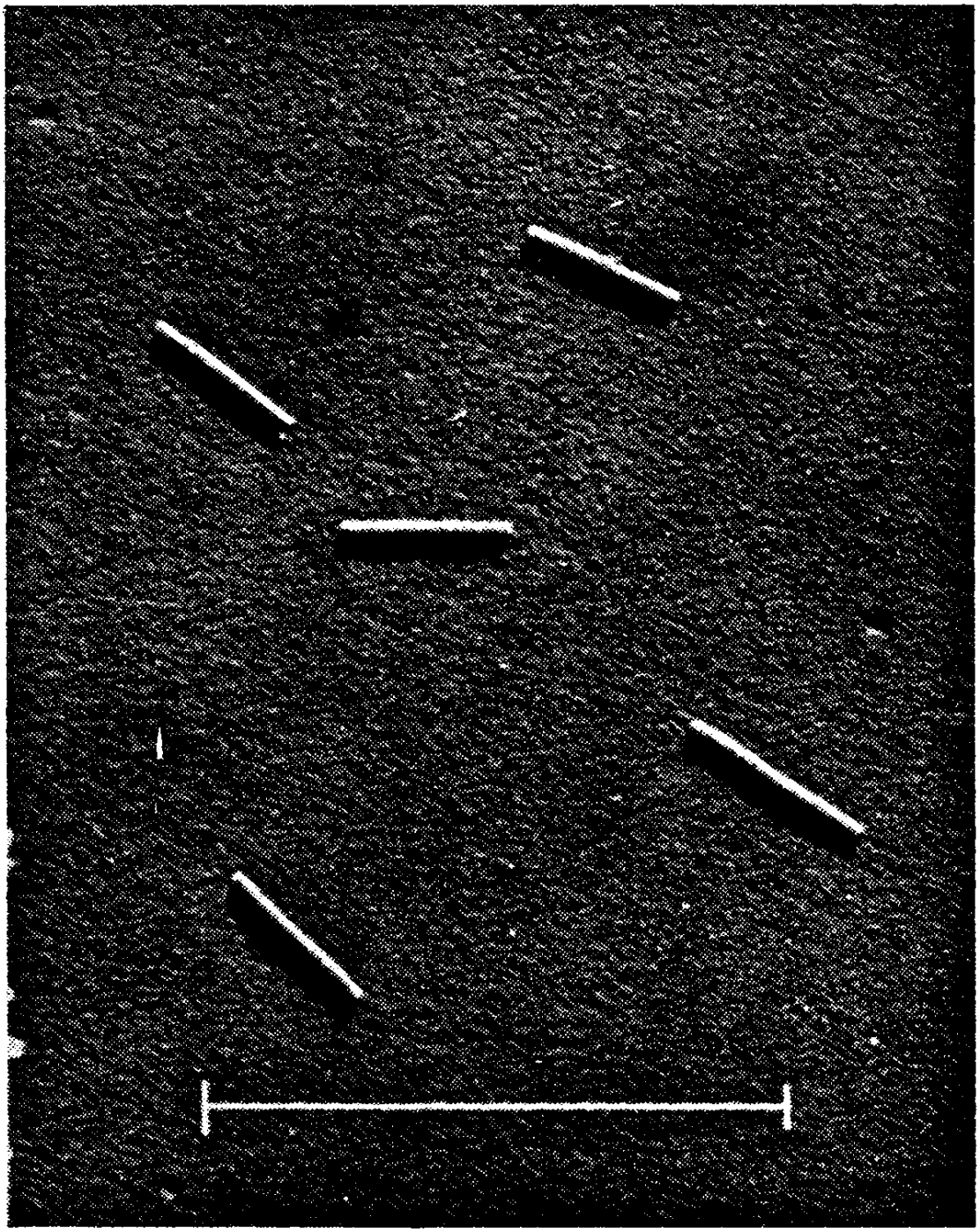
A B

C

تصویر شمارهٔ ۵

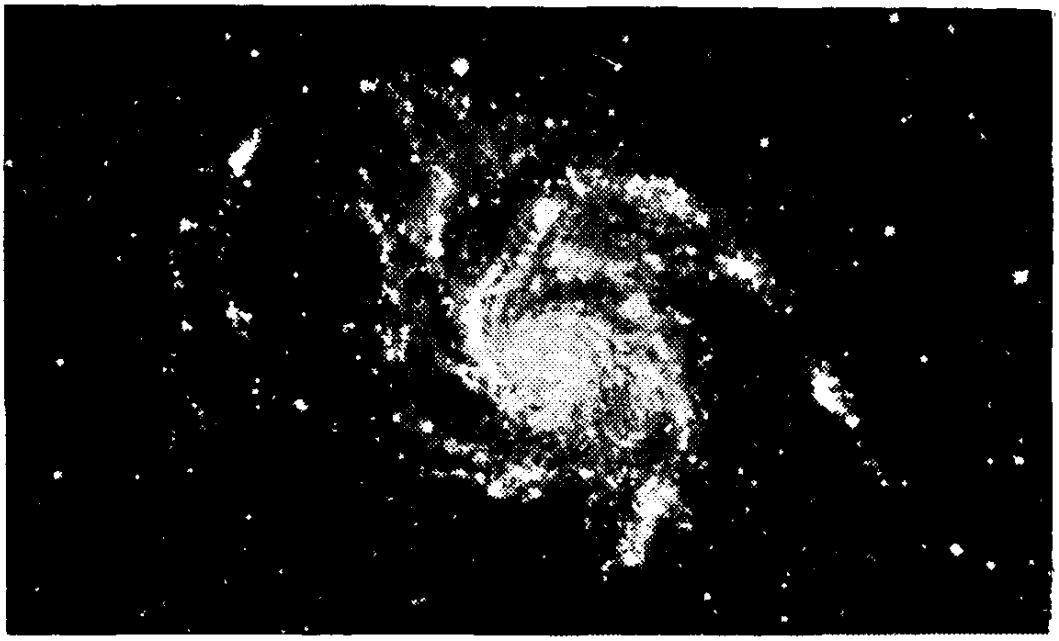
A و B عکسهای میکروسکوپی از کروموزوم بزاق دروزوفیل ملانوگاستر که معکوس شدن و جابجا شدن متقابل را نشان می‌دهد.

C ـ عکس میکروسکوپی لارو مادهٔ دروزوفیل ملانوگاستر کروموزومهای X که پهلو بپهلو و نزدیک یکدیگر قرار گرفته‌اند؛ 2L و 2R، انتهای چپ و راست جفت کروموزومهای دوم؛ 3L و 3R، کروموزومهای سوم؛ ۴، کروموزومهای چهارم.



تصویر شمارهٔ ٦

آیا اینها ملکولهای زنده هستند؟ ذرات ویروس موزائیک توتون که ده‌ها هزار مرتبه بزرگ شده‌اند. این عکس با میکروسکوپ الکترونی گرفته شده‌است.



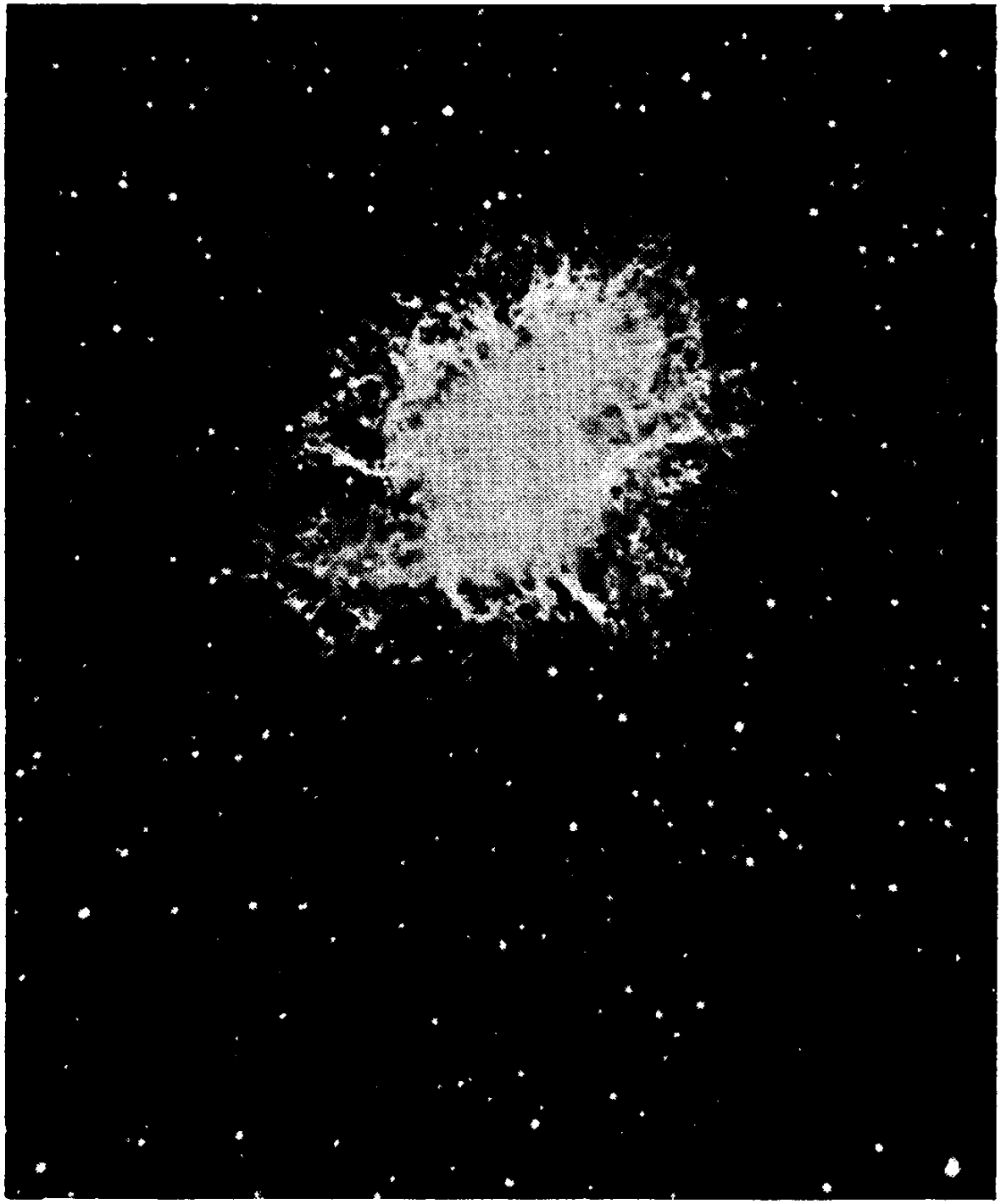
A

B

تصویر شمارهٔ ۷

A ـ ابری مارپیچ دردب‌اکبر، که‌مانند جزیرهٔ دوری‌است دردریای‌بیکران جهان، وازطرف‌بالا دیده شده‌است .

B ـ ابری مارپیچ ذات الشعور، که جزیرهٔ دور دیگریست وازپهلو دیده می‌شود .

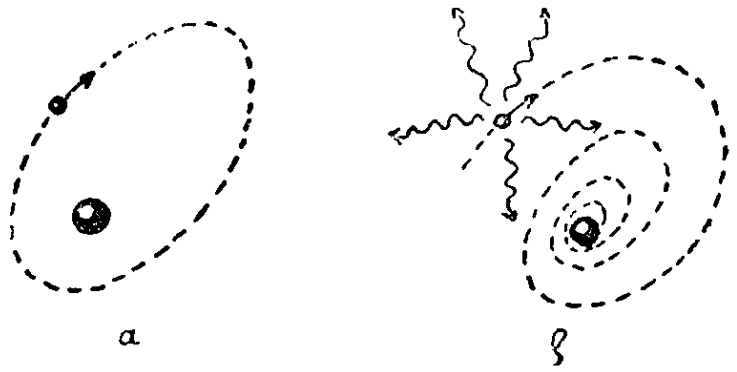


تصویر شمارهٔ ۸

ابری خرچنگ. لفافی‌است‌ازگازهائی‌که بوسیلهٔ یك سوپرنووا (نواختر) بیرون‌ریخته‌شده‌وبسط پیداکرده‌است. سوپرنووای مذکور را منجمان چینی بسال ۱۰۵۴ میلادی در همین نقطه‌آسمان دیده‌اند.

۶ ــ مکانیك موجی و اصل عدم یقین [۱]

چون بطوری‌که در بخش پیشین دیدیم اتم ، با الکترونهای‌آن‌که گرد هستهٔ‌مرکزی می‌گردند ، شباهت بسیار بمنظومهٔ شمسی دارد طبعاً بایدانتظار داشت‌که تابع قوانینی‌هم باشد شبیه بقواعد و نظامات نجومی‌که مدیر ومدار حرکت سیارات بدور خورشیدند . بخصوص شباهتی که بین قوانین جاذبهٔ الکتریکی و جاذبهٔ ثقل وجود دارد (در هر دومورد نیروی جاذبه نسبت عکس دارد با مربع‌فاصله) این فکررا بخاطر می‌گذراندکه مدار الکترونها باید بیضی‌هائی باشندکه هستهٔ مرکزی درکانون آنها قرار داشته باشد (شکل ۵۳آ).



شکل ۵۳

اما تلاشی‌که تااین اواخربکار رفت که حرکت الکترونهای اتمی را مانند حرکت سیارات منظومهٔ شمسی تجسم‌کنند وتابع همان قواعد بدانند با چنان شکستی مواجه شدکه عظمتش یك چند موجب تردید در صحت گفته‌های فیزیك دانان وقوانین فیزیکی گردید . اشکال بزرگ بخصوص ازاینجا ناشی شدکه الکترونها ، برخلاف سیارات ، بارالکتریکی دارند ودرست مانند هر جسم دیگری‌که بارالکتریکی‌داشته باشد وحرکت دورانی ونوسانی‌کند وقتی که بدور هستهٔ مرکزی بچرخند موجب یك تشعشع شدید برق ومغناطیسی (الکترومانیه تیك) می‌شوند و چون در نتیجهٔ تشعشع مقداری ازکار مایهٔ

---

۱ ـ Uncertainity Principle

(انرژی) خود را ازدست می‌دهند باید در امتداد یك مسیر مار پیچی بهستهٔ مرکزی نزدیك شوند (ش ۵۳ ب) ووقتی که کارمایهٔ حرکتی (انرژی سینیتك) آنها بکلی ازمیان رفت بهستهٔ مرکزی تصادم نمایند . زمان لازم برای رسیدن بلحظهٔ تصادم را می‌توان با علم بمقدار بـار الکتریکی و تعـداد دورانهای الکترونها حساب کردودید که کمتر ازیك صدملیونیم ثانیه لازم است تا الکترون کارمایهٔ خود رااز دست بدهد و سقوط کند .

پس برطبق بهترین معلومات وعقاید علمای فیزیك که این اواخر ابراز می‌داشتند ساختمان شبیه بمنظومهٔ شمسی اتمی نمی‌توانست جزدر کسر ناچیزی ازثانیه وجود داشته باشد و محکوم بود که بمجرد ایجاد با هسته تصادف کند وازمیان برود .

اما با وجوداین پیشگوئی‌های بیرحمانهٔ تئوری فیزیکی تجربه نشان می‌داد که دستگاههـای اتمی صحیح وسالم وجـود دارند و الکترونها حرکت دورانی خود را بدور هسته با نشاط انجام می‌دهند و نه درنیرویشان نقصانی وخللی ونه در وجودشان برای تصادم با هسته تمایلی است .

یا للعجب ! چرا اطلاق قوانین مسلم مکانیك به الکترونهای اتم نتایجی اینقدر ناسازگار ومخالف حقیقت بار می‌آورد ؟

برای یافتن جواب این سئوال بایـد باساسی‌ترین مسئلهٔ علم ، یعنی مسئلهٔ طبع خود علم ، بازگردیم . « علم » چیست و مقصود از «توضیح علمی» حقایق طبیعت کدام است ؟

برای اینکه مثال ساده‌ای بزنیم بیاد می‌آوریم که یونانیان قدیم زمین را مسطح می‌دانستند . جای آن نیست که آنانرا برای داشتن چنین عقیده‌ای ملامت کنیم زیرا که اگرشما هم دردشت پهناوری باشید ، یا درروی دریا سیر کنید ، می‌بینید که این عقیده صحیح است و ، صرف‌نظر ازتپه وکوههائی که گاه بگاه دیده می‌شوند ، زمین‌مسطح بنظرمی‌رسد . خطای پیشینیان در این نبود که زمین‌راتا جائی که چشم کارمی‌کرد مسطح می‌دانستند بلکه دراین بود که مسطح‌بودن رابجائی هم که خارج‌ازحدود دید آنان بود اطلاق می‌کردند. و درحقیقت‌مطالعاتی که در خارج‌ازحدود عادی دید انجام شد ، مانند مطالعهٔ

سایه‌ای که بهنگام خسوف اززمین بر روی مـاه می‌افتد ، یا سفرمعروفی که ماژلان بدورجهان کرد ، مسلم‌ساخت که اطلاق عقیدهٔ مسطح بودن زمین بخارج ازحدوددید صحیح‌نبوده‌است. امروزمی گوئیم که‌زمین‌مسطح‌بنظرمی‌رسد بدلیل آن‌که ما جز جزءکوچکی ازآنرانمی‌توانیم دید . همچنین ، همانطورکه در فصل پنجم گفتیم ، ممکـن است فضا منحنی و محدود باشد حال آن‌که بسبب محدود بودن مطالعات ومشاهدات ما بنظرمستوی و نا محدود می‌آید .

اما چه ارتباطی‌است‌بین مطالبی‌که گفتیم‌با تناقضی‌که درمطالعهٔ رفتار الکترونهای اتم از جنبهٔ مکانیکی مشاهده میشود ؟ جواب اینست که دراین مطالعات فرض ضمنی این بودکه دستگاه اتم بطور کامل تابع همان قواعدی است‌که حرکت اجسام عظیم سماوی را اداره می‌کنند ، یا قواعدی‌که بهمان صورت‌بیان‌می‌شوند ودرحرکت‌اجسامی صادقندکه دارای «اندازه‌های‌معمولی» هستند و ما در زندگی روزمره باآنها خوی گرفته‌ایم . در حقیقت قوانین و مفاهیم معمولی مکانیك بطور تجربی دربارهٔ اجسامی وضع شدندکه در حدود قدآمیزادگان‌بودند ، بعدهااین‌قوانین‌درموردحرکات اجسام بسیار بزرگتر، مانندسیارات ، نیزبکاررفتند وچون‌درمکانیك‌سماوی‌نیزصدق کردند وتوانستیم با دقیقترین وضعی پدیده‌های گوناگون نجومی راکه ملیونهاسال قبل اتفاق افتاده‌اند یا ملیونها سال‌بعداتفاق خواهند افتاد حساب وپیشگوئی کنیم جای تردید نماندکه اطلاق قوانین مکانیکی معمولی بجرمهای عظیم سماوی قابل قبول و دارای ارزش است .

اما چگونه‌می‌توان اطمینان داشت‌که همان‌قوانین‌مکانیکی‌که درحرکت اختران دیو پیکرآسمان صادق وبحرکت گلولهٔ توپ وپاندول ساعت وفرفره ناظرند بحرکت الکترونهائی هم که میلیارد ها میلیارد مرتبه کوچکتر از کوچکترین‌ابزار مکانیکی‌که در دسترس ماست هستند نیزقابل اطلاق‌باشند ؟

البته دلیلی‌نیست‌که پیش‌از وقت فکرکنیم‌که قوانین‌عادی مکانیکی درمورد حرکت اجزاء بسیارکوچك اتم درست نباشند اما اگرواقعاً چنین شد نباید زیاده ازحد متعجب شویم .

پس اگرسعی‌کردیم‌که حرکت الکترونهای اتم را بهمان‌گونه تعبیر و

تبیین کنیم که علمای نجوم حرکت ستارگان را بیان می کنند و دراین راه به نتایجی خلاف انتظار رسیدیم باید اول باین نکته توجه کنیم که ممکن است اصول اساسی و قوانین مکانیك معمولی بهنگام اطلاق بذراتی بآن کوچکی دستخوش تغییراتی شوند .

مفهومهای اساسی مکانیك معمولی عبارتند ازمسیری که ذرهٔ متحرك طی میکند وسرعتی که باآن مسیر را می‌پیماید . این حکم که **هرذرهٔ متحرك درهرلحظهٔ زمان وضع‌خاصی را در فضا اشغال میکند ومجموع این اوضاع متوالی خط مداومی بنام مسیر را تشکیل میدهد** همیشه مسلم بنظرمی‌رسیده و مبنای اصلی برای تعریف حرکت یك جسم مادی بوده است . تعریف سرعت هم این بودکه فاصلهٔ بین دو وضع مختلف متحرك را بر زمان لازم برای اشغال این دو وضع تقسیم کنیم . تمام مکانیك هم براین دو مقسوم ، یعنی مسیروسرعت ، بنا شده بود . شاید تااین اواخر برای هیچ دانشمندی اتفاق نیفتاده بودکه مفهومهائی که پدیدهٔ حرکت‌راتوصیف‌می کردند بنحوی و تا حدی غلط ازآب درآیند وبرای فیلسوفان عادی شده بودکه این پدیده را مسلم وتابع قاعدهٔ علت ومعلول بدانند .

اما شکست مفتضحانه‌ای که بهنگام تلاش برای اطلاق قوانین مکانیك معمولی بحرکت در داخل جسم بسیارکوچك اتم نصیب گردید نشان دادکه در این مورد یك عیب و نقص اساسی وجود دارد و این عقیده را بیش ازپیش تقویت کردکه شاید این نادرستی درمورد بسیاری از قوانین اصلی که پایه و اساس مکانیك بودند نیزجاری باشد . بنظرمی‌رسدکه دومفهوم اصلی حرکت ، یعنی مسیر وسرعت درزمان معین ، ضمخت‌ترازآن باشندکه بتوان آنها را در مورد اجسام بسیار خردی مانند دستگاه داخلی اتم صحیح دانست . خلاصه ، تلاش برای اطلاق مفاهیم عادی مکانیك بحیطهٔ اجسام بسیار کوچك نشان داد که برای این منظور باید تغییرات اساسی وشدید در آن مفاهیم داده شود . اما اگرقوانین مکانیك عادی دربارهٔ جهان بسیارکوچك اتم صادق نباشند چگونه مسلم تواندبودکه درمورد اجرام بسیاربزرگ کاملاصدق کنند ؟ پس باین نتیجه می‌رسیم که اصول ناظربرمکانیك معمولی را باید برای تخمین «اشیاء حقیقی»

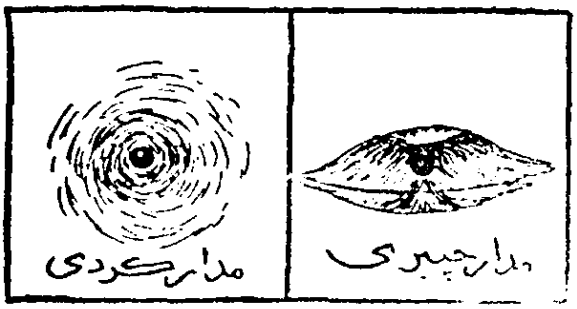
مناسب وخوب دانست و اگر بخواهیم آنها را در مورد دستگاههای دقیقتر و ظریفتری بکار ببریم نتیجه درست نخواهد بود .

عنصر اصلی تازه‌ای که در نتیجهٔ مطالعه در رفتار مکانیکی دستگاه اتمی و توضیحات ناشی از فیزیك معروف به **فیزیك کوانتوم** در علم ماده وارد شده است عبارت از کشف این حقیقت است که **در هر فعل و انفعالی که بین دو جسم مادی امکان پذیر باشد یك حد پائین وجود دارد** ، هرچند این کشف با تعریف عادی مسیر یك شیئی متحرك سازگار نیست . در حقیقت قبول این که برای هر شیئی متحرك مسیری وجود دارد که دارای دقت ریاضی است با این امر ملازمه دارد که **بتوانیم** این مسیر را بایك اسباب فیزیکی دقیق **مورد مطالعه قرار دهیم** . اما نباید فراموش کرد که مطالعه در مسیر بوسیلهٔ یك اسباب فیزیکی موجب اختلال حرکت می‌شود ؛ در حقیقت اگر متحرك بنحوی بر روی دستگاهی که بوسیلهٔ آن مشغول مطالعه در آن هستیم اثری ببخشد دستگاه هم ، بر طبق قانون نیوتن دربارهٔ تساوی عمل و عکس‌العمل ، بر روی آن متحرك تأثیر می‌کند . هرگاه ، همچنانکه در فیزیك فرض می‌شود ، بتوان عمل و عکس‌العمل بین دو شیئی مادی (در اینجا بین شیئی متحرك و دستگاه مخصوص مطالعه) را هرقدر بخواهیم کوچك کرد می‌توان اسباب بسیار دقیقی وحساسی فرض کرد که اوضاع مختلف شیئی متحرك را ثبت کند بی‌آنکه در حرکت آن اختلالی ایجاد نماید .

وجوه حد پائین در عمل وعکس‌العمل فیزیکی در وضع تغییری اساسی می‌دهد زیرا که دیگر نمی‌توانیم تأثیر دستگاه مطالعه‌کننده را بر روی شیئی متحرك هرقدر بخواهیم کوچك فرض کنیم ؛ باین ترتیب **اختلالی که در نتیجهٔ مطالعه در حرکت پدید می‌آید جزئی از خود حرکت می‌شود** و بجای اینکه از مسیری صحبت کنیم که بنازکی یك خط هندسی باشد باید بجای آن مسیری فرض کنیم که ضخامت معینی داشته باشد . **مسیرهائی که در فیزیك قدیم بشکل خطهای ریاضی فرض می‌شدند بچشم مکانیك جدید بشکل نواری پراکنده جلوه می‌کنند .**

اما حد اقل عمـل و عکس‌العمل فیزیکی که **کوانتوم عمل** نامیده می‌شود مقدار عددی خیلی کوچکی دارد که فقط وقتی که از حرکت اجسام خیلی

کوچك گفتگوشودقابل اعتناست . باین‌ترتیب اگرفی‌المثل گفته شودکه مسیر گلولهٔ تپانچه‌ای یك خط ریاضی‌بتمام معنی‌کلمه نیست « ضخامت » این مسیر چند بارکمتراست از اندازهٔ یکـی از اتمهائی که درجنس فلزگلوله وجود دارد و باین نحو ضخامت مسیر را باید عملا مساوی صفر دانست . امااگر باشیاء سبکتری‌که‌بیشترتحت تأثیراختلال‌ناشی‌ازاندازه‌گیری قرارمی‌گیرند توجه‌کنیم می‌بینیم‌که « ضخامت » مسیر آنها دارای اهمیت بیشتری می‌شود . **درمورد الکترونهای اتم** که بدور هستهٔمرکزی می‌چرخند ضخامت مسیر درحدود اندازهٔ قطرخود آن می‌شود بقسمی‌کـه بجای اینکه حرکت آنها را بوسیلهٔ خطی مانند شکل ۵۳ نمایش دهیم باید آنرا بوضعی که درشکل ٥٤ می‌بینید مجسم‌سازیم. دراینگونه حالات‌حرکت ذرات‌رانمی‌توان بااصطلاحات معمولی‌مکانیك عادی بیان‌کرد وهم وضع وهم سرعت آنهاتادرجه‌ای ازصورت قطعی ومسلم خارج‌می‌شوند (روابط‌عدم یقین‌هایزنبرگ‌واصل تکمیلی بوهر[۱])



شکل ۵۴
تصویرمیکرومکانیکی از حرکت الکترونها در اتم

مثل اینست‌که پیشرفت هراس انگیز فیزیك جدید ،که اصول متداول و متبادربذهنی مانند مسیرحرکت ، وضع صریح متحرك وسرعت آنرا درسبد کاغذهای باطله می‌اندازد ، همهٔ مبانی علمی ما رانقش برآب می‌سازد . اگر مجاز نباشیم‌که اصول اساسی‌ایراکه سابقاً پذیرفته‌ایم درمطالعهٔ الکترونهای

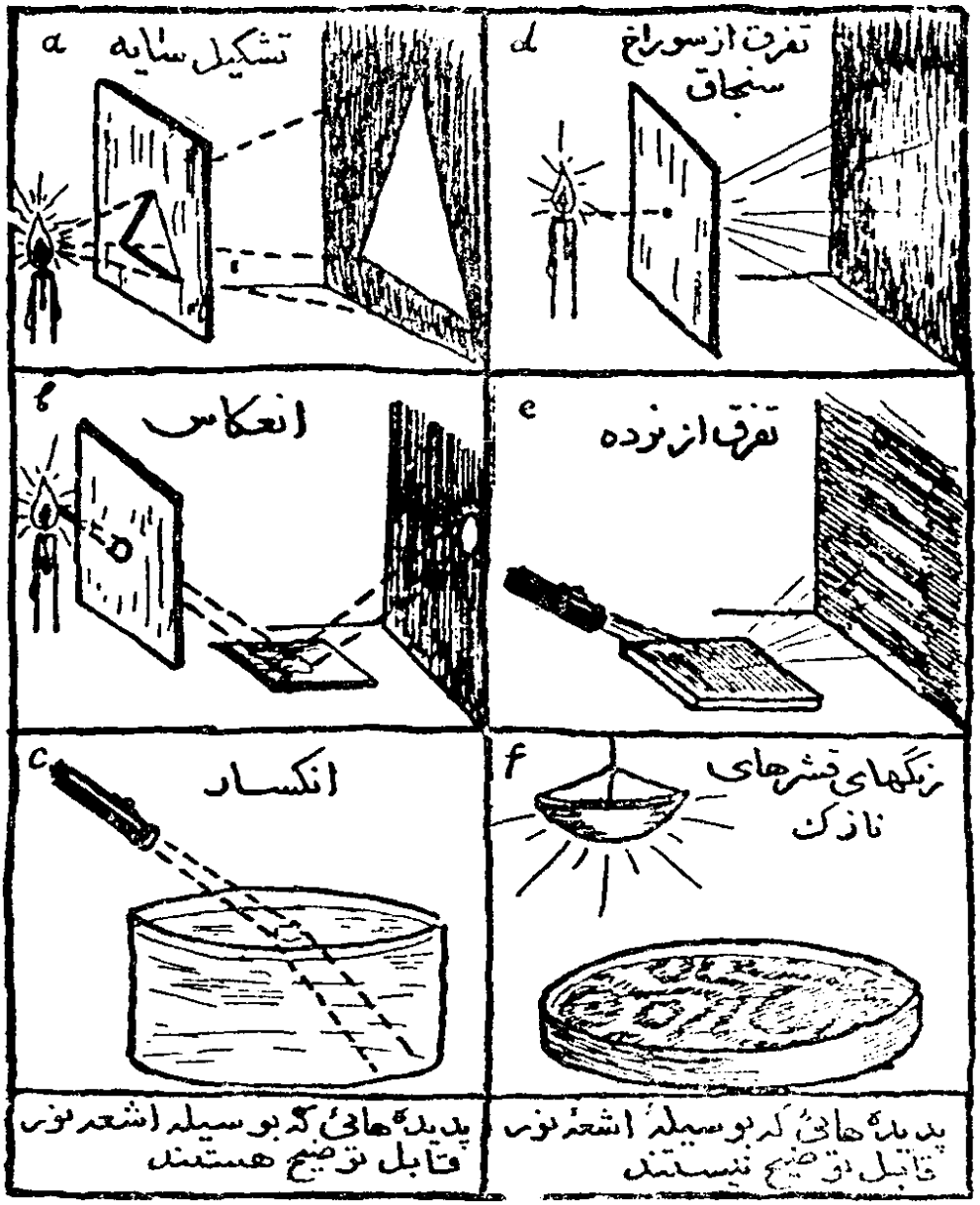
---

۱ ـ Heisenberg's uncertainty relations and Bohr's complementary Principle.

برای‌توضیح‌بیشتری دراین باره بکتاب Mr Tompkins in Wonderland مؤلفین همین‌کتاب مراجعه‌کرد .

اتم بکاربریم علم بحرکت آنها را برچه اساس وپایه‌ای باید قراردهیم ؟ بجای روشهای مکانیك عادی چه اصلهای ریاضی را قراردهیم تا بتوانیم متوجه قطعی ومسلم نبودن وضع وسرعت وکارمایه وسایرچیزهائی که مطلوب حقایق فیزیك کوانتوم است بشویم ؟

جواب این پرسشها را می‌توان ضمن مطالعهٔ وضع مشابهی که درمبحث تئوری کلاسیك نور وجود داشت یافت . می‌دانیم که غالب پدیده‌های نوری را که در زندگی عادی باآنها سروکار داریم می‌توان برمبنای فرض انتشار نور



(شکل ۵۵ ا و ب و ج)

بخط مستقیم توجیه کرد: سایه‌ای که ازاشیاء کدر تولید می‌شود ، تشکیل تصاویر

درآینه‌های مسطح یا کروی ، طرز کار عدسی‌ها ، و بسیاری ازدستگاه‌های پیچیدهٔ مبحث نور را می‌توان برطبق قوانین مقدماتی انعکاس وانکسار اشعهٔ نور بیان نمود . (شکل ۵۵ a و b و c) .

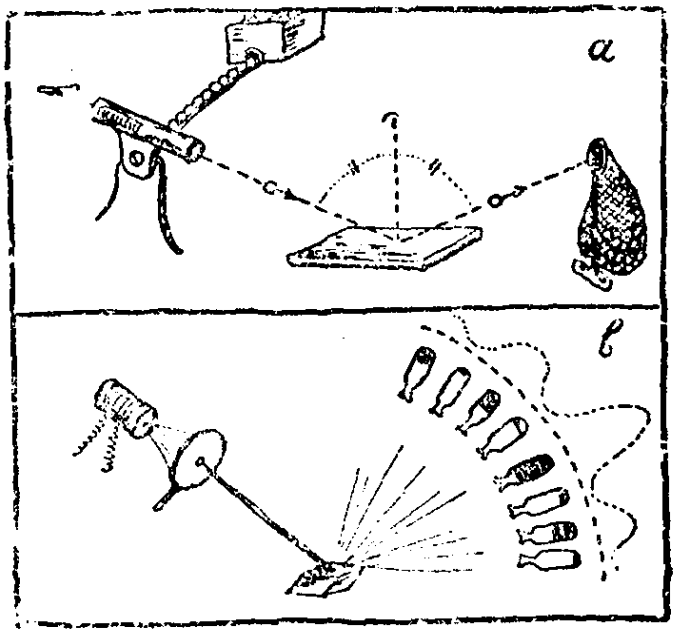
اما این را هم می‌دانیم که روشهای هندسی که درمبحث نور برای اثبات صحت تئوریهای کلاسیك انتشار نور بصورت اشعهٔ نور بکارمی‌روند وقتی که سوراخهائی که نوراز آن‌ها عبورمی‌کند بسیار کوچك و در حدود طول امواج نورمی‌شوند غلط ازکار درمی‌آیند ، پدیده‌ای که دراین حالت مشاهده می‌شود پدیدهٔ تفرق نام دارد و بکلی ازقواعد هندسی مبحث نوربرکنار است . باین ترتیب شعاع نوری که ازسوراخ کوچکی (درحدود ۰/۰۰۰۱ سانتیمتر) عبور کند در امتداد خط راست سیر نمی‌کند بلکه بشکل بادبزن باطراف پراکنده می‌شود(ش۵۵d) ؛ وقتی که اشعهٔ نوربرسطح آئینه‌ای که شیارهای مستقیم متعدد متوازی برروی آن ایجادشده باشد (کرکرهٔ تفرق) بتابند دیگرمطابق معمول و برطبق قانونی که می‌دانیم منعکس نمی‌شوند بلکه در امتداد های مختلف پرتاب می‌گردند و این امتدادها بستگی بفاصلهٔ شیارهای روی آئینه و طول موج نوری که برآئینه تابیده‌است دارد (ش۵۵e) ؛ همچنین می‌دانیم که وقتی که نور از روی قشرهای نازك روغنی که بر سطح آب پراکنده باشد منعکس شود نوارهای مخصوص تاریك و روشنی ایجاد می‌کند (ش ۵۵ f) .

درتمام این حالات اصل «انتشار نور بصورت اشعهٔ نورانی» بکلی از توضیح پدیدهٔ فیزیکی عاجزاست و باید بجای آن قبول کنیم که «کار مایهٔ نوری بطورمداوم درسراسر فضائی که دستگاه انتشار نور درآن است انتشارمی‌یابد.»

بآسانی می‌توان دید که صادق نبودن اصل « اشعهٔ نور » درپدیدهٔ تفرق نوربسیارشبیه است بصادق نبودن اصل « وجود مسیرمکانیکی » در پدیده های فیزیك کوانتوم همانطورکه در مبحث نور نمی‌توانیم شعاع نوری بسازیم که بی‌نهایت نازك باشداصول کوانتوم درمکانیك مانع ازآن‌است که بتوانیم برای ذرات مسیری فرض کنیم که بی‌نهایت نازك باشد . در هردومورد باید ازتفسیر پدیده باین صورت که چیزی (نوریا ذرات) در امتداد یك خط هندسی (اشعهٔ نور یا مسیرهای مکانیکی) انتشار پیدا می‌کند منصرف شویم و بجای آن

پدیده را بوسیلهٔ « چیزی »که پیوسته درفضا انتشار می‌یابد بیان‌کنیم . اگر صحبت از نورباشد این « چیز » شدت ارتعاشات نور است در نقاط مختلف ، واگرصحبت از مکانیك باشد این «چیز» اصل مسلم نبودن محل است ، یعنی احتمال آن‌که ذرهٔ متحرك در زمان معین در مکان معینی نباشد بلکه دریکی ازچند موضعی‌که امکان داردقرارداشته‌باشد . دیگر ممکن نیست‌بدقت تصریح شودکه یك ذرهٔ متحرك درلحظهٔ معینی در کدام نقطه است ، اما حدود مکانی راکه ممکن است ذره درآن باشد می‌توان با فرمول‌های « روابط عدم یقین » حساب‌کرد . رابطه‌ای راکه بین قوانین تورموجی (مربوط به تفرق نور) و قواعد «میکرومکانیك» ، یا «مکانیك موجی» (مربوط بحرکت ذرات مکانیکی. این قوانین را بروگلی[1]وشرودینگر[2]بسط داده‌اند) وجود دارد می‌توان آزمایشهائی ،که مبین شباهت دو پدیده هستند ، نشان داد .

درشکل۵۶ دستگاهی راکه اتواشترن برای مطالعهٔ تفرق اتمی ترتیب داده بود نشان می‌دهیم .



شکل ۵۶

۱ ـ پدیده‌ای‌که درآن وجودمسیر خاصی‌محرز است (کمانه‌کردن ساچمه ها در روی یك صفحهٔ فلزی)

۱ ـ پدیده ای‌که در آن وجود مسیر خاصی محرز نیست . (کمانه‌کردن اتمهای سدیم در روی یك بلور)

---

۱ ـ Louis Victor Broglie فیزیك دان فرانسوی

۲ ـ Ervin Schrodinger فیزیك‌دان آلمانی

یك دسته اتمهای سدیم ،که با روشی که سابقاً دراین فصل شرح دادیم تولید شده‌اند ، در روی سطح یك بلور منعکس شده کمانه می‌کند . قشرهای منظم اتمهای این هدف بلورین در مقابل اتمهائی که بصفحه می‌رسند همان عملی را انجام می‌دهند که کرکره تفرق (آئینهٔ دارای شیارهای متوازی) در مقابل نوری که بآن می‌تافت انجام می‌داد . اتمهای سدیم پس از برخورد با بلور کمانه می‌کنند ودریك عده شیشه‌های کوچك که تحت‌زوایای مختلف قرار داده شده‌اند گرفته وجمع می‌شوند . عدهٔ اتمهائی که درهرشیشه گرد می‌آیند بدقت اندازه گیری می‌شود . خط نقطه چین شکل ٥٦ نتیجهٔ محاسبه را نشان می‌دهد . می‌بینیم که اتمهای سدیم بجای آنکه (مانند ساچمه هائی که ازلوله طپانچه‌ای خارج می‌شوند وپس‌ازبرخوردبیك صفحه کمانه می‌کنند) درامتداد معینی منعکس شوند در تحت زوایای معین منعکس‌می‌گردند و طرز انعکاس آنها کاملا شبیه است بآنچه در تفرق اشعهٔ مجهول دیده می‌شود .

شاید نتوان‌اینگونه آزمایشها را براساس‌مکانیك کلاسیك ،که ازحرکت هراتم درامتداد مسیری معین گفتگومی‌کند ، توجیه کرد اما می‌توان بااصول مکانیك موجی‌جدید ، که‌حرکت ذرات را تابع‌قواعدی می‌داند شبیه بآنچه در مبحث جدید نور دربارهٔ تفرق تصورمی‌رود ، کاملابماهیت آنها پی‌برد .

فصل هفتم

کیمیاگری جدید

ذرات اولیه

اکنون که دانستیم اتمهای عناصر گوناگون شیمیائی دستگاههای پیچیده‌ای هستند که چندین الکترون در درون آنها گرد هستهٔ مرکزی در گردش‌اند این سئوال برای ما پیش می‌آید که آیا اتم غایت تقسیم، یعنی کوچکترین واحد ترکیب کنندهٔ ماده، است یا آنرا هم‌می‌توان بنوبهٔ خود باجزاء ساده‌تر وکوچکتری تجزیه کرد؟ آیا مثلا ممکن است ۹۲ نوع اتم را بیك جفت ذرهٔ ساده تقلیل داد؟

خیلی پیش، یعنی در اواسط قرن گذشته، بود که علاقهٔ بسادگی فرضیه‌ای را بخاطر ویلیام پراوت[۱]، شیمی‌دان انگلیسی، گذارند که بر طبق آن **اتمهای عناصر مختلف شیمیائی طبیعتی مشترك دارند و آن عبارت است از درجات مختلف «تمرکز» اتمهای ئیدرژن**. دلیلی که پراوت اقامه می‌کرد متکی براین بود که وقتی وزنهای اتمی عناصر مختلف

---

۱ ـ William Praut

با قواعد شیمی اندازه گرفته شوند نسبتشان همیشه عددی است خیلی نزدیك بعدد صحیح . باین ترتیب برطبق نظریهٔ پراوت اتم اکسیژن که وزنش ۱۶ برابر اتم ئیدروژن است ، باید از التصاق و تراکم ۱۶ اتم ئیدروژن بوجود آمده باشد ، یا اتم ید ،که وزنش۱۲۸است ، بایدازتجمع ۱۲۸اتم ئیدروژن تشکیل شده باشد . وبهمین ترتیب ...

اما اطلاعات شیمی درآن‌زمان برای پذیرفتن چنین فرض متهورانه‌ای کافی و سازگار نبود .

درنتیجهٔ اندازه گیریهای دقیق معلوم شدکه وزن اتمی عناصر بوسیلهٔ اعدادصحیح نمایش داده نمی‌شوند بلکه خیلی‌نزدیك بعددصحیح هستند و در بعضی‌موارد نزدیك‌بعددصحیح هم نیستند (مثلا وزن اتمی کلر ۳۵/۵ است) . این مشاهدات‌که مخالف صریح بافرضیهٔ پراوت داشت موجب بی‌اعتبار شدن آن نظریه‌شد و پراوت از دنیا رفت درحالی‌که نمی‌دانست‌حدسی‌که زده‌است تا چه حد صحیح است .

درسال ۱۹۱۹استون[۱]، فیزیك دان بریتانیائی ،کشفی نمودکه فرضیهٔ پراوت ازخلال آن خودنمائی می‌کرد . توضیح‌آنکه استون ثابت‌کردکه‌کلر معمولی مخلوطی است ازدوکلرکه خواص‌شیمیائی‌کاملا متشابه دارند اما وزن اتمیشان متفاوت است ، یعنی ۳۵ و ۳۷ . عدد غیر صحیح ۳۵ر۵ وزن اتمی متوسط[۲] مخلوط است .

مطالعات بیشتری‌که در بارهٔ عنصرهای مختلف بعمل آمد این حقیقت جالب را بارزساخت‌که اغلب آنها مخلوطی از چند مادهٔ ترکیب‌کننده هستند که همه خواص شیمیائی متشابه و وزنهای‌اتمی متفاوت دارند . این مواد را که در دستگاه تناوبی عناصرهمه یك محل‌دارندایزوتوپ[۳]می گویند .

این حقیقت‌که جرمهای ایزوتوپهای مختلف همیشه مضرب صحیحی‌از جرم‌ئیدروژن هستند بفرضیهٔ فراموش شدهٔ پراوت حیات تازه بخشید . چون همانطورکه دربخش پیشین دیدیم جرم اتم درهستهٔ آن متمرکز است فرضیهٔ

---

۱ ـ Francis William Aston فیزیك‌دان انگلیسی

۲ـ چون ۲۵درصدکلرمخلوط ازکلرسنگین‌تر و۷۵درصدآن‌از کلرسبکتر است وزن مخصوص متوسط آن میشود ۳۵/۵ = ۲۵ر۰ × ۳۷ + ۷۵ر۰ × ۳۵ یعنی همان وزنی‌که شیمی‌دانها بدست آورده بودند .

۳ ـ ازدوکلمهٔ یونانی « ایزوس » یعنی مساوی و «توپوس» یعنی‌جا .

پراوت را می‌توان بزبان‌جدید باینصورت بیان‌کرد که **هسته‌های اتمهای گوناگون از تعداد مختلفی هسته های ئیدروژن تشکیل شده‌اند وهستهٔ ئیدروژن را بسبب نقش‌اساسی ومهمی که درساختن ماده دارد بنام مخصوص « پروتون » نامیده‌اند .**

اما دراین گفته اصلاح بزرگی بایدکرد . مثلا هستهٔ اتم اکسیژن را در نظربگیرید . چون درسلسلهٔ طبیعی‌عناصراکسیژن مقام هشتم را داردباید ۸ الکترون داشته باشد ، پس هستهٔ مرکـزی آنهم باید دارای ۸ بار اولیهٔ مثبت باشد . اما اتم اکسیژن ۱۶ بار ازاتم ئیدروژن سنگین‌تراست . باین ترتیب‌اگرفرض‌کنیم‌که هستهٔ اکسیژن ۸ پروتون دارد بار الکتریکی صحیح اما وزن غلط (هردو۸) بدست می‌آوریم واگرتعداد پروتونها را۱۶انگاریم وزن صحیح اما بارالکتریکی غلط (هردو۱۶) خواهد شد .

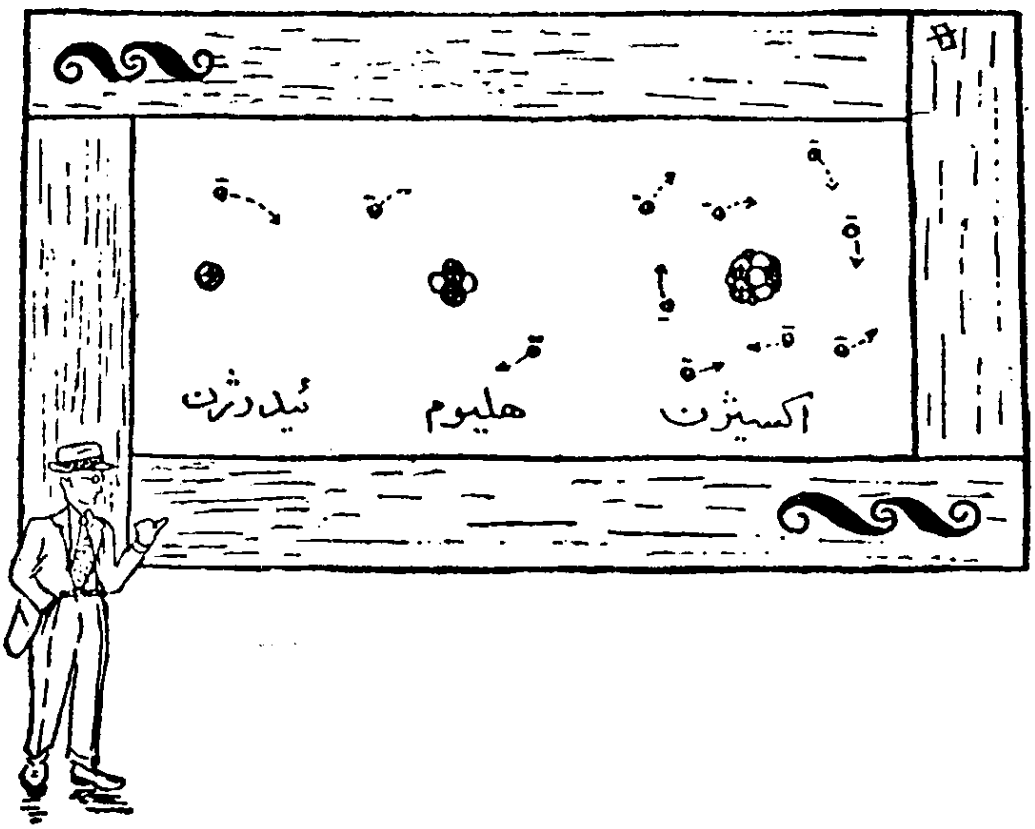
واضح است‌که تنها راه‌برای رفع اشکال‌آن است‌که فرض‌کنیم **بعضی از پروتونهای هسته‌های اتمهای مرکب خاصیت اصلی بار مثبت خود راازدست داده و از جنبهٔ الکتریکی خنثی شده‌اند .**

روترفورددرسال۱۹۲۰ بوجوداینگونه پروتونهای بی‌باریا «نوترونها» اشاره‌کرده بود ولی ۱۲سال بعد وجود آنها از راه تجربه محرز شد . باید خاطرنشان‌سازیم‌که پروتون ونوترون رانباید دونوع ذرهٔ کاملامختلف دانست بلکه باید دوحالت الکتریکی مختلف‌ازیك ذرهٔ اصلی‌که امروز « نوکلئون » نامیده می‌شود انگاشت . در واقع معلوم شده است‌که اگرپروتون بار مثبت خود راازدست بدهد نوترون می‌شود و اگر نوترون بارمثبت بگیرد بدل به پروتون می گردد .

ورود نوترون بصحنهٔ علم بعنوان یکـی از واحدهای سازندهٔ هستهٔ اتم اشکالهائی راکه درصفحات قبل‌بآن اشاره‌کردیم‌ازمیان می‌برد . برای اینکه بفهمیم‌که هستهٔ اکسیژن چگونه ۱۶ واحد جرم اما ۸ واحد بار الکتریکی دارد باید قبول‌کنیم‌که از ۸ پروتون و ۸ نوترون تشکیل شده است . هستهٔ مرکزی یدکه وزنش۱۲۷ وشمارهٔ اتمیش ۵۳ است۵۳ پروتون و۷۴نوترون دارد . هستهٔ سنگین اورانیوم (با وزن اتمی ۲۳۸ وشمارهٔ اتمی ۹۲) دارای

۹۲ پروتون و ۱٤٦ نوترون است .[۱]

باین ترتیب فرضیهٔ متهورانهٔ پراوت سرانجام مورد قبول یافت ومقام ارجمندی راکه درخور آن بود احرازکـرد واکنون می‌توانیم گفت‌که اقسام بیشمارمواردی‌که می‌شناسیم ازصورت بندیهای‌گوناگون ترکیب فقط دوذرهٔ اصلی تشکیل شده‌اند : (۱) نوکلئونهاکه ذرات اصلی ماده‌اند وممکن‌است بارمثبت داشته باشند یا اصلا بارنداشته باشند و (۲) الکترونها که بارهای آزاد الکتریستهٔ منفی هستند (ش ۵۷) .



شکل ۵۷

اینك چنددستور از « دورهٔ‌کامل‌کتاب طباخی ماده » دراینجا می‌آوریم تا ببینیدکه در مطبخ‌جهان با استفاده از انباری پر از نوکلئون و الکترون غذاها را چگونه تهیه می‌کنند .

---

۱ ـ وقتی‌که بجدول وزنهای اتمی توجه‌کنید می‌بینیدکه درآغاز دستگاه تناوبی وزنهای اتمی دو برابر شماره‌های اتمی‌هستند یعنی درهسته‌های‌آن اتمها تعداد پروتونها مساوی است . در مورد عناصر سنگین‌تر وزن اتمی تندتر ترقی می‌کند واین امر نشانهٔ آن است‌که تعداد نوترونهای هستهٔ‌آنها بیشتراست .

آب = ۸ نوکلئون خنثی و ۸ نوکلئون مثبت با هم مخلوط کنید هسته‌ای راکه باین نحو بدست می‌آید در وسط ۸ الکترون قرار دهید ، باین‌ترتیب یك اتم اکسیژن خواهید داشت . مقدار زیادی از این اتمهای اکسیژن تهیه کنید . با اختلاط یك نوکلئون باردار و یك الکترون یك اتم ئیدرژن فراهم می‌شود ، دوبرابر تعداد اتم اکسیژنها اتم ئیدرژن تهیه کنید . دو اتم ئیدروژن را با یك اتم اکسیژن ترکیب کنید . ملکولهای آب راکه بدست می‌آیند خوب بهم بزنید و بگذارید سرد شوند ، بعد در لیوان میل کنید .

نمك = با ترکیب ۱۲ نوکلئون خنثی و ۱۱ نوکلئون بار دارهستهٔ مرکزی اتم سدیم را تهیه کنید وبآن ۱۱ الکترون بیفزائید تا یك اتم سدیم بدست آید ، از ترکیب ۱۸ یا ۲۰ نوکلئون خنثی و ۱۱ نوکلئون باردار (ایزوتوپ) و۱۷ الکترون یك اتم کلر فراهم‌سازید ، تعداد متساوی ازاتمهای سدیم وکلر تهیه کنید وآنها رادریك سینی مدرج‌سه بعدی بچینید تا بلورهای منظم نمك بدست آید .

تری نیتروتلوئن[1] = با ترکیب ۶ نوکلئون باردار و ۶ نوکلئون خنثی و افزودن ۶ الکترون بآنها یك اتم کربن ، و با ترکیب ۷ نوکلئون خنثی و ۷ نوکلئون بار دار و افزودن ۷ الکترون بآن یك اتم ازت ، تهیه کنید . مطابق‌دستوری که برای تهیهٔ آب داده شد اتمهای اکسیژن وئیدروژن فراهم آورید . ۶ اتم کربن را بشکل حلقه ویك اتم را درخارج حلقه بگذارید ، به سه‌تا ازاتمهای حلقه یك‌جفت اتم اکسیژن وصل کنید وبین هر کربن واکسیژن یك اتم ازت قرار دهید ، سه اتم ئیدروژن بکربن خارج حلقه ویك اتم ئیدرژن بهریك ازدو کربن که درحلقه بینشان جای خالی‌است متصل کنید ، ملکولهائی‌راکه باین‌نحو تشکیل می‌شوند با نظم پهلوی هم‌قرار دهید تابلورهای کوچکی بوجود آورند . بلورها را بهم بفشارید . بااحتیاط دست بزنید ، زیراکه این ترکیب ناپایدار وشدیداً قابل انفجاراست .

---

۱ ـ Trinitrotoluene یا Tnt ماده‌ای قابل انفجار

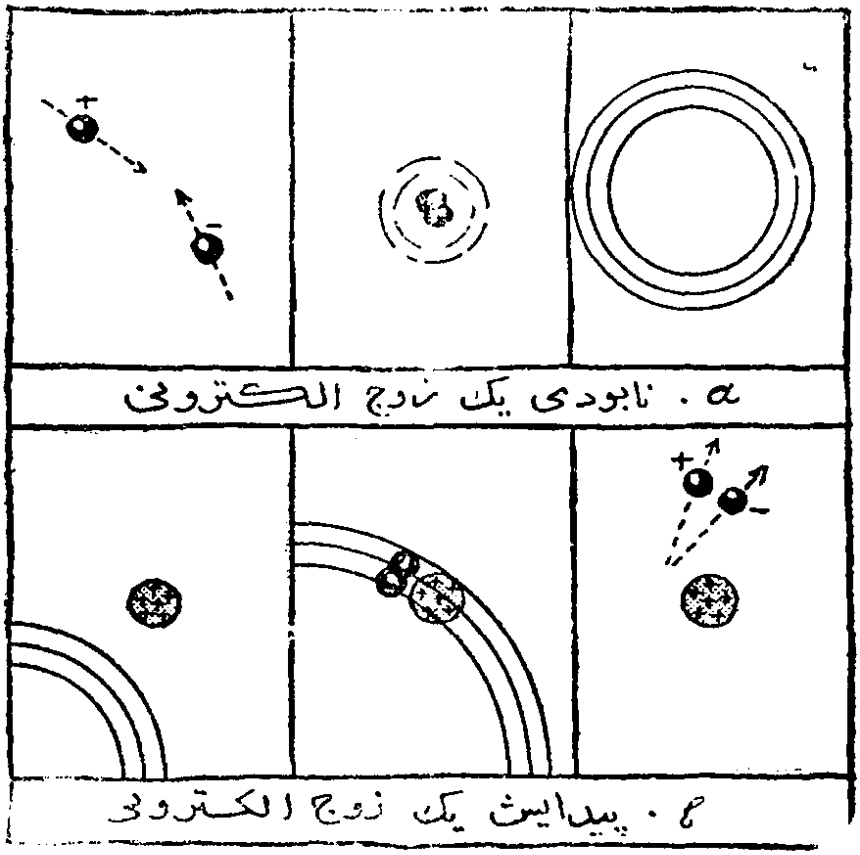
هرچند، چنانکه‌دیدیم، نوترونهاوپروتونها والکترونهای‌منفی تنهامصالح لازم ومورد نیاز برای ساختن هرماده‌ای بشمار می‌روند بنظرمی‌رسدکه این صورت تا حدی ناقص باشد . براستی اگر الکترونها نمایندهٔ بار منفی الکتریکی آزاد باشند چرا بار مثبت الکتریکی آزاد نداشته باشیم ؟ یعنی الکترون مثبت هم وجود نداشته باشد ؟

همچنین اگرنوترون ،که ظاهراً واحد اصلی ماده را تشکیل می‌دهد، بتواند بارمثبت بگیرد و به پروتن تبدیل شودچرا نتواند باگرفتن بارمنفی پروتون منفی تشکیل دهد ؟

جواب اینست‌که الکترونهای مثبت ،که ازهرحیث جزازحیث علامت بارالکتریکی مانندالکترونهای منفی‌هستند ، عملا درطبیعت‌وجود دارند . و هر چند آزمایش هنوز نشانی از وجود پروتون منفی نداده است ممکن است این‌گونه پروتون هم وجود داشته باشد .

دلیل آنکه الکترونهای مثبت وپروتونهای منفی (درصورت وجود) در جهان فیزیکی بفراوانی الکترونهای منفی وپروتونهای مثبت نیستنددراین حقیقت نهفته است‌که این دودسته ذرات باصطلاح خصم یکدیگرند . هرکس می‌داندکه اگردوبار مثبت ومنفی‌الکتریکی را پهلوی هم بگذاریم یکدیگر راازمیان می‌برند . پس چون هردونوع الکترون چیزی جزبارهای آزاد الکتریستهٔ مثبت ومنفی نیستند نمی‌توان انتظار داشت‌که با هم دریك ناحیهٔ فضاوجود داشته‌باشند.درحقیقت بمجردآنکه یك‌الکترون‌مثبت‌والکترون‌منفی باهم‌تلاقی‌کنند بارهای‌الکتریکی‌آنها یکدیگررا محوخواهندکرد وازآن‌پس دیگرالکترونها بعنوان دو ذرهٔ منفرد وجود نخواهد داشت . اما از انهدام این دو الکترون تشعشع برق و مغناطیسی (الکترومانیه‌تیك) شدیدی‌نتیجه می‌شود بنام**اشعهٔ‌گاما** که ازمحل تلاقی دوالکترون صادرمی‌شود وکارمایه‌ای راکه دراصل در هردو الکترون موجودبوده و ازآنها بیرون‌آمده است دربر دارد . برطبق یکی از قوانین اساسی فیزیك کارمایه نه بوجود می‌آید و نه از میان‌می‌رود و ما دراینجا نیز شاهد تبدیل الکتریسیتهٔ ساکن (استاتیك) موجود در بارهای دو الکترون بالکتریسیتهٔ فعال (دینامیك) موجود در آن

امـواج متشعشع هستیم . پر فسور بورن [۱] پدیده ای را کـه از ملاقـات دو الکترون مثبت و منفی نتیجه می‌شود «ازدواج وحشی» نامیده و پرفسور براون[۲] ،که طرز تفکری دژمتر و غمناکتر دارد ، آنرا «خودکشی دوجانبهٔ » الکترونها خوانده‌است. شکل۵۸ ملاقات دوالکترون را بوسیلهٔ ترسیم مجسم می‌سازد. درطبیعت درمقابل «نابودشدن» دوالکترون‌که بارهای مخالف‌دارند پارسنگی وجود دارد وآن « پیدایش یك زوج الکترون است » ، دراین عمل یك‌الکترون مثبت ویك منفی درنتیجه یك تشعشع نیرومند گاماازهیچ‌بوجود می‌آیند . گفتیم « ازهیچ » زیراکه عملا هرجفت الکترون بقیمت‌کار مایه‌ای که اشعهٔ‌گاما فراهم میسازند بوجود میآید . در واقع مقدارکار مایه‌ای‌کـه بوسیلهٔ تشعشع برای‌تولید یك‌جفت الکترون داده می‌شود درست معادل همان کار مایه‌ایست‌که این جفت بهنگام نابود شدن آزاد می‌کند. درشکل ۵۸ ب



شکل ۵۸

نمایش ترسیمی « نابودی » دو الکترون‌که موجد یك‌موج برق و مغناطیسی است و « پیدایش » یك جفت الکترون‌که ازگذشتن یك موج از مجاورت هستهٔ اتم بوجود می‌آید .

---

۱ ـ M. Born درکتاب فیزیك اتمی Atomic Physiks (۱۹۳۵) .

۲ ـ T. B. Brown درکتاب فیزیك نوین Modern physiks (۱۹۴۶) .

چگونگی بوجودآمدن جفت الکترون نمایش داده شده‌است. عمل‌تولید جفت الکترون وقتی بیشتر وبهتر صورت می‌پذیردکه تشعشع درنزدیکی هستهٔ مرکزی اتمی وقوع یابد[۱] . مادر اینجا نمونه‌ای داریم از بوجود آمدن دو الکترون بابارهای مخالف درمحلی‌که درآن‌بارالکتریکی وجودنداشته‌است. این‌عمل نباید موجب‌تعجب گردد زیراکه‌از خیلی پیش آموخته‌ایم‌که اگر میلهٔ شیشه‌اینی‌را با پارچهٔ پشمینی مالش دهیم دوالکتریسیتهٔ مختلف درآنها ایجاد می‌شود. اگرمقدارکافی‌کارمایه داشته باشیم می‌توانیم هرقدربخواهیم الکترونهای مثبت‌ومنفی بسازیم ولی‌بایدکاملا متوجه باشیم‌که طولی نخواهد کشیدکه عمل نابود شدن جفتها دو الکترون را از صحنه بیرون خواهدکرد وکار مایه‌ای راکه صرف تولید آنها شده بود «کاملا و تماما» باز خواهد گرفت

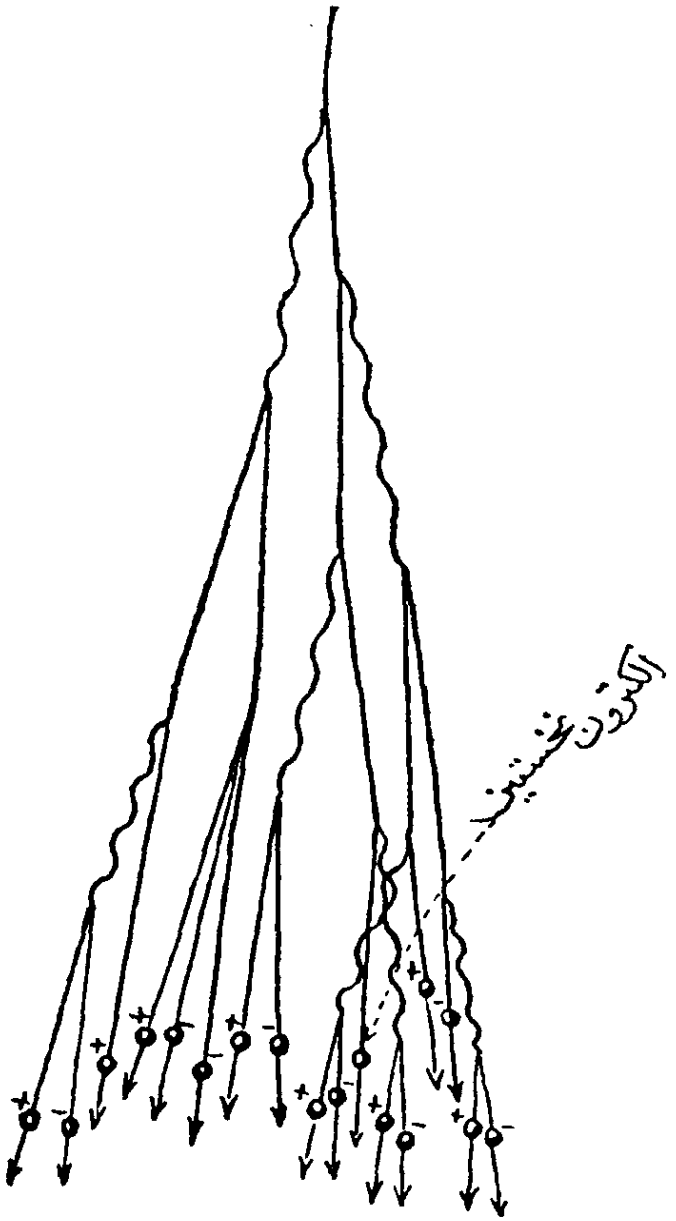
نمونهٔ بسیار جالبی از «تولید بمقدار زیاد» این‌جفتهای الکترون اثر پدیده‌ایست بنام «رگبار اشعهٔ‌کیهانی». اشعهٔ‌کیهانی نتیجه و حاصل جریان ذراتی است‌که دارای‌کارمایهٔ بسیارزیاد هستند واز فضای بین ستارگان بجو زمین می‌رسند . هرچند منبع و منشاء این جریانها ،که در فضای بیکران جهان ازاین سوی بآن سوی درسیلان هستند، هنوز معلوم نیست و یکی از معماهای حل نشدهٔ علوم بشمار می‌رود [۲] تقریباً بوضوح می‌دانیم‌که وقتی الکترونهائی‌که‌باسرعتی دهشت‌آور در حرکتند بقشرهای بالائی جوبرخورد

---

۱ ـ هر چند اصولا تشکیل یك جفت الکترون دریك فضای‌کاملا خالی امکان‌پذیر است وجود محیطی‌که در آن الکترونهای حول هستهٔ مرکزی باشند عمل‌پیدایش جفتهای الکترونی را تسهیل می‌کند .

۲ ـ عامیانه‌ترین وشاید قابل قبولترین‌فرضی‌که برای‌بیان‌اصل ومنشاء این ذرات صاحب‌کارمایهٔ‌بسیار زیادکه باسرعتی در حدود۹۹/۹۹۹۹۹۹۹۹۹۹۹۹صدم سرعت نور درحرکت هستند شده‌است این‌است‌که شاید اختلاف سطح الکتریکی بسیاری که بین ابرها و غبارهای‌کیهانی ، یعنی سحابی‌هائی‌که‌در جهان بیکران در جولان هستند وجود دارد محرك و وسیلهٔ‌دادن شتاب باین ذرات باشند. در حقیقت می‌توان انتظار داشت‌که این ابرهای بین ستارگان بار الکتریکی رااز راهی‌شبیه بآن‌کسب‌کنندکه‌ابرهای معمولی جوماکسب‌می‌نمایند واختلاف سطحی که بین آنها تولیدشود بمراتب زیادتر باشد از اختلاف سطحی‌که بهنگام توفان و رعدو برق درجو ما صاعقه را تولید می‌کند .

می‌کنند چه واقع‌می‌شود. الکترون‌اولیه‌که دارای سرعت‌بسیارزیادست وقتی که ازمقابل هسته‌های اتمهائی‌که‌جورا بوجود آورده‌اند می‌گذرد اندك‌اندك کارمایهٔ خودرا ازدست می‌دهد واین‌کارمایه بصورت اشعهٔ گاما در امتدادمسیر الکترون متشعشع می‌شود (ش ۵۹) .این تشعشع موجب می‌گـردد کـه‌عمل



شکل ۵۹

منشاء رگبار اشعهٔ کیهانی

تکوین جفتهای الکترون بارهاتکرارشود الکترونهای منفی‌ومثبتی‌که‌بوجود می‌آیند در امتداد مسیر الکترون اولیه بسرعت حرکت می‌کنند .چون این الکترونهای دومی بازهم مقدار زیادی کار مایه دارند تولید مقدار بیشتری

اشعهٔ گاما می‌کنند واین اشعه‌بنوبهٔخود الکترونهای‌تازهٔ بیشتری بوجود می‌آورند .این‌عمل تولیدهای متوالی درمدتی‌که ذره در جو سیر می‌کندچندین بار تکرار می‌شود و الکترون اولیه وقتی‌که بسطح دریا می‌رسد اردوئی از الکترونهای ثانوی‌بهمراه داردکه‌نیمی منفی‌و نیمی مثبتند .محتاج به‌گفتن نیست‌که اینگونه رگبارهای اشعهٔ‌کیهانی ممکن است زمانی ایجاد شودکه الکترونهای سریع از میان اجسام مادی بزرگ بگذرند و در نتیجهٔ تکائف مخصوص بیشتری عمل انشعاب صورت پذیرد و بابسامد (فرکانس) بیشتری توام باشد (رجوع‌کنید به تصویر خارج از متن شمارهٔ ۲ آ)

چون در مکان وجود پروتونهای منفی دقت‌کنیم جای آن است‌که فرض کنیم‌که این ذرات از نوترونهائی بوجود آمده باشندکه یك بار منفی بدست آورده یا یك بار مثبت از دست داده باشند ، اما خیلی بآسانی می‌شود فهمید که اینگونه پروتونهای منفی ، درست مانند الکترونهای مثبت ، ممکن نیست زمانی درازدریك چیزمعمولی بپایند ودوام‌کنند.درحقیقت اینگونه پروتونها فوراً بوسیلهٔ نزدیکترین هسته‌ای‌که دارای بار مثبت باشد جذب وربوده‌می‌شوند وباغلب احتمال پس از ورود در ساختمان اتم بصورت نوترون در می‌آیند . پس اگر چنین پروتونهائی ،که به تقارن طرحی‌که در حال حاضراز ذرات‌اولیه تصور شده‌است‌کمك‌می‌کنند ، وجود خارجی داشته‌باشند پی‌بردن بوجود آنهاکارآسانی نیست . بیاد بیاورید‌که الکترونهای مثبت تقریباً نیم قرن بعدازآنکه اصل وجود الکترونهای‌منفی در علم راه یافت شناخته‌شدند.

اگر فرض‌کنیم که وجود پروتونهای منفی ممکن باشد باید اتمها و ملکولهائی را در نظر آوریم‌که‌دارای ساختمان باصطلاح معکوس باشندیعنی هستهٔ مرکزی‌آنها ازنوترونهای منفی‌ساخته شده و الکترونهای مثبت گردا‌گرد آن در حرکت باشند . این اتمهای « معکوس » درست خواصی خواهند داشت شبیه‌بخواص اتمهای معمولی وهیچ وسیله‌ای برای‌تشخیص آب معکوس وکرهٔ معکوس و غیره از آب وکره و سایر چیزهای معمولی نخواهد بود و نخواهیم توانست چیزهای معمولی را از معکوسشان باز شناسیم مگر اینکه آنها را پهلوی هم گذاریم اما اگر دو ماده راکه باین نحو معکوس باشند

بیکدیگر نزدیك کنیم عمل نابودشدن الکترونهائی که بار مخالف دارند توام با خنثی‌شدن هسته‌هائی که‌دارای بارمخالف‌هستند فوراً تحقق‌می‌پذیرد و ازاین اختلاط انفجاری نتیجه خواهد شد شدیدتر از انفجاربمب اتمی . تا جائیکه اطلاع‌داریم شاید منظومه‌های فلکی دیگر ازاین مواد « معکوس » ساخته‌شده باشد و در اینصورت اگر سنگی از منظومهٔ ما بسوی آن منظومه ، یا از آن بطرف‌ما . پرتاب شود بمجرد رسیدن تبدیل به‌بمب اتمی‌خواهد شد .

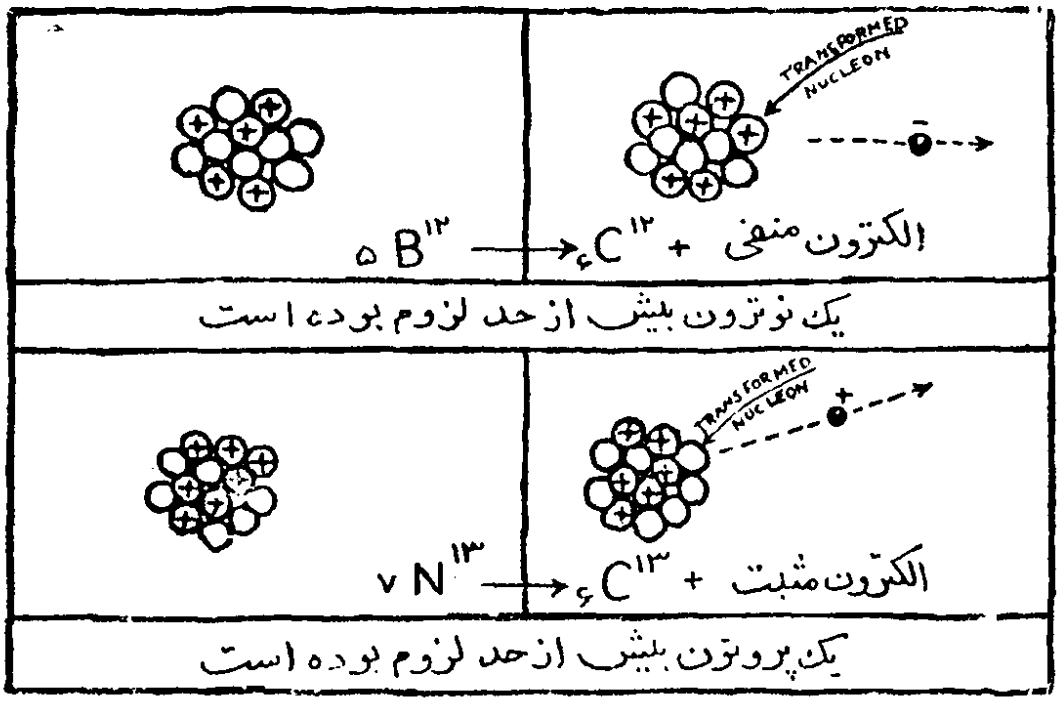
اکنون باید تتبعات خیالی خود را در بارهٔ این اتمهای معکوس رها کنیم و بسراغ ذرهٔ اولیهٔ نوع دیگری رویم که در اصطلاح **نیوترینو** نامیده شده‌است وهرچندکه‌کمتر ازاتم معکوس نامانوس نیست شایستگی آن‌داردکه دراعمال فیزیکی متعددی‌که قابل مشاهده نیستند شرکت داده شود .

نیوترینوها « ازدرعقب »واردشده‌اند ولی علی‌رغم «فریادهای اعتراض آمیز ولی ناموجهی‌که‌از هر طرف نسبت بآنها بلند است اکنون در خانوادهٔ ذرات اولیه مقامی بی‌تزلزل واستوار یافته‌اند . کیفیت‌کشف وجود آنهایکی ازشورانگیزترین داستانهای پلیسی علم‌جدید است.

بوجود نیوترینوها از راهی پی برده شده‌که‌بقول ریاضی‌دانان «تعلیق بمحال » است . این‌کشف شورانگیز درنتیجهٔ‌آن نبودکه چیزی وجود داشته باشد و دیده شود بلکه بر اثر آن بودکه چیزی وجود نداشته باشد و دیده نشود . این‌چیزکار مایه بود وچون برطبق یکی‌از قدیمی‌ترین و محکمترین قوانین فیزیك‌کارمایه نه بوجود می‌آید و نه از میان می رود وقتی‌کشف‌شد که‌در محلی بایدکارمایه وجود داشته باشد ولی وجود ندارد معلوم می‌شودکه دزدی ، یا دسته دزدانی ، آنرا ربوده‌اند. و باین ترتیب‌کارآگاهان علوم ، که عادت دارند بر روی هرچیزی‌که نمی‌بینند اسمی بگذارند ، این دزدان کارمایه را « نیوترینو » نامیدند .

اما اندکی از داستان خود دور افتادیم ؛ باید بحقایق « عمل دزدیدن کارمایه» بازگردیم. چنانکه سابقاً هم دیدیم هستهٔ هراتم مرکب است از نوـ کلئونهائی‌که تقریباً نصفشان خنثی (نوترون) و نصف دیگرشان دارای بار مثبت هستند . اگر تعادل بین تعداد نسبی نوترونها و پروتونهای هسته بهم

بخورد یعنی چند نوترون اضافی در آن واردکنیم[1] لازم است که بنحوی توازن برقرار شود . اگر عدهٔ نوترونها زائد ازحد لازم باشد هریك باخارج کردن یك الکترون منفی تبدیل به‌پروتون می‌شود و الکترون ازاتم بیرون‌می‌رود؛ هرگاه تعدادپروتونها بیشتر ازحد باشد هریك با بیرون‌کردن یك‌الکترون مثبت بدل‌به‌نوترون می گردد و الکترون‌مثبت اضافی‌هم از اتم خارج‌می‌شود. در شکل ۶۰ دوتا از اینگونه اعمال نشان داده شده‌است . اینگونه‌برقراری



ش ۶۰

نمایش یك نقصان بتای منفی یا مثبت . برای‌اینکه مطلب بهتر نمایش داده شود همه نوکلئونها در یك‌صفحه رسم شده‌اند .

توازن الکتریکی‌را «نقصان‌بتا» می‌نامند و الکترونهائی‌راکه ازهسته بیرون رفته‌اند «ذرات بتا» می گویند . چون تبدل درونی هستهٔ اتم عملی‌است منظم ومعین لازم است‌که در هرمورد بوسیلهٔ الکترونهای اضافی‌که بیرون می‌راند مقدار معینی کارمایه صادر کند . پس باید انتظار داشته باشیم که ذرات بتا از هر ماده‌ای‌که خارج می‌شوند همه با یك سرعت حرکت‌کنند . اما آنچه درعمل «نقصان‌بتا» مشاهده می‌شود درست مخالف این‌انتظار است . درحقیقت دیده شده است‌که کارمایهٔ حرکتی (انرژی سینتیك) الکترونها متفاوت است

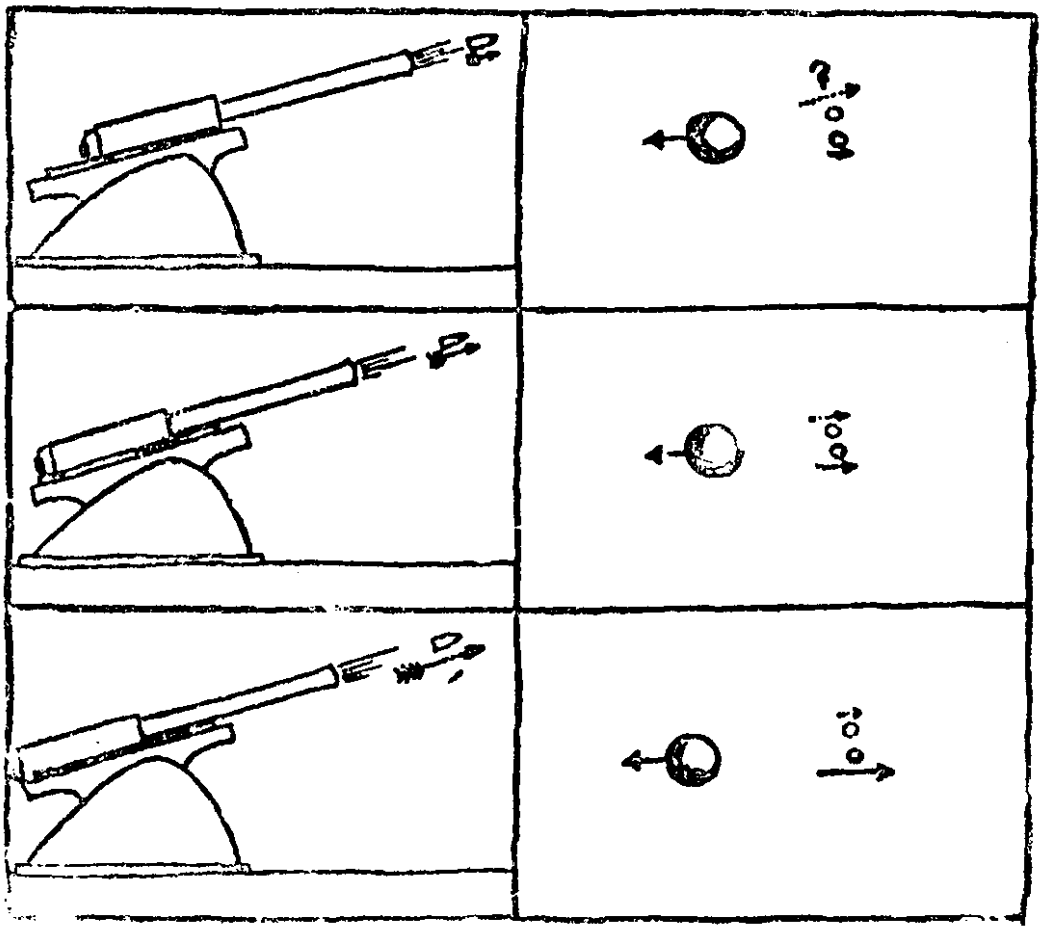
۱ ــ این عمل بوسیلهٔ بمباران اتمی انجام می‌شود . کمی بعد از بمباران اتمی صحبت خواهیم‌کرد .

واز صفر تا حد معینی تغییر می‌کند . چون نه ذرهٔ دیگری وجود دارد ، و نه تشعشعی ، که این بی ترتیبی را تعدیل کند دراین میان «عمل دزیدن» کارمایه جنبه‌ای خیلی جدی بخود می گیرد . تصور می‌شد که در اینجا شاهد تجربی نقض قانون معروف « بقـای کار مـایه » هستیم ، والحق کـه چنین پیش‌آمدی فاجعه‌ای برای کاخ ساخته و پرداختهٔ این تئوری فیزیکی بشمار می‌رفت ! اما فرض دیگری هم ممکن بود ، و آن اینکـه شاید نوع جدیدی از ذرات ، که هیچیك از روشهای مطالعه ومشاهدهٔ ما موفق به ثبت و مشاهده آنها نشده‌اند، الکترونهای از دست رفته را با خود برده باشند . **پائولی**[1] باین فکر افتاد که شاید نقش « این دزدان بغداد » کارمایه اتمی برعهدهٔ ذرات فرضی خاصی بنام **نوترینو** باشند که بارالکتریکی نداشته باشند وجرمشان هم ازجرم یك الکترون معمولی تجاوز نکند براستی ازآنچه که دربارهٔ اعمال متقابل ذرات تند حرکت وماده می‌دانیم وبصحت آن اذعان داریم نتیجه می‌شود که اینگونه ذرات سبك وبی‌بار را نمی‌توان با هیچیك از وسایل فیزیکی موجود دید و حرکتشان را تعقیب کرد و اینگونه ذرات بی هیچ اشکالی از هرحجاب مادی بهر ضخامتی که باشد گذر می‌کنند . باین ترتیب با اینکه یك مفتول بسیار ظریف فلزی شعاع نورمرئی را کاملا متوقف می‌سازد وضخامت چند سانتیمتری سرب ازشدت اشعهٔ بسیار نافذ مجهول یا اشعهٔ گاما بمقدارزیاد می‌کاهد یکدسته نوترینومی‌تواند بآسانی از سربی کـه ضخامت آن چند سال نوری باشد عبور کند . پس عجب نیست که این ذرات ازهرگونه مطالعه ومشاهده‌ایکه امکان‌پذیرباشد بگریزند واگربوجودآنها پی برده شده فقط در نتیجهٔ نقصان کار مایه است که در نتیجهٔ فرار آنها تولید گردیده است .

اما اگر نتوانیم که وقتی نوترینوها ازهسته خارج‌شدند دیگر برآنها دست یابیم وسیله‌ای در دست است که با آن یك تأثیر فرعی ناشی ازفرار این‌ذرات را درك می‌کنیم . می دانید کـه وقتی تفنگی خالی کنید باصطلاح بشانهٔ شما «لگد می‌زند» ؛ لولهٔ توپ هم پس ازخالی شدن در روی «گاهواره» و عرادهٔ خود عقب می نشیند . انتظار میرفت که هستهٔ اتم هم بر اثرشلیك ذرات تندرو

۱ـ Wolfgaug Pauli فیزیك دان اتریشی

دستخوش همان نوع عقب نشینی مکانیکی شود و در حقیقت هم دیده شد که همیشه هسته‌ای که به «نقصان بتا» دوچار میشود سرعتی درجهت مخالف پرتاب الکترونها پیدا می‌کند. اما خصوصیتی که درعقب‌نشینی اتمی مشهود می‌شود اینست که الکترونی که صادر و پرتاب می‌گردد خواه تندرو و خواه کند رو باشد مقدار عقب نشینی همواره یکی است (ش ۶۱) . این امر بنظر عجیب می‌نماید زیرا که همواره انتظار داریم که یك گلولهٔ سریع ازیك گلولهٔ کند



ش ۶۱

مسئله عقب نشینی در توپ و در فیزیك اتمی

موجب عقب نشینی بیشتری شود . حل معما در اینست که هسته هر زمان که الکترونی پرتاب کند نوترینوئی نیز صادر می‌کند واین نوترینو تعادل کارمایه را برقرارمی‌سازد. اگرالکترون بسرعت پرتاب شودو قسمت زیادی ازکارمایه را بگیردعمل نوترینو کندخواهد بود ، وبعکس ؛ بقسمی که عقب نشینی هسته همیشه ، بر اثر ترکیب تأثیرهردو ذره ، قوی است . اگر این اثروجود نوترینو را ثابت نکند هیچ چیز دیگرچنین نخواهدکرد .

اینك ما آماده‌ایم که نتیجه‌هائی راکه ازبحثهائی کـه کـردیم گرفته‌ایم برروبهم بریزیم و خلاصه کنیم وفهرست کاملی ازذرات اولیه‌ای که درساختمان جهان بکار رفته‌اند ، و روابط آن ذرات با یکدیگر ، تنظیم نمائیم .

پیش ازهرچیز نوکلئونها را داریم کـه ذرات اصلی و اساسی ماده را تشکیل‌می‌دهند . تا جائیکه اطلاعات امروزی ما میرساند نوکلئونها یا خنثی هستند یا بار الکتریکی مثبت دارند ولی ممکن است که بعضی‌ازآنها هم بار منفی داشته باشند .

سپس‌الکترونها هستندکه نمایندهٔ‌بارهای‌آزاد مثبت یا منفی‌الکتریکی هستند .

نوترینوهای مرموزی هم‌وجود دارندکه بار الکتریکی ندارند وفرض می‌شودکه ازالکترونها بسیار سبکترباشند[1].

وبالاخره امواج برق‌ومغناطیسی‌وجود دارندکه مسئول انتشارنیروهای برقی و مغناطیسی درفضای خالی بشمار میروند .

همهٔ این عوامل اساسی تشکیل دهندهٔ جهان مادی بایکدیگر ارتباط داخلی دارند وممکن است ازراههای مختلف باهم ترکیب شوند . مثلاممکن است یك نوترون با خارج کردن یـك الکترون منفـی ویك نوترینوبدل به پروتون شود .

(نوترینو + الکترون منفی + پروتون ← نوترون)

یا پروتون با خارج کردن یك الکترون مثبت و یك نوترینو بحالت نوترون بازگردد :

(نوترینو + الکترون مثبت + نوترون ← پروتون)

دو الکترون با بار مخالف ممکن است به تشعشع برق و مغناطیسی تبدیل شوند :

(تشعشع ← الکترون منفی + الکترون مثبت)

یا بعکس ممکن است از تشعشع برق و مغناطیسی یك جفت الکترون با بار مخالف بوجود آیند :

(الکترون منفی + الکترون مثبت ← تشعشع) .

---

۱ ـ برطبق آخرین قرائن تجربی که بدست آمده است وزن نوترینو بیشتر ازیکدهم وزن الکترون‌نیست .

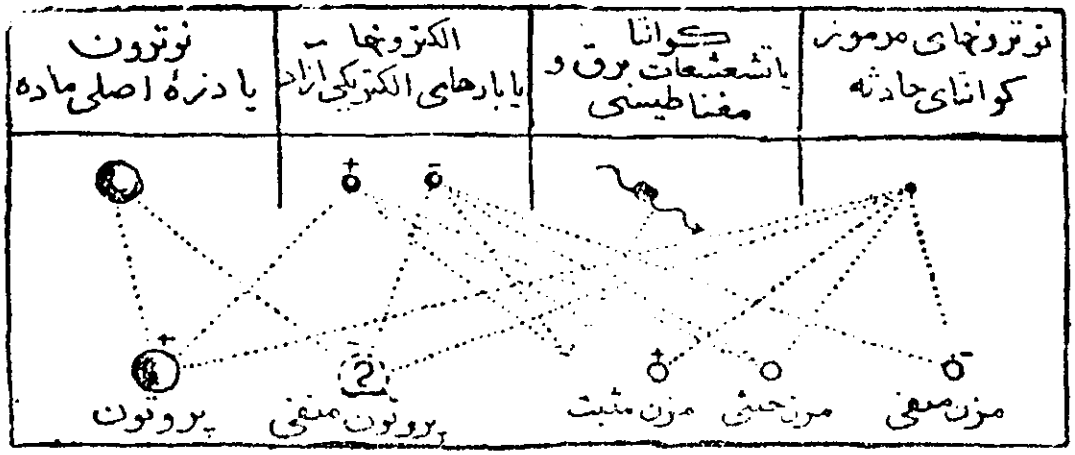
بالاخره ممکن است نوترینوها با الکترونها ترکیب شوند ومسون[1]، که بغلط « الکترون سنگین » نامیده شده است ، بوجود آورند :

(مسون مثبت ← الکترون مثبت + نوترینو

مسون منفی ← الکترون منفی + نوترینو

مسون خنثی ← الکترون منفی + الکترون مثبت + نوترینو)

در نتیجهٔ ترکیب نوترینوها والکترونها ببارشان سرباری علاوه می‌شود و آن کار مایهٔ درونی است که جرم آنها را بصد برابر جرم ذرات ترکیب کننده‌شان می‌رساند .



شکل ۶۲

در شکل ۶۲ ذراتی که در ساختمان جهان شرکت دارند با تصویر نموده شده‌اند .

ممکن است بپرسید وبفرمائید که «آیا تمام شد و بآخرین تقسیم ماده رسیدیم ؟ بچه‌حق می‌توانیم فرض کنیم که نوکلئونها والکترونها و نوترینوها براستی ذرات اولیه باشند و نتوانند بذرات کوچکتری تجزیه شوند ؟ آیا نیم قرن پیش عقیده بر غیرقابل تجزیه بودن اتم نبود ؟ و امروز چه ساختمان مفصل و پیچیده‌ای برای آن معلوم شده است . » جواب اینست که هرچند نمی‌توان پیش بینی کرد که در آینده شناسائی ما دربارهٔ ماده تا چه حد پیش خواهد رفت اما امروز دلایل عمیق ومحکمی برای اثبات این عقیده داریم که ذرات اولیه در واقع اجزاء اولیهٔ ترکیب کنندهٔ ماده‌اند و نمی‌توان آنها را باجزاء کوچکتری تجزیه و تقسیم کرد . بهمان اندازه که اتم فرضی غیرقابل

---

۱ ـ Meson

تقسیم دارای خواص گوناگون شیمیائی و بصری و غیره بود خواص ذرات اولیهٔ فیزیك جدید بی‌نهایت ساده‌اند ودرحقیقت خواص آنها را درسادگی می‌توان با خواص نقطهٔ هندسی قابل قیاس داشت . باین ترتیب بجای سروکار داشتن با عدهٔ زیادی « اتم غیر قابل تجـزیهٔ » فیزیك قدیم با سه ذرهٔ بسیار ساده ، یعنی نوکلئون و الکترون و نوترینو ، سروکار پیداکرده‌ایم . و شاید باهمه تلاشی که پیوسته برای « ساده کردن » می‌شود نتوان چیزی را به «هیچ» تبدیل کرد . باین ترتیب بنظر می‌رسد که در جستجوی ذرات اولیهٔ ترکیب کنندهٔ ماده اکنون بآخرین حد رسیده باشیم .

۲ ــ دل اتم

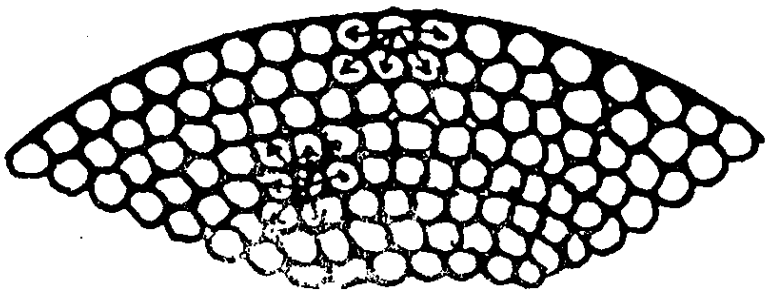
اکنون که کاملا با طبیعت و خواص ذرات اولیه‌ای که در ساختمان ماده دخیل هستند آشنا شده‌ایم باید بجانب هسته ، یا دل ، اتم بازگردیم و آنرا با دقت بیشتری مطالعه کنیم . اگر چه ساختمان قشرخارجی اتم را می‌توان تا حدی با منظومهٔ شمسی قیاس کرد اما ساختمان هستهٔ اتم وضعی بکلی متفاوت دارد . بیش ازهرچیزواضح است که نیروهائی که هسته را نگاهداری می‌کنند صرفاً ازنوع نیروی برق نیستند ، زیراکه نیمی‌ازذرات ترکیب کنندهٔ هسته، یعنی نوترونها ، هیچ بار الکتریکی ندارند ونیمی دیگر ، یعنی پروتونها، فقط دارای بار مثبت هستند ویکدیگررا میرانند و دورمیکنند .

پس بـرای اینکـه بفهمیم چگونـه اجزاء تشکیل دهندهٔ هسته پهلوی یکدیگر میمانند لازم است بوجود نیروئی قائـل شویم که از نوع دیگربوده طبعاً جاذب باشد و بر روی نوکلئونهای باردار و بی بار هر دواثر بخشد . اینگونه نیروها راکه بدون هیچگونـه تفاوتـی برروی همهٔ ذراتی که مورد بحث استعمل می‌کنندوآنهاراگرد یکدیگر نگاه می‌دارند «نیروهای پیوند»[۱] می‌گویند یعنی نیروهائیکه ذرات را بهم پیوند می‌دهند ، مانند نیروئیکه ذرات مایعات را در مجاورت هم نگاه می‌دارد و مانع می‌شودکه باطراف و جوانب بگریزند .

---

۱ ــ یا نیروهای التصاق Cohesive forces

درهستهٔ اتم هم‌چنین نیروئی وجود داردکه برروی نوکلئونهای مجزا اثرمی‌کند و مانع آن می‌گرددکه هسته براثرنیروی دافعهٔ‌بین پروتونها در هم بشکند . پس بعکس قسمت خارجی اتم‌که درآن الکترونها گلوله‌هائی را تشکیل‌می‌دهندکه درفضای کافی‌ایکه دراختیار دارند حرکت‌می‌کنند. هسته تشکیل شده استازعدهٔ زیادی نوکلئون‌که مانند ماهی‌های‌یك قوطی ساردین محکم پهلوی هم‌قرارگرفته وبیکدیگرچسبیده‌اند . همانطورکه مؤلف‌کتاب قبلاگفته است می‌توان فرض‌کردکه هستهٔ مرکزی اتم از جنسی ساخته شده است‌که شباهتی بمایعات معمولی دارد . و اتفاقاً مانند مورد مایعات پدیدهٔ بسیار مهمی وجود دارد وآن نیروی‌کشش در سطح است . شایـد بیاد داشته باشیدکه نیروی‌کشش در سطح مایعات‌نتیجهٔ‌آن‌است‌که هرچند هرذره‌ای‌واقع در درون مایع ازطـرف تمـام ذرات مجاور بطور مساوی بهمه طرف‌کشیده می‌شود ذراتی‌که در سطح مایع واقعند تحت تأثیر نیروهائی هستندکه آنها را بطرف داخل مایع‌می‌کشند (ش۶۳) .



شکل۶۳

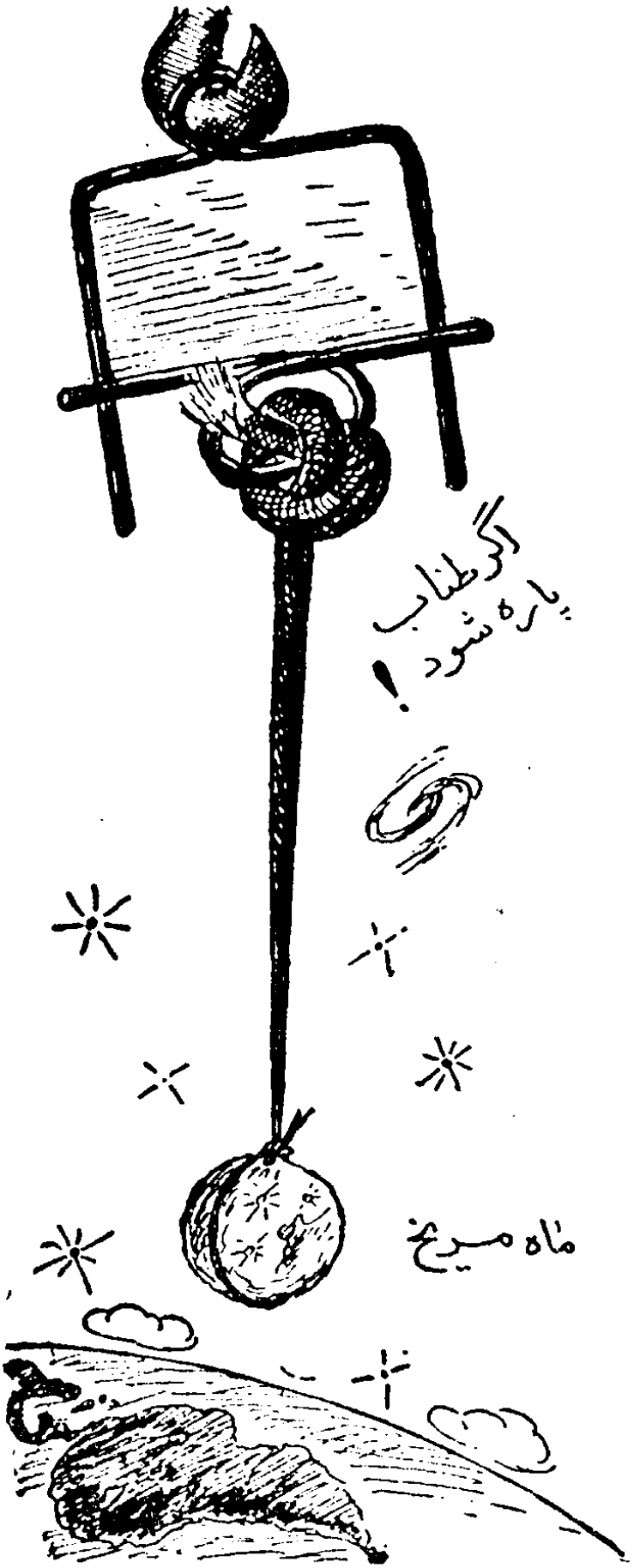
توضیح نیروی‌کشش سطح مایعات

این امر نتیجه آن‌است‌که هرقطرهٔ‌کوچك مایعی‌که‌تحت تأثیر نیروهای خارجی نباشد میل می‌کندکه بشکل‌کره درآید بدلیل آنکه کره یك شکل هندسی است‌که باحجم معینی حداقل سطح را دارد ، یعنی هر شکل دیگری که حجمش به اندازهٔ حجم کره باشد سطحش از سطح کره بـزرگتر است . باین ترتیب اندك اندك باین نتیجه می رسیم‌که هسته های مرکزی اتمهای عناصر مختلف را می‌توان قطره هائی بشکلهای‌گوناگون از یك «ماده سیال اتمی» دانست. امانباید فراموش‌کنیم‌که‌هرچند «سیال اتمی»ازحیث «چندی»،

یا «کمی» خیلی شبیه بمایعات معمولی است ازحیث «چونی» ، یعنی کیفی ، با آنها تفاوت بارز دارد ، مثلا وزن مخصوص آن ۲٤۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰ برابر آب وکشش سطحی آن ۱۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰ بار بیشتر از کشش سطحی آب است . برای اینکه این اعداد سرسام آور را بهتر بفهمیم ببیان این مثال می‌پردازیم : فرض کنیدکه یك مفتول فلزی را بصورت نعل اسبی ، یاسه ضلع مربعی ، بمساحت تقریبی ۱۳ سانتیمتر مربع در آورده و وارونه ، بصورتیکه درشکل ٦٤ باندازهٔ طبیعی نموده شده است ، قرار داده ومفتولی را مستقیماً ازدو شاخهٔ نعل گذرانیده باشیم و یك حباب صابون در داخل مربعی که باین ترتیب‌ساخته می‌شود قرار دهیم ، نیروهای کشش‌سطحی حباب صابون مفتولی راکه ازدو شاخهٔ نعل رد شده است بطرف بالا می کشد ولی ما می توانیم باآویختن وزنهٔ کوچکی بآن‌مفتول نیروهای کشش سطحی راتعدیل کنیم . اگر حباب‌هوا ازآب معمولی‌باشدکه‌کمی صابون در آن حل شده و ضخامتش تقریباً ۰٫۱ میلیمتر باشد وزن آن $\frac{1}{4}$ گرم خواهد بود و تاب وتحمل یك وزن $\frac{3}{4}$ گرمی را خواهدداشت .

اما اگر ممکن بود یك چنین حبابی ازمایع هستهٔ اتم ساخته شود همهٔ وزن آن پنجاه ملیون تن (یعنی تقریباً برابر وزن هزارکشتی‌اقیانوس پیما) می‌شد وما می‌توانستیم برای تعدیل آن باری بیاویزیم در حدود هزار میلیارد تن یعنی تقریباً معادل وزن دیموس ،که‌دومین ماه سیارهٔ مریخ‌است. اماکوآن نفس قوی‌وبلندی‌که بتواند ، بادمیدن ، حباب صابونی ازمایع‌اتمی ایجادکند !

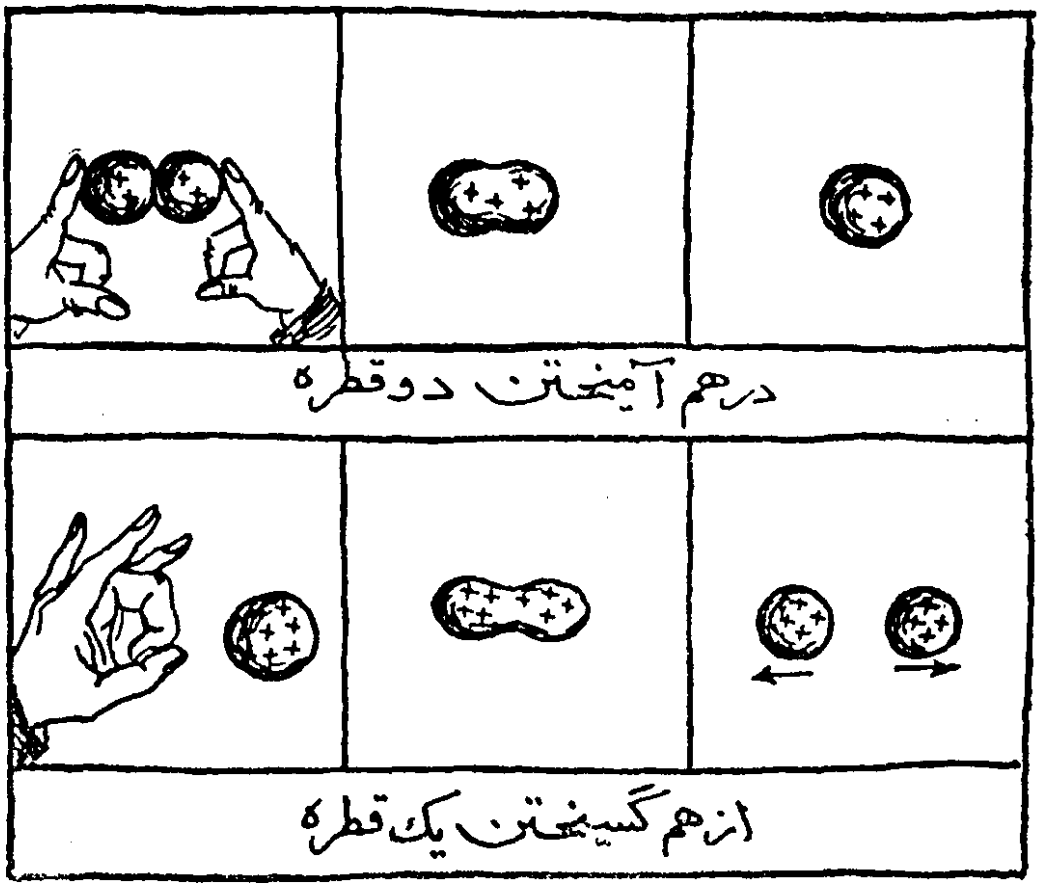
وقتی‌که هسته های اتمها راقطره های‌کوچك مایع اتمی بدانیم نباید این حقیقت مهم راکه این قطرات ،که تقریباً نیمی ازآنها پروتون هستند، دارای بار الکتریکی می‌باشند نادیده بگیریم . نیرو های دافعهٔ الکتریکی که بین ذراتی‌که تشکیل‌دهندهٔ اتم هستند وجود دارند وتلاش می کنندکه هسته رامتلاشی ومنقسم سازند بوسیلهٔ نیرو های‌کشش سطحی‌که سعی‌می کنند هسته رایکپارچه نگاه دارند تعدیل می گردند . دلیل‌اصلی بی‌ثبات‌بودن اتم درهمین نکته نهفته است : اگرنیروهای‌کشش‌سطحی غلبه‌کند هسته‌هیچگاه



شکل ۶۴

بخودی خود متلاشی نخواهد شد وهر وقت دوهسته بایکدیگر درتماس واقع شوند میل‌می‌کنندکه درهم ادغام گردند و مانند دو قطرهٔ معمولی با هم یکی شوند ؛ اما اگر نیروهای دافعهٔ الکتریکی غالب شوند هسته میل می‌کندکه برفور بدو یاچند جزء تقسیم شود وهر جزء باسرعتی زیاد بسوئی فرارکند. این نوع تقسیم شدن اتم را«انشقاق»[۱] مینامند .

بوهر[۲] وویلر[۳] بسال ۱۳۱۸ (= ۱۹۳۹ میلادی) دربارهٔ تعادل بین کشش سطحی ونیروهای الکتریکی هسته های اتم عنصرهای مختلف‌حسابهای دقیق‌کردند وباین نتیجهٔ بسیار مهم رسیدندکه درعنصرهای نیمهٔ اول‌دستگاه تناوبی، یعنی تقریباً تانقره ، غلبه باکشش سطحی ودر عنصر های سنگین تر با نیرو های دافعهٔ الکتریکی است ، باین ترتیب هسته های اتم عنصرهای سنگینتر از نقره اصولا ناپایدار هستند ، وتحت تأثیر یك محرك خارجی‌که باندازهٔکافی قوی باشد بدویا چند جزء تقسیم می‌شوند ودر همان اثنا مقدار



شکل ۶۵

۱ـ Fission ۲ـ Bohr ۳ـ Wheeler ۴ـ Fusion

معتنابهی ازکار مایهٔ داخلی هسته را آزاد می سازنـد (شکل ٦٥) . بعکس باید انتظارداشت که وقتی دوهستهٔ اتم سبکترازاتم نقره درمجاورت یکدیگر قرار گیرند باهم توأم شوند (شکل ٦٥ب) وعمل التصاق[٤] انجام شود .

اما باید دانست که نه عمل التصاق دو هستهٔ سبك و نه عمل انشقاق یك هستهٔ سنگین بطور طبیعی صورت پذیر نیست مگر اینکه موجبی بـرای آن فراهم کنیم . در حقیقت برای آنکه دوهستهٔ سبك را وادار به التصاق سازیم باید آنها را باوجود نیروهای دافعه‌ایکه بین بارهای الکتریکی آنهاردوبدل می‌شودخیلی بیکدیگر نزدیك نمائیم و برای آنکه هستهٔ سنگینی را مجبور بانشقاق کنیم . باید با ضربهٔ شدیدی که بآن وارد سازیم آنرا بیك حـرکت نوسانی بادامنهٔ وسیع وادار کنیم .

درعلوم باین وضع که عملی بی‌وجود محرکی صورت پذیر نباشد عنوان **حالت تعادل ساختگی**[١] می‌دهند . نمونه های اینگونه تعادل سنگی است که دربالای پرتگاهی درحال تعلیق است ، یاقوطی کبریتی که درجیب شماست، یامواد محترقه‌ایکه دردرون بمب است . درهرسه حال مقدار متنابهی کارمایه آمادهٔ آزاد شدن است اما تا بانوك پا بسنگ نزنیم به‌پرتگاه نخواهـد افتاد وتاکبریت رابکف کفش یاچیز دیگری نکشیم افروخته نمی شود و دینامیت منفجر نمی‌شود مگر وقتیکه بوسیلهٔ چاشنی محترق گردد . اینکه دنیای ما، که درآن همه چیز باستثنای یك مسکوك نقره[٢] بالقوه یك‌مادهٔ منفجرهٔ اتمی است ، قطعه قطعه و متلاشی نمی گردد بسبب آن است کـه فعل وانفعال اتمی خیلی دیر و بـزحمت آغاز می‌شود ، یـابعبارت علمی‌تر تحقق تبدلات اتمی محتاج بانرژی فوق‌العاده زیاد است .

وضع ما ازجنبهٔ کار مایهٔ اتمی (تااین اواخر) شبیه بوضع اسکیموئی بود که درمناطق یخ زدهٔ قطبی زندگی می کند ودر نظرش تنها جسم جامد یخ وتنها مایع الکل است . این اسکیمو هرگز ازآتش خبری ندارد و چیزی نشنیده است . زیراکه بابهم مالیدن دو قطعه یخ آتش افروخته نمی شود ؛ الکل هم

١ـ Metastability

٢ـ باید دانست که هستهٔ اتم نقره نه‌انشقاق می‌پذیرد و نه با هستهٔ دیگر توام می‌شود .

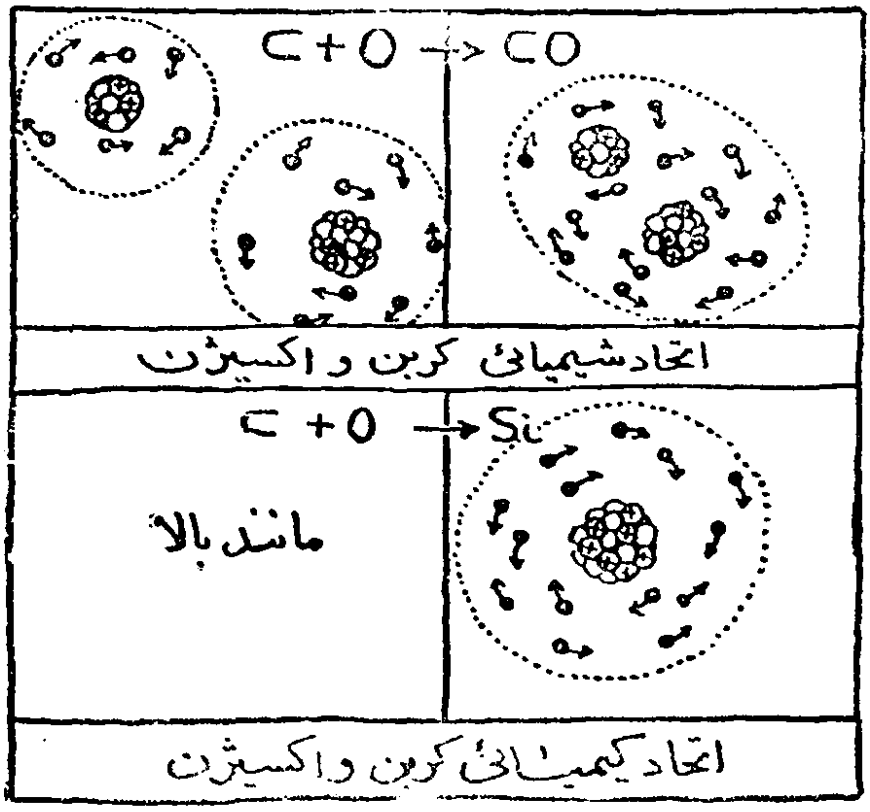
درنظر او فقط مـایعی است قابل نوشیدن ، زیراکـه هیچگاه برای اسکیمو مجال آن دست نداده است که الکل رابدرجه احتراق برساند و بسوزاند .

سرگشتگی واضطراب بشر که نتیجهٔ کشف وسیلهٔ آزاد ساختن کار مایهٔ نهفته دردرون اتم است شبیه بحیرتی است که زمانی باسکیمو دست می‌دهد که برای اولین باریك چراغ الکلی ببیند .

اگر براشکال شروع شدن فعل و انفعال اتمی فایق آئیم نتیجه‌ایکه حاصل شود بدردسرش می‌ارزد . مثلا دومقدار متساوی‌اتمهای‌اکسیژن‌وکربن رامخلوط‌کنید ، اگر دوعنصر ازجنبهٔ شیمیائی مطابق دستور

کارمایه + اکسیدکربن → O+C

باهم ترکیب شوند درمقابل هریك گرم مخلوط ۹۲۰کالری[1] حرارت خواهند داد . اما اگر بجای یك ترکیب معمولی شیمیائی (توأم شدن ملکولـی) هسته های اتمهای این دوعنصر (ش٦٦ آ) باهم ترکیب‌کیمیائی (توأم شدن اتمی) پیداکنند نتیجه خواهد بود :



ش۶۶

۱ـ کالری مقدارگرمای لازمی است که حرارت یك‌گرم آب را یك درجه بالا ببرد .

$$_{6}C^{12} + {}_{8}O^{16} = {}_{14}Si^{28} + \text{کار مایه}$$

(ش٦٦ پ) وکارمایه‌ای که ازیك گرم مخلوط آزادمی‌شود ۱٤۰۰۰۰۰۰۰۰۰ کالری است یعنی۱۵ ملیون برابر نتیجهٔ ترکیب قبلی .

بهمین نحوشکستن یك ملکول مرکب تری نیتروتلوئن (ت . ن . ت) درمیان ملکولهای آب ، اکسیدکربن ، انیدریدکربنیك وازت (یعنی‌ترکیب ملکولی آنها) هزارکالری درهرگرم حرارت می‌دهد وهمین مقدار مثلاجیوه تحت تأثیر انشقاق اتمی برروی‌هم ده میلیاردکالری حرارت ببارخواهدآورد.

اما نباید ازیاد بردکه اگر فعل و انفعالهای عادی شیمیائی درحرات چندصد درجه بآسانی صورت‌می‌پذیرند همان‌مقدار تبدلات وتغییرات‌اتمی با کمترازچند ملیون درجه‌حرارت وقوع نمی‌یابد . این اشکال بزرگ درشروع فعل وانفعال اتمی بما اطمینان می‌بخشدکه فعلا خطرآن درپیش نیست‌که‌دنیا براثر یك انفجار عظیم وناگهانی زیرورو شود .

۳ـ خردکردن اتم

هرچند این امرکه وزنهای اتمی عددهای صحیح هستنددلیل‌نیرومندی است برمرکب‌بودن‌هستهٔاتم، برهان‌قاطع این‌امراثبات تجربی‌آن است واین تجربه بوسیلهٔ امکان خردکردن هستهٔ اتم به دویاچند جزء تحقق می پذیرد.

امکان متلاشی شدن اتم نخستین باردرحدود نیم قرن پیش ، یعنی بسال ۱۸۹٦ میلادی ، براثرکشف خاصیت رادیو آکتیو بودن بوسیلهٔبکرل[۱]محرز شد . درحقیقت معلوم شدکه اگر عنصرهائی مانند اورانیوم وتوریوم ،که در مجاورت انتهای فوقانی دستگاه تناوبـی عناصر مقام دارند ، بخودی خـود تشعشعاتی دارندکه مانند اشعهٔ مجهول بسیار نافذ است درنتیجهٔ آن است‌که اتمهای این عناصر خود بخود ، اما بکندی ، تجزیه وتباه می شود . وقتیکه این پدیدهٔ تازه‌کشف شده بدقت مورد مطالعه قرارگرفت باین نتیجه منتهی شدکه تباهی هستهٔ اتمهای سنگین عبارت است از متلاشی شدن خود بخود آن بدو جزء نامساوی : یکی یك جزءکوچك بنام « ذرهٔ آلفا »که نمایندهٔ هستهٔ اتم هلیوم است ودیگری‌باقیماندهٔ هستهٔ اصلی‌که نمایندهٔ هستهٔ «عنصرفرزند»

۱ـ Becquerel

است . وقتیکه هستهٔ اصلی اورانیوم خرد می‌شود وذرهٔ آلفاصادر می‌کندآنچه راکه باقی می‌ماند ، یعنی «عنصر فرزند» را ، اورانیوم X می‌نامند و این اورانیوم X درداخل خود یك توازن الکتریکی برقرار می‌سازد وبرای این کار دوبار آزاد الکتریسته منفی (یعنی الکترونهای معمولی)رها می‌کند وبه هستهٔ ایزوتوپ اورانیوم تبدیل می‌شود و این هستهٔ اورانیوم ایزوتوپ چهار واحد سبکتر ازهستهٔ اورانیوم اصلی است . متعاقب این توازن الکتریکی باز ذره‌های آلفا صادر می‌گردند وباز توازن الکتریکی برقرار می‌شود و عمل همینطور ادامه پیدا می‌کند تابه هستهٔ اتم سرب برسیم‌که بنظر پایدار است ودیگرتباهی نمی‌پذیرد .

اینگونه توالی تبدلات رادیـو آکتیو وصدور متوالـی ذرات آلفا و الکترون دردو خانوادهٔ دیگر اجسام رادیو آکتیو نیزمشاهده می‌شود وآنها عبارتند ازخانوادهٔ « توریوم »کـه ازعنصر سنگین توریوم آغاز می‌گـردد و خانوادهٔ «آکتی‌نیوم»که از عنصر هائی معروف به « آکتینو اورانیوم» شروع می‌شود . دراین هرسه خانواده عمل تباهی وتجزیه ادامه می یابد تا جائیکه بیکی ازسه ایزوتوپ مختلف سرب منتهی شود .

شاید هرگاه خوانندهٔ نکته سنج آنچه راکه در سطر های بالا در بارهٔ انحطاط عنـاصر رادیوآکتیوگفتیم با بحث‌کلی کـه دربخش پیشین‌کرده‌ایـم مقایسه‌کند دستخوش حیرت شود : درآن بخش نشان دادیم که **باید انتظار داشت که هستهٔ اتم همه عنصر هائی‌که در نیمهٔ دوم دستگاه تناوبی قرار دارند ناپایدارباشند** زیراکه درعنصرهای‌نیمهٔ دوم‌نیروهای الکتریکی‌که درجهت جداکردن اجزاء ازیکدیگرکار می‌کنند برنیرو های کشش سطحی‌که سعی می‌کنند اجزاء را درجای خود نگاه دارند غلبه دارد . پس اگر هستهٔ عنصرهای سنگین تراز نقره ناپایدار است چرا انحطاط فقط دربرخی ازسنگین ترین عناصر مانند اورانیوم وتوریوم مشهود است ؟ جواب اینست‌که ازجنبهٔ نظری باید همهٔ عنصرهای سنگین تراز نقره را رادیوآکتیو دانست ودر حقیقت همه بایـد براثر انحطاط تدریجی مبدل به عنصرهـای سبکتری شوند . اما دربسیاری حالات عمل انحطاط آنقدرکند است‌که راهی برای مشاهدهٔ آن نیست . مثلا در عنصر های بسیار آشنائی مانند ید و طلا و

جیوه وسرب ممکن است درطی چند قرن فقط یك یادو اتم شکسته شود واین عمل راباحساسترین وسایل فیزیکی هم نمی‌توان ثبت وضبط کرد . فقط در عنصرهای‌سنگین ترمیل به‌شکست اتمها آنقدر قوی است‌که یك خاصیت‌رادیو-آکتیوی شدید از آن نتیجه می‌شود .[۱] سرعت نسبی تبدیل هسته عنصرها بر چگونگی شکستن یك هسته نا پایدار نیز حکومت می‌کند ، مثلا یك هستهٔ اورانیوم ممکن است براههای‌گوناگون شکسته شود : مثلا ممکن است خود بخود بدو جزء متساوی یا سه جزء متساوی یا چندین جزء نامتساوی شکسته و تجزیه‌گردد . اما آسانترین راه تقسیم آن تجزیه شدن بیك ذرهٔ آلفا وباقیماندهٔ جزء سنگین است وبهمین دلیل معمولا باین‌نحوتقسیم‌می‌شود. مشاهده شده است‌که احتمال تجزیهٔ یك هسته اورانیوم بدوجزء متساوی یك میلیون مرتبه‌کمتر است ازاحتمال جدا شدن یك ذرهٔ‌آلفاازآن . باین‌ترتیب باآنکه دریك‌گرم اورانیوم ثانیه‌ای ده‌هزار هسته می‌شکنند و ازهر یك ذره آلفائی خارج می‌شود باید چند دقیقه بگذرد تاهسته‌ای بخودی خود بدوجزء متساوی تقسیم شود .

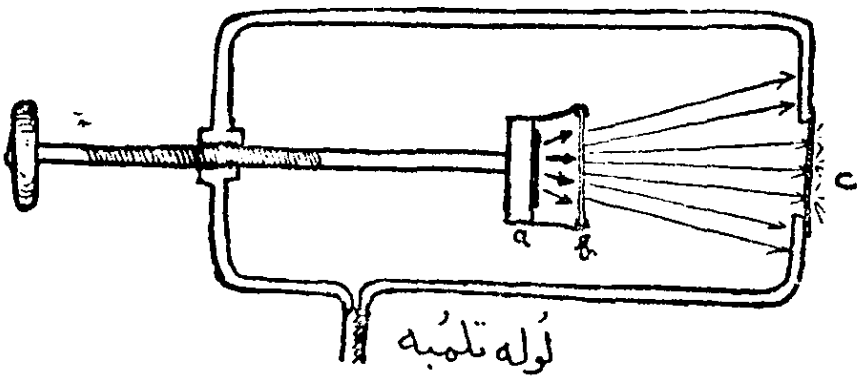
کشف پدیدهٔ رادیوآکتیو در مرکب بودن ساختمان هستهٔ اتم تردیدی باقی نگذاشت وراه رابرای آزمایشهائی در مورد تبدلاتی که بطورتصنعی در هستهٔ اتم ایجاد (یااداره وهدایت می‌شوند) هموارساخت . آنگاه این مسئله ظاهرشد : اگرهسته های عنصر های سنگین و ناپایدار بخودی خود انحطاط پذیرند آیا نمی توانیم بوسیلهٔ‌گلوله های اتمی بسیار سریع ضرباتی باندازهٔ کافی سخت بهسته های عناصر پایدار معمولی وارد سازیم و آنها را خرد و متلاشی‌کنیم ؟

روترفورد درحالیکه این اندیشه را درسر داشت مصمم شد که اتمهای عناصر مختلف پایدار معمولی را در معرض بمباران اتمی شدید ذراتی‌که بر اثر تجزیهٔ خود بخود هستهٔ عناصر رادیو آکتیو نا پایدار بوجود می آمدند قرار دهد . دستگاهی‌که روترفورد در سال ۱۹۱۹ برای تحقیق آزمایشهای

---

(۱) مثلا در هرگرم از ماده عنصر اورانیوم ثانیه‌ای چندین هزار هسته خود بخود می‌شکنند.

تبدلات اتمی بکار برد (ش۶۷) در مقابل ماشینهای دیوپیکری که امروز در بسیاری آزمایشگاهها برای خردکردن‌اتم بکار می‌برند ناچیز ومظهرسادگی بود . دستگاه مذکور عبارت بود ازیك ظرف استوانی‌که هوای‌آن تخلیه‌شده بود ودریچهٔ‌کوچکی داشت (c)که ازیك مادهٔ فلورسان ساخته شده بود وکار یك پرده را انجام می داد . سرچشمهٔ بمباران ذرات آلفا قشر نازکی از یك مادهٔ رادیو آکتیو بودکه بر روی صفحهٔ فلزی (a) قرار داشت و عنصری‌که



۶۷

چگونگی شکسته شدن اتم درمرتبهٔ اول

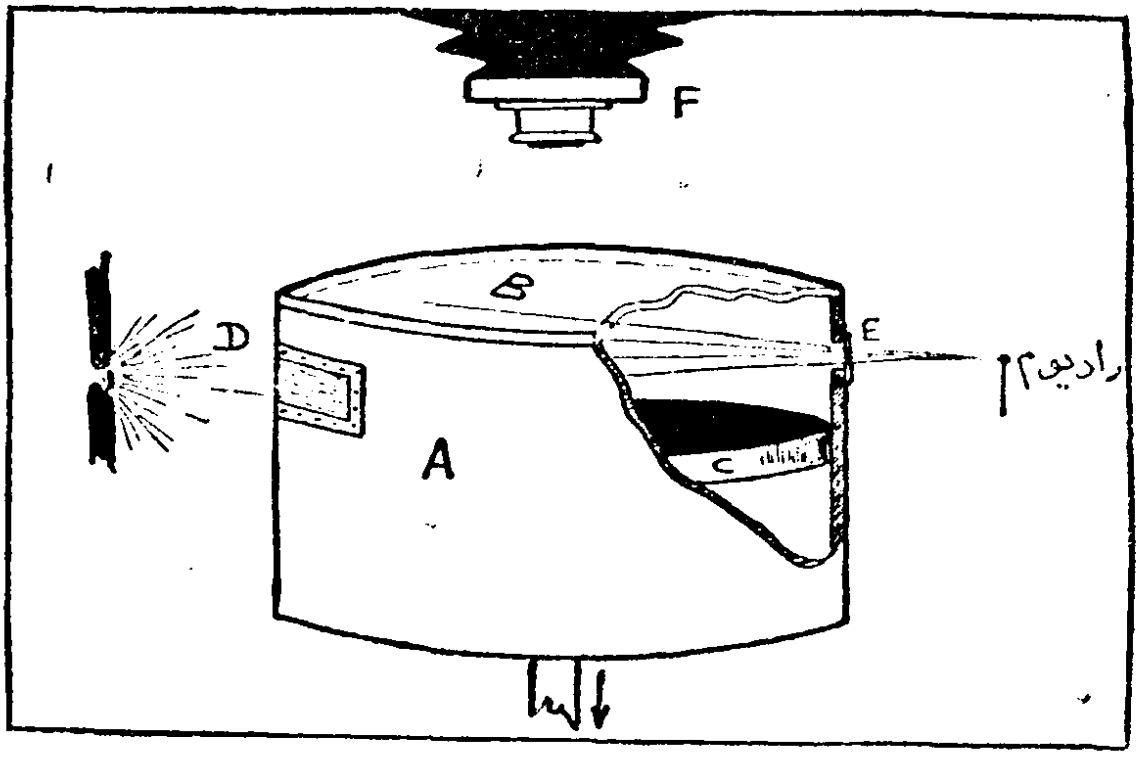
باید بمباران شود (ودرآن آزمایش آلومینیوم بود) بشکل رشته های نازك (b) بودکه درفاصله‌ای ازسرچشمه قرار داده شده بود . این هدف رشته‌ای شکل طوری ترتیب داده شده بودکه‌کلیه ذرات آلفا راپس ازبرخورد درخود نگاه می‌داشت وغیر ممکن بودکه این ذرات بتوانند پرده را روشن کنند . باین ترتیب پرده کاملا تاریك می‌ماند مگراینکه اجزاء یك هستهٔ اتمی‌فرعی، که براثربمباران از ماده‌ای‌که هدف قرارگرفته بود خارج شده باشند ، آن راتحت تأثیرقراردهند.

روترفورد هرچیزرابجای خودگذاشت و پرده رابا میکروسکپی مورد مطالعه قرار داد و برروی آن منظره‌ای دیدکه باتاریکی فرق بسیار داشت : هزاران جرقهٔ‌کوچك‌دراین سوی‌وآنسوی درسراسر پرده‌خودنمائی‌می‌کردند! هرجرقه نتیجهٔ برخوردپروتونی بامادهٔ تشکیل دهندهٔ پرده بود وهر پروتون جزئی ازیك اتم آلومینیوم هدف بودکه براثر تصادم یك‌گلولهٔ آلفا از آن جدا شده بود . باین ترتیب نظریهٔ امکان تبدیل مصنوعی عناصر بیکدیگر

بصورت یك حقیقت مسلم علمی درآمد .[۱]

درمدت بیست سالی‌که بعد از آزمایش‌کلاسیك روترفورد گذشت علم تبدیل مصنوعی عناصریکی از بزرگترین و مهمترین رشته های فیزیك شد و ترقیات حیرت‌انگیز، هم دررشتهٔ تهیهٔ گلوله‌های سریع بمنظور بمباران‌اتمی وهم درمشاهدهٔ نتایج حاصل ازاین بمبارانها دست داد .

اسبابی‌که با بهترین وضع بمامجال می‌دهدکه آنچه رابر اثر اصابت یك گلوله اتمی بیك هستهٔ اتم روی می‌دهد با چشمان خود ببینیم «اطاق‌ابر» (یاازروی نام مخترعش اطاق ویلسون)[۲] نامیده می‌شود .



شکل۶۸

طرح‌اطاق‌ویلسون یااطاق‌ابر

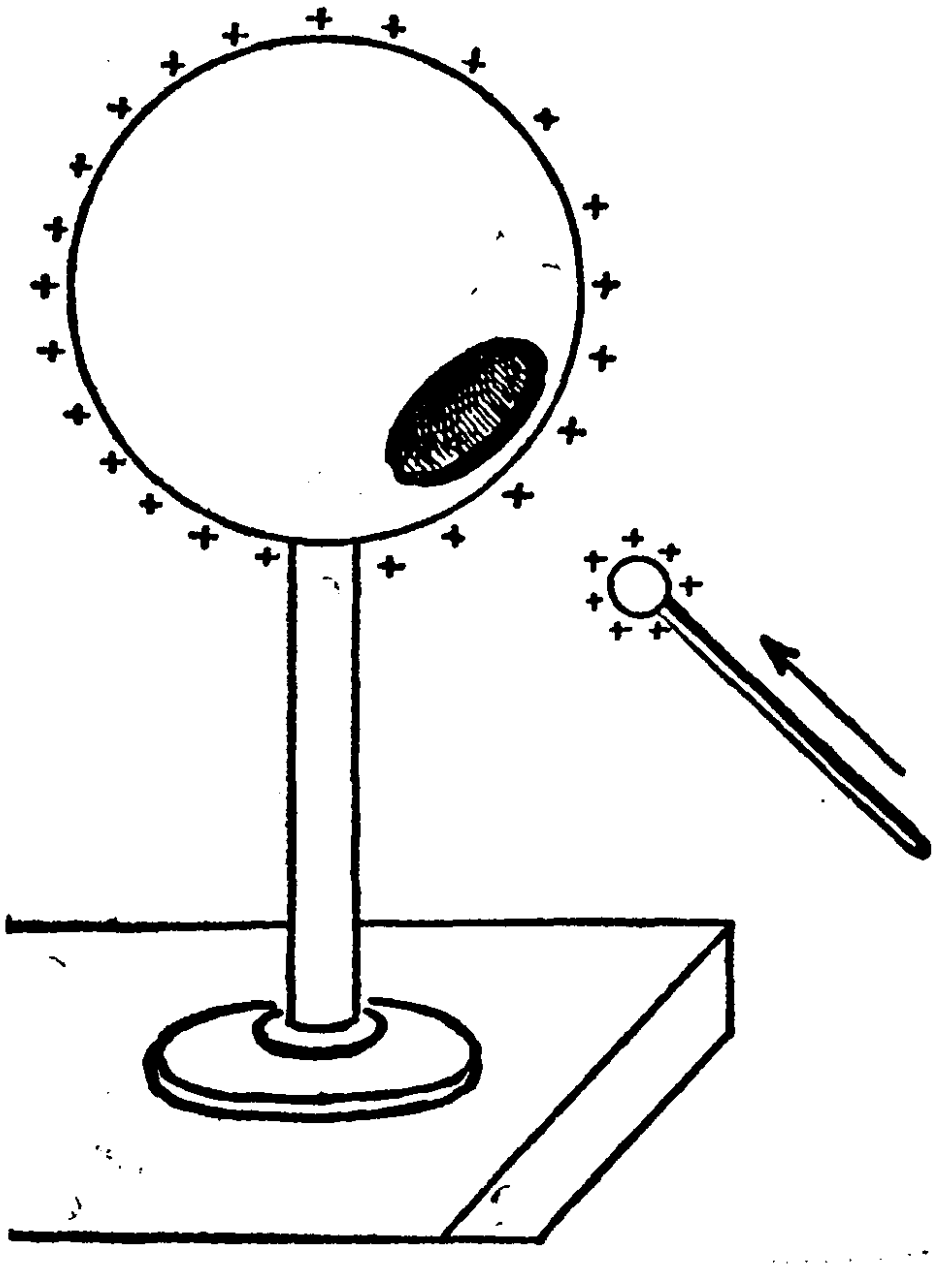
طرح این‌اطاق را درشکل ۶۸می‌بینید. طرزکارآن این است‌که ذرات بارداری مانند ذرات آلفاکه بسرعت در حرکت هستند هنگام سیر در هوا ، یا درهرگاز دیگر، اختلالی دراتمهائی‌که برسر راه آنها قرار دارند تولید

۱ـ عملی راکه دربالا شرح دادیم ممکن است بصورت زیردرآورد:

$$_{13}Al^{27} + {}_{2}H^{4} \rightarrow {}_{14}Si^{30} + {}_{1}H^{1}$$

۲ـ cloud chamber یا Wilson chamber

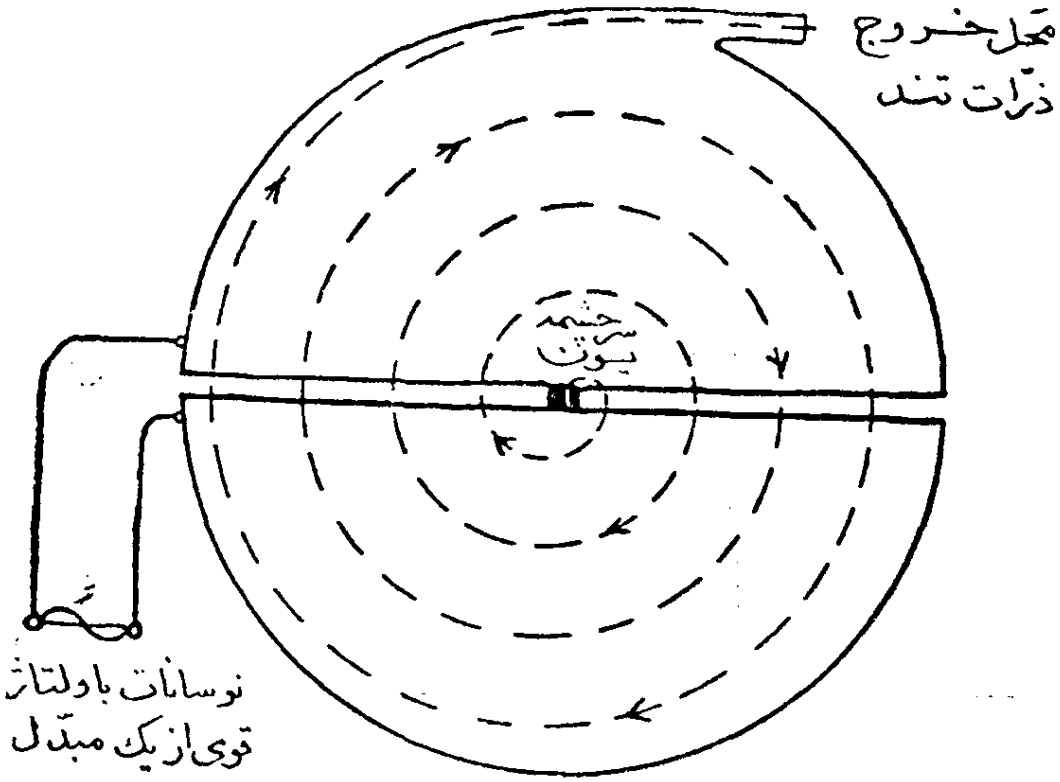
می‌کنند . این گلوله‌ها با حوزهٔ الکتریکی نیرومندی که دارند یك یا چند



شکل ۶۹
اصول مولد الکتروساتیك

درفیزیك مقدماتی بیان شده‌است که اگر بیك کرهٔ هادی فلزی بارالکتریکی داده شود بار در سطح آن توزیع می‌شود . ما می‌توانیم باین ترتیب بیك کـرهٔ هادی تا هراندازه که‌بخواهیم بار الکتریکی بدهیم باین نحو که‌بارهای مختصر را بوسیلهٔ هادی کوچکی وارد سوراخی که در کره تعبیه شده است بکنیم و از داخل‌بسطح آن بدهیم . عملا نوعی کمربند بکارمی‌بریم که در داخل هادی کروی وارد شود و بارهای‌الکتریکی را که بوسیلهٔ یك‌مبدل (ترانسفورماتور) کوچك تولید می‌شوند بآن منتقل سازد .

الکترون ازاتمهائی راکه برحسب اتفاق درسر راه آنها باشند در هم می ـ شکنند وعدهٔ زیادی اتمهای «یونیزه» بجا می گذارند . این وضع خیلی دوام پیدا نمی کند وپس ازعبور گلوله طول نمی کشد که اتمهای یونیزه الکترونهای خودرا بازمی ستانند وبوضع عادی درمی آیند . اما اگر گازی که عمل یونیزه شدن درآن وقوع می یابد ازبخار آب اشباع شده باشد برروی هریك ازیونها



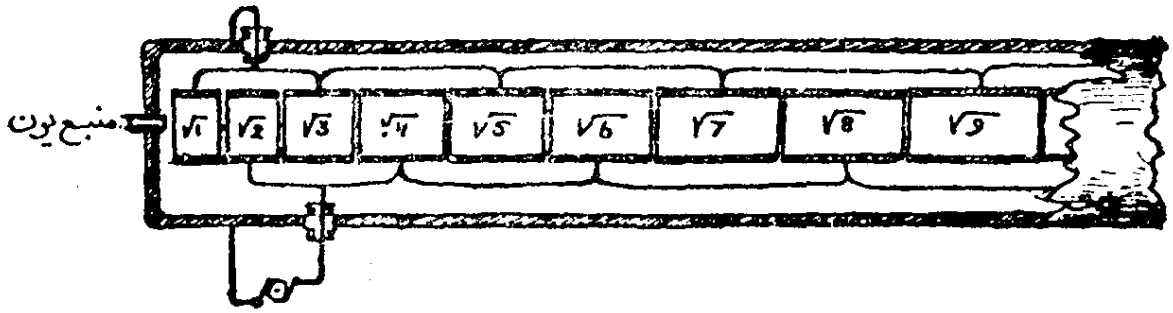
شکل ۷۰
اصول یك سیکلوترون

قسمت اساسی سیکلوترون عبارت است ازدو جعبهٔ فلزی نیمه کروی که (عمود برصفحهٔ شکل) دریك حوزهٔ مغناطیسی قوی قرار داده شده اند . دوجعبه بترانسفورماتوری مربوطهستند ومتناوباً بارالکتریکی مثبت ومنفی بآنها می رسد. یونهائی که از منبعی که در مرکز نیمکره هاواقع است خارج می شوند درداخل حوزهٔ مغناطیسی مسیرهای مستدیری طی می کنند و هر وقت ازنیمکره ای وارد نیم کرهٔ دیگرمی شوند برشتاب حرکتشان افزوده می شود و با سرعتی که پیوسته روبافزایش می رود مسیری بشکل مارپیچ طی می کنند وسرانجام باسرعت خیلی زیاد خارج می شوند .

قطرهٔ بسیارکوچك آب تشکیل می شود ـ زیراکه خاصیت بخارآب تمایل جمع شدن برروی یونها یاذرات غبار و نظایر آنها است ـ ورشتهٔ باریك مهمی در درطول خطسیر گلوله اتمی بوجود می آورد . بعبارت دیگر مسیرذرهٔ بارداری که درداخل گازی حرکت کند قابل رویت می شود ، مانند مسیرهواپیمائی که

به دنبال خود تولید ابر می‌کند و با آن در فضا کلماتی می‌نویسد .

از جنبهٔ فنی اطاق ابر دستگاهی است بسیارساده و قسمتهای اصلی آن عبارت‌است ازیك‌استوانهٔ‌فلزی (A) بایك‌سرپوش شیشه‌این (B) ؛ دراستوانه پیستون (C) قرار دارد که بوسیلهٔ دستگاهی (که در شکل نمایش داده شده است) بالا وپائین می‌رود. فضای بین صفحهٔ شیشه این وسطح فوقانی پیستون‌را باهوای معمولی (یا هر گاز دیگری که‌بخواهند) که با مقدار معتنابهی‌بخار آب مخلوط‌باشدپرمی‌کنند . اگرپس‌ازآنکه چند گلولهٔ اتمی‌ازراه‌پنجره(E) وارد اطاق شدند پیستون را بسختی پائین بکشیم هوای‌بالای‌آن‌سرد می‌شود و بخار آب‌درطول‌مسیر گلوله‌ها بشکل نواری ازمه درمی‌آید . این نوارها بـا یك‌نور قوی‌که ازپنجرهٔ جانبی(D) می‌تابد روشن‌می‌شوند و بخوبی‌درمقابل



شکل ۷۱

اصول شتاب دهندهٔ‌خطی

این دستگاه مرکب‌است ازعده‌ای استوانه‌که طولشان دائما روبتزاید می‌رود ویکی درمیان بوسیلهٔ ترانسفورماتوری از الکتریسیته مثبت ومنفی پر شده اند . وقتی که یونها از استوانه ای باستوانهٔ دیگـر می‌گذرند در نتیجهٔ اختـلاف سطح موجود بین استوانه ها شتابشان بتدریج زیاد می‌شود ودر عبور ازاین استوانه باستوانهٔ مجاور مقدار معینی بکار مایهٔ آنها علاوه می‌گردد . چون سرعت متناسب است با جذرکـار مـایه هرگاه‌طـول استوانه‌ها عدد های صحیح متناسب بـا جذرها باشندیونها درحوزه های‌متناوب نسبت بیکدیگر بحال «فاز» قرارمی‌گیرند . با تهیه‌و تعبیهٔ چنین دستگاهی‌که طولش‌با اندازهٔ کافی زیادباشد می‌توانیم‌سرعت‌یونها را بهر میزان‌که مایل باشیم‌برسانیم.

زمینهٔ سیاه پیستون دیده می‌شوند و می توان با دوربین عکاسی (F)، که خود بخود در نتیجهٔ حرکت پیستون عمـل می‌کند ، ازآنها عکس گرفت . ایـن دستگاه ساده که‌یکی از پرارزشترین وسایل فیزیك جدیداست ، اجازه‌می‌دهد

که از نتایج بمباران اتمی عکسهای قشنگ داشته باشیم.

طبیعی‌بود که دانشمندان مایل و درصدد باشند روشهائی بیابندکه با آنها بتوانند بوسیلهٔ دادن سرعت‌زیاد بذرات باردار (یونها)در داخل‌حوزه‌های قوی الکتریکی دسته‌های نیرومندی از گلوله های‌اتمی بوجود آورند. این‌روشها علاوه بر اینکه مارا از ضرورت بکار بردن مواد کمیاب و گران رادیوآکتیو معاف می‌سازند بمامجال می دهندکه ازانواع‌دیگر گلوله های اتمی (مثلا پروتونها) استفاده‌کنیم وکار مایه های حرکتی (انرژی سینتیك) بسیار بالاتری از آنچه از تجزیهٔ معمولی اتمی نتیجه می‌شود بدست آوریم. از جملهٔ مهمترین ماشینهائی‌که برای تولید دسته های قوی گلوله های تند حرکت اتمی بکارمی‌روند مولد الکتروستاتیك [۱]وسیکلوترون[۲] وشتاب دهندهٔ خطی [۳] را می‌توان نام برد که در شکلهای۶۹ و ۷۰ و ۷۱ نموده شده و مختصری هم از طرز کار آنها در زیر شکلها بیان گردیده است.

بکمك شتاب دهنده های الکتریکی از سه نوعی که گفته شد می‌توان دسته‌های نیرومندی ازانواع گلوله‌های اتمی فراهم آورد و بامتوجه ساختن این گلوله‌ها بهدفهائی‌که از موادمختلف‌تشکیل شده باشد ممکن‌استموجب عدهٔ زیادی تبدلات هسته‌های اتم شد واین تبدلات را بکمك عکسهائی‌که با « اطاق ابر » گرفته شود مورد مطالعهٔ دقیق قرارداد. برخی از اینگونه عکسها راکه درآن‌جریان انفرادی تبدلات هستهٔ اتم دیده می‌شود در تصاویر خارج از متن ۳ و ٤ می‌بینید.

اولین عکس ازین نوع راشخصی بنام بلاکت [٤] درکمبریج [٥] تهیه‌کرد ودسته ای ازذرات طبیعی α رانشان می‌دهندکه از فضای محدودی‌که پر از ازت است گذر می‌کنند [٦]. نخستین نتیجه ای‌که ازاین عکس گرفته شد این بودکه مسیر این‌ذرات دارای طول معینی است، ودلیل آن‌اینست که ذرات حین‌حرکت درمیان گاز اندك اندك کارمایهٔ حرکتی خودرا ازدست می‌دهندو

---

۱ - Cyclotron ۲ - Electrostatic generator
۳ - Linear accelerator ٤ - P. M. S. Blackett
٥ - Cambridge

٦ - عکسی که بلاکت گرفت درمتن کتاب چاپ نشده است اما معادلهٔ فعل وانفعال کیمیائی منعکس در تصویر مذکور چنین است :

$$_{7}N^{14} + _{2}He^{4} \rightarrow _{8}O^{17} + _{1}H^{1}$$

سرانجام ازحرکت بازمی‌مانند . چون در منبع کار مایه‌ای که درعکس‌مذکور مورد استفاده بوده مخلوطی ازدوعنصر صادرکنندهٔ ذرات آلفا ، یعنی ThC و ThC_1 ، وجودداشت و دوطول مسیر متمایز نتیجه گردیدکه هرطول مربوط بیك دسته ازذرات آلفا بود . مشاهدهٔ این مطلب بآسانی میسر است که چون عموماً مسیرهای آلفا خطوط کاملا مستقیم هستند وقتی که ذرات بآخر مسیر نزدیك می‌شوند چون قسمت‌بیشترکار مایهٔ اولیهٔ‌خود رابتدریج ازدست‌داده‌اند براثر تصادم غیرمستقیم باهستهٔ اتمهای ازت‌که بر سر راهشان است بآسانی انحرافی محسوس پیدا می‌کنند. اما اهمیت اصلی این عکس مربوط به‌مسیر خاص یك‌ذرهٔ آلفاست‌که‌انشعاب خاصی پیداکرده ویك شاخه‌اش دراز وباریك وشاخهٔ دیگرش‌کوتاه وکلفت است . این‌عکس نتیجهٔ تصادم مستقیمی را نشان می‌دادکه بین‌یك‌ذرهٔ‌آلفا ویکی ازاتمهای ازت موجود درفضای محدود رخ داده بود . مسیر درازوباریك متعلق به پروتونی بودکه براثر نیروی‌حاصل از تصادم ازهستهٔ اتم ازت به‌بیرون پرتاب گردیده بود ومسیر کوتاه تعلق بخود هسته داشت که‌براثر تصادم منحرف گردیده وبیك سو رانده شده بود. نبودن مسیر سومی که متعلق بذرهٔ آلفا و نتیجهٔ کمانه کردن آن باشد نشانهٔ آن بود که ذرهٔ تازه وارد آلفا به هسته چسبیده و با آن بسیر ادامه داده است .

درتصویر خارج‌ازمتن شمارهٔ۳ب‌نتیجهٔ تصادم پروتونی‌که بطورمصنوعی دارای شتاب شده است باهسته‌های‌عنصری بنام «بور»مشاهده می‌شود. یك‌دسته پروتونهای تندروکه ازلولهٔ ماشین خارج شده است (ودر وسط عکس بصورت سایه‌های تیره دیده می‌شود) بقشری از «بور»که‌در مقابل سوراخ قرار داده شده‌است برخورده و اجزاء هسته رادر هرامتداد در هوای مجاور پراکنده است .یکی ازخصوصیات جالب‌توجه این‌عکس‌اینست‌که مسیر های‌اجزاءهسته همیشه‌بصورت سه‌شاخه هستند (دوتا ازاین‌سه شاخه‌ها درعکس دیده می‌شوند ویکی از آنها باعلامت تیرمشخص شده است) . بدلیل اینکه وقتی‌هستهٔ«بور» مورد اصابت پروتون قرارگیرد بسه جزء متساوی تقسیم‌می‌شود [۱]

عکسی که در تصویر خارج از متن۳ A دیده می‌شود تصادمهای بین

---

۱ ـ معادلهٔ این‌واکنش چنین است :

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

دوترنهای [۱] تند رو و دوترونهای دیگری را که در هدف وجود دارند نشان می‌دهد [۲] .

درازترین مسیری که در تصویر دیده می‌شود، مربوط به پروتونهای هستهٔ $_{1}H^{1}$ و کوتاهترین خط سیرها متعلق به هیدرژن سنگین $_{1}H^{3}$ ، یا تریتون [۳] ، است .

دورهٔ عکسهائی که با «اطاق ابر» گرفته شده‌است کامل نخواهد بود مگر اینکه متضمن عکسهای نوترونها ، که با پروتونها اجزاء اصلی هر هسته‌اتم راتشکیل می‌دهند، نیز باشد .

بیهوده نباید درعکسهای «اطاق ابر» بدنبال خط سیر نوترونها گشت ، زیراکه این «عیاران فیزیك اتمی» که بارالکتریکی ندارند ازماده عبور می‌کنند بی‌آنکه اثری از یونیزه کردن باقی بگذارند . اما وقتی شما دود تفنگ شکارچی رابینید و ببینیدکه پرنده از آسمان سرنگون بزمین می‌افتد می‌فهمید که گلوله ای **درکار بوده است** ، بهمین‌ترتیب وقتی‌که در تصویر خارج از متن C۳ بعکسی‌که با «اطاق ابر» گرفته شده است نگاه می‌کنید ومی‌بینیدکه یك هستهٔاتم ازت‌بیك هلیوم (خط‌سیر روبپائین) و یك‌بور (خط سیر رو ببالا) تجزیه گردیده است تردیدی برای شما باقی نمی‌ماند که این هستهٔ مورد اصابت گلوله‌ای که‌از طرف چپ آمده واقع شده است . درحقیقت هم برای گرفتن چنین‌عکسی ناچار بوده‌اند که در مقابل دیوار سمت چپ اطاق ابر مخلوطی ازرادیوم وهلیوم قرار دهندو این‌مخلوط‌بهترین منبع صدور نوترونهای تندرو است . [۴]

بوسیلهٔ ربط دادن وضع منبع‌نور به‌نقطه ای‌که اتم ازت‌در آن شکسته است می‌توان فوراً خط‌راستی راکه نوترون در امتداد آن‌طول اطاق ابررا پیموده است دید .

عمل انشقاق هستهٔ اورانیوم‌درتصویر خارج ازمتن شمارهٔ ٤ نشان‌داده

۱ـ Deuteron هستهٔ هیدروژن‌سنگین مرکب‌از یك پروتون‌ویك‌نوترون

۲ ـ این واکنش بوسیلهٔ معادلهٔ $_{1}H^{2}+{}_{1}H^{2}\rightarrow{}_{1}H^{3}+{}_{1}H^{1}$ مشخص می‌شود.

۳ـ Triton

۴ ـ با زبان کیمیاگری معادلهٔ اعمالی‌که دراین حال‌وقوع می‌یابد چنین است: مرحلهٔاول تولیدنوترون $_{4}Be^{9}+{}_{2}He^{4}\ (\text{ذرهٔ آلفای رادیوم})\rightarrow{}_{6}C^{12}+{}_{0}n^{1}$ مرحلهٔ دوم ، تصادم‌نوترون به‌هستهٔ ازت :

$$_{7}N^{14}+{}_{0}n^{1}\rightarrow{}_{5}B^{11}+{}_{2}He^{4}$$

شده است . این‌عکس که‌بوسیلهٔبوگیلد [۱] و بروستروم [۲] و لاوریتسن [۳] گرفته شده‌است دوجزء هسته‌راکه براثر انشقاق بوجود آمده نشان می‌دهدکـه از صفحهٔ بسیار نازك آلومینیومی‌که قشر بمباران شدهٔ اورانیوم بروی آن‌قرار داشته است دردوامتداد مقابل دورمی‌شوند . البته نه نوتـرونی‌که موجـب انشقاق شده‌است درتصویر دیده می‌شود ونه‌نوترونهائی‌که نتیجهٔ آن‌بوده‌اند. اگربخواهیم می‌توانیم انواع‌مختلف ازتبدلات اتمی‌که‌ممکن است ازبمباران اتمها بوسیلهٔ گلوله‌هائی که‌با برق‌بآنها شتاب داده شده باشد شرح دهیـم ، اما وقت آن است‌که‌به‌مسئلهٔ مهمتری‌باز گردیم وآن‌موضوع درجهٔ **مؤثر بودن** این‌بمبارانهاست . باید بیاد داشت‌که تصویرهـای خارج ازمتن شمـارهٔ ۳ و شمارهٔ ٤ حالتهای فردی‌ازشکسته شدن اتمهای‌تنهارا نشان می‌دهندومثلابرای اینکه یك گرم « بـور » را کاملا به هلیـوم تبدیل کنیـم باید هـر یك از ۵۵،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰ اتم موجود درآن را شکست . امروز نیرومندترین‌ماشین‌های‌شتاب‌دهنده‌ثانیه‌ای ۱،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰ گلولهٔ اتمی تهیه‌می‌کنند واگر فرض‌کنیم‌که هر گلوله موفق به‌درهم‌شکستن یك هستهٔبور شود ماشین‌شتاب دهنده باید ۵۵ ملیون ثانیه ، یاتقریبا دوسال، کارکند تااین‌کار رابپایان برساند .

اما حقیقت‌آن است‌که میزان مؤثر بودن‌گلوله هـای اتمی که بوسیلهٔ ماشینهای مختلف بوجود می‌آیند بمراتب‌کمتراز آن است‌گفته شد ومعمولااز هر چند هزار گلولهٔ اتمی فقط یکی موفق به شکستن هستهٔ یکی از اتمهای ماده‌ای می‌شودکه بمباران می‌گردد. توضیحی‌که‌درمـورد این‌کم مؤثر بودن بمبارانهای اتمی‌می‌توان داد اینست‌که هستهٔ اتمها را غلافی ازالکترونها در میان‌گرفته است‌که می‌تواند از سرعت گلوله های اتمی‌که ازمیان‌آن عبور می‌کنند بکاهد. چون سطح غلافی‌که هستهٔ اتم را درمیان‌گرفته بسیاربیشتر است ازسطح خود اتم‌وچون ، بطوری‌که واضح است، ماقادرنیستیم‌که گلوله‌ـ

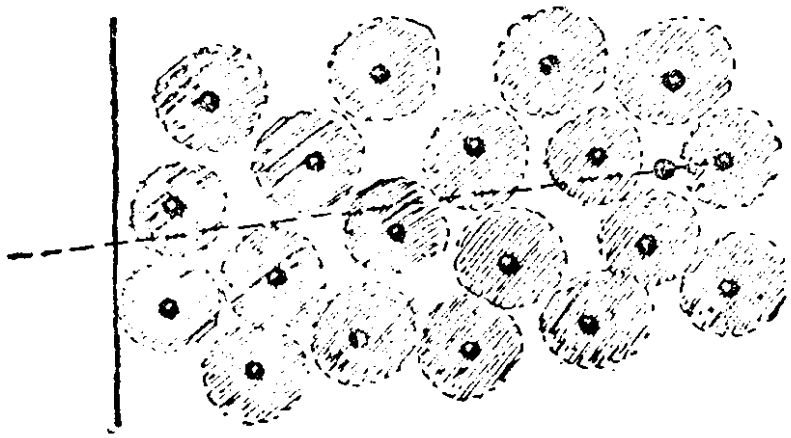
---

۱ - Boggild

۲ - Brostrom

۳ - Lauritsen

های اتمی را درست بهدف نشانه گیری کنیم هریك از گلوله ها مجبوراست چندین لفافهٔ اتمی راسوراخ کند وازآنها بگذرد تاازمیان آنها یکی‌مستقیماً بیکی ازهسته‌ها بخورد و ضربتی بآن وارد سازد . این وضع رابوسیلهٔ شکل ۷۲ مجسم می‌سازیم . دراین‌شکل هسته‌های‌اتم بوسیلهٔ نقطه های سیاه وغلاف الکترونی‌آنها باهاشورنمایش داده شده است . نسبت قطراتم بقطرهستهٔ آن ۱۰۰۰۰است، باین ترتیب نسبت مساحت‌هدفها مانندنسبت ۱۰۰،۰۰۰،۰۰۰ است به۱. ازطرف دیگر می‌دانیم که وقتی‌یك ذرهٔ باردار ازغلاف الکترونی یك اتم عبورکند در حدود یکصدم یکصدم ، یعنی یك ده هزارم ، از کارمایهٔ خودرا ازدست می‌دهد، یعنی‌پس ازعبوراز ۱۰۰۰۰ اتم‌کاملا متوقف می گردد.



(شکل۷۲)

ازروی ارقامی‌که گفتیم بآسانی دیده می‌شودکه برای یك ذره ازهر ۱۰۰۰۰ ذره امکان‌آن هست‌که پیش‌ازآنکه همهٔ کارمایهٔ‌آن درغلاف هستهٔ اتم مستهلك شود باهسته‌ای برخورد نماید . وقتی‌که این مقدار بسیارکم تأثیر بمباران اتمی را درنظر بگیریم می‌بینیم‌که برای تبدیل کامـل یك‌گرم بور بایدآنرا لااقل ۲۰۰۰۰ سال در مقابل یك ماشین اتم شکن قراردهیم .

۴ ــ نوکلئونیك

اصطلاح «نوکلئونیك»کلمهٔ خیلی‌مناسبی نیست اما چنین می‌نمایدکه ، مانند بسیاری ازهمین‌گونه‌کلمات ، جزئی‌ازآنچه مورد استعمال عملی دارد بشمارمی‌رود وازاستعمال‌آن گزیری نیست. همانقسم‌که‌کلمهٔ « الکترونیك » را برای عنوان علم دامنه دار « موارد استعمال عملی دسته هـای الکترون »

اختیار کرده‌اند مراد از «نوکلئونیك» هم «معرفت بموارد استعمال عملی کار-مایه‌هسته است که بمقدار زیادآزاد شده باشد» . مادربخشهای پیشین دیده‌ایم که هسته های عنصرهای مختلف شیمیائی (بغیر ازنقره) دارای مقدار بسیار زیادی کارمایهٔ درونی اضافی هستندکه ممکن است در مورد عنصرهای سبکتر باعمل‌التصاق‌هسته‌ها ودرعنصرهای سنگین تر باعمل انشقاق هسته‌ها آزادشود. ونیز دیدیم که روش بمباران اتمی بوسیلهٔذراتی‌که بطور مصنوعی دارای بار الکتریکی شده باشند، هرچند ازجنبهٔ علمی بـرای مطالعهٔ تبدلات مختلف هسته‌ها اهمیت بسیار دارد ، بسبب تأثیربسیارکمی که می‌بخشد ازجنبهٔ عملی نمی‌توان بآن امیدی داشت .

چون قسمت اعظم بی‌اثر بودن گلوله های اتمی معمولی ، مانند ذرات آلفاوپروتونها ونظایرآنها ، بسبب بارالکتریکی آنهاست‌که موجب از دست رفتن‌کارمایهٔ‌آنها بهنگام عبور ازمیان جرمهای اتمی است ومانع‌آن‌می گردد که‌گلوله‌ها باندازهٔ کافی به هستهٔ باردار ماده‌ای‌که بمباران می‌شود نزدیك گردند انتظارمی‌رودکه اگرهسته‌های‌اتمهای مختلف راباگلوله های بی‌بار، یعنی نوترونها، بمباران‌کنیم نتایج خیلی بهتری بدست‌آوریم . امادرست در همین جاگیر می‌افتیم! چون نوترونها می‌توانندبی هیچ اشکال در ساختمان هسته نفوذکنند . درطبیعت بصورت آزاد یافته نمی‌شوند وهروقت هم‌که بطور ساختگی وبوسیلهٔ‌گلوله‌ای نوترونی را ازهسته‌ای بیرون نمائیم (مثلابوسیلهٔ بمباران باآلفا نوترونی را ازهستهٔ اتم بریلیوم‌آزادکنیم) طولی‌نمی‌کشدکه این نوترون اسیرهستهٔ دیگری می‌شود.

باین ترتیب برای تهیه دسته های نیرومند نوترون بمنظور بمباران اتمی باید هریك ازنوترونها را ازهستهٔ عنصری بیرون بیاوریم و در اینجا گرفتار تأثیرکم‌گلوله‌های بارداری‌که بایدباین منظور بکار روند می‌شویم.

بااینهمه راهی برای خروج ازاین دور وتسلسل وجـود دارد . اگر ممکن باشدکه موجب شویم نوترونها نوترونهای دیگری بیرون برانند واین کار راچنان انجام دهیم‌که هرنوترون بیشترازیك نوترون تازه بیرون بدهد این ذرات مانند خرگوشها (رجوع‌کنید بشکل ۹۷) یامانند بـاکتریها در

نسجهای عفونی تکثیر خواهند شد و طولی نمی‌کشد که اعقاب یك نـوترون باندازه‌ای زیاد خواهند شدکه بتوانند درمقدار زیادی ماده بهستهٔ هراتم‌آن آن حمله‌کنند .

کشف یك واکنش خاص اتمی‌که اینگونه تکثیر نوترونهـا را میسر می‌سازد سروصدای بزرگی ایجادکرد وفیزیك اتمی را ازگوشهٔ دنج انزوای علمی، که فقط سروکارش با دقیقترین خواص ماده بود ، بیرون آورد وآنرا گرفتارتوفان مقالات روزنامه ها وبحثهای‌آتشین سیاسی وبسط وتوسعه زیاد آن در رشته های صنعتي ونظامی ساخت . هرکس‌که باروزنامه سروکارداشته باشد می داند که کار مایهٔ هسته ای ، که معمولا کار مایهٔ اتمی نامیده می‌شود ،ممکن است باروش انشقاق ، کـه بسال ۱۳۱۷ (=۱۹۳۸میلادی) بوسیلهٔ هان[۱] و اشتراسمان[۲] کشف گردید، بدست‌آید . اما خطاست اگر تصور شود که خود عمل انشقاق ، یعنی منقسم شدن هستهٔ یك عنصر سنگین بدو جزء تقریباً متساوی ، به پیشرفت واکنش اتمی کمك می‌کند. درحقیقت دو جزء هسته ، که براثر انشقاق پیدا شده‌اند ، بار سنگین الکتریکـی دارند (هریك تقریباً نصف باریك هستهٔاورانیوم) واین بارالکتریکی‌مانع می‌شود که این دوجزء بهسته‌های دیگرخیلی نزدیك شوند . باین ترتیب خیلی‌زود کارمایهٔ اصلی زیادخود را بغلافهای الکترونی اتمهای مجـاورمی‌دهند وبی آنکه عمل انشقاق دیگری انجام دهند بحال رکود درمی‌آیند .

آنچه عمل انشقاق را ازلحاظ واکنش مـداوم اتمی بسیار مهم ساخته است‌کشف این‌نکته است‌که هر جزء ناشی ازیك انشقاق پیش ازآنکه‌آنقدر کند شودکه متوقف گردد نوترونی صادرمی‌کند (ش۷۳) .

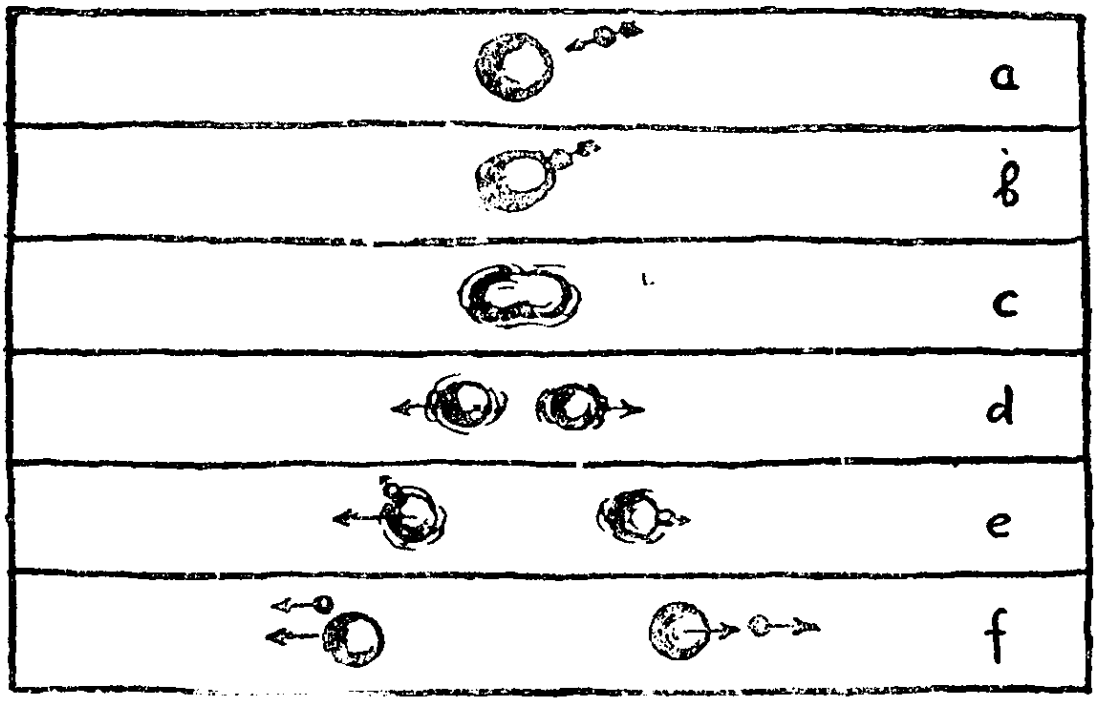
این اثر خاصی‌که برانشقاق مترتب است درنتیجهٔآن است‌کـه دونیمهٔ یك هستهٔ سنگین ، مانند دونیمهٔ یك فنر شکسته ، موجودیت خود را توأم با حالت‌ارتعاش‌شدیدی‌آغاز می‌کنند. این نوسان‌که قادرنیست انشقاق تازه‌ایرا

---

۱ – Hahn

۲ – Strassmann

موجب شود و هرجزء را بدو نیمه‌کند آنقدر نیرو داردکه موجب خارج شدن یکی‌ازواحدهائی‌که درساختمان‌هسته دخالت‌داشته‌اند شود. وقتی‌که می‌گوئیم



شکل ۷۳
مراحل متوالی عمل انشقاق

هر جزء یك نوترون صادرمی‌کند موضوع را از جنبهٔ آمار بطور متوسط در نظرمی‌گیریم ، دربرخی حالات ممکن است از یك جزء دویاسه نوترون صادر شود ودربعضی حالات هیچ . عدهٔ متوسط نوترونهائی‌که ازیك جزء حاصل‌از عمل انشقاق صادر می‌شود بستگی دارد بشدت ارتعاش آن و شدت ارتعاش بستگی دارد بمقدارکل‌کارمایه‌ای‌که درنتیجهٔ انشقاق اصلی‌آزاد شده است . چون ، همانطورکه قبلا دیدیم،کارمایه‌ای‌که براثرانشقاق آزاد می‌شود باوزن هسته افزایش می‌یابد بایدانتظار داشته باشیم‌که عدهٔ متوسط نوترونهائی‌که در نتیجهٔ انشقاق صادر می‌گردند در طول دستگاه تناوبی زیاد شود . باین ترتیب احتمال‌می‌رودکه درنتیجهٔ انشقاق هستهٔ طلا(که تاکنون بسبب ملازمه داشتن‌بامقدارخیلی‌زیادکارمایه‌عملا صورت نپذیرفته است) تعدادنوترونهائی که صادرمی‌شود خیلی کمترازتعداد اجزاء هسته‌ها باشد یعنی ازهرجزو یك نوترون خارج نشود ، درانشقاق هستهٔ اورانیوم بطور متوسط ازهرجزو یك

نوترون (یعنی ازهرانشقاق دونوترون) صادرمی گردد ودر انشقاق عنصرهای سنگین‌تر، مانند پلوتونیوم ، عدهٔ متوسط نوترونها بیشترخواهد بود .

برای‌اینکه شرایط تولید متزاید نوترون را تأمین‌کنیم ظاهراً لازمست که مثلاازهرصدنوترونی‌که وارد ماده‌ای می‌شود بیشتر ازصد نوترون ازنسل دیگربدست‌آوریم . امکان تحقق چنین شرطی بستگی دارد به درجهٔ تأثیر نسبی نوترونها درایجاد انشقاق درنوع خاصی ازهسته‌ها و نیز بعدهٔ متوسط نوترونهای تازه‌ای‌که پس‌ازانجام عمل انشقاق بوجود می‌آیند . باید دانست که اگرتأثیر نوترونها بعنوان گلوله‌های اتمی بیشتر ازتأثیر ذرات باردار است تأثیرشان در ایجاد انشقاق ازیك در صدآن هم‌کمتر است . درحقیقت همیشه ممکن است‌که وقتی نوترونی باسرعت بسیار زیاد وارد هسته‌ای شود فقط جزئی از کارمایهٔ حرکتی (انرژی سینتیك) خود را به هسته بدهد وبا بقیهٔ آن فرارکند ؛ درچنین صورتی کارمایه بین چندین هسته پخش می‌شود وهیچ‌یك ازآنها باندازهٔ‌کافی کارمایه نخواهدگرفت تاعمل انشقاق صورت پذیرد .

ازتئوری‌کلی‌ساختمان هستهٔ اتمها می‌توان نتیجه‌گرفت‌که میزان‌تأثیر نوترونها درعمل انشقاق باوزن اتمی‌عنصر مورد بحث بالامی‌رود ودرعنصر-های اواخر دستگاه تناوبی به‌صددرصد می‌رسد .

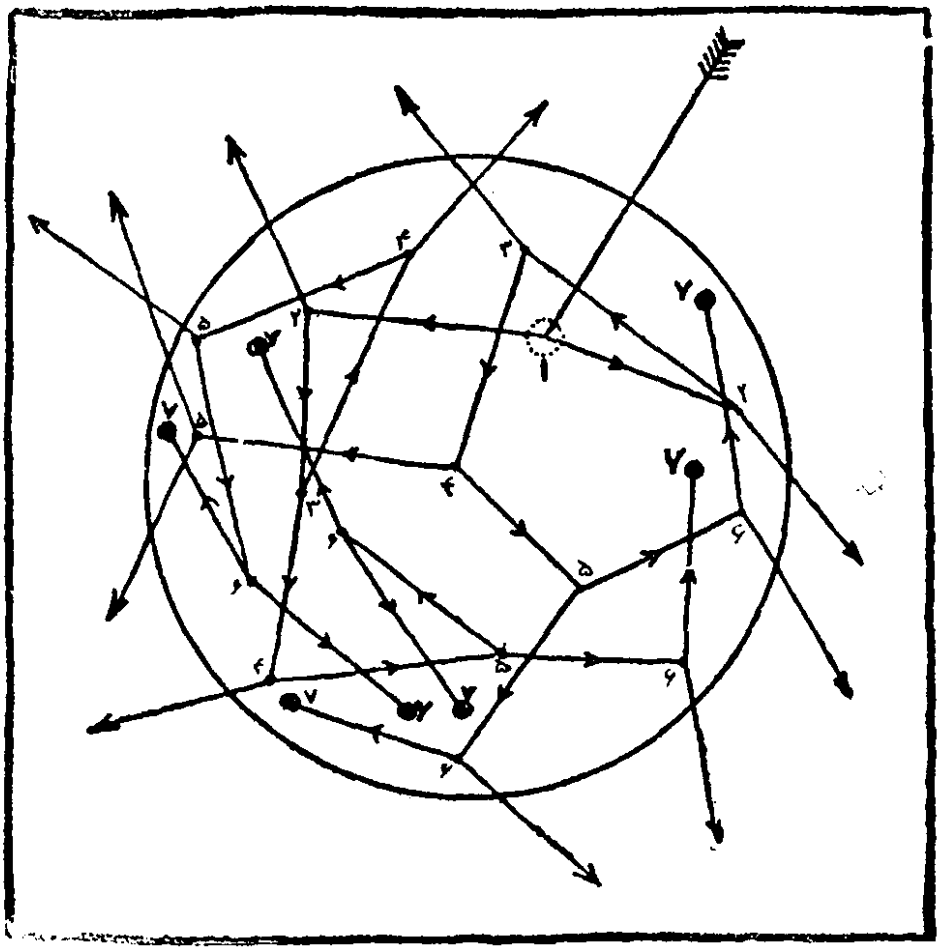
اکنون می‌توانیم دومثال بزنیم‌که دریکی وضع برای تکثیرنوترونها مساعد ودردیگری‌نامساعد باشد.(۱) فرض‌کنید عنصری داشته‌باشیم‌که میزان تأثیر نوترونهای آن درتولید انشقاق۳۵ درصد وعددمتوسط نوترونهائی‌که براثرانشقاق بوجود می‌آیند ٦ر۱ باشد . درچنین حالی ۱۰۰ نوترون اصلی مجموعاً موجب۳۵ انشقاق می‌شوند و ٥٦ = ٦ر۱ × ۳٥ نوترون ازنسل‌بعدی بوجود می‌آورند . بدیهی است‌که در اینحالت ،که تعداد نوترونهای هرنسل نصف نوترونهای‌نسل‌پیشین‌است، تعدادآنها بسرعت‌پائین‌می‌آید.(۲)حالافرض کنیدکه عنصر سنگین‌تری درنظر بگیریم‌که درآن میزان تأثیر نوترونها در تولید انشقاق به ٦٥ درصد و تعداد متوسط نوترونهای حاصل از هر انشقاق به ۲ر۲ برسد . دراین حال ۱۰۰ نوترون اصلی موجب ٦٥ انشقاق می‌شود

---

۱ ـ این اعداد فقط برای مثال اختیارشده‌اند ودر حقیقت با هستهٔ هیچ عنصری تطبیق نمی‌کنند .

و ۱۴۳ = ۲٫۲ × ۶۵ نوترون بوجود می‌آورند . پس درهر نسل تقریباً ۵۰ درصد به تعداد نوترونها علاوه می‌شود وطولی نمی‌کشدکه تعدادآنها بقدری زیاد می‌شودکه بتوانند بهرهستهٔ تنهای نوع خود حمله‌ورشوند وآنرا درهم شکنند. مادراینجا ناظریك **واکنش زنجیری متزاید** هستیم وموادی‌راکه چنین واکنشی درآنهاروی می‌دهد **مواد انشقاق‌پذیر** می‌نامیم .

مطالعهٔ دقیق نظری و تجربی در شرایط لازم بـرای بسط یك واکنش زنجیری متزاید باین نتیجه منتهی می‌شودکه درمیان انواع عناصری‌کـه در طبیعت وجود دارند فقط **یکی دارای هستهٔ خاصی است‌که اینگونه واکنش را ممکن می‌سازد ، وآن عبارت است از ایزوتوپ سبك معروف اورانیوم ،یعنی اورانیوم ۲۳۵،که تنهامادهٔ انشقاق‌پذیر طبیعی است .**



شکل ۷۴

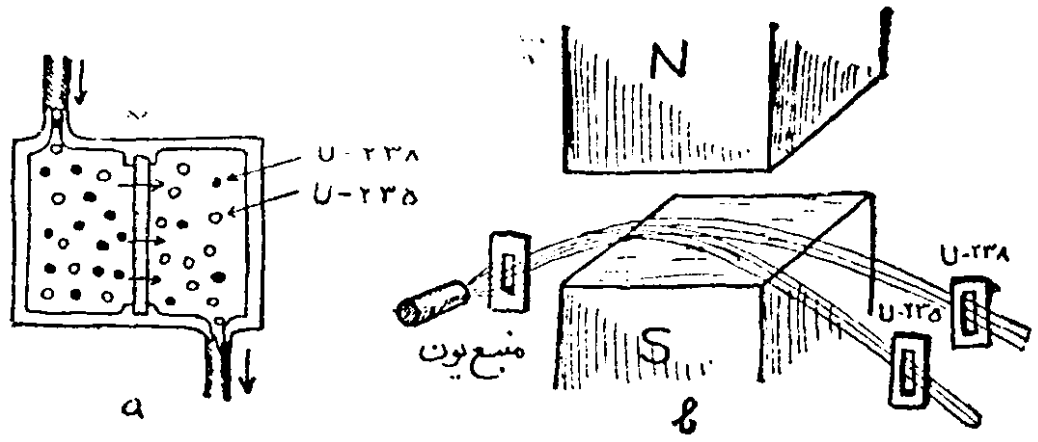
یك واکنش زنجیری هسته‌که بوسیله یك نوترون سرگردان دریك قطعهٔ کروی یك ماده انشقاق پذیرآغازگردیده است. هرچند نوترونهای بسیاربهنگام عبور از سطح نابود می‌شوند تعداد نوترونها در نسلهای متوالی رو بتزاید است وکاررا بانفجارخواهد رسانید

اما اورانیوم۲۳۵ درطبیعت بصورت‌خالص‌موجود نیست وهمیشه‌بمقدار زیاد باایزوتوپ دیگراورانیوم، بنام اورانیوم ۲۳۸ ،که انشقاق پذیر نیست، توأم است (۷ر۰ درصداورانیوم ۲۳۵و۳ر۹۹ درصد اورانیوم ۲۳۸) واین امرمانع توسعهٔ واکنش زنجیری‌متزاید اورانیوم طبیعی‌است، درست همانطور که وجود آب مانع سوختن چوب‌تر است . در حقیقت اگر اتمهای اورانیوم ۲۳۵ ،که بسیاربآسانی انشقاق می‌پذیرد، هنوز درطبیعت وجود دارند بسبب توأم بودن بااین ایزوتوپ غیرفعال است وگرنه مدتها بودکه براثرواکنش سریع زنجیری نابودشده وازمیان‌رفته‌بود. پس‌برای‌آنکه ازکار مایهٔاورانیوم ۲۳۵ استفاده شود یاباید هسته‌های آنرا ازهسته‌های سنگین‌تر اورانیوم۲۳۸ جداکرد یاکاری‌کردکه بدون جداشدن اثرمزاحم اورانیوم ۲۳۸ خنثی‌شود . درتلاشی‌که برای حل‌مسئلهٔ آزاد ساختن کارمایهٔ اتمی‌شده است هردو روش‌را بکاربسته‌اند وهردوعملا به نتیجهٔ مثبت رسیده‌اند . ما دراینجا هردوروش را خیلی باختصارمطالعه می‌کنیم زیراکه اینگونه مسائل فنی بیرون از حوصلهٔ این‌کتاب است .

جداکردن مستقیم دوایزوترپ اورانیوم مسئله فنی‌بسیاردشواری‌است، زیراکه بمناسبت شباهت تام و تمام خواص شیمیائی آنها نمی‌توان آنها را با روشهای شیمی‌صنعتی ازیکدیگرجدا ساخت . تنها اختلاف بین این دو اتم درجرم آنهاست و یکی ازآنها ۳ر۱ درصد ازدیگری سنگین‌تراست . باتوجه باین نکات روشهائی برای جداکردن دو ایزوتوپ ازیکدیگر در نظرگرفته شده است‌که مبنایشان براموری ازقبیل تفرق واستفاده از نیروی‌گریـز از مرکز یا انحراف دسته شعاعهای یون در حوزه‌های برقی و مغناطیسی استوار است ودراین‌روشها جرم اتمهای جداشده نقش‌اصلی‌را برعهده‌دارد . درشکل ۷۵ a وb دوروش اصلی جداکردن اتمهارا نمایش داده وشرح مختصری هم دربارهٔ هریك نوشته‌ایم .

عیب همهٔ این روشها این است‌کـه چون درحقیقت اختلاف جـرم دو ایزوتوپ اورانیوم خیلی‌کم است جدا ساختن‌آنها ازهم دریك مرحله امکان‌ـ پذیر نیست وباید بارها عمل‌را تکرارکرد و درهربار ماده‌ای بدست‌آوردکه بیش‌ازپیش دارای ایزوتوپ سبك باشد . اما ، بالاخره پس‌از چندبار تکرار مقادیری اورانیوم ۲۳۵ ،که باندازهٔ‌کافی خالص باشد، می‌توان بدست‌آورد.

طریقهٔ مدبرانه‌تری نیز هست باین شرح کـه واکنش زنجیری را در اورانیوم طبیعی‌موجب می‌شوند وعمل‌مزاحم ایزوتوپ سنگین‌تررا بابکاربردن آنچه « **آرام‌کننده** » نامیده شده است تقلیل می‌دهند . برای اینکه خوب این طریقه‌را بفهمیم باید بیاد بیاوریم‌که تأثیرمنفی ومزاحم ایزوتوپ‌سنگین اورانیوم اساساً عبارت است ازاینکه مقدارزیادی ازنوترونهائی راکه براثر انشقاق اورانیوم ۲۳۵ بوجود آمده اند جذب می‌کنند و باین ترتیب امکان بسط وتوسعهٔ یك‌واکنش‌زنجیری‌متزایدرا ازمیان‌می‌برند. پس‌اگرمی‌توانستیم کاری‌کنیم‌که مانع آن شودکه نوترونها پیش ازآنکه فرصت برخورد باهستهٔ اورانیوم ۲۳۵ را پیداکنند ازطرف هسته های اورانیوم ۲۳۸ ضبط ومصادره گردند مسئله حل می‌شد . دربدوامرغیر ممکن بنظرمی‌رسیدکه بتوان جلو اعمال‌قوهٔ هسته‌های اورانیوم ۲۳۸ وضبط قسمت اعظم نوترونها ازطرف‌آنها راگرفت، زیراکه تعدادشان۱۴۰ برابرتعداد هسته‌های‌اورانیوم۲۳۵ است .



شکل ۷۵

a ـ جداساختن‌ایزوتوپها باروش تفرق: گازی‌که شامل هردونوع‌ایزوتوپ است با تلمبه بقسمت چپ اطاق رانده می‌شود و از خلال جداری‌که دو قسمت اطاق رااز هم جدا می‌کند تفرق می‌پذیرد . چون ملکولهای سبك زودتر تفرق پیدا می‌کند قسمت راست اطاق مقدار زیادی اورانیوم ۲۳۵ دارا می‌شود .

b ـ جدا ساختن ایزوتوپها با روش مغناطیسی : دسته‌های یون از وسط حوزهٔ مغناطیسی‌نیرومندگذر داده‌می‌شوندوملکولهائی‌که دارای ایزوتوپ سبکتر باشند با شدت بیشتری منحرف می‌گردند . چون برای بدست آوردن شدت خوب باید فاصله‌های بزرگ بین دو نـوع ملکول ایجاد کنند بازجزئی از دو دسته(بااورانیوم ۲۳۵ واورانیوم ۲۳۸) بریکدیگر قرار می‌گیرند وباین ترتیب بازهم فقط موفق بجدا کردن جزئی ازآن

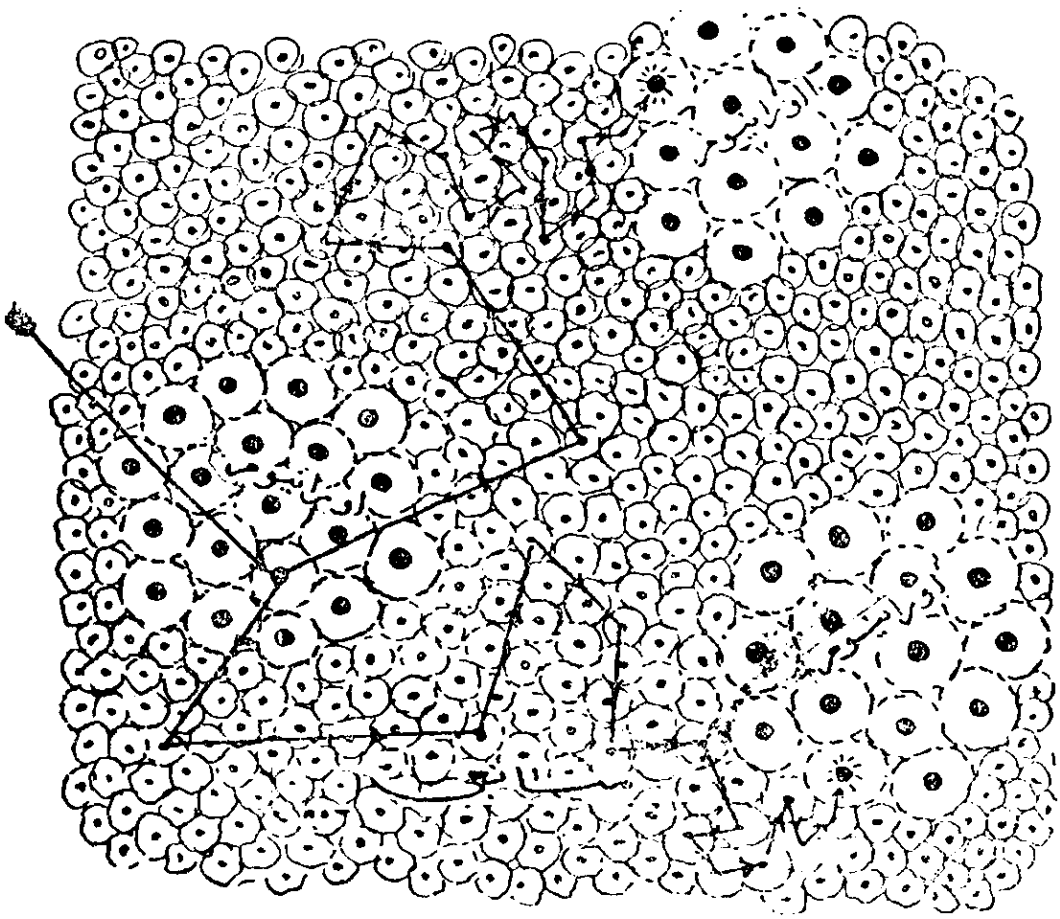
امـا مطلبی کـه در این مسئله بما کمك می کند « استعداد ضبط نوترون » است که در دوایزوتوپ متفاوت‌است و بستگی بسرعت حرکت نوترونها دارد. در مورد نوترونهای تندحرکت کـه ازعمل انشقاق نتیجه می‌شوند « استعداد ضبط » هردو ایزوتوپ یکی است و درمقابل هریك نوترون که هستهٔاورانیوم ۲۳۵ جلب کند هستهٔ اورانیوم ۲۳۸ یکصد وچهل نوترون‌را بدام‌می‌اندازد. نوترونهای باسرعت‌متوسط راهم اورانیوم۲۳۸ تاحدی بهتراز اورانیوم۲۳۵ جذب می‌کند. اما ، واین‌نکته بسیارمهم‌است که، اورانیوم ۲۳۵ نوترونهای خیلی‌کندرو را خیلی بهتر ازاورانیوم ۲۳۸ اسیرمی‌کند . باین ترتیب‌اگر می‌توانستیم **پیش** ازآنکه نوترونهای حاصل از انشقاق در راه خود باولین هستهٔ اورانیوم (۲۳۸ یا ۲۳۵) برخورد نمایند حرکت آنها راکندکنیم ، یعنی سرعت زیـاد اصلی آنها را بمقدار زیـاد تخفیف دهیم هستهٔ اورانیوم ۲۳۵، باآنکه دراقلیت است ، مجال بیشتری ازاورانیوم ۲۳۸ برای گرفتار کردن نوترونها خواهد داشت .

ترتیبی‌که برای‌کم‌کردن ضروری سرعت داده شده‌اینست که عدهٔ زیادی قطعات‌کوچك اورانیوم طبیعی را درماده‌ای (آرام‌کننده) متفرق می‌سازند و این ماده سرعت نوترونهـا را می‌کاهد بی آنکه عدهٔ زیادی از آنها را اسیر سازد . بهترین موادی‌که برای این منظور می توان بکار برد عبارتند ازآب سنگین وکربن واملاح بریلیوم . درشکل ۷۶ بوسیلهٔ تصویرطرزعمل توده‌ای راکه تشکیل شده باشد از دانه های اورانیومی‌کـه در یك مادهٔ آرام‌کننده پراکنده باشند نشان می‌دهیم .

همچنانکـه پیش‌تر گفتیم ایزوتوپ سبك اورانیوم ۲۳۵ (کـه ۹ر۷ در صد اورانیوم طبیعی را تشکیل می دهد) تنها نوع هستهٔ انشقاق‌پذیری است‌که وجود دارد ومی‌تواند یك واکنش زنجیری تصاعدی را تحمل‌کند و بآزادکردن کارمایهٔ هستهٔ اتم بمقدار خیلی زیاد منجر شود . اما معنی این گفته آن نیست که نتوانیم **مصنوعاً** عناصری بوجـود آوریم‌که در طبیعت نباشند وهمان خواص اورانیوم ۲۳۵ را داشته باشند. درحقیقت با بکاربردن نوترونهائی‌که درنتیجهٔ واکنش زنجیری تصاعدی در یك ماده انشقاق‌پذیر به مقدار زیاد بدست‌آمده‌اند . می‌توان هسته های دیگری‌راکه معمولا انشقاق‌ـ

پذیر نیستند انشقاق پذیرساخت .

اولین مثال از اینگونه را می‌توان بوسیلهٔ آن چیزی نشان دادکه در داخل « توده‌ای » وقوع می‌یابدکه جلوتر شرح آنرا گفتیم و درآن اورانیوم طبیعی بامادهٔ آرام‌کننده مخلوط شده‌است . سابقاً دیدیم‌که با بکاربردن مادهٔ آرام کننده می توانیم از عدهٔ نوترونهائی که گرفتار اورانیوم ۲۳۸ می‌شوند بکاهیم تاجائیکه اجرای یك واکنش زنجیری تصاعدی رامیسرسازیم. اما باز هم برخی نوترونها اسیر اورانیوم ۲۳۸ می‌شوند . این امر بکجا منجر می‌شود ؟



شکل ۷۶

این تصویر که بظاهر تا حدی مانند نسج زنده است عبارت است از قطعات اورانیوم (اتمهای بزرگ) که در یك مادهٔ آرام‌کننده (اتمهای کوچك) جای داده شده‌اند . دو نوترون که از انشقاقی دریك هستهٔ اورانیوم قطعهٔ چپ حاصل شده‌اند واردمادهٔ آرام‌کننده شده‌اند وبتدریج بر اثر بر خورد با هسته های اتمهای این ماده از سرعتشان کاسته شده است . تا وقتی‌که این نوترونها بقطعات دیگر اورانیوم برسند مقدار زیادی ازسرعتشان کاسته می‌شود وبوسیلهٔ هسته های اورانیوم ۲۳۵ ، که در این مورد بیشتر از اورانیوم ۲۳۸ تأثیر دارند ، اسیرمی‌گردند .

نتیجه‌ای که بلافاصله برگرفته شدن نوترون بوسیلهٔ اورانیوم ۲۳۸ مترتب است البته بوجودآمدن ایزوتوپ سنگین‌تری است بنام اورانیوم ۲۳۹ اما دیده شده که این هستهٔ جدید دیری نمی‌پاید و پشت سر هم دوالکترون صادر می‌کند وبه هستهٔ عنصرشیمیائی جدیدی تبدیل می‌شودکه شمارهٔ اتمیش ۹٤ است . **این عنصر مصنوعی جدید که پلوتونیوم (Pu ۲۳۹) نامیده شده‌است از اورانیوم ۲۳۵ نیز انشقاق پذیر تر است .** اگر بجای اورانیوم ۲۳۸ ازعنصر رادیوآکتیو دیگری بنام توریوم ۲۳۲ استفاده کنیم پس از اسیرکردن نوترون وخارج ساختن دوالکترون **عنصر انشقاق پذیر تازه‌ای بنام اورانیوم ۲۳۳ بوجود می‌آید .**

باین ترتیب وقتی‌که از اورانیوم انشقاق پذیر ۲۳۵ شروع کنیم و دوره های واکنش را ترتیب دهیم ، **البته ازنظراصول علمی ، خواهیم توانست که همهٔ منابع طبیعی اورانیوم و توریوم را بعناصر انشقاق پذیر مبدل سازیم و منبعی متمرکز برای تولید کارمایهٔ اتمی‌فراهم آوریم .**

در پایان این مقال باید بتقریب بگوئیم‌که در آینده مجموعاً چقدر کارمایه قابل حصول خواهد بود تا در راه مصالح اجتماعی در زمان صلح یا بمنظور نابودی نظامی نوع بشر بکاررود . تخمین شده است‌که مجموع مقدار اورانیوم ۲۳۵ موجود درمنابع طبیعی‌که فعلا شناخته شده‌اند کافی است که چندین سال احتیاجات دنیای صنعت بکارمایهٔ اتمی را تأمین‌کند. اگر تبدیل اورانیوم ۲۳۸ را به پلوتونیوم در نظر بگیریم این احتیاجات تاچند قرن تأمین خواهند بود . وهرگاه منابع توریوم (قابل تبدیل باورانیوم ۲۳۳) را هم منظور داریم خیال ما برای مدت لااقل دو هزار سال راحت خواهد بود و در این مدت از « کم بود کارمایهٔ اتمی درآینده » نگرانی نخواهیم داشت .

اما اگر منابع معلوم فعلی بپایان رسد و معادن اورانیوم و توریوم جدیدی‌کشف نشود نسلهای آینده قادر خواهند بودکه کار مایهٔ اتمی را از سنگهای معمولی بدست آورند . درحقیقت اورانیوم وتوریوم ، مانند عناصر شیمیائی دیگر ، عملا بمقدارکم در همهٔ مواد معمولی وجود دارند . باین

ترتیب درهریك تن سنگ خارای معمولی (گرانیت) ٤ گرم اورانیوم و ۱۲ گـرم توریوم موجود است . در نظر اول این مقدار خیلی‌کم جلوه می‌کند اما به این حساب توجه‌کنید : می دانیم که یك‌کیلوگرم ماده انشقاق پذیر شامل آنقدر کارمایهٔ اتمی است‌که اگر (مانند حالت بمب اتمی) منفجر شود معادل ۲۰۰۰۰ تن مادهٔ بسیار قابل انفجار تری‌نیتروتلوئن (ت . ن . ت) و اگـر بعنوان سوخت بکار رود معادل ۲۰۰۰۰ تن بنزین است . پس اگر ۱٦ گـرم اورانیوم و توریوم موجود در یك تن سنگ خارا را تبدیل بمادهٔ انشقاق پذیرکنیم مانندآن است‌که ۳۲۰تن سوخت عادی بدست‌آورده باشیم. پس تحمل تمام زحمت جداکردن اورانیوم و توریوم از سنگ آسان خواهد بود ، خاصه وقتی‌که زمانی فرا رسدکه منابع اصلی کارمایهٔ اتمی ما نزدیك بانقراض باشد .

فصل هشتم

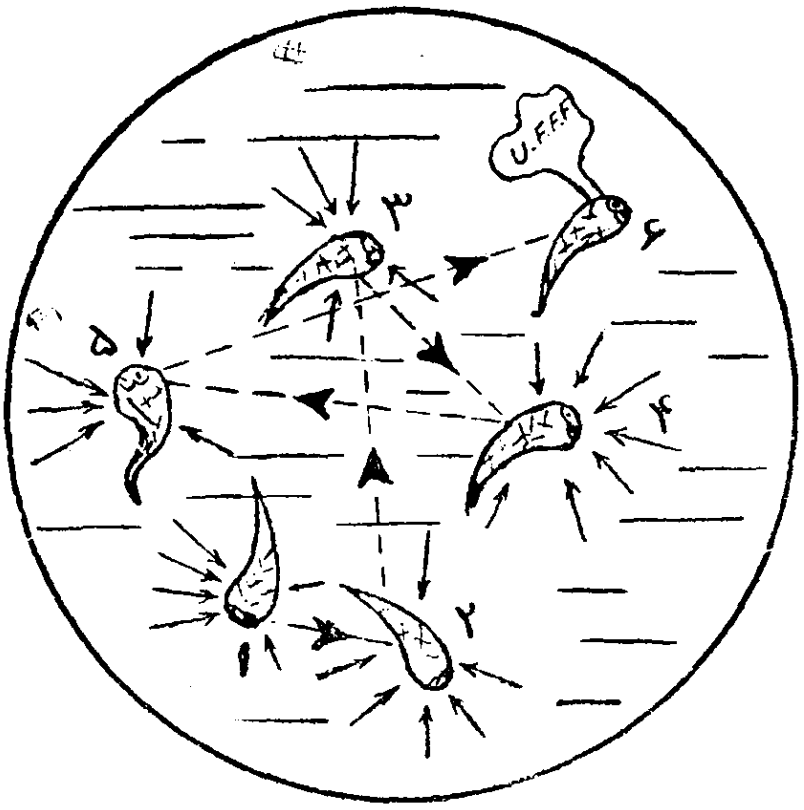
نظام بی‌نظمی

۱- بی‌نظمی حرارتی

اگر درلیوانی آب بریزید و بی‌آنکه لیوان را تکان دهید بآن نگاه کنید سیال صاف و یکدستی خواهید دیدکـه در آن هیچ اثری از ساختمان مخصوص داخلی یا نشانه‌ای از حرکت دیده نمی شود . اما می دانیم‌که یك دست بودن آب امری ظاهری است واگرآب را چندین ملیون مرتبه بزرگ کنیم ساختمان مخصوص داخلی دانه دانهٔ آن مشهود خواهد شد و دانه هـا بوسیله عدهٔ بسیار زیادی ملکولهای مجزا که بسختی بیکدیگر چسبیده انـد تشکیل می‌شوند .

و درنتیجهٔ همین بزرگ‌کردن هویدا خواهد شدکه آب مطلقاً آرام و بی حرکت نیست بلکه ملکولهای آن ، مانند افراد جمعیتی‌که سخت بجوش وخروش آمده باشد، بشدت درحرکتند وگرد یکدیگر می‌گردند وبیکدیگر تنه می زنند . این حرکت بی‌نظـم ملکول های آب ، یا ملکولهای هر مادهٔ دیگر به **حرکت حرارتی** مـوسوم است ، بدلیل بسیار ساده آنکه حرارت درنتیجهٔ آن بوجود می‌آید . زیراکه ، هر چند حرکت ملکولها مانند خود آنها درچشم‌آدمی قابل درك وتشخیص نیست حرکت ملکولی اعصاب جهازات بدن آدمی را بنحوی تحریك می‌کنند واحساسی‌که «گرما» نام دارد تولید

می نمایند ، برای موجودات زندهٔ بسیار کـوچکتر از انسان ، مثلا مانند باکتریهائی که دریك قطرهٔ آب درحال تعلیق هستند، تأثیر حرکت حرارتی خیلی بیشتر محسوس است و این موجودات بیچاره از دست ملکولهای بی ـ آرامی که از هرطرف بآنها حمله می کنند راحتی ندارند ولاینقطع باینسوی وآنسوی رانده وکشیده می‌شوند (ش ۷۷) . این پدیدهٔ سرگرم کننده ،که بافتخار رابرت براون[۱] انگلیسی که یك قرن پیش بهنگام مطالعه درهاگ[۲] گیاهان بسیار کوچك متوجه آن گـردیـد ، « حرکت براونـی » نامیده شده است عمومیت دارد و در موقع مطالعهٔ هر ذرهٔ بسیارکوچکی که در هر مایعی بحال تعلیق باشد ، یا هر ذرهٔ دود یا غباری که در هوا موج بزند ، مشاهده می‌شود .



(شکل ۷۷)
شش وضع متوالی یك باکتری که براثرتماس باملکولها باطراف پرتاب شده‌است (این تصویر ازجنبهٔ فیزیکی درست است ولی از جنبهٔ باکتری شناسی کاملاصحیح نیست)

اگـر مایع را حرارت دهیم رقص وحشیانهٔ ذرات کوچکی که در آن بحال تعلیق هستند شدیدتر می‌شود وبا سرد شدن مایع آرام شدن این‌حرکت

۱ـ Robert Brown ۲ـ Spore

محسوس است. پس جای تردید باقی نمی‌ماند که مادراین حالت ناظرومراقب حرکت پنهانی حرارتی ماده هستیم وآنچه را معمولا درجهٔ حرارت می‌نامیم چیزی جزاندازه گرفتن درجهٔ حرکت ملکولها نیست . براثرمطالعهٔ بستگی درجهٔ حرارت با حرکت براونی معلوم شده‌است که دردرجهٔ ۲۷۳ـ صدقسمتی، یا درجهٔ ٤٥۹ ـ فارنهایت ، حرکت حرارتی ماده بکلی متوقف می شود و ملکولهای آن بحال سکون در می‌آیند . ظاهراً این درجه پائین‌ترین درجهٔ حرارت ممکن‌است وازاین روی‌آن را **صفرمطلق** نامیده‌اند. تصورحرارتی پائین‌تر از صفرمطلق بکلی بی‌معنی‌است زیرا که گویا هیچ حرکتی کند تر از سکون مطلق وجود نداشته باشد .

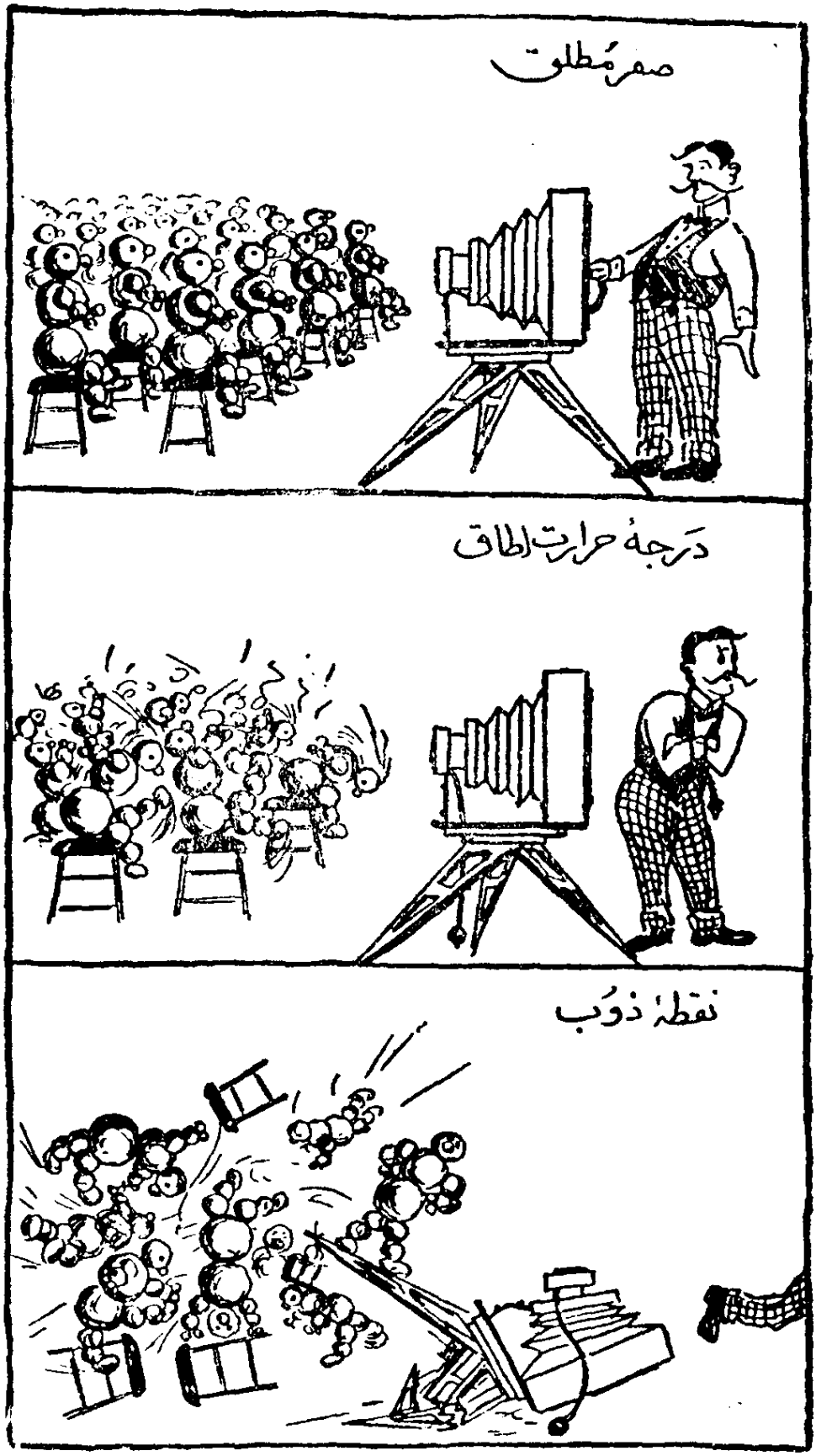
نزدیك درجهٔ حرارت صفرمطلق ملکولهای همهٔ مواد آنقدرکم‌کارمایه دارندکه نیروهائی‌که برروی آنها تأثیر می‌کنند وآنها را بیکدیگر مربوط می‌سازند آن ها را بصورت تودهٔ واحدی بیکدیگر جوش می‌دهند وتنهاکاری که ازآن ها ساخته است اینست‌که درحال انجمادآرام آرام بلرزند . با بالا رفتن درجهٔ حرارت لرزش ملکولها بیش از پیش شدید می‌شود و مرحله ای فرا می‌رسدکه ملکولهای ماده تا حدی‌آزادی حرکت بدست می‌آورند ومی ـ توانندکه ازپهلوی یکدیگر بلغزند . حالت یخ زدگی مواد ازمیان می رود وحالت میعان پیدا می‌شود . درجهٔ حرارتی‌که درآن عمل ذوب صورت می‌ـ پذیرد بستگی بمیزان استقامت واستواری نیروهائی داردکه برروی ملکولها تأثیر می‌کنند وآن ها را بیکدیگر مربوط می‌سازند . دربرخی مواد مانند ئیدرژن یـا مخلوطی از اکسیژن و ازت کـه هوای جو را تشکیل می‌دهند، پیوند ملکولها با یکدیگر بسیار ضعیف است وهیجانی‌که بر اثر حرارت به وجود می‌آید حالت یخ زدگی را در درجات پائین حرارت ازمیان می‌برد . باین‌ترتیب ئیدرژن فقط در درجات پائین‌تر از ۱٤ درجهٔ مطلق (یعنی کمتر از ۲۵۹ـ درجهٔ صد قسمتی) بحالت جامد وجود می تواند داشت واکسیژن و ازت جامد در ۵۵ درجه و ٦٤ درجهٔ مطلق (یعنی ۲۱۸ـ و ۲۰۹ـ درجهٔ صد قسمتی آب می‌شوند . درمواد دیگر پیوند میان ملکولها نیرومندتر است و در درجات حرارت بالاتری بحال جمود باقی می‌مانند : مثلا الکل خالص تا درجهٔ ۱۳۰ـ بحالت جامد باقی می ماند وآب یخ زده در صفر درجه آب

می‌شود ، مواد دیگری تا درجات بالاتری درحال جمود هستند مانند سرب که در ۳۲۷ درجه وآهن که در ۱۵۳۵ درجه ذوب می‌شوند وفلزکمیابی مانند اسمیوم تا ۲۲۰۰ درجه جامد می‌ماند . هر چندکه وقتی ماده درحال جمود باشد ملکول های آن محکم واستوار درجای خود قراردارند مفهوم این امر مطلقاً این نیست که این ملکولها دستخوش هیجانهای حرارتی نیستند . در واقع ، برطبق قاعده اساسی حرکت حرارتی ، دردرجهٔ حرارت معینی مقدار کار مایه‌ای که درهرملکول هرماده ، اعم ازآنکه گاز باشد یا مایع یا جامد، وجود دارد با هم برابر است و تفاوت بین آنها دراین امراست که در برخی حالات این کارمایه برای کندن ملکولها ازجای خود وبحرکت درآوردن آنها کافی است ودربعضی حالات ملکولها درهمان جائیکه بوده اند باقی میمانند ومانند سگی که با زنجیرکوتاهی بسته ومحدود شده باشد درجای خود می‌لرزند و بدور خود می پیچند .

این لرز یا ارتعاش حرارتی ملکولهائی یك جسم صلب را تشکیل‌می‌دهند بآسانی درعکسهای اشعهٔ مجهول ،که درفصل پیشین شرح آن رفته‌است، مشهود است. درحقیقت دیدیم که چون گرفتن عکس‌ملکولها دریك‌شیئی‌مرکب از بلورها محتاج بوقت قابل ملاحظه ای است لازم است که ملکولها در تمام مدتی که در مقابل دوربین قرار دارند ازجای ثابت خود تکان نخورند . اما لرزش مداوام در اطراف نقطهٔ ثابت نیز با تهیهٔ عکس خوب مغایرت دارد و منجربه تهیهٔ یك عکس «محو» می‌شود. این تأثیررا می‌توان درعکس‌ملکولها که درتصویر خارج ازمتن شمارهٔ ۱ چاپ‌شده است دید. برای تهیهٔ عکسهای واضحتری باید بلورها را هرچه ممکن است سرد ترکرد . این‌کار راگاهی بوسیلهٔ فروبردن آنها در هوای مایع انجام می‌دهند . از طـرف دیگر اگر بلوری راکه باید عکسش گرفته شود گرم کنند عکس‌محوتر می‌شود ودردرجهٔ حرارت ذوب زمینه بکلی خراب می‌شود زیراکه ملکولها جای خود را ترك می گویند وبوضعی بی‌نظم درمادهٔ مذاب شروع بحرکت می کنند .

پس از آب شدن مادهٔ جامد ملکولها باز نزد یکدیگر باقی می‌مانند زیراکه تلاطم‌حرارتی باآنکه آنقدر نیرومند بوده که آنهارا درشبکهٔ متبلور از جای خودکنده است آنقدر قدرت نداشته که آنهارا بکلی ازهم‌دور وجدا

کند . اما در درجات حرارت بـالاتر نیروهـای پیوند دیـگر قادر نیستند



ش ۷۸

که ملکولهارا در مجاورت یکدیگر نگاه دارند واگر حجابهای اطراف آنها مانع نشوند باطراف وجوانب پراکنده می گردند وقتی که چنین صورتی پیش آید ماده بشکل گاز درمی آید . بخارشدن مایعات هم مانند آب شدن جامدات برحسب نوع مایع در درجات مختلف حرارت صورت می پذیرد و موادی که نیروی پیوند داخلی ملکولهایشان ضعیفتر باشد دردرجات پائین تر وآنهائی که نیروی پیوند داخلیشان قویتر باشد دردرجات بالاتر بخارمی شوند. دراینمورد فشاری هم که ازخارج برمایع وارد می آید دردرجهٔ حرارت تبخیر مؤثراست زیراکه این فشار در نیروی پیوند داخلی بین ملکولها تأثیر دارد . باین ترتیب ، بطوریکه همه می دانیم ،آب وقتی که درظرفی باشدکه در آن محکم بسته شده باشد دردرجه حرارتی بالاتر از زمانی که درظرفی بازباشد بجوش می آید. یادربالای کوههای مرتفع که فشارهوا بمقدارمعتنابهی کمتر است آب در درجات پائین تر از ۱۰۰ درجهٔ صدقسمتی می جوشد. دراینجا باید خاطرنشان ساخت که با اندازه گرفتن درجه حرارت بجوش آمدن آب می توان میزان فشار جو و در نتیجه ارتفاع مکان را از سطح دریا اندازه گرفت .

اما زنهار !کار « مارك تواین »[۱] را نکنیدکه ، بنا بگفتهٔ خودش ، روزی تصمیم گرفت برای تعیین فشار جو فشار سنج ثبات فلزی را در ظرف دربسته‌ای که سوپ نخود فرنگی در آن پخته می شدقراردهد!ازاین کارچیزی در بارهٔ ارتفاع مکان نخواهید فهمید و سوپ شما هم براثر زنگ مس بدمزه خواهد شد .

هرچه درجهٔ ذوب ماده‌ای بالاتر باشد درجهٔ تبخیر آن هم بالاتراست. مثلا ئیدرژن مایع در حرارت ۲۵۳ — درجه ، اکسیژن و ازت مایع در ۱۸۳ — و ۱۹۶ — درجه ، الکل در ۷۸ + درجه ، سرب در ۱۶۰ + درجه ، آهن در ۳۰۰۰ + درجه واسمیوم دربالاتر از ۳۵۰۰ + درجه بخار می شوند[۲].

متلاشی شدن بلورهای زیبای ساختمان اجسام جامد نخست موجب می‌شودکه ملکولهای آن مانند انبوهی ازکرمها بدور یکدیگر بخزند و سپس مانند دسته ای ازپرندگان رمیده ووحشت زده باطراف وجوانب بپرند . اما

---

۱ ـ Mark Twain

۲ ـ همه این درجات حرارت فشار معمولی جو اندازه گرفته شده اند .

نیروی متلاشی‌کنندهٔ متزاید حرکت حرارتی بهمین‌جا محدود نمی‌شود واگر درجهٔ حرارت بازهم بالاتر رود هستی اتمها بخطر می‌افتد ، زیراکه ممکن است شدت تصادم ملکولها با یکدیگر موجب متلاشی شدن ملکولها باتمهای جداگانه‌شود. این **تجزیهٔ حرارتی** بستگی‌دارد بدرجهٔاستقامت ملکولهائی که تحت تأثیر قرارگرفته اند . ملکولهای برخی اجسام آلـی ممکن است فقط درچند صد درجهٔ حرارت تجزیه شوند وبصورت گروه هائی‌ازاتمها درـ آیند . برخی موادکـه ساختمان مقاومتری دارند مقاومت بیشتری می‌کنند مثلا ملکولهای‌آب برای تباه شدن درجه حرارتی بالاتراز ۱۰۰۰ لازم‌دارند، اما هرگاه درجهٔ حرارت بچند هـزار برسد ملکولی سالم وبرجا نخواهـد ماند وماده‌بصورت مخلوط گازی شکلی‌ازعناصرخالص‌شیمیائی درخواهدآمد.

این وضعی است‌که درسطح خورشید ما ،کـه درجهٔ حرارتش درحدود ۶۰۰۰ است ، حکمفرماست اما در سطح برخی ستاره‌های سرخ[۱] ،کـه درجهٔ کمتری دارند ، برخی ازملکولها وجود دارند و این حقیقت را روش تجزیهٔ طیفی تأییدکرده است .

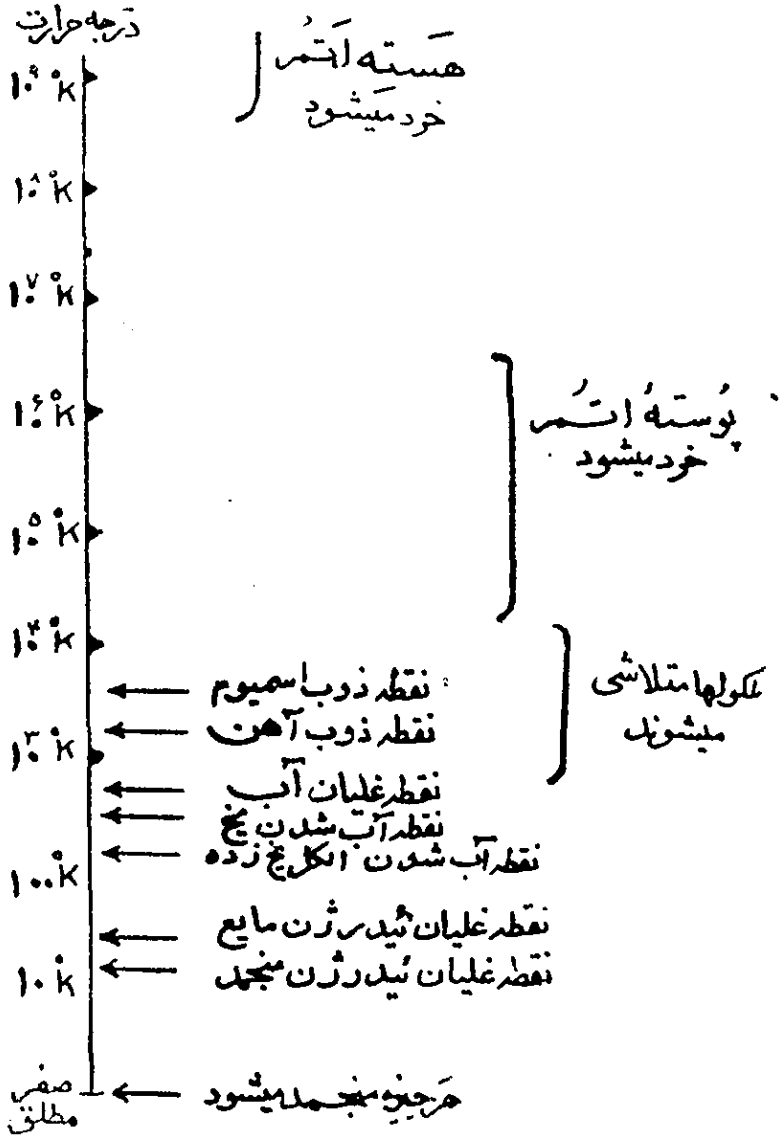
شدت تصادمات حرارتی در درجات عالی حرارت نه فقط ملکولها را باتمهای مرکب‌کنندهٔ آنهاتجزیه می‌کند بلکه باتمها نیزلطمه وارد می‌آورد بدینصورت کـه الکترونهای قسمت خارجی آنها را می‌خراشد . این **عمل یونیزه‌کردن حرارتی**[۲] در درجات حرارت خیلی زیاد ، از قبیل چندین ده هزار یا چندین صد هزار درجـه ، شدیدتر می‌شود و وقتی بدرجهٔ کمال می‌رسیدکه درجهٔ حرارت تا حدود چند ملیون درجهٔ صد قسمتی بالا برود . درچنین درجات حرارت فوق تصور ،که خیلی بالاتر از حرارتی هستندکـه ممکن است ما درآزمایشگاههای خـود بوجود آوریم ولی درداخل ستارگان ثابت و بخصوص در درون خورشید مـا معمول ومتداولند ، اتم بخودی خـود وجودندارد. همهٔ غلافهای‌الکترونی بکلی زدوده می‌شوند وماده عبارت می‌ـ شود ازهسته های برهنهٔ اتم والکترونهای آزادی که وحشی‌صفت درفضا می‌ـ گردند وبا نیروئی دهشت‌انگیز بیکدیگر تصادم می‌کنند . اما باوجود این

---

۱ ـ رجوع کنید بفصل یازدهم .

۲ ـ Thermal ionization

تجزیه شدن و متلاشی شدن اجرام اتمی ماده مشخصات اصلی شیمیائی خودرا حفظ می‌کند تاجائیکه هستهٔ اتمی سالم و دست نخورده می‌ماند. اگر درجهٔ حرارت پائین بیاید هسته هـا الکترونهای خود را بچنگ خواهند آورد و « تمامیت اتمی » تأمین خواهد شد .



ش۷۹
اثر مخرب حرارت

برای آنکه « تجزیهٔ حرارتی » ماده بدرجهٔ کمال برسد وهسته‌های اتم نیز بـه نوکلئونها (یعنی پروتونها و نوترونها) تجزیه شونـد باید درجهٔ حرارت بحداقل چند میلیارد درجه برسد. حتی دردرون داغترین ستارگان نیز چنین حرارتی سراغ نداریم ، اما خیلی محتمل بنظر می‌رسید کـه چند میلیار سال پیش ،که جهان‌ما درعنفوان جوانی بوده چنین درجات حرارتـی

وجود داشته‌است. در آخرین فصل این کتاب باردیگر باین‌موضوع هیجان‌آوار اشاره خواهیم کرد .

باین ترتیب می‌بینیم که تأثیرهیجان حرارتی اینست که ساختمان‌دقیق ماده‌را ، که‌برقانون «کوانتوم» مبتنی‌است، قدم‌بقدم‌ویران سازد و این بنای زیبا و عالی را بتودهٔ درهمی مبدل‌کند که در آن ذراتی‌که بظاهر هیچ قانون و نظامی درحرکاتشان حکمفرما نیست بدور یکدیگرمی‌چرخند و بیکدیگر تصادم می‌کنند .

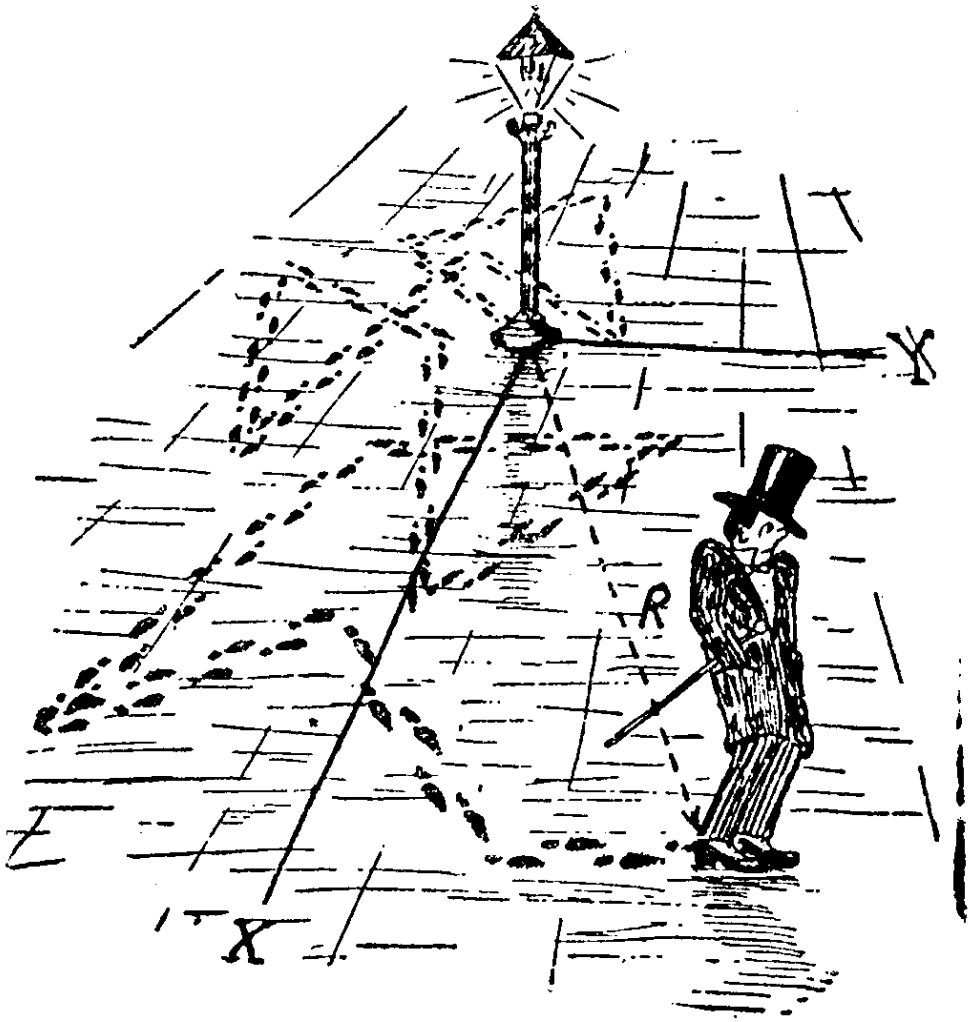
۲ ـ چگونه می‌توان حرکت بیقاعده را تبیین کرد ؟

خطای بزرگی است که فرض شود چون حرکت حرارتی سبب بی نظمی می‌شود باید ازهرگونه‌توضیح‌وتوصیف فیزیکی برکناربماند. درواقع ، نفس این‌حقیقت‌که حرکت‌حرارتی **کاملانامنظم**است‌آنرا تابع‌قاعده ونظام‌نوینی ساخته است بنام **نظام بی نظمی** کـه بهتر است **قانون رفتار آماری** [۱] خوانده شود . برای اینکه بهتربآنچه گفتیم وارد و واقف شویم توجه خودرا بسوی مسئلهٔ معروف «گردش یك مست» معطوف می‌سازیم . فرض‌کنیدکه ما مراقب رفتار مستی باشیم‌که دروسط میدان شهری بپایهٔ چراغی تکیه‌کـرده است (نمی‌دانیم بچه نحوباین نقطه رسیده است) وناگهان تصمیم می‌گیردکه حرکت‌کند اما بهیچ نقطهٔ معینی نرود . پس براه می‌افتد وپس از برداشتن چند قدم تغییرجهت می‌دهد وچند قدم دیگرمی‌رود وبازتغییر امتداد می‌دهد وبهمین ترتیب ، بوضعی‌که مطلقاً قابل پیش بینی نیست ، پس ازهرچند قدم خط سیرخودرا عوض می‌کند (ش۸۰) . باید دیدکه این مرد مست بعدازمثلا صد تغییرجهت درسیر پرپیچ وخم خود درچه فاصله ازپایهٔ چراغ خواهدبود؟ شاید در بدوامر بنظر برسدکه چون اینحرکت هیچ نظمی نداشته و هیچ‌پیچ و خمی با پیش بینی انجام نشده است راهی برای یافتن جواب ایـن مسئله نیست . اما اگرمسئله را بادقت بیشتری مطالعه‌کنیم خواهیم دیدکه هرچند ممکن نیست دقیقاً گفت‌که مست درانتهای سیرمستأنهٔ خود درکدام نقطه‌است

---

۱ ـ Law of Statistical Behavior

اما می‌توان بعد ازعدهٔ زیـادی پیچ وخم **محتمل ترین** فاصلهٔ اورا از پایهٔ چراغ تخمین کرد . برای اینکه با روش دقیق ریاضی بمطالعهٔ ایـن مسئله بپردازیم در روی زمین میدان دو محور مختصات عمود برهم رسم می‌کنیم که



ش ۸۰
گردش یك مست

مبدأشان پایهٔ چراغ باشد و محور X هـا بطرف جلو و محور Y ها بطرف راست‌کشیده شوند . فاصلهٔ مست از پای ستون چراغ را بعد ازطی N پیچ و خم (در شکل ۸۰ N مساوی ۱٤ است) R می‌نامیم ، اگر تصویر های قدم Nام را برروی محورهای مربوط XN و YN بنامیم ظاهراً بر طبق قضیهٔ فیثاغورس چنین‌خواهیم داشت :

$$(X_1+X_2+X_3+\ldots+X_N)^2+(Y_1+Y_2+Y_3+\ldots+Y_N)^2=R^2$$

دراین دستور X و Y ، برحسب امتدادی‌که مست در پیچ وخم درپیش داشته است ، ممکن‌است مثبت یامنفی باشند. باین نکته توجه‌کنیدکه چون حرکت او کاملا بی‌نظم بوده است درسیر او ممکن‌است همان اندازه‌که X و Y مثبت وجود دارد X و Y منفی‌هم باشد. هرگاه بخواهیم عبارتهای داخل پرانتزها را بقوهٔ ۲ برسانیم باید هر جملهٔ داخل پرانتز را هم بقوهٔ ۲ رساند و هم در هریك ازجمله های دیگر ضرب‌کرد . مثلا :

$$(X_1+X_2+X_3+\ldots+X_N)^2$$
$$=(X_1+X_2+X_3+\ldots+X_N)(X_1+X_2+X_3+\ldots+X_N)$$
$$=X_1^2+X_1X_2+X_1X_3+\ldots+X_2^2+X_1X^2+\ldots+X_N^2$$

این حاصل جمع طولانی شامل مربعها (یعنی X_1^2 و X_2^2. . .) و حاصل ضربهای باصطلاح « مختلط » X_1X_2 و X_2X_3 وغیره خواهد بود .

تااینجا هرچه‌گفتیم حساب معمولی بود اما از اینجا ، بسبب بی‌نظمی حرکت مست ، آمار واحتمالات قدم بمیان می‌گذارد . چون مرد مست کاملا بی‌تصمیم حرکت می‌کرده احتمال می‌توان دادکه در مقابل هریك قدم‌که به طرف ستون چراغ برداشته باشد یك قدم هم ازآن دورشده باشد وبرای نصف مقدار X ها احتمال مثبت بودن وبرای نصف دیگر احتمال منفی بودن می‌رود. پس وقتی‌که به «حاصل ضربهای مختلط» توجه‌کنیم می‌بینم‌که درعبارت حاصل جمع ممکن‌است بجمله‌هائی ازنوع X_1X_2 برخوردکه با هم مساوی و مختلف‌العلامه باشند و دو بدو یکدیگر را خنثی‌کنند و از میان بروند ، وهرچه تعداد جمله‌های حاصل جمع بیشتر باشد این احتمال هم زیادتراست پس‌آنچه‌باقی می‌ماند جمله‌هائی ازنوع X^2 است‌که چون بقوهٔ ۲ رسیده‌است مثبت است . بنابراین حاصل‌جمع بصورت :

$$X_1^2+X_2^2+X_3^2+\ldots+XN^2=NX^2$$

درمی‌آیدکه درآن X مقدار متوسط طول تصویرهرخم مسیربرروی محور Xها است .

بهمین‌ترتیب می‌بینیم‌که پرانتز دوم بصورت NY^2 درمی‌آیدکه درآن Y مقدار متوسط تصویر پیچ و خمهای مسیر است وبرروی‌محور Y ها . بار دیگر تأکید می‌کنیم‌که محاسبه‌ای‌کـه انجام دادیـم کاملا جبری نیست بلکه حذف جمله‌های مختلط نوع ، X_1X_2 که مبتنی‌برنامنظم وحساب نشده بودن

خط سیر است بر طبق قواعـد آمار و احتمـالات صورت گـرفته است . پس محتمل‌ترین فاصلهٔ مرد مست ازپای ستون چراغ بوسیلهٔ رابطهٔ :

$$R^2 = N(X^2 + Y^2)$$

یا

$$R = \sqrt{N}\ \sqrt{X^2 + Y^2}$$

معین می‌شود .

اما تصویر متوسط مسیر برروی هر دو محور تصویر بزاویهٔ ٤٥ درجه است و $\sqrt{X^2 + Y^2}$ (باز هم بموجب قضیهٔ فیثاغورس) مساوی طول متوسط پیچهای مسیر می‌شود واگر طول متوسط پیچ مسیر را 1 بنامیم چنین خواهیم داشت :

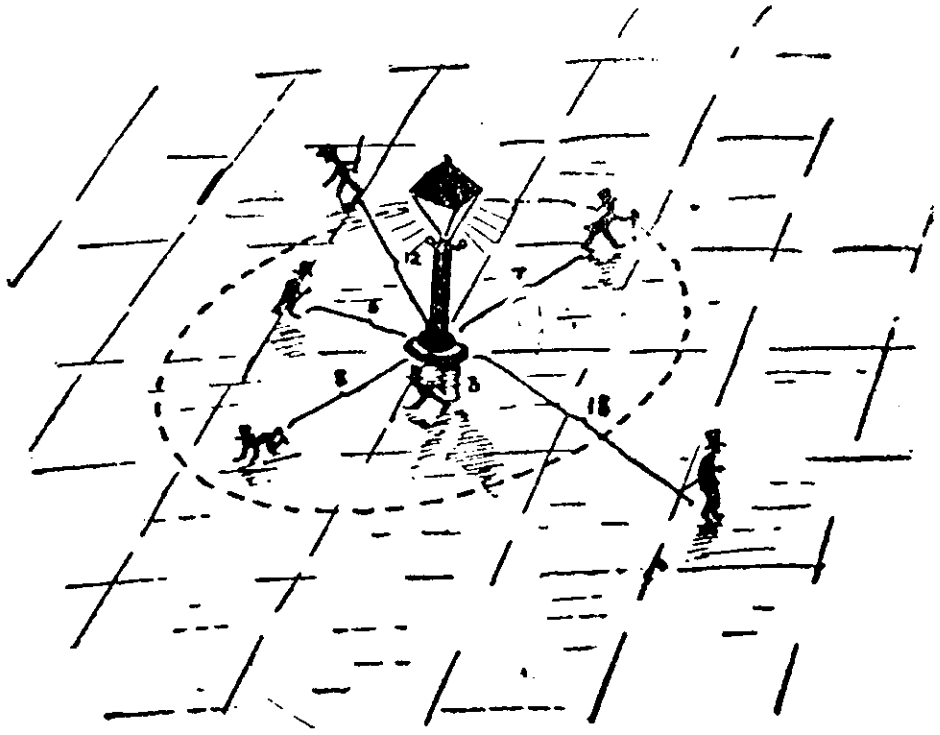
$$R = l\sqrt{N}$$

بعبارت ساده **محتمل‌ترین فاصلهٔ مرد مست ازپایهٔ چراغ پس ازطی عدهٔ زیادی پیچ وخم بی‌نظم مساوی است با طول متوسط هر خم مستقیمی که طی کرده است ضرب در جذر عدهٔ پیچ و خمها .**

پس اگر مست ما درهرپیچی یك متر طی‌کرده باشد فاصله‌اش پس از طی صدمتر ازپای ستون چراغ ده متر بیشتر نخواهد بود در صورتیکه اگر تغییر جهت نداده و راست رفته بود صد متر دور شده بود ، این حکایت بما می‌فهماندکه درموقع گردش اگر هوشیار باشیم بهتراست .

جنبهٔاحتمالی وآماری‌مثالی‌که‌گفتیم از این امرواضح می‌شودکه‌درآن از **محتمل ترین** فاصله صحبت‌کردیم نه ازفاصلهٔ حقیقی یك شخص معین . وقتی‌کـه صحبت از یك مست تنها باشد ممکن است (اگر چه احتمال قوی نمی‌رود)که اصلا ازراه خود منحرف نشود وتغییرجهت ندهد وبخط مستقیم سیرکند . این هـم ممکن است‌که در هر بار که تغییر جهت می‌دهد باندازهٔ ۱۸۰ درجه بپیچد و بعد از هر دو تغییر جهت متوالی بپای ستـون چراغ برسد . اما اگرچندین مست همه ازپای ستون چراغ براه بیفتند و بی‌آنکه بکار یکدیگر کاری داشته باشند بحرکت پرپیچ وخم خود بپردازنـد پس از مدتی بالنسبه طولانی درناحیه‌ای گرداگرد پایهٔ چراغ پراکنده خواهند بود وفاصلهٔ متوسط آنان را ازپای ستون می‌توان بقاعده‌ای‌که گفتیم حساب‌کرد. نمونه ای از اینگونه پراکندگی‌که نتیجهٔ حرکت مستانه است در شکل ۸۱

نشان داده شده‌است که در آن وضع شش مست راهنورد معین گردیده‌است .لازم بگفتن نیست که هرچه عدهٔ مستان بیشتر وهرقدر عدهٔ پیچ و خمهائی که هر یك پیموده است زیادتر باشد محاسبه دقیقتر خواهد بود .



(شکل ۸۱)
پراکندگی احتمالی شش مست دراطراف پایهٔ چراغ

حالا بجای مستها برخی موجودات میکروسکپی ، مانند اسپورهـای گیاهی یا باکتریهائی که درمایعی بحال تعلیق هستند درنظر بگیرید ودرست همان چیزی راکه براون[۱] گیاه شناس در میکروسکپ خوددید مجسم خواهید کرد .

راست است که اسپورها و باکتربها مست نیستند اما یطوریکـه پیشتر گفتیم براثر تصادم با ملکولهائی که دستخوش حرکت حرارتی هستند پیوسته باینسوی وآنسوی رانده می‌شوند وبناچار همان مسیر پرپیچ وخمی را می‌پیمایندکه مردی که تحت تأثیر الکل همهٔ هوش وحواس خود را ازدست داده است طی می‌کند .

اگر ازپشت میکروسکپ بحرکت «براونی» عدهٔ زیادی ذرات کوچك که دریك قطرهٔ آب بحال تعلیق باشند نگاه کنید دقت خود را بگروه خاصی

۱ـ Dr Robert Brown گیاه شناس اسکاتلندی (۱۷۷۳ تا ۱۸۵۸ م)

ازآنهاکه دریك لحظه درناحیهٔ کوچك معینی (که بمثابهٔ پایهٔ چراغ است) متمرکز شده‌اند معطوف خواهید ساخت و متوجه خواهید شدکه بمرور زمان آنهـا در سراسر میدان دید میکـروسکپ پراکنده خواهند شد و افزایش فاصلهٔ متوسط آنها ازمبداء متناسب خواهد بود با جذرفاصلهٔ زمانی‌که برطبق قاعدهٔ ریاضی در مورد گردش مرد مست حساب کـردیـم . البته همین قاعدهٔ حرکت درمورد هرملکول منفرد قطرهٔ آب نیز جاری است اما شما نمی‌توانید ملکولهای منفرد را ببینید و اگر هم می‌توانستید ببینیدآنها را ازیکدیگر تمیز نمی‌توانستید داد .

برای اینکه چنین حرکتی قابل رؤیت شود باید ملکولهائی ازدونوع مختلف‌که ، مثلا بوسیلهٔ رنگ خود ، ازیکدیگر متمایز باشند بکاربرد. مثلا می‌توانیم نیمی ازیك لولهٔ امتحان شیمی را ازمحلول پرمنگنات پتاسیم ،که بآب رنگ ارغوانی قشنگی‌می‌بخشد ، پرکنیم ، سپس اگرمقداری‌آب خالص بریزیم و دقت‌کنیم‌که دوقشر مایع باهم مخلوط نشوند می‌بینم‌که رنگ‌کم‌کم درآب خالص راه پیدا می‌کند واگر باندازهٔ کافی صبرکنیم خواهیم دید که آب از ته لوله تا بالای آن بطور یکنواخت رنگ می‌شود . این پدیده را ، که هرکسی باآن‌آشناست، **تفرق** می‌گویند ونتیجهٔ حرکت بی‌نظم ملکولهای رنگ‌است درمیان ملکولهای‌آب . باید هرملکول پرمنگنات پتاسیم را مانند شخص مستی فرض‌کنیم‌که براثر فشار ملکولهای دیگر پیوسته باینطرف وآن طرف‌کشیده می‌شود . چون درآب ملکولها بیکدیگرچسبیده‌اند (درصورتیکه درگازها زیادازهم پراکنده‌اند) مسیرآزادی‌که بین دوتصادم متوالی‌برای هر ملکول باقی می ماند بسیارکوتاه و درحدود یك پنجاه میلیونیم $\frac{۱}{۵۰۰۰۰۰۰}$ سانتیمتر است . ازطرف دیگر چون ملکولها در درجهٔ حرارت معمولی اطاق با سرعت متوسط یك هفتم‌کیلو متر درثانیه جابجا می شوند زمان لازم برای اینکه ملکولی ازیك تصادم تا تصادم بعدی سیرکند یك میلیون میلیویم ثانیه است ، بدین ترتیب هر ملکول رنگ در طول فقط یك ثانیه باید یك میلیون میلیون تصادم را تحمل‌کند و بهمین عده دفعات امتداد مسیر خود را تغییر دهد . مسافتی‌که در ثانیهٔ اول طی خواهد کرد عبارت خواهد بود از یك

میلیونیم‌سانتیمتر (طول معبر آزاد) ضرب درجذر یك میلیون میلیون. این محاسبه سرعت تفرق را بقرار یك پنجاهم سانتیمتر درثانیه بدست می‌دهد. این تغییر مکان بسیارکند است زیراکه اگر تصادم بین ملکولها تغییرامتداد حرکت آنها را موجب نمیشد هرملکول در ثانیه ۱۵۰ متر دور می‌گردید. هرگاه ۱۰۰ ثانیه تأمل‌کنید طول مسیر ملکول درکشاکش و تزاحم سایر ملکولها $\sqrt{۱۰۰} = ۱۰$ بار بیشتر می شود و در ده هزار ثانیه (تقریباً سه ساعت) مقدار جابجا شدن در نتیجهٔ تفرق $\sqrt{۱۰۰۰۰} = ۱۰۰$ مرتبه بیشتر یعنی در حدود ۲٫۵ سانتیمتر خواهد بود. آری، تفرق پدیده ایست بسیار کند. وقتی‌که حبهٔ قندی درفنجان‌چای خود می‌اندازید، بهتراست‌که چای را بهم بزنید نه آنکه صبرکنید تا ملکولهای قند بر اثر حرکت عادی خود در سراسر فنجان متفرق شوند.

برای اینکه مثال دیگری برای عمل تفرق، که یکی از مهمترین اعمال فیزیك ملکولی است، بیاوریم طرزانتشار حرارت در یك سیخ آهنین بخاری راکه یك سرآن را در بخاری میگذارید مورد مطالعه قرار می‌دهیم. بتجربه میدانیدکه تقریباًمدت درازی لازم است تا سر دیگر سیخ آنقدرداغ شودکه تحمل پذیر نباشد اما شاید ندانید که‌انتشار حرارت در فلز بوسیلهٔ عمل تفرق الکترونها انجام می شود. بلی، سیخ بخاری مانند هر شیئی فلزی دیگر دارای الکترونهاست. تفاوت بین فلز ومواد دیگر، مثلاشیشه، دراین‌است‌که اتمهای فلزتعدادی از الکترونهای خارجی خودرا آزادمیکنند و این الکترونها، مانند ذرات گاز معمولی، براثر حرکت بی‌نظم حرارتی در سراسر فلز بحرکت درمی‌آیند.

نیروهای سطحی‌حدود خارجی قطعهٔفلزمانع‌خارج شدن این‌الکترونها میشوند [۱]، امّاالکترونها درحرکت دردرون فلز تقریباً بکلی آزادند. اگر نیروی الکتریکی بیك سیم‌فلزی تأثیرکند الکترونهای آزاد در امتدادنیرو در طول سیم بحرکت درمیآیند و پدیدهٔ جریان برق را بوجود می آورند.

---

۱ ـ وقتی‌که مایك‌سیم فلزی‌را تا درجهٔ خیلی زیاد حرارت‌می‌دهیم‌حرکت حرارتی الکترونها دردرون آن شدید تر می‌شود و بعضی از الکترونها از سطح فلزخارج می‌شوند. این همان‌پدیده‌ایست‌که درلوله‌های الکترونی‌مشاهده‌می‌شود و همهٔ علاقمندان برادیو با آن آشناهستند.

سب اینکه غیر فلز ها عایق خوبی هستند واز هدایت الکتریسته جلوگیری می کنند اینستکه همهٔ الکترونهای آن ها باتمها چسبیده اند و آزادی حرکت ندارند .

وقتی‌که یك سر میلهٔ فلزی در آتش قرار می گیرد حرکت حرارتی الکترونهای آزاد این‌قسمت بمقدار زیاد افزوده می شود و الکترونهای تند حرکت شروع میکنند به منتشر شدن در قسمت های دیگر فلز و رسانیدن کار مایهٔ حرارتی اضافی بآن قسمتها . این عمل درست به تفرق رنگ در ملکولهای آب شباهت دارد با این تفاوت که ما در آنجا دو نوع ملکول داشتیم یعنی ملکولهای رنگ و ملکولهای آب ولی دراینجا ناظر **تفرق گاز الکترونهای داغ در ناحیه‌ای هستیم که تحت اشغال گاز الکترونهای سرد است** . قاعدهٔ حرکت مستانه در اینجا جاری است و مسافتی که حرارت در آن انتشار می‌یابد به تناسب جذر زمان‌لازم برای‌انتشار افزایش پیدا می کند .

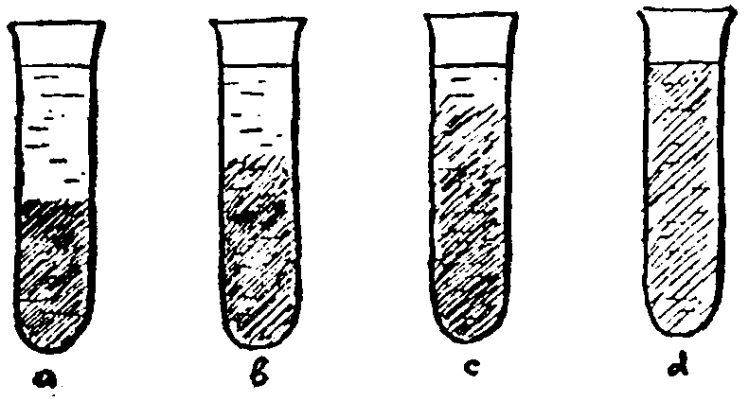
آخرین مثالی‌که برای تفرق می‌آوریم ازنوعی است‌که ازجنبهٔ‌کیهانی حائز اهمیت‌است . درفصلهای آینده‌خواهیم دیدکه‌کار مایهٔ‌خورشیدمادراعماق آن بوسیلهٔ‌تبدلات کیمیائی عناصر شیمیائی‌حاصل می‌شود. این‌کار مایه‌بصورت تشعشعات‌شدید آزاد می‌شود و «ذرات نور» ، یاکوانتومهای نور ، سفر خودرا از قسمتهای درونی خورشید بطرف سطح‌آن آغاز می کنند . چون سرعت نور ثانیه ای ۳۰۰۰۰۰ کیلو مترو شعاع خورشید فقط ۷۰۰۰۰۰ کیلو متراست اگرکوانتوم نوربدون انحراف وبراه مستقیم سیرکندکمی بیشتر از دوثانیه طول می کشد تا به‌سطح خورشیدبرسد .اما درحقیقت‌چنین نیست‌وکوانتومهای نور در سیر خود بطرف خارج بدفعات بیرون از شماربا اتمهاوالکترونهای موجود در خورشید تصادم می کنند .فضای آزادی‌که یك‌کوانتوم نورمی‌تواند بین هر دو تصادم در طول خطسیر خود در داخل خورشید طی کند در حدود یك سانتیمتراست (که البته‌از فضای آزادیك ملکول خیلی بیشتراست)وچون شعاع‌خورشید ۷۰۰۰۰۰۰۰۰۰سانتیمتر است‌کوانتوم‌نورباید^{۲}(۷×۱۰۱۰) یا ۵×۱۰^{۲۱} قدم مستانه بر دارد تابسطح خورشید برسد . چون برای هر قدم $\frac{۱}{۳\times۱۰^{۱۰}}$ یا ۳×۱۰$^{-۱۰}$ ثانیه وقت لازم است برای اینکه کوانتوم

نور بسطح خورشید برسد $۱۰^{۱۱} \times ۵ر۱ = ۱۰^{۲۱} \times ۵ \times ۱۰^{-۱۱} \times ۳$ ثانیه، یا تقریباً ۵۰۰۰ سال ، است ! پس در اینجا هم می‌بینیم که‌چقدرعمل تفرق کند انجام میشود . برای نور ۵۰ قرن‌لازم‌است که ازمرکز خورشید بسطح آن‌برسد درصورتیکه پس‌از رسیدن بفضای خالی‌بین‌ستارگان وسیر بخط مستقیم‌فاصلهٔ بین‌خورشید تا زمین را فقط درهشت دقیقه طی‌می‌کند !

۳ ـ حساب احتمالات

حالت تفرق مثال ساده‌ایست ازبکار بستن قانون آمار و احتمالات در مسئلهٔ حرکت ملکولی . پیش ازاینکه در این‌بحث پیشتر رویم‌وسعی کنیم‌که قانون بسیار مهم « انتروپی »[۱] راکه بر رفتار حرارتی هـر جسم مادی ، از قطرهٔ ناچیز مایع تاجهان بیکران ستارگان ، حکمفرماست درك کنیم توجـه بیشتری بطرز محاسبهٔ‌احتمالات دروقایع ساده‌یا پیچیدهٔ مختلفی‌که دراطراف ماروی میدهد بذل میکنیم .

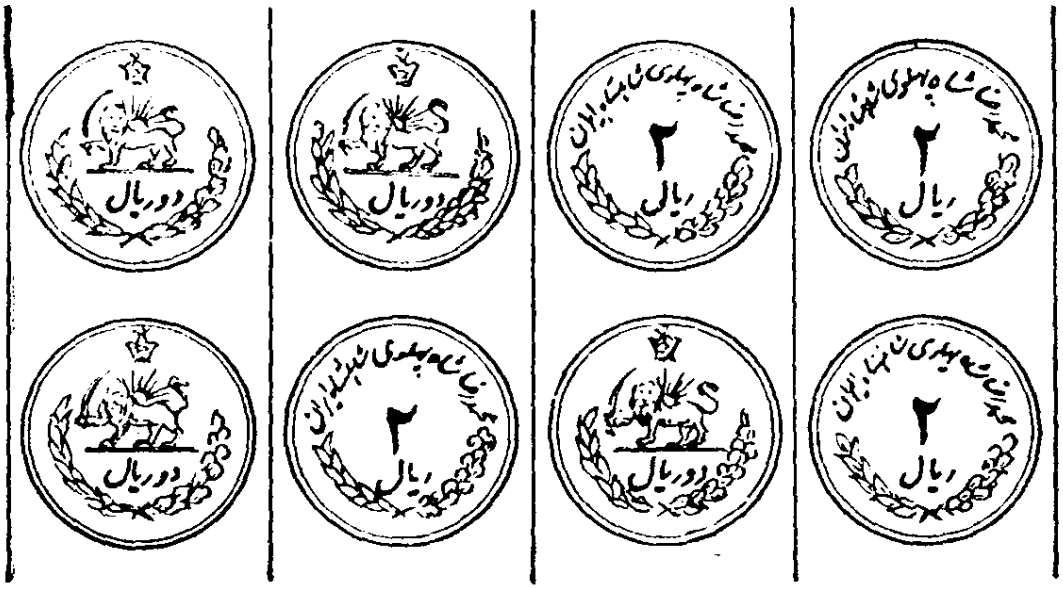
ساده‌ترین مسئلهٔ حساب احتمالات وقتی پیش‌می‌آید که‌شما بامسکوکی شیر یاخط بازی‌می‌کنید . هرکسی‌میداندکه در این‌مورد (درصورتیکه‌تقلبی در میان نباشد) احتمال آمدن شیر و خط مساوی است . معمولامی‌گویندکه احتمال آمدن‌شیر وخط **پنجاه‌وپنجاه** است اما درریاضی بیشترمتداول‌است کـه گفته شود احتمال **نصف و نصف** یـا **نیمانیم** است . هرگاه احتمال



بدست آمدن شیر را باحتمال بدست آمدن خط بیفزائید $۱ = \frac{۱}{۲} + \frac{۱}{۲}$ بدست می‌آید . در تئوری احتمالات وحدت مرادف قطعیت است وشما اطمینان داریدکه وقتی پول را بهوا انداختید یاشیر خواهدآمد و یاخط ، مگراینکه

۱ ـ Entropy یك عامل ریاضی در دستگاه ترمودینامیك .

پول بغلتد و پنهان شود یا بی آنکه اثری برجای گذارد از میان برود .
حالا فرض کنید که پولی رادوبـار متوالیاً ، یا دوپـول را باهم ، بهوا



شکل ۸۳
چهار حالت مختلف وقتی که با دو مسکوك شیر یاخط بازی کنیم

پرتاب کنید . خیلی بآسانی فهمیده میشودکه برای شما احتمال پیش آمدن چهار حالت است که در شکل ۸۳ نشان داده شده است .

در حالت اول دوشیر و در حالت آخردو خط آمده است ، در حالتهای دوم و سوم یك شیر است و یك خط وهیچ اهمیت نداردکه خط جلوتر آمـده باشد یاشیر ، و نتیجهٔ هردو یکی است . پس میگوئید که احتمال آمدن دو شیر ۱ از ٤ یا $\frac{۱}{۴}$ است . احتمال آمدن دوخط نیز $\frac{۱}{۴}$ ، اما احتمال آمدن یك شیرویك خط ۲ از ٤ یا $\frac{۱}{۲}$ است . دراینجا هم $\frac{۱}{۲} + \frac{۱}{۴} + \frac{۱}{۴} = ۱$ است یعنی شما اطمینان داریدکه یکی ازسه صورتی راکه گفتیم خواهید داشت . حالا ببینیم که اگر مسکوك را سه بار بهوا پرتاب کنیم چه خواهد شد .

برروی هم ۸ احتمال وجود خواهدداشت که دراین جدول خلاصه می‌شود:

پرتاب بار اول	ش	ش	ش	ش	خ	خ	خ	خ
پرتاب بار دوم	ش	ش	خ	خ	ش	ش	خ	خ
پرتاب بار سوم	ش	خ	ش	خ	ش	خ	ش	خ
	۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷	۸

اگر درجدول دقت کنیدمی‌بینید که ۱ از۸ احتمال برای آمدن‌سه‌شیر است ، همچنین برای‌آمدن سه‌خط. احتمالات‌دیگر بطور مساوی بین دوشیرو یك‌خط یادوخط ویك‌شیرتقسیم میشود یعنی برای هریك ۳ از ۸ احتمال یـا احتمال $\frac{۳}{۸}$ وجود دارد .

جدول احتمالات مختلف‌خیلی‌بسرعت رشدمیکنداما یك مرحلهٔدیگررا هم با پرتاب‌کردن پول ٤ باربهوا مطالعه میکنیم . دراینجا ۱٦احتمال‌داریم بدین شرح :

پرتاب‌باراول	ش	ش	ش	ش	ش	ش	ش	ش	خ	خ	خ	خ	خ	خ	خ	خ
پرتاب بار دوم	ش	ش	ش	ش	خ	خ	خ	خ	ش	ش	ش	ش	خ	خ	خ	خ
پرتاب‌بارسوم	ش	ش	خ	خ	ش	ش	خ	خ	ش	ش	خ	خ	ش	ش	خ	خ
پرتاب‌بارچهارم	ش	خ	ش	خ	ش	خ	ش	خ	ش	خ	ش	خ	ش	خ	ش	خ
	۱	۲	۲	۳	۲	۳	۳	٤	۲	۳	۳	٤	۳	٤	٤	٥

در اینجا احتمال آمدن چهارشیر یاآمدن‌چهار خط $\frac{۱}{۱٦}$ ، احتمـال آمدن سه‌خطویك شیریاسه شیرو یك‌خط $\frac{٤}{۱٦}$ یا $\frac{۱}{٤}$ ، و احتمال آمدن‌دو شیر و دو خط $\frac{٦}{۱٦}$ یا $\frac{۳}{۸}$ است .

اگربخواهید بهمین ترتیب برای تعداد دفعات بیشتری جدول تنظیم کنید طولی نمی‌کشد که‌جدولها آنقدر مفصل میشودکه روی کاغذ برای آنها جا نخواهدبود. مثلا اگر ۱۰ مرتبه پرتاب را در نظربگیرید ۱۰۲٤ احتمال گوناگون‌خواهیدداشت(یعنی۲×۲×۲×۲×۲×۲×۲×۲×۲×۲ احتمال) . اما بهیچ وجه لازم نیست‌که چنین جدولهای‌مفصلی تهیه شودزیرا که میتوان قواعدسادهٔ احتمالات را در مثالهای ساده ای‌که گفتیم مطالعه‌کرد ودر حالتهای پیچیده تر از آنها استفاده نمود .

نخست‌می‌بینید که‌احتمال‌آمدن‌دوشیرمساوی‌است باحاصل‌ضرب‌احتمالات آمدن شیر درپرتابهای اول ودوم . درحقیقت $\frac{۱}{۲} \times \frac{۱}{۲} = \frac{۱}{٤}$. همچنیـن

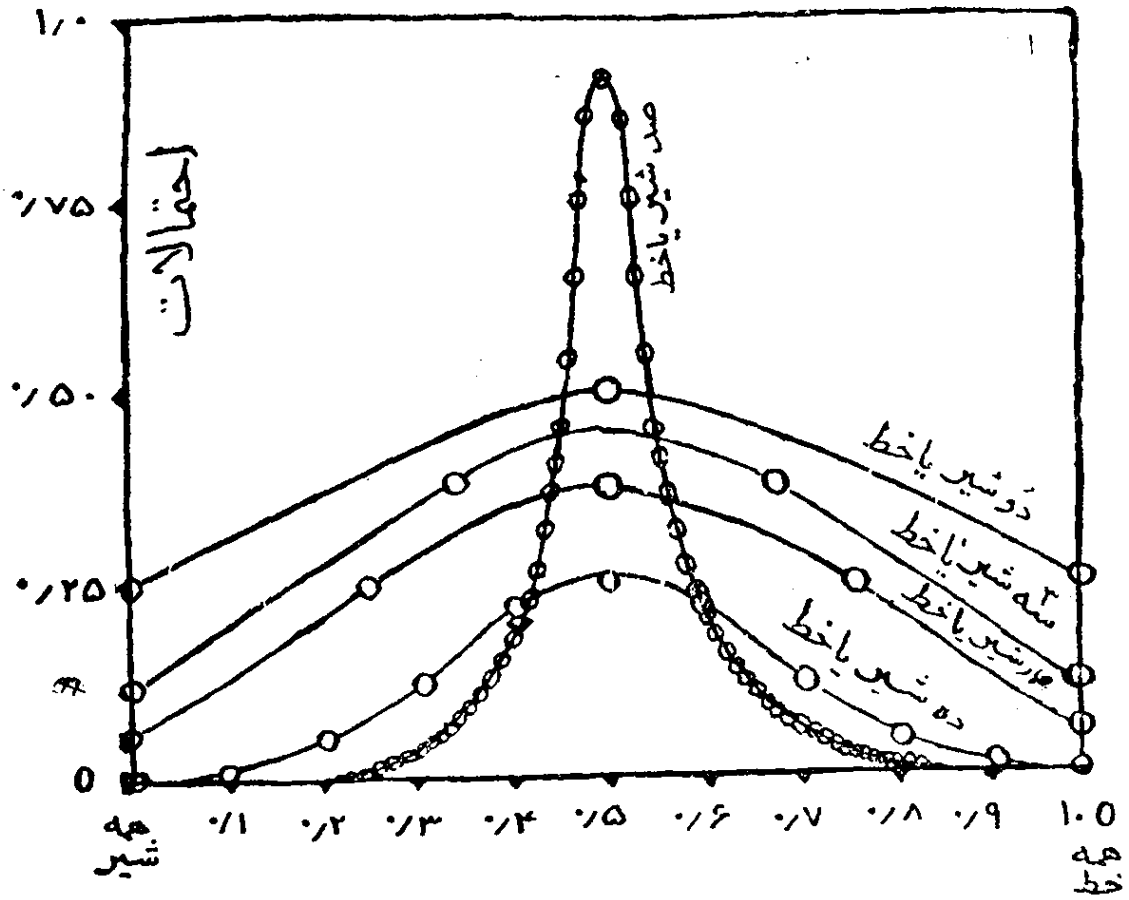
احتمال آمدن۳شیر در٤پرتاب حاصلضرب احتمالات آمدن‌شیراست‌درهرپرتاب جداگانه ($\frac{۱}{۲}\times\frac{۱}{۲}\times\frac{۱}{۲}\times\frac{۱}{۲}=\frac{۱}{۱۶}$ و $\frac{۱}{۲}\times\frac{۱}{۲}\times\frac{۱}{۲}=\frac{۱}{۸}$) . باین ترتیب اگرکسی از شما بپرسدکه احتمال آمدن شیررا در هرپرتاب ، وقتی که‌پول را ده بار پرتاب کنیم ، چگونه میتوان بدست آورد میتوانید بآسانی جواب دهید که $\frac{۱}{۲}$ را ده بار بایددرخودش ضرب‌کرد . جواب۰٫۰۰۹۸ است ومی‌بینید که‌براستی احتمال خیلی ضعیف‌است ، یعنی تقریباً یك‌درهزار از اینجا قاعدهٔ « ضرب احتمالات » بدست می‌آید ، بدین‌شرح : **هـر گاه شما طالب چند چیز گوناگون باشید ، احتمال ریاضی نیل بآنها را میتوانید باین‌ترتیب بدست آورید که احتمال بـدست آوردن هریك از آن‌چندچیز راحساب‌کرده همهٔ احتمالات‌رادرهم‌ضرب کنید .** اگر خواهان چیزهای مختلف باشید وبرای بدست آوردن‌هیچیك‌از آنها احتمال‌خاصی‌درمیان نباشد، احتمال‌بدست‌آوردن همهٔ آنها بقدری‌کم‌است که موجب دلسردی ونا امیدی است !

قاعدهٔ دیگری هم‌برای « جمع‌احتمالات » هست‌بدین شرح : **اگرفقط طالب یك چیز از چند چیز باشید (هرکدام از آنها باشد فرقی ندارد) احتمال‌ریاضی‌نیل‌بآن باین‌ترتیب‌بدست می‌آیدکه‌احتمال بدست آوردن هریك از آن‌چندچیز رابدست آورید وهمهٔ‌احتمال را باهم جمع‌کنید .**

توضیح‌این‌مطلب‌رادراین‌مثال‌میتوان‌یافت‌که پولی‌را دوبار بهوا پرتاب کنیدو بخواهیدکه «یك‌شیرودوخط »یا«دوخطویك‌شیر» بیاید. احتمال‌هریك‌از ترکیبهائی‌که جلوتربآنها اشاره‌کردیم $\frac{۱}{۴}$ است واحتمال بدست‌آمدن یکی از آنهـا $\frac{۱}{۴}+\frac{۱}{۴}+\frac{۱}{۴}$ میباشد. باین ترتیب اگرشما مایل‌باشیدکه فلان ، **و** فلان ، **و** فلان رابدست آورید احتمالات ریاضی‌آنها را درهم ضرب‌میکنید اما اگر بخواهیدکه‌فلان ، **یا** فلان ، **یا** فلان را داشته باشید آن احتمالات‌را بیکدیگر می‌افزائید .

در حالت‌اول هرچه تعداد خواسته‌ها بیشتر شود احتمال بدست آوردن

آنها برای شما که خواهان همه هستید کمتر میشود . درحالت دوم که فقط شما خواستار یکی هستید هرچه تعداد خواسته ها بیشتر شود احتمال بدست آوردن یکی از آنها برای شما زیادتر میگردد.



شکل ۸۴
تعداد نسبی شیرها وخطها

آزمایشی که باشیر یاخط کردن پول کردیم مثال بسیار خوبی است برای درك معنی این قول که هرچه تعداد دفعات آزمایش بیشتر باشد قوانین احتمالات درست تر خواهند بود . این موضوع رادرشکل ۸٤ مجسم ساخته ایم . دراین شکل احتمال بدست آوردن تعداد نسبی متفاوتی ازشیروخط در مقابل دو ، سه ، چهار ، ده وصدمرتبه پرتاب مسکوك نشان داده شده است و می بینید که هرچه تعداد پرتابها زیادتر شود منحنی احتمالات شیروخط حادتر میشود وماکزیمم نسبت $\frac{۵۰}{۵۰}$ بیش از پیش محسوس میگردد .

باین ترتیب دردو یا سه ، حتی درچهار ، مرتبه شیریاخط کردن احتمال اینکه هردفعه شیریا هردفعه خط بیاید قابل توجه است اما در هر ده مرتبه

شیریا خط احتمال نـود درصد شیرها یا خطها خیلی دورتر است . برای صد یا هزار مرتبه ، منحنی احتمالات بباریکی سوزن می‌شود و احتمال بدست آمدن بیشتراز ۵۰ درصد شیریـا ۵۰ درصد خط عملا از میان می‌رود .

اکنون قواعد سادهٔ حساب احتمالات راکه آموخته‌ایم برای پی‌بردن باحتمالات نسبی ترکیبات مختلف پنج ورقی‌که دربازی معروف پوکرمعمول است بکار می‌بندیم .

درصورتیکه پوکر بلد نباشید بایـد بدانیدکه دراین بازی هریك از بازی‌کنها پنج ورق دارد وهرکس‌که ترکیب ورقهایش از دیگران بالاتر باشد برنده است . دراینجاازاین امرکه ممکن است شما بامید بدست‌آوردن ورقهای بهتری بعضی از ورقهای خود را عوض‌کنید ، و از پیچیدگیهائی‌که درنتیجهٔ این‌عوض‌کردن ورق‌پیش خواهد آمد ، صرف نظرمی‌کنیم . همچنین ازاین می‌گذریم‌که شما ممکن است بـرای ضعیف کردن روحیهٔ رقبای خود تدبیری بکار ببرید و « بلوف » بزنید ووانمودکنیدکه ورقهای بهتری دردست دارید. چون این بلوف زدن در حقیقت مزهٔ بازی است ، فیزیك‌دان معروف دانمارکی **نی‌یل‌بوهر** نوع تازه‌ای ازبازی پیشنهادکردکه درآن ورق بکار نرودوفقط بازی کنندگان با توجه بترتیب ورقهای موهومی که ممکن است دردست‌داشته‌باشند بیکدیگر بلوف‌بزنند . دراینگونه بازی حساب احتمالات مطلقاً تأثیر و دخالتی ندارد زیراکه فقط اثرروحی درآن بسیار مؤثراست .

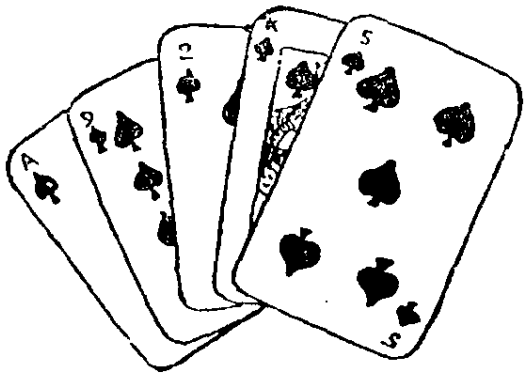
برای اینکه‌درمحاسبهٔ احتمالات‌اندکی ورزیده شویم‌بحساب احتمالات چند ترکیب ورقها دربازی پوکر می‌پردازیم . یکی از این ترکیبها **رنگ** است‌که با پنج ورق از یك خال تشکیل می‌شود (شکل۸۵) .

اگر بخواهید رنگ بدست آورید اولین ورقی که می‌گیرید هرچه می‌خواهد باشد باید شانس بدست آوردن چهار ورق دیگر ازهمان رنگ را حساب‌کنید . دریك دست ورق ۵۲ ورق است ، یعنی از هر خال ۱۲ ورق[۱]، پس وقتی‌که ورق گرفتید ۱۲ورق دیگرازهمـان خال درمیان ۵۱ ورق دیگر باقی می‌ماند و احتمال بدست آوردن یکی دیگر از آنها $\frac{۱۲}{۵۱}$ است . بهمین نحواحتمال‌بدست‌آوردن ورقهای سوم‌وچهارم وپنجم ازآن خال $\frac{۱۱}{۵۰}$ و $\frac{۱۰}{۴۹}$ و $\frac{۹}{۴۸}$

---

۱ ــ از اشکالهائی‌که بر اثر وجود ورق «ژوکر» در محاسبه پیش‌می‌آید صرفنظرمی‌کنیم. ژوکر یك ورق اضافی است‌که بدلخواه بازیکن بجای هرورقی محسوب می‌شود .

است . اگر شما بخواهید همهٔ پنج ورق شما از یك رنگ باشند باید قاعدهٔ ضرب احتمالات را بکار برید . بـا این کار احتمال بدست آوردن « رنگ » عبارت‌خواهدبود از $\frac{۱۳۰۶۸}{۵۹۹۷۶۰۰} = \frac{۹}{٤۸} \times \frac{۱۰}{٤۹} \times \frac{۱۱}{۵۰} \times \frac{۱۲}{۵۱}$ یا تقریباً ۱در ۵۰۰.



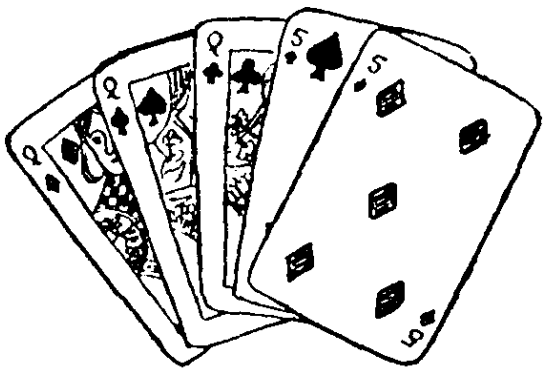
شکل ۸۵
رنگ (پیك)

اما لطفاً خیال نکنیدکه‌که در هر ۵۰۰ دست بازی یك دست «رنگ» خواهید آورد . ممکن است هیچ رنـگ نیاورید یا دودست‌بیاورید . اینجا حساب احتمال است و شاید شما خیلـی بیشتر از ۵۰۰ دست ورق بکشید و «رنگ» نشود، یا همان دست اول‌که ورق میکشید رنگ بیاورید . همهٔ‌آنچه از تئوری احتمالات نتیجه می‌شود اینست که **شاید برای شما ازهر ۵۰۰ دست بازی یك دست رنگ بیاید .** با همین روش و طرز محاسبه می‌توانیدبدانیدکه در هر ۳۰ ۰۰۰ ۰۰۰ دست بازی احتمال آوردن ۵ آس (که یکی ازآنها ژوکرباشد) میرود .

ترتیب دیگری دربازی پوکر ،که کمیابتر و در نتیجه ارزنده‌تراست، « فول » است . فول عبارت‌است از یك «پر» ویك « سه » (یعنی دو ورق بیك ارزش از دو خال وسه ورق دیگرکـه باز یك ارزش داشته باشند از سه خال مختلف ، مثلا مانند دو ۵ و سه بی‌بی ، شکل ۸۶)

وقتی‌که بخواهید « فول » داشته باشید مهم نیست‌که دو ورقی‌که اول می‌گیرید چه باشد بلکه باید از سه ورقی که بعداً می‌گیرید دو تا دارای ارزش یکی از اولین ورقها و سومی دارای ارزش ورق دیگر باشد . چون ٦ورق بارزش دو ورقی‌که شما گرفته‌اید وجود دارد (مثلا اگرشما یك بی‌بی ویك۵ گرفته باشیدسه‌بی‌بی وسه ۵ دیگر در دستهٔ ورقها موجوداست)احتمال

اینکه ورق سوم درست و مناسب باشد به نسبت ۶ به ۵۰ یا $\frac{۶}{۵۰}$ است، و احتمال اینکه ورق چهارم درست باشد $\frac{۵}{۴۹}$ است زیرا که در ۴۹ ورقی که باقیمانده ۵ ورق مناسب وجود دارد ، و احتمال مناسب بودن ورق پنجم $\frac{۴}{۴۸}$ است. پس برروی هم احتمال آمدن فول $\frac{۱۲۰}{۱۱۷۶۰۰} = \frac{۴}{۴۸} \times \frac{۵}{۴۹} \times \frac{۶}{۵۰}$ ، یا تقریباً نصف احتمال آمدن رنگ ، است .



ش ۸۶

بهمین ترتیب می‌توانید احتمال بدست آمدن ترکیبهای دیگر ، مثلا «استریت» یعنی ۵ ورق با ۵ ارزش متوالی ، را حساب کنید . همچنین تغییری راکه بر اثر وجود ژوکر در احتمالات ممکن است روی دهد ، یا احتمالات را در صورت تعویض ورقهای اولی که گرفته‌اید ، می‌توانید بدست آورید .

با این قبیل محاسبات معلوم می‌شود که تقدم و تأخر ترکیب ورقها در بازی پوکر از حیث ارزش درحقیقت با نظم حساب احتمالات آنها تطبیق می‌کند. اما مؤلف این کتاب نمی‌داند که آیا این ترتیب را یکی از ریاضی دانان زمان قدیم قائل گردیده و پیشنهاد کرده است یا اینکه فقط نتیجهٔ تجربهٔ ملیونها مردمی است که در تالارهای آخرین مد قمارخانه ها یا دخمه‌های تاریکی که درسراسر جهان باین کار اختصاص دارد پول خود را بخطر انداخته‌اند .اگر شق دوم درست باشد باید قبول کنیم که مطالعهٔ آماری خوبی از احتمالات نسبی حوادث بغرنج نصیب ما شده است .

مثال جالب دیگری از حساب احتمالات ، اما مثالی که بجوابی کاملا برخلاف انتظار می‌رسد، عبارت است ازمسئلهٔ « انطباق تاریخهای تولد » . سعی کنید بیاد بیاورید که آیا هیچگاه شده است که یك روز برای دو جشن

تولد دعوت شده‌باشید ؟ شاید بگوئیدکه احتمال دو دعوت در یك روز خیلی کم است زیراکه تقریباً ۲٤ دوست دارید که شمارا در جشن‌تولدخود دعوت می‌کنند و سال ۳٦۵ روز دارد که روز تولد هریك ازآنان بریکی ازآنها منطبق شود .پس با این همه امکانی‌که برای‌انتخاب تاریخ‌هست این‌احتمال خیلی‌ضعیف است‌که ۲ تن ازدوستان‌شما «کیك» جشن‌تولد خودرا دریك‌روز تقسیم‌کنند .

اما ، هر قدر هم باور نکردنی بنظربرسد ، عقیدهٔ شما در این مورد بکلی خطاست . حقیقت آنکه بسیار احتمال می‌رودکه در میان ۲٤ دوست شما تاریخ تولد دو نفریا چندین دونفر یکی باشد ، در واقع احتمال‌امکان چنین پیش‌آمدی بیشتر از احتمال عدم امکان آن است .

برای تحقیق این‌امر می‌توانید فهرست تاریخ تولد ۲٤ نفر را تنظیم کنید ، یا بطور خیلی ساده‌تر تاریخ تولد ۲٤ نفر راکه نامشان پشت سرهم دریکی ازصفحات غیرمشخص‌کتابی ، مثلاکتاب « شرح احوال مردان نامی» ثبت شده باشدباهم مقایسه‌کنید. برای بدست‌آوردن‌میزان احتمال می‌توانید قواعد سادهٔ حساب احتمالات راکه در مسائل شیریا خط وپوکر یادگرفتید بکار ببرید .

فرض‌کنید اول سعی‌کنیم‌که احتمال‌آنراکه دریك دستهٔ بیست وچهار نفری هرکس روز تولد جداگانه ای داشته باشد حساب‌کنیم . از نفر اول تاریخ‌تولد اورا می‌پرسیم. البته این‌تاریخ یکی‌از۳٦۵ روز سال‌خواهدبود. خوب ! احتمال‌آنکه روزتولدنفردومی‌که طرف‌سؤال واقع می‌شودغیر ازروز تولد اولی‌باشد چیست ؟ چون‌این‌شخص (یعنی‌دومی) ممکن‌است درهریك‌از ۳٦۵روز سال بدنیاآمده باشد ، یك‌احتمال از۳٦۵ احتمال‌آن‌است‌که روز تولدش با اولی یکی باشد و ۳٦٤ احتمال آنکه روز دیگری باشد . (یعنی میزان احتمال یکی نبودن تاریخ تولد $\frac{۳٦٤}{۳٦۵}$ است) . همچنین احتمال آن که روز ولادت نفرسوم‌غیر از میلاد دونفراول باشد $\frac{۳٦۳}{۳٦۵}$ خواهدبود ، زیرا که ۲روز از روزهای سال از حساب خارج شده‌اند . احتمال آن‌که هریك از بقیهٔ ۲٤ نفرروزتولد جداگانه‌ای داشته باشد بترتیب $\frac{۳٦۲}{۳٦۵}$ و $\frac{۳٦۱}{۳٦۵}$ و $\frac{۳٦۰}{۳٦۵}$ و... و برای نفر بیست و چهارمین $\frac{۳٦۵-۲۳}{۳٦۵}$ یا $\frac{۳٤۲}{۳٦۵}$ است . چون کوشش ما آن

است که بدانیم احتمال منطبق بودن این تاریخهای تولد چقدر است باید کسرهائی را که گفتیم دریکدیگر ضرب کنیم تا برای احتمال مختلف بودن تاریخ‌های تولد مقدار $\frac{۳۶۴}{۳۶۵} \times \frac{۳۶۳}{۳۶۵} \times \frac{۳۶۲}{۳۶۵} \times \ldots \times \frac{۳۴۲}{۳۶۵}$ را بدست آوریم .

ممکن است با برخی روشهای ریاضیات عالی درچند دقیقه حاصلضرب را بدست آوریم اما اگر این روشها را ندانید ممکن است این محاسبه را مستقیماً بوسیلهٔ ضرب ، که خیلی هم وقت لازم ندارد ، انجام دهید[۱]. نتیجه ۰/۰٤٦ است یعنی احتمال آن که روزهای تولد برهم منطبق نشوند اندکی از نصف کمتراست . بعبارت دیگر ٤٦ درصد احتمال آنست که هیچ دونفری از ۲٤ دوست شما روز تولد مشترك نداشته باشند و ٥٤ درصد احتمال داشتن روز تولد مشترك می‌رود . پس اگرشما ۲٥ دوست داشته باشید ولی هیچگاه یکروز بدوجشن تولد دعوت نشده باشید باحتمال خیلی‌قوی یا بیشتردوستان شما جشن تولد برای خودنمی گیرند یا می گیرند و شما را درآن دعوت نمی کنند .

مسئلهٔ انطباق تاریخهای تولد مثال خوبی است برای نشان دادن آن که قضاوت عامه دربارهٔ احتمالات وقایع پیچیده چقدر ممکن است ازحقیقت دورباشد . مؤلف این کتاب این سؤال را ازعدهٔ بسیاری از مردم ، که برخی ازآنان از ریاضی‌دانان عالیقدر بوده‌اند ، کرده و جز دریك مورد از ۲ به ۱ تا ۱٥ به ۱ با او شرط بسته شده است[۲] که چنین انطباقی روی نخواهد داد . اگر او همهٔ این شرطها را قبول کرده بود امروز برای خود مرد توانگری بود .

دیگرتکرار نباید کردکه اگر احتمالات وقایع گوناگون را برطبق قواعدی که گفتیم حساب کنیم ویکی‌ازمحتمل ترین آنها را انتخاب نمائیم باز نمی‌توانیم مطمئن باشیم که همان واقعه روی خواهد داد . تا وقتی که عدهٔ آزمایشها بهزارها ، بملیونها ، حتی بملیاردها برسد نتایجی که پیش بینی می‌شود « احتمال » است نه «قطع». چون وقتی که صحبت ازعدهٔ کمی آزمایش

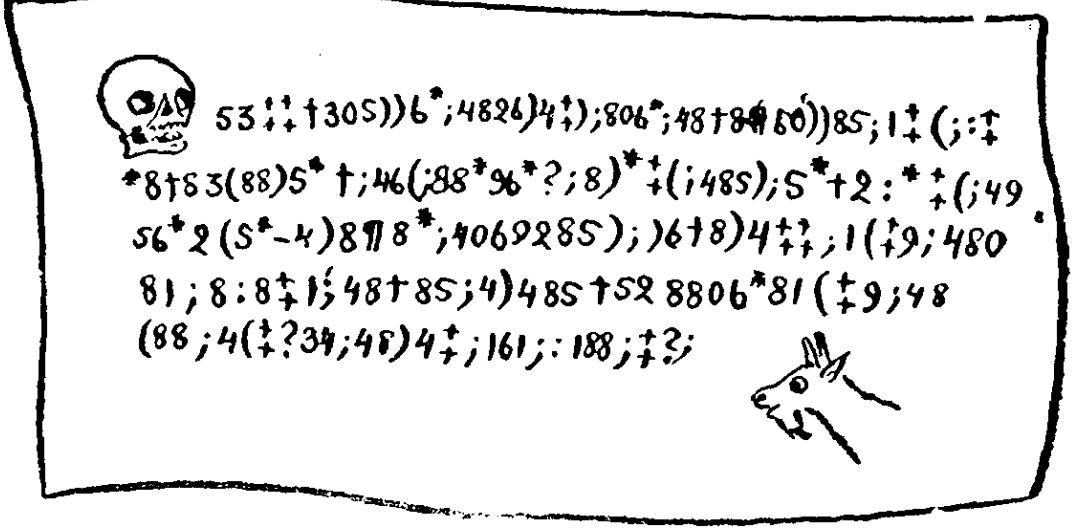
---

۱ ـ اگرمی‌توانید ازجدول لگاریتم یاازخط‌کش محاسبه‌استفاده کنید .

۲ ـ این مورد استثنائی مسلماً مربوط بیك ریاضی‌دان مجارستانی بوده است (رجوع کنید بآغازفصل اول این کتاب) .

باشد قوانین احتمال ضعیف است امکان استفاده از روش تجربه‌های آماری برای کشف حقایق مندرجات نوشته‌ها یاطلسمهائی که بالنسبه مختصر وکوتاه هستند محدود می شود . برای مثال حالت مشهوری را که «ادگار آلن پو» در داستان معروف « سوسك طلائی » آورده است بیان می‌کنیم . صحبت از آقایی است بنام « لوگران »که روزی درکنار ساحل خلوتی در کارولینای‌ـ جنوبی گردش می کرد ویك تکه‌کاغذ محکم‌که نصفش در زیرریگهای مرطوب مخفی شده بود یافت . وقتی‌که این پاره کاغذ درکلبهٔ ساحلی آقای لوگران درمجاورت آتش قرارگرفت وگرم شد برخی علامات مرموزکه برروی آن نقش شده بود ظاهر گردید . این علامات با مرکبی نـوشته شده بودکه در سرمارنگش‌ازمیان‌می‌رفت ووقتی‌که‌گرم می‌شدبرنگ قرمز درمی‌آمد وکاملا خوانده می‌شد . برروی‌آن‌کاغذ شکل جمجمه‌ای بودکه می‌رساند این سند را یکی از دزدان دریائـی نوشته است ، بعـلاوه تصویر سر بزی بودکه مسلم می‌ساخت‌که‌این راهزن‌دریائی‌کسی جز ناخدا کید معروف نبوده است. چند سطرهم علامات مطبعی نگاشته شده‌بودکه ظاهراً نشانی محل‌گنج نهفته‌ای را می‌داد (رجوع کنید بشکل ۸۷) .

برعهدهٔ ادگارآلن‌پوکه دزدان دریائی قرن هفدهم با علائم مطبعی، از قبیل : و « » و علائم‌دیگری مانند و+وغ آشنا بوده باشند .



شکل۸۷

آقای لوگران ، که احتیاج بسیار بپول داشت ، تمام نیروی فکری و مغزی خودرا بکارانداخت تا شاید طلسمی راکه بدست آورده بودکشف‌کند و

ازمضمون آن پرده بردارد. سرانجام با توجه بکثرت تکرارهریك ازحروف الفبای انگلیسی بمنظوری که داشت رسید . روش او مبتنی براین حقیقت بود که اگر حروف الفبای انگلیسی را درهر نوشته‌ای ، از آثار ادبی شکسپیر تا داستانهای مرموز ادگاروالاس ، بشمارید می‌بینید که حرف e ازهمه بیشتر تکرار شده است . بعد از e کثرت تکرار بترتیب متعلق بحروفی است که در سطر زیر از چپ براست نوشته می‌شود:

a،o،i،d،h،n،r،s،t،u،y،c،f،l،m،w،b،k،p،q،x،z

آقای لوگران علائمی راکه در پیام ناخداکید بکاررفته بود شمرد و و چون دیدکه علامت 8 بیشتر از همه تکرار شده است با خود گفت : آها ! پس باحتمال قوی 8 بجای حرف e گذاشته شده است .

خوب ! دراینجا حق با آقای لوگران بود اما البته **خیلی احتمال می رفت** که چنین باشد ولی **قطعی نبود** . در حقیقت ممکن بود این رمز مندرج درطلسم عبارت درازی باشد که حتی در آن یك e بکار نرفته باشد[1] اما بخت با لوگران یار بود و حسابش درست درآمد .

چون آقای لوگران در قدم اول با موفقیت قرین شد دلگرم گردید و بهمان ترتیب حروف الفبا رابرحسب احتمال تکرارجمع کرد وباآنها جدولی تشکیل دادولی علائم طلسم دقیقاً بکشف اوجواب نداد وسبب آن بودکه عبارت کوتاهتر ازآن بود که با قواعد حساب احتمالات، که درمقادیر زیادصادقترند، وفق دهد[2] .

فقط بنظرمی‌رسدکه در مورد یك مثال صحت پیشگوئیهای تئوری احتمالات در دفعات خیلی زیاد بمرحلهٔ امتحان درآمده باشد . این مورد عبارت است ازمسئلهٔ معروف پرچم امریکا وچوب کبریت .

برای حل این مسئله احتمالات احتیاج بپرچم امریکا دارید ، یعنی

---

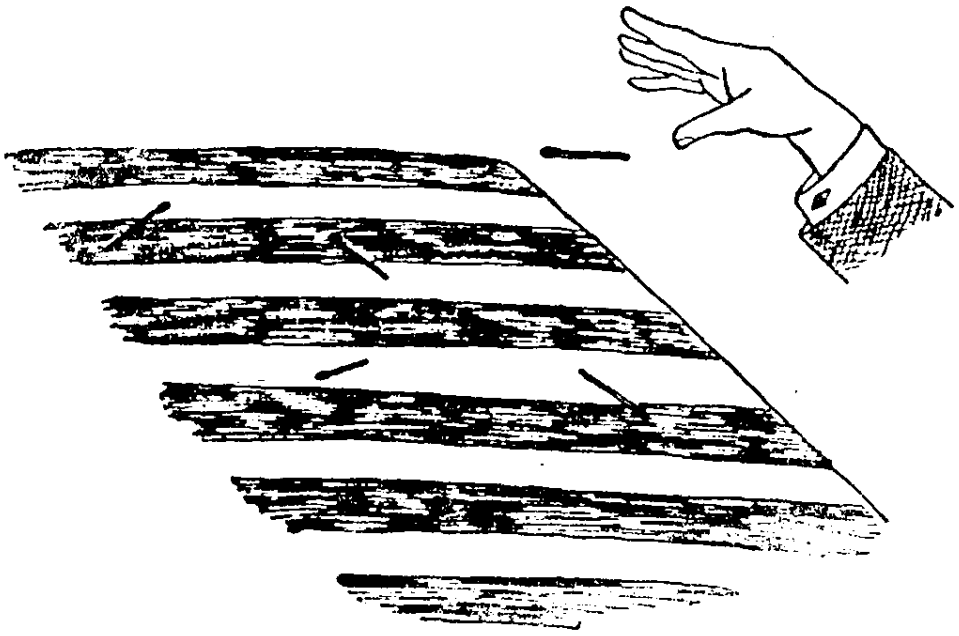
۱ ـ درمتن انگلیسی کتاب این عبارت آورده شده‌است :

You will find a lot of gold and coins in an iron box in woods two thousand yards south from an old hut on Bird Island's North tip

۲ ـ دراینجا ازنقل یك صفحه‌ازکتاب که لطفش در زبان انگلیسی است وتوضیح آن درزبان فارسی ملال آوراست خودداری می‌کنیم .

بقسمتی ازپرچم امریکا که دارای نوارهای متوازی قرمز و سفید متساوی‌ـ الفاصله است . اگر پرچم در دسترس نباشد روی پارچه یا کاغذ سفیدی نوارهای پهن‌متساوی‌الفاصله بکشید. بعد نیازمند بیك قوطی‌کبریت هستید، بشرط آنکه طول چوب‌کبریتها ازعرض‌نوارهای پرچم بیشتر نباشد . بالاخره یك « پی » یونانی هم مورد احتیاج است . این « پی » خوراکی نیست بلکه حرف « پ » الفبای یونانی است‌که باین شکل π نوشته می‌شود وعلاوه بر اینکه حرفی از الفبا است نسبت ثابت طول محیط دایره بقطر آنرا نشان می‌دهد.این نسبت عدد... ۳/۱٤۱۵۹۲٦۵۳۵است (که مقدارخیلی بیشتری رقم برای آن پیداکرده‌اند ولی بیش ازاین مورد احتیاج ما نیست) .

پرچم را روی میزبگسترید وچوب‌کبریتی را بهوا بیندازید و ببینید که بچه وضع روی پرچم می‌افتد (ش۸۸) . ممکن است تمام آن روی یك نوار قرارگیرد یا اینکه جزئی ازآن برروی هریك از دو نوار مجاورواقع شود . احتمال وقوع هریك ازاین دو صورت چقدراست ؟

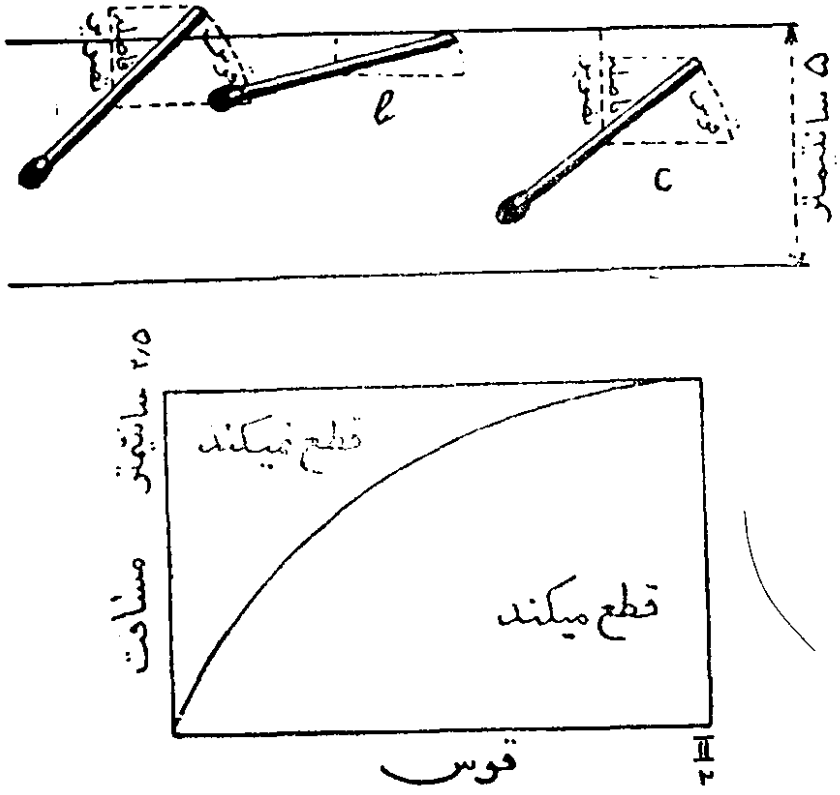


ش۸۸

اما چگونه ممکن خواهد بودکه این احتمالات را بشماریم حال‌آنکه چوب‌کبریت ممکن بصورتهای بیشمار برروی پرچم بیفتد ؟

مسئله رابادقت بیشتری مطالعه‌کنیم . وضع هرچوب‌کبریت‌که برروی پرده باشد نسبت بنوارها ممکن است بوسیلهٔ فاصلهٔ وسط‌کبریت ازلبهٔ نوار و

زاویهٔ بین کبریت و امتداد نوارها مشخص شود . برای آسودگی خیال‌طول کبریتها رامساوی عرض نوارها وهریك را مثلاً ۵ سانتیمتر فرض‌می‌کنیم و اوضاع سه‌کبریت راشاهد مثال قرار می‌دهیم . اگر وسط کبریت نزدیك لبهٔ نوار واقع‌شود وزاویهٔ‌کبریت بالنسبه بزرگ باشد (حالت a) کبریت خط را قطع‌می‌کند . امااگر بعکس زاویه‌کوچك (حالت b)یافاصله زیاد(حالت c) باشد تمام کبریت روی یك‌نوار قرار می‌گیرد . درست‌تر آن‌است که بگوئیم که‌کبریت وقتی خط راقطع‌می‌کندکه تصویر نصف‌کبریت برروی امتدادقائم بزرگتر باشد ازنصف عرض نوار (حالت a) ودر غیر اینصورت تقاطع وقوع پیدا نمی‌کند (حالت b) . نمایش‌هندسی این‌امر را در قسمت پائین‌شکل۸۹



شکل ۸۹

رسم‌کرده ایم . برروی محورافقی(طولها) اندازهٔزاویه‌کبریت رابرحسب‌طول قوس مقابل آن در دایره‌ای بشعاع واحد و برروی محور قائم (عرضها) طول تصویر نصف‌کبریت را برروی امتدادقائم جدا می‌کنیم. درمثلثات این‌طول‌را جیب (سینوس)قوس می‌نامند. واضح است‌که جیب‌صفر درجه مساوی‌صفراست زیرا که در اینحالت کبریت دارای وضع افقی است وقتی که قوس مساوی

$\frac{\pi}{۲}$ ، یعنی مساوی یك‌قائمه [۱] باشد جیب آن‌مساوی ۱ است ، بدلیل آنکه در اینحالت وضع کبریت قائم و بر تصویر آن‌منطبق است ، برای مقادیر دیگر قوس می‌توان جیب آنرا از روی منحنی موج داری بنام منحنی نمایش سینوس (در شکل ۸۹ فقط ربع یك‌موج منحنی ، یعنی درفاصلهٔ‌صفر تا $\frac{\pi}{۲}$ نمایش‌داده شده است) بدست‌آورد .

پس ازساختن این منحنی می‌توانیم بنحو مناسبی ازآن استفاده نموده احتمال آنراکه‌کبریت خط بین‌دو نوارپرچم راقطع کرده‌یا نکرده‌باشدحساب کنیم . درحقیقت همانطورکه دیدیم (یکبار دیگر بسه‌مثال قسمت بالای شکل ۸۹ توجه‌کنید)کبریت وقتی ازحدود یك‌نوار تجاوزمی‌کندکه فاصلهٔ مرکز کبریت‌ازخط لبهٔ‌نوار کمتراز تصویر نظیرش، یعنی کمتراز جیب‌قوس، باشد. معنی این‌عبارت آن است‌که اگر فاصله و قوس را در روی محورهای نمایش جدا کنیم نقطه‌ای بدست آوریم‌که **زیر** منحنی‌نمایش جیب باشد . ولی بعکس‌اگر نقطه‌ای که‌بدست می‌آوریم **بالای** منحنی مذکور باشد تمام کبریت در داخل یك‌نوار قرار می گیرد .

پس برطبق‌قواعدحساب‌احتمالات نسبت‌احتمال‌قطع‌شدن لبهٔ نوار بوسیلهٔ چوب کبریت باحتمال قطع نشدن آن مساوی‌نسبت‌مساحت سطح‌زیرمنحنی‌است بمساحت سطح بالای آن ، یعنی برای تعیین احتمال دو امر باید دو مساحت مذکور را بمساحت تمام مستطیل تقسیم‌کرد. می‌توان ازراه ریاضی ثابت‌کرد (بافصل دوم کتاب مقایسه شود) که‌مساحت سطح منحنی نمایش جیب‌که در شکل نشان داده ایم درست مساوی ۱ است . چون مساحت مستطیل $\frac{\pi}{۲} = ۱ \times \frac{\pi}{۲}$ است احتمال اینکه‌کبریتی (که طولش باندازه عرض نوار است) خطلبهٔ نوار را قطع کند $\frac{۲}{\pi} = \frac{\pi}{۲}/۱$ خواهد بود .

حضور برخلاف انتظار عدد π دراین محاسبه اولین باربوسیلهٔ دانشمند

---

۱ ـ طول محیط دایره ای بشعاع واحد π برابر قطر یعنی۲πاست .پس ربع‌دایره مساوی‌می‌شودبا $\frac{۲\pi}{۴}$ یا $\frac{\pi}{۲}$

معروف سدهٔهجدهم‌بنام‌کنت بوفن موردتوجه قرارگرفت واز این‌روی مسئلهٔ « کبریت‌و نوار » بنام اومشهور است .

ریاضی دان فعال ایتالیائی بنام لازارینی[1] عملا صحت این محاسبه‌را آزمود ، بدین‌ترتیب‌که ۳٤۰۸ مرتبه‌کبریت رابروی پرچم انداخت‌و دیدکه در ۲۱٦۹ مرتبهٔ آن‌کبریت ازحد یك‌نوار تجاوزکرد . اگر این نتیجه رابا فرمول بوفن امتحان کنیم می‌بینیم‌که برای π عدد $\frac{۲\times ۳۴۰۸}{۲۱۶۹}$ یا۳٫۱٤۱۵۹۲۹ بدست می آید که با مقدار تحقیقی π فقط در رقم هفتم بعد از ممیز اختلاف دارد !

البته این نتیجه ،که دلیلی‌است بر ارزندگی قوانین احتمالات ،بسیار دلپذیر است‌اما دلپذیر تر از عدد«۲» نیست‌که‌نتیجهٔ تقسیم تعداد دفعاتی‌است که‌پولی را بهوا پرتاب کرده ایم برتعداد دفعاتی‌که شیر آمده است ، بشرط آنکه این کار را چندهزار بار انجام‌داده باشیم . دراین آزمایش‌همیشه‌عدد ۲،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰ بدست‌می آیدوخطائی که‌دراین‌محاسبه پیدامی‌شودبکوچکی خطای محاسبهٔ π‌است‌ازطرف‌لازارینی .

۴ ـ انتروپی «مرموز»

از مثالهائی‌که گفتم ، وهمه از زندگی معمولی گرفته شده بود ، دانستیم‌که اینگونه حدسها و پیشگوئی ها تا وقتی‌که مربوط بعددهای‌کوچك است یأس آوراست اما هرچه بااعداد بزرگتر سرو کارپیدا کنیم بتدریج‌بهتر می‌شود . بنابراین این قواعد بطوراخص برای توصیف مقادیرتقریباً بیشمار اتمها وملکولهائی که حتی‌کوچکترین مقدار ماده‌ای راکه دردسترس ماست تشکیل می‌دهند قابل اطلاق است . باین‌ترتیب اگرقانون آماری «مرد مست» درمورد شش مستی‌که‌شاید هریك دوازده‌بار تغییرجهت داده باشدنتایج‌تقریبی ببار آورداطلاقشان به میلیاردها ملکول رنگ‌که در هرثانیه میلیاردهاتصادم راتحمل‌می‌کنند بقطعی‌ترین قانون‌فیزیکی تفرق منجر می‌شود . همچنین می‌توانیم گفت‌که رنگی‌که در آغازکار در نیمی از آب‌لولهٔ امتحانی حل‌شده بود میل‌می‌کند که به تبعیت ازقانون تفرق بنحوی یکنواخت در سراسرمایع

---

۱ ـ Lazzarini

پراکنده‌شود زیراکه اینگونه‌توزیع ازطرزتوزیع درآغازکار**متحمل‌تر**است.

درست بهمین دلیل است که اطاقی‌که در آن مشغول مطالعه هستید از دیوار تا دیوار و از زمین تا سقف پراز هواست وهیچگاه اتفاق نمی‌افتد که هوای اطاق ناگهان درگوشه‌ای‌از اطاق گردآید وشما راباخفگی‌دست‌بگریبان سازد . **هرچند این واقعهٔ دهشت انگیز از جنبهٔ فیـزیکی مطلقاً غیرممکن نیست اما بسیاربسیارغیر محتمل‌بنظر می‌رسد .**

برای روشن کردن وضع ، اطاقی فرض می‌کنیم‌که بوسیلهٔ صفحهٔ قائم موهومی بدونیمه شده باشد ودربارهٔ توزیع‌احتمالی ملکولهای هوا در دونیمه بمطالعه می‌پردازیم . البته مسئله شبیه است به‌مسئلهٔ شیر یا خط‌که در فصل پیشین دربارهٔ آن بحث‌کردیم .اگرفقط یك‌ملکول هوا درنظر بگیریم‌باحتمال متساوی ممکن است در نیمهٔ چپ یا نیمهٔ راست اطاق واقع شود ، درست همانطورکه وقتی مسکوکی‌را بهوا بیندازید احتمال‌آمدن شیروخط متساوی است .

هریك از ملکولهای دوم‌و سوم وملکولهای دیگرهم به‌تنهائی‌می‌تواند بدون تفاوت وبی توجه بوضع ملکولهای دیگر در نیمهٔ چپ یاراست اطـاق واقع‌گردد [۱] . پس مسئلهٔ‌توزیع ملکولهای هوادر دونیمهٔ اطاق همانندمسئلهٔ تعداد شیرها و یاخطها درعدهٔ زیادی شیر یاخط است و بطوریکه در شکل۸٤ دیدید توزیع پنجاه وپنجاه ، یا نیمانیم ، محتمل ترین حالت است . باز در همان شکل دیده شده‌که هرچه تعدادد‌فعات پرتاب پول (در مثال حاضرتعداد ملکولهای هوا) زیادتر شود احتمال نیمانیم قویترمی‌شود و وقتـی‌که تعداد بسیار زیادشود این‌احتمال‌بیقین مبدل‌می‌گردد.چون دریك‌اطاق متوسط$۱۰^{۲۷}$ ملکول هوا وجود دارد [۲] واحتمال آنکه تمام این ملکولها دریك‌نیمه ، مثلا

---

۱ ـ درحقیقت‌چون فواصل بین ملکولهای‌مجزای گازها خیلی‌زیـاد است حضور عدهٔ‌زیادی‌ملکول‌درحجم‌معینی تولیدازدحام نمی‌کندومانع ورودملکولهای جدیدی نمی‌شود.

۲ ـ حجم یك‌اطاق ۳×۵ متر‌که‌ارتفاعش درحدود ۳٫۵ مترفرض شود۵۰ مترمکعب‌یا۱۰٤×۵سانتیمتر مکعب‌است وحاوی۱۰٤×۵گرم هواست.چون جرم متوسط ملکولهای‌هوا $۳۰\times۱٫۶۶\times۱۰^{-۲٤}$ یاخیلی‌نزدیك به ۱۰×۵ گرم $۱۰^{-۲۳}$ است‌تعداد‌کل‌ملکولها $۱۰^{۲۷}=\frac{۵\times۱۰٤}{۵\times۱۰^{-۲۳}}$ است .

نیمهٔ راست، اطاق گردآیند

$۱۰^{۲۷}(\frac{۱}{۲})$ یاخیلی نزدیك به $۱۰^{۲۶} \times ۱۰^{-۳}$ است یعنی ۱ در $۱۰^{۲۶} \times ۱۰^{۳}$

از طرف دیگرچون ملکولهای هوا باسرعت ۵ر۰ کیلومتر در ثانیه تغییر مکان‌می‌دهند فقط ۱.ر. ثانیه وقت لازم‌است‌تا از یك گوشه اطاق بگوشهٔ‌دیگر برسند پس توزیع هوا دراطاق ثانیه‌ای صدبار تجدیدمی‌شود . بنابراین‌برای اینکه تمام هوا در یك‌نیمهٔ اطاق‌جمع‌شود ونیمهٔ‌دیگر خالی بماند

۹۹۸ ۹۹۹ ۹۹۹ ۹۹۹ ۹۹۹ ۹۹۹ ۹۹۹ ۱۰۲۹۹ ثـانیه لازم است . این عدد را با $۱۰^{۱۷}$ ثانیه‌که عبارت‌از تمام‌عمر جهان‌است مقایسه‌کنید ، پس‌با دل‌آسوده بکتاب خواندن ادامه دهید و هیچ بیمی ازخفه شدن‌نداشته باشید .

برای مثال دیگر لیوان آبـی راکه روی‌میز است درنظـر می گیریم . می‌دانیم که‌ملکولهای آب تحت تأثیر حرکت بی‌نظم حرارتی با سرعت بسیار در هرامتدادحرکت می‌کنند ،اما نیروهای‌پیوند مانع‌می‌شوندکه این‌ملکولها باطراف بگریزند ومتواری گردند .

چون امتدادحرکت‌هرملکول‌منفردکاملاتابع قاعدهٔ‌احتمال است‌می‌توان فرض‌کردکه ممکن باشد دریك لحظه سرعت نیمی ازملکولها ، یعنی آنهائی که درنیمهٔ زبرین ظرف‌آب هستند ، متوجه بالا شود وسرعت ملکولهای نیمهٔ زیرین بسوی پائین‌گراید[۱] در این‌صورت نیروهای پیوند سطح افقی مشترك بین دو نیمهٔ زیرین و زبرین قادر نخواهند بودکه درمقابل « تمایل مشترك دو نیمه بجدائی از یکدیگر » مقاومت‌کنند و ما ناظر یك پدیدهٔ غیر عادی فیزیکی خواهیم بود و نیمهٔ زبرین مایع را خواهیم دیدکه بسرعت‌گلوله از لیوان آب خارج وبسوی سقف پرتاب می‌شود .

امکان فرضی دیگر اینست‌که همهٔ کارمایهٔ حرکت حرارتی ملکولهای آب درقسمت زبرین مایع ظرف متمرکز شود. دراینصورت قسمت مجاور ته ظرف بناگهان یخ خواهد زد و قسمت بالای آن بشدت بجوش خواهد آمد . چرا تاکنون ناظر چنین پدیده ای نبوده اید ؟ نه از آن بابت است‌که چنین

۱ـ بناچار باید فرض‌کنیم‌که هرنیمهٔ آب ظرف بطرفی متوجه شود زیرا که حرکت همهٔ ملکولها دریك امتداد مغایرقانون مکانیکی«بقای عزم جبری» است .

چیزی **اصولا غیرممکن** باشد بلکه ازآن جهت است که وقوع آن **بشدت غیرمحتمل** است . درحقیقت اگر احتمال آن راکه سرعت ملکولهای آب، که درحال عادی متوجهٔ امتداد هـای مختلف است ، بنحوی که در بالا گفتیم توزیـع شود حساب کنید عددی بدست خواهید آورد بکوچکی عدد احتمال جمع شدن تمام هوای اطاق در یك گـوشهٔ آن . بهمین ترتیب احتمال آنکـه برخی ازملکولها درنتیجهٔ تصادم دوجانبه قسمت اعظم کارمایهٔ حرکتی (انرژی سینتیك) خود را از دست بدهند و بعضی دیگر مقدار خیلی زیادتری از آن کارمایه بدست آورند چندان ضعیف خواهـد بود که می تـوان آنرا نا دیده انگاشت . دراینجا هم محتمل‌ترین طرزتوزیع سرعتها همان است که درحال عادی مشاهده می‌شود .

حالا اگرحالتی راکه درمورد وضع ملکولها، یاتوزیع سرعتها، دارای اغلب احتمال نیست درنظربگیریم ، مثلا مقداری گازرا درگوشه‌ای قراردهیم یا آب جوش برروی آب سرد بریزیم ، یك سلسله اعمال فیزیکی وقوع می‌یابد و دستگاه را ازوضعی که کمتر محتمل است بوضعی که بیشتر محتمل‌است می‌کشاند : گاز درسراسر اطاق پراکنده می‌شود تا بوضعی یکنواخت در آن قرارگیرد وحرارت ازبالای ظرف بطرف پائین آن می گراید تاوقتی که درجهٔ حرارت آب یکسان گردد . پس می توان گفت کـه **همهٔ اعمال فیزیکی که بستگی بحرکت بی نظم ملکولها دارنـد در جهت افزایش احتمال سیرمی‌کنند وحالت تعادل ، یعنی‌زمانی که دیگرتغییری روی ندهد ، وقتی حاصل می شود کـه حد اکثر احتمال حاصل شده باشد .** چـون ، همانطورکه درمثال هـوای اطاق دیدیـم ، احتمالات صورتهای مختلف توزیع ملکولهای هوا با اعـدادی مانند $۱۰^{۲۶}\times۱۰^{-۳}$ ، که ازفرط کوچکی نامناسب هستند، نموده می‌شود معمولا بجای اعداد لگاریتمهای آنها بکار می‌روند . این لگاریتم را **انتروپی** نامیده‌اند وتأثیر ونقش آن درتمام مسائل مربوط بحرکت بی نظم حرارتی ماده بسیار زیاد ومهم است . آنچه راکـه کمی بالاتر در بارهٔ تغییرات احتمالی در اعمال فیزیکی گفتیم می‌توانیم باینصورت تکرارکنیم : **هرتغییرخود بخودی دریك دستگاه فیزیکی در جهت افزایش انتروپی سیر می کند و حالت نهائـی**

تعادل وقتی حاصل می‌شود که انتروپی بحد اعلی برسد .

این بود آنچه که قانون انتروپی، معروف بقانون دوم ترمو دینامیك ، نامیده می‌شود (قانون اول ترمو دینامیك قانون بقای کارمایه است). ملاحظه می فرمائید که دراین قانون چیزی که موجب وحشت وجودمبارك شود وجود ندارد .

قانون انتروپی را **قانون بی‌نظمی‌متزاید** هم می‌توان گفت ، چون همانطور که درمثالهائی چند دیدیم انتروپی وقتی بحداعلی می‌رسد که وضع وسُرعت ملکولها بوضعی کاملا بی‌نظم توزیع شده باشد ، و هر تلاشی که برای آوردن اندکی نظم درحرکت آنها بشود انتروپی را تنزل خواهدداد . مثال عملی‌تر دیگری برای بیان قاعدهٔ انتروپی‌را می‌توان درمسئلهٔ تبدیل‌حرارت بحرکت‌مکانیکی‌یافت . بیاد داریم که حرارت عبارت‌است ازحرکت مکانیکی بی‌نظم ملکولها . پس بآسانی می‌توان فهمید که تبدیل کامل حرارت موجود دریك جسم مادی بکارمایهٔ مکانیکی‌مولد حرکت مترادف آن است که بخواهیم حرکت تمام ملکولهـای جسم را متوجه یك امتداد کنیم و بطوریکه در مثال لیوان‌آب‌وامکان پرتاب شدن نیمهٔ زبرین‌مایع بخارج‌ظرف دیدیم‌حصول این پدیده بحدی غیرمحتمل است که عملا غیرممکن بنظر می‌رسد . **پس با این که‌کارمایهٔ حرکت مکانیکی را می‌توان** (مثلا بوسیلهٔ مالش واصطکاك) **کاملا بحرارت تبدیل کرد تبدیل کامل کارمایـهٔ حرارتی بحرکت مکانیکی هیچگاه میسر نیست .** بنابراین امکان ساختن موتوری کـه ، باصطلاح « موتور حرکت دائمی نـوع دوم » نامیده شود و ، حرارت را از اجسام مادی که در درجهٔ عادی هستند بگیرد وبا سردکردن آنها کارمایه‌ای تولیدکندکه قابل تبدیل بکار مکانیکی باشد ازمیان می رود . پس نمی‌توان یك کشتی بخـاری ساخت کـه برای تولید بخـار در دیك آن از زغال سنگ استفاده نشود بلکه حرارت لازم ازآب دریا تأمین گردد ، باین نحوکه آب دریا را با تلمبه بماشین‌خانه وارد کنند و پس از گـرفتن حرارت آن آنرا بصورت قالبهای یخ بدریا بریزند و با حرارتی که بدست آمده‌است دیگ را بجوش آورند .

پس‌چگونه ماشینهای بخار معمولی‌حرارت را بحرکت تبدیل می کنند

بی‌آنکه قانون انتروپی را نقض کـرده باشند ؟ حقیقت آنکه در ماشینهـای بخار فقط **جزئی ازحرارتی که براثراحتراق سوخت تولید می‌شود تبدیل بکارمایه می شود** وقسمت بیشتر آن بصـورت بخار زائد در هوا پراکنده می گردد یا بوسیلهٔ دستگاههای مخصوص سردکننده‌جذب می‌شود؛ در اینحالت دوتغییرانتروپی دردوجهت مختلف در دستگاه وقوع می‌یابد : (۱) کاهش انتروپی که نتیجهٔ تبدیل قسمتی از حرارت بکارمایهٔ حرکتی پیستونها است ، (۲) افزایش انتروپی بر اثر ریختن قسمتی از حرارت از دیگ آب جوش بدستگاههـای سرد کننده . قـانون انتروپی فقط ایجاب می کندکه **مجموع کل** انتروپی دستگاه افزایش یابد و ایـن نظررا می‌توان تأمین کرد بدینوسیله‌که عامل دوم راازعامل اول بزرگتر گـرفت . شاید با توجه باین مثال بهتر متوجه موضوع شوید : اگر یك وزنهٔ پنج‌کیلو گرمی را بر روی طاقچه‌ای کـه در ارتفاع دومتری است قرار دهیم بموجب قانون بقای کارمایه هیچگاه‌ممکن نیست‌که این وزنه خودبخود وبی‌کمك خارجی ازجای خودخارج شود و بطرف سقف برود . ازطرف دیگرممکن است قسمتی ازآن وزنه رابزمین‌انداخت وباکارمایه‌ای‌که باین نحو حاصل می‌شود قسمت دیگر را بلندکرد .

بهمین ترتیب می‌توانیم انتروپی را در جـزئی از دستگاه بکاهیم در صورتیکه بجبران آن در جزء دیگر انتروپی را بالا ببریم . بعبارت دیگر **باتوجه به بی‌نظمی‌حرکت ملکولهااگرحاضرباشیم‌که درقسمتی از دستگاه بی نظمی زیاد شود می‌توانیم در قسمت دیگرآن تا حدی نظم را تأمین‌کنیم .** و در بسیاری از حالات و درهمهٔ ماشین‌های بخار افزایش بی‌نظمی در جزئی از دستگاه برای ما مانعی ندارد .

۵ ـ موج زدن[۱] آماری

بحثی که در بخش پیشین کـردیم باید برای شما واضح‌کرده باشدکه مبنای قانون انتروپی ونتایج حاصل ازآن‌کاملابرایـن حقیقت است‌کـه ، در

---

۱ ـ Fluctuation

عالم فیزیکی ، ما همیشه با تعداد بیشماری ملکولهای منفرد سروکار داریم بقسمی که تقریباً درهر پیش‌بینی که مبتنی براحتمال باشداحتمال تقریباً بدل بیقین می گردد. اما وقتی که با مقدارهای کم ماده سروکارپیداکنیم این یقین بمقدار معتنابهی از بین می‌رود .

مثلا اگربجای اینکه مانند مثال سابق اطـاقی را پرازهواکنیم حجم خیلی کوچکتری ، مثلا مکعبی بضلع یك صدم میکرون[1] راکه حجمش $۱۰^{-۱۸}$ سانتیمترمکعب است ازهوا پر کنیم تعداد $\frac{۱۰^{-۳}\times۱۰^{-۱۸}}{۳\times۱۰^{-۲۳}}=۳۰$ ملکول درآن وجود خواهد داشت واحتمال آنکه همه آنها در یك نیمهٔ مکعب جمع شوند $\left(\frac{۱}{۲}\right)^{۳۰}=۱۰^{-۱۰}$ است .

از طرف دیگربمناسبت کوچکی حجم مکعب ملکولهای هوا ۵×۱۰^{۹} بار در ثانیه « برمی‌خورند » و باهم مخلوط می‌شوند (سرعت ۰/۵ کیلومتر در ثانیه و فاصله $۱۰^{-۹}$ سانتیمتر) بطوریکه ثانیه‌ای یکبار نیمی ازمکعب خالی می‌شود . محتاج بگفتن نیست که احتمال حالاتی که درآن کسری از ملکولها در یك گوشهٔ مکعب کوچك ما متمرکز شوند خیلی زیادتر است . مثلاحالتی که درآن ۲۰ ملکول دریك نیمه و ۱۰ ملکول در نیمهٔ دیگـر باشند بتعداد $۵\times۱۰^{۷}=۵\times۱۰^{۱۰}\times۱۰^{-۳}\times۵\times۱۰^{۱۰}\left(\frac{۱}{۲}\right)^{۱۰}$ یا ۵۰ ۰۰۰ ۰۰۰ مرتبه در ثانیه خواهد بود .

پس درحجمهای بسیارکوچك توزیع ملکولهای هوا خیلی ازیکنواخت بودن دوراست . اگر می‌توانستیم ملکولهارا باندازهٔ کافی بزرگ کنیم می‌دیدیم که ملکولها آناً در نقطه‌ای تمرکزیافته اجتماع کـوچکی تشکیل می‌دهند و بعد این تمرکز منحل می‌شود و ازمیان می‌رودوبجای آن تمرکز دیگری در نقطهٔ‌دیگروقوع می‌یابد. این عارضه‌را **موج‌زدن‌جرم مخصوص** می‌نامند ونقش آن دربسیاری ازپدیده‌های فیزیکی مهم است . مثلا وقتی که پرتوهای خورشید از جو می گذرد این عدم یکنواختی ها موجب می‌شوندکه اشعهٔ آبی

---

۱ ـ میکرون که علامت‌اختصاری آن μ است مساوی ۰/۰۰۰۱ سانتیمتراست .

طیف پراکنده شوند ودر نتیجه رنگ آبی آسمان را بآن می‌بخشند و خورشید را سرخ‌تر از آنچه هست بنظر می‌رسانند . این سرخی رنگ خورشید بخصوص بهنگام غروب ، که پرتوهای خورشید مجبورند از قشر قطورتری ازجوعبور کنند ، محسوستر است . اگر این « موج زدن جرم مخصوص » نبود آسمان بیکباره سیاه بنظر می‌رسد وستارگان درروزهم دیده می شدند .

درمایعات هم این گونه موج زدنهای جرم وفشار وجوددارند اما کمتر محسوس هستند وتوضیح دیگری که برای «حرکت براونی» می‌توان‌اد اینست که‌ذرات کوچکی که‌در آب درحال‌تعلیق‌هستند براثرفشاری که ازاطراف بآنها وارد می‌شود و دائماً دستخوش تغییرات سریع است باین سوی وآن سوی رانده می‌شوند .

اکنون از خود می‌پرسیم که آیا قانون انتروپی شامل چیزهای کوچکی هم می‌شود که موج زدن آماری درمورد آنها اهمیت فوق‌العاده دارد ؟ بی‌شبهه یك باکتری که درسراسرعمرخود دستخوش‌لطمات ملکولهاست باینکه «حرارت کاملا قابل تبدیل بحرکت نیست » لبخند می‌زند . اما در این قبیل موارد بهتر است که گفته شود قانون انتروپی مفهوم خود را از دست می‌دهد ، نه اینکه‌نقض می‌شود . درحقیقت آنچه‌ازاین قانون برمی‌آید آن است که حرکت ملکولی را نمی‌توان کاملا بحرکت چیزهای بزرگی که تعداد بیشماری ملکول جداگانه دارندتبدیل کرد . برای باکتری که خیلی از ملکول بزرگتر نیست اختلاف بین حرکت حرارتی وحرکت مکانیکی عملا ازمیان رفته است و در نظراو تصادم با ملکولهائی که آنرا درمیان گرفته‌اند مانند تنه‌هائیست که ما دریك ازدحام ازهمنوعان خود می‌خوریم. اگر ما باکتری بودیم می‌توانستیم خودمان را بچرخی متصل کنیم و یك موتور نوع دوم بوجود بیاوریم اما آن وقت‌مغز نداشتیم که ازاین موتور بنفع خود استفاده نمائیم . پس جای تأسف نیست که چرا باکتری نیستیم !

فصل نهم

معمای حیات

۱ ـ ماازیاخته ساخته شده‌ایم

دربحثی که دربارهٔ ساختمان ماده کردیم ، بعمد ، از هرگونه اشاره‌ای بیك گروه بنسبت کوچك اما بغایت مهم اجسام مادی خودداری نمودیم . این گروه با هرچه دیگر در جهان است تفاوت بارزی دارد وآن **زنده بودن** است . فرق مهم واساسی بین مادهٔ جاندار وبیجان درچیست ؟ تا چه حد حق داریم‌امیدوار باشیم که‌بتوانیم پدیدهٔ زندگی رابرروی پی‌های قوانین اساسی فیزیکی ،کـه در کمـال خوبی به تبیین خواص مادهٔ بیجان نایل شده‌اند ، درك کنیم ؟

معمولا هنگامی‌که ما از زندگی‌سخن می‌گوئیم موجود زندهٔ بزرگ و پیچیده‌ای ، مثلا درختی یا اسبی یا انسانی ، را درمد نظرداریم . اماکوشش برای مطالعهٔ خواص مادهٔ زنده از روی چنین موجودهای پیچیده و بغرنج بهمان اندازه‌بیفایده است که‌بخواهیم ساختمان مادهٔ غیرآلی راازروی ماشین مفصلی مانند اتومبیل آغازکنیم .

اشکالهائی راکه در این وضع بما روی نشان می‌دهند وقتی بهتر درك خواهیم نمودکه توجه‌کنیم که یك اتومبیل‌کامل از هـزارهااجزاء گوناگـون

ترکیب شده که شکلهای مختلف دارند ودرحالتهای فیزیکی متفاوت هستند. بعضی ازآنها (ازقبیل تنهٔ پولادین‌وسیمهای مسین وشیشه‌ها) جامدند وبرخی دیگر (مانند آب رادیاتور و بنزین مخزن و روغن سیلندر) مایع وپاره‌ای (مثل مخلوطی از بنزین وهواکه ازکاربوراتور وارد سیلندر می‌شود) بشکل گاز می‌باشند . پس نخستین گام بـرای مطالعه و تجزیه و تحلیل یك مادهٔ پیچیده ، مثل اتومبیل ، آن است که آنرا باجزاء ترکیب‌کننده‌اش تقسیم و آنها را ازهم جداکنیم باین‌ترتیب خواهیم دیدکه اتومبیل ترکیب شده است از قسمتهای فلزی (پولاد ، مس ،کرم، وجزآنها) و اجزاء شیشه‌ای (شیشه‌ها و پلاستیکها) و مایعات (آب وبنزین) وغیره وغیره .

بعد می‌توانیم تجزیه و مطالعه را جلوتر ببریم و با روشهای تحقیقات و مطالعات فیزیکی ببینیم که هر جزء مسین تـرکیب شده است از بلورهای کوچك و مجزاکه هریـك بنوبهٔ خود تشکیل گردیده است از اتمهای متمایز مس که برروی یکدیگر بوضعی استوارقرار گرفته‌اند ؛ یاآب رادیاتورمرکب استاز تعداد زیادی ملکولهای سست پیوندآب که هریك از دو اتم ئیدرژن و یك اتم اکسیژن ساخته شده است ؛ یـا مخلوطی که از کاربوراتور از راه دریچه‌ها به سیلندر سیلان می‌کند انبوهی است از ملکولهای آزاد اکسیژن وازت جوکه باملکولهای بخاربنزین ،که بنوبهٔ خود ترکیبی است ازاتمهای کربن و ئیدرژن ، مخلوط گردیده‌اند .

بهمین تـرتیب در تجزیه و مطالعـهٔ یك دستگاه زنده ، مانند جسم انسانی ، باید آنرا باندامهای مجزا مانند مغز و قلب ومعده تقسیم‌کنیم و سپس‌باجزائی‌که از جنبهٔ زیستی (بیولوژی) یکنواخت هستند و عنوان‌عمومی آنها « نسج » یا «بافت» است قسمت نمائیم .

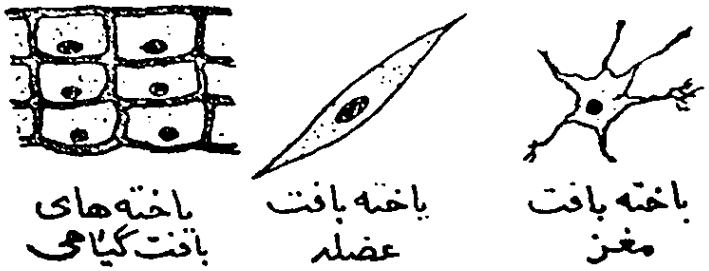
در معنی انواع گوناگون بافتها موادی هستندکه دستگاههای زنده از آنها ساخته وپرداخته گردیده‌اند ، همانطورکه دستگاههای مکانیکی از مواد مختلفی‌تهیه‌شده‌اندکه ازجنبهٔ طبیعی (فیزیکی) یکنواخت می‌باشند . وعلوم تشریح و فیزیولوژی که برای پی بردن بطرز عمل جهازات زنده از خواص بافتهای مختلفی‌کـه آنهـا را تشکیل داده‌اند استفاده می‌کنند از این‌حیث شباهت بعلم مهندسی هستندکه طرزعمل ماشینهای مختلف را از روی خواص مکانیکی و مغناطیسی والکتریکی و سایرخواص مواد طبیعی‌که در ساختمان آنها بکار رفته‌اند درك می‌کند .

پس جواب معمای حیات را نمی‌توان فقط درطرز تجمع بافتها بمنظور تشکیل جهازات پیچیده یافت بلکه باید آنرا درکیفیت ساختمان این بافتها

بوسیلهٔ اتمهای مجزا جستجو کرد . این اتمها آخرین چیزهائی هستند که هر موجود زنده را تشکیل می‌دهند .

خطای بزرگی است اگر تصور رود که یك یـافت یکنواخت زنده را می توان بـا یك مادهٔ یکنـواخت طبیعی مقایسه کرد . درحقیقت یك مطالعهٔ مقدماتی میکروسکپی درهر نسج غیرمشخص (خواه نسج پوست باشد یا عضله ویا مغز) نشان می‌دهد که این بافت عبارت‌است از عدهٔ بسیار زیادی اجزاء منفرد که طبیعت وخاصیت آنهـا مبین خاصیت تمام بافت است (شکل ۹۰) . این واحدهـای اولیهٔ ساختمان مـادهٔ زنده را معمولا « یاخته» می گویند . ممکن است آنها را « اتمهای زیستی»[1] هم نامید زیرا کـه خواص حیاتی هر بافت تا وقتی برقرار است که لااقل یك یاختهٔ خاص داشته باشد .

مثلا اگـر نسج عضله را بـا نـدازهٔ نصف یك سلول آن قطع کنند همه



شکل ۹۰
نوعهای مختلف یاخته

خواص انقباض عضلانی راازدست می‌دهد. درست‌همانطور که اگرسیم منیزیوم فقط شامل نصف اتم باشد دیگرمنیزیوم نیست بلکه یك تکه زغال است[2] .

---

۱ ـ Biological Atoms

۲ ـ از بحثی که دربارهٔ ساختمان اتم کردیم باید بیاد داشته باشیم که یك اتم منیزیوم (شماره اتمی۱۲ و وزن اتمی۲۴) عبارت است ازهسته‌ای مرکب‌از۱۲ پروتون و۱۲ نوترون که بوسیلهٔ لفافی مرکب از۱۲الکترون احاطه شده است . وقتی که‌اتم‌منیزیوم را نصف کنیم دو اتم بدست خواهیم‌آورد که هریك شش‌پروتون وشش نوترون درهستهٔ‌مرکزی وشش‌الکترون‌درخارج آن‌خواهد داشت ، بعبارت دیگر دو اتم زغال بدست خواهد آمد .

گاهی یاخته‌های تنها دارای اندازه‌های خیلی بزرگ هستند و آشناترین مثال‌آن زردهٔ تخم مرغ است که فقط یك یاخته است . در اینحالت‌ها هم قسمت حیاتی یاخته ،که موجب زنده بـودن آن است ، بقدری کـوچك است که باید با میکروسکپ دیده شود قسمت بزرگ زرده فقط غذائی است که برای تغذیه‌جنین جوجه تأمین گردیده است .

یاخته هائی که بافتهارا تشکیل‌می‌دهند بسیار کوچك اند (تقریباً بقطر متوسط یك‌صدم میلیمتر) . هر گیاه یاجانوری‌ازعدهٔ فوق‌العاده زیادی‌یاخته‌های مجزا تشکیل شده است . مثلا بدن یك انسان بزرگ سال ازچندین صد هزار میلیارد یاخته ترکیب گردیده است . موجودهای زندهٔ کوچکتر البته تعدادکمتری یاخته دارند ، مثلا مگس یامورچه چند صد ملیون یاخته بیشتر ندارند . طبقه بزرگی هم‌از موجودهای زندهٔ « تك‌یاخته » وجـود دارند از قبیل آمیبها ، قارچها (مانند قارچهائی که تولیدزردزخم می‌کنند) وانواع باکتریها که هریك یك‌یاخته دارد و فقط بـا میکرسکپ قوی دیده‌می‌شود. مطالعهٔ این یاخته‌های منفرد ،که زحمت‌انجام «وظایف اجتماعی » یاخته های موجودهای مرکب را بر عهده ندارند ، یکی او مهیج ترین مباحث زیست‌شناسی است .

برای فهم مسئلهٔ کلی حیات باید حل آنرا در ساختمـان و خواص یاخته‌های زنده بجوئیم .

خواصی‌که این یاخته های زنده رااینقدربامواد غیر آلی معمولی ، یا یاخته‌های مرده ، از قبیل یاخته‌های چوب میز تحریر شما یا یاخته های‌چرم کفش شما ، متفاوت و ازآنها مشخص‌می‌سازد چیست وکدامست ؟

خواص ممیزهٔ یاختهٔ زنده داشتن این استعدادهاست : (۱) جذب مواد لازم برای‌ادامهٔ حیات درمحیط مجاور ؛ (۲) تبدیل این‌مواد بموادی‌که‌برای رشد آن مناسب ولازم باشند ؛ (۳) تقسیم شدن بدو یاختهٔ مشابه قابل رشد ، که هریك نصف‌خودآن‌است ، پس‌ازآنکه ابعاد هندسی‌آن بیشتر ازحدبزرگ شود . البته این استعدادهای «خوردن» و«رشدکردن» و «زیاد شدن» بین‌همهٔ موجودهای زندهٔ مرکبی هم‌که از یاخته تشکیل شده اند مشترك است .

خوانندهٔ عزیزی که فکر منتقد داشته باشد ممکن است ایراد بگیرد وبگویدکه ممکن‌است این سه‌خاصیت درمواد عادی غیرآلی نیز یافته شوند . مثلا اگرما بلور نمکی‌را در محلول‌فوق اشباع‌شدهٔ‌آب ونمك بیندازیم[۱] بلور

---

۱ ـ برای‌تهیهٔ محلول‌فوق‌اشباع شدهٔ نمك‌باید‌نمك رادرآب‌داغ حـل‌کرد وبعددرجهٔ حرارت‌محلول راتامیزان‌حرارت اطاق‌پائین آورد . چون‌قدرت‌حلالـهٔ آب باپائین‌آمدن درجهٔ‌حرارت کم‌می‌شود تعدادملکولهـای‌نمکی‌که درآب وجـود خواهندداشت بیشتراز آن‌است‌که آب‌بتواند دردرجهٔ‌حرارت‌اطاق بشکل محلول نگاهدارد . معهذاملکولهای اضافی‌نمك‌مدتی دراز درمحلول‌باقی خواهند مـاند مگراینکه‌بلورکوچکی درآن‌واردکنیم واین‌بلورباصطلاح‌محرك وعاملی‌شود برای خارج‌کردن ملکولهای اضافی‌از محلول .

نمك ممکن است با استخراج (یا بهتر بگوئیم با مصادرهٔ) ملکولهای نمك موجود در آب قشرهای متعدد برسطح خود بیفزاید . حتی‌می‌توان فرض‌کرد که در نتیجهٔ برخی عوامل مکانیکی ، مثلا افزایش وزن بلورهائی‌که درحال نموهستند ، بلورها پس ازرسیدن باندازه‌های معین شکسته وبدونیمه شوند و « بچه بلورهائی »که باین‌نحو تشکیل می‌شوند برشد خود ادامه‌دهند . چرا نباید این‌عمل را در ردیف پدیدهٔ «زیست» بدانیم ؟

در موقع جواب دادن باین سؤال و سؤالهای مشابه آن باید توجه داشت‌که چون حیات را فقط حالت پیچیده‌تری از پدیده های‌معمولی فیزیك وشیمی درنظر آوریم نباید انتظارداشته باشیم‌که حدفاصل قاطعی بین این دو حالت پیدا کنیم . همچنین وقتی‌که قوانین آماری را برای بیان وضع گازی که متشکل ازعدهٔ زیادی ملکولهای مجزا (رجوع شود بفصل هشتم) باشد بکاربریم نمی‌توانیم حد مشخصی برای صادق بودن این قوانین معین‌کنیم .در واقع می‌دانیم‌که‌هوائی‌که اطاقی را پرکرده است هیچگاه دریك گوشهٔاطاق متمرکز نخواهد شد یا لااقل ، احتمال چنین پیش‌آمدی آنقدر بعید است که قابل توجه نیست . ونیزمی‌دانیم‌که اگر درتمام اطاق‌دو یاسه‌یا چهارملکول باشد احتمال جمع‌شدن آنها دریك‌گوشه اطاق خیلی بیشتر است .

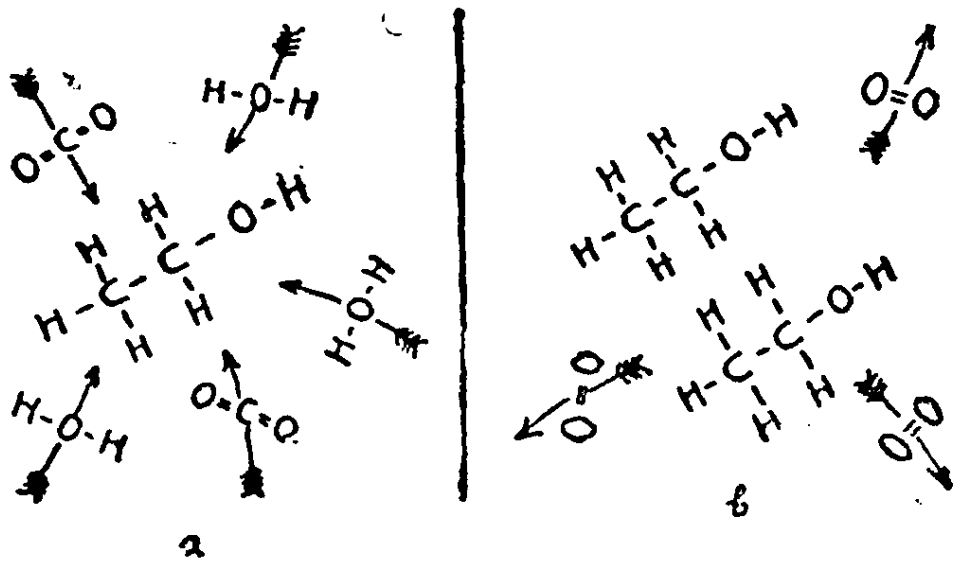
حد فاصل‌صحیح بین تعداد ملکولهائی‌که مشمول یکی‌ازاین دوحکم‌و آنهائی‌که مشمول حکم دیگر هستند چیست وکجاست ؟ هزار ملکول ؟ یایك ملیون ؟ یایك میلیارد ؟

بهمین ترتیب وقتی‌که باعمال اولیهٔ حیاتی‌عطف توجه‌کنیم نمی‌توانیم انتظار داشته باشیم‌که بین تبلور نمك در محلول آب‌نمك ،که یك‌پدیدهٔ سادهٔ ملکولی است ، ونمو و تکثیر یك یاختهٔ زنده ،که پدیدهٔ پیچیده‌تری است اما با اولی اختلاف اساسی ندارد ، یك‌حد فاصل مشخص پیدا شود .

اما درمورد مثال خاصی‌که درنظر گرفته‌ایم می‌توانیم بگوئیم‌که رشد یك بلور نمك درمحلول آب نمك را نمی‌توان یك پدیدهٔ حیاتی دانست زیرا که « غذائی »که این بلور جذب می‌کند تغییر شکل نمی‌دهد و بهمان‌شکلی که در محلول بوده است‌باقی‌می‌ماند . ملکولهای نمکی‌که قبلا درآب‌بودند بسطح بلوری که درحال رشداست می‌چسبند . ما دراینجا فقط بایك افزایش

مکانیکی‌ماده سروکار داریم نه‌با یك جذب **زیستی و شیمیائی** (بیوشیمیك) همچنین تکثیر بلورهاکه درنتیجهٔ شکسته شدن آنها بقطعاتی است‌که دربارهٔ اندازهٔ آنها هیچ‌حساب قبلی مقدورنیست و براثر نیروی مکانیکی وزن‌صورت می‌پذیرد شباهت چندانی به‌انقسام حیاتی ومداوم یاخته‌های زنده بدو نیمه ندارد که تقریباً بطورعمده براثر نیروهای داخلی تحقق‌می‌یابد .

ممکن است مواردی پیداکنیم‌که با اعمال‌حیاتی شباهت بیشتری‌داشته باشد . مثلا اگر یك‌ملکول تنهای الکل(C_2H_5OH) را درمحلول انیدرید کربنیك درآب‌داخل‌کنیم یك‌عمل ترکیب خودبخودی‌آغاز می‌شود ویکی یکی از ملکولهایH_2O آب رابا ملکولهای CO_2 موجوددر محلول‌توأم‌می‌سازدو یکی‌می‌کند وملکولهای جدیدالکل بوجودمی‌آورد[1].درحقیقت اگریك قطره ویسکی‌که در یك‌لیوان‌آب معدنی ریخته شود موجب گرددکه تمام آب لیوان به‌ویسکی‌خالص تبدیل‌شودبحکم اجبار الکل راموجودی زنده‌خواهیم‌دانست.



ش ۹۱

نموداری ازطریقی‌که ملکول‌الکل می‌توانـداز ملکولهـای‌آب و انیدرید کربنیك ملکول دیگر الکل بسازد .اگر چنین ترکیب خود بخودی در الکل میسرمی‌شد می‌توانستیم الکل را موجـود زنده بدانیم .

این مثال آنقدرکه بظاهر می‌نماید وهمی وخیالی نیست زیرا بطوری که بعداًخواهیم دید عملابرخی مواد شیمیائی‌مرکب‌بنام **ویروس** وجوددارند

---

۱ ـ مثلا درنتیجهٔ فعل و انفعال فرضی .

$$3H_2O+2CO_2+(C_2H_5OH)\rightarrow 2C_2H_5OH+3O_2$$

وجودیك ملکول الکل موجب‌بوجود آمدن‌یك ملکول‌دیگر می‌شود .

که ملکولهای مرکب آنها (که هریك ازصدهزارها اتم تشکیل‌شده‌است) عملا وظیفهٔ تشکیل واحد هائی‌شبیه بخود را از ملکولهای موجود در محیط‌مجاور انجام می‌دهند . این‌ویروسها را بایددرعین حال ملکولهای معمولی شیمیائی و دستگاههای زنده **دانست و باین ترتیب نمایندهٔ « حلقهٔ مفقود » بین مواد جاندار و بیجان بشمارمی‌روند .**

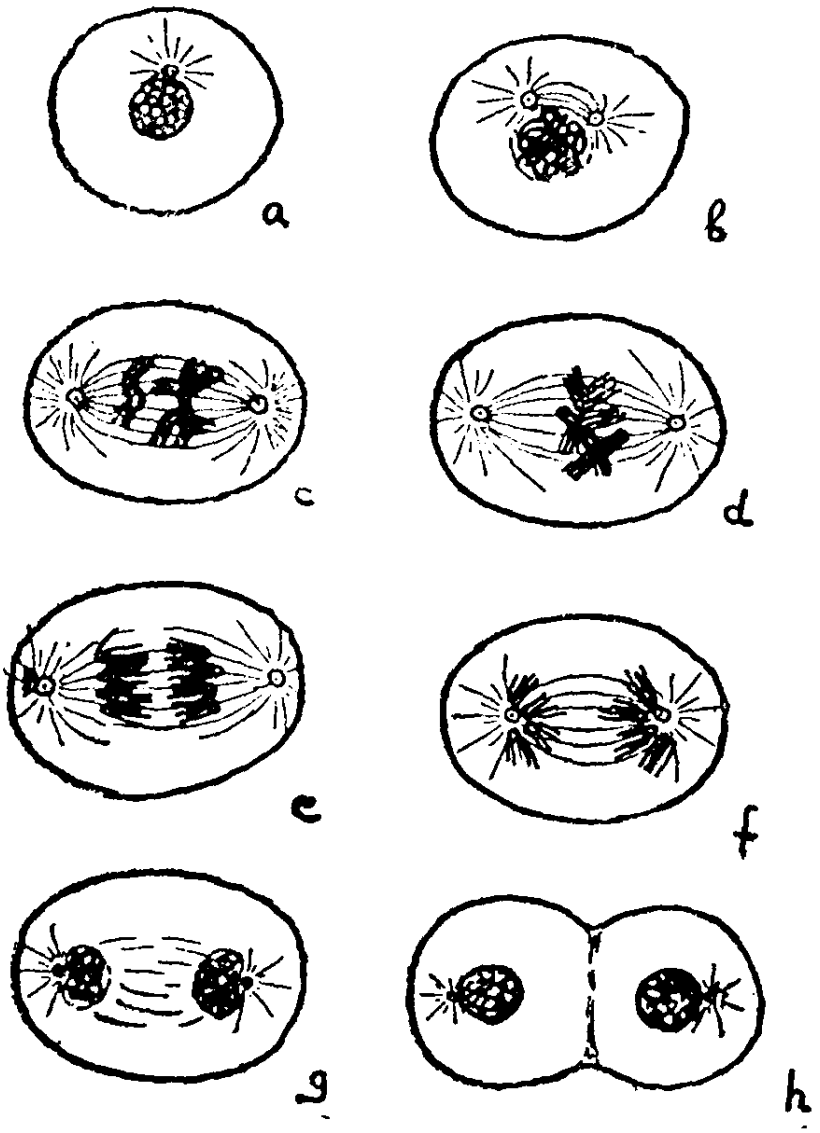
اما وقت آن است‌که بمسئلهٔ رشد وتکثیر یاخته های‌معمولی پردازیم. ساختمان این یاخته ها هرچند بسیار بغرنج است خیلی از ساختمان‌ملکولها ساده تر است و باید آنها را ساده ترین موجود زنده دانست . هـر گاه با میکروسکپی قوی بیاخته‌ای نگاه کنیم می‌بینیم‌که از ماده‌لزج ژلاتینی نیـم شفافی که ساختمان شیمیائی بسیار پیچیده‌ای دارد ساخته شده است . ایـن ماده را **پروتوپلاسم** می‌نامند . گرداگرد پروتوپلاسم را غشاء یاخته فـرا گرفته است . این غشاء نزد جانوران نازك و قابل انعطاف و نزد گیاهـان کلفت وسنگین است وبجسم آنها سختی و خشونت بسیار می‌بخشد (بشکـل ۹۰مراجعه‌کنید) . هریاخته دردرون‌خود جسم‌کروی‌کوچکی داردکه**هسته** نام دارد واز شبکهٔ ظریفی ازماده‌ای بنام **کروماتین** (ش ۹۲) تشکیل شده است . بایدخاطرنشان ساخت‌که‌قسمتهای مختلف‌پروتوپلاسم‌که‌یاخته راتشکیل می‌دهند در شرایط عادی‌دارای یك درجهٔ شفافیت هستند بقسمی‌که اگریاختهٔ زنده‌ای را زیر میکروسکپ بگذاریم تمیز دادن اجزاء آن‌از یکدیگرمیسر نخواهد شد . برای‌مطالعه در یك یاخته‌بایدآنرا **رنگ**کرد زیراکه‌قسمتهای مختلف پروتوپلاسم‌رنگ را بادرجات‌متفاوت‌جذب می‌کنند . بخصوص‌ماده‌ای که‌شبکهٔ هسته‌را می‌سازد در مقابل‌رنگ حساسیت خاصی دارد ودر مقابل‌هر زمینهٔ روشنتری‌در نهایت وضوح دیده می‌شود[1] . ازاین‌روی بآن‌نام‌کروماتین یعنی **رنگ‌پذیر** ، داده‌اند . این لغت ریشهٔ یونانی‌دارد .

هنگامی که‌یاخته برای‌عمل‌حیاتی‌تقسیم‌می‌شودساختمان‌شبکه‌تغییر می کند ودیده می‌شود که بیك‌دسته ذرات جداگانه تقسیم‌می‌شود که‌معمولا بشکل‌الیاف هستند و**کروموزوم** ، یا **رنگ‌شو** ، نامیده می‌شوند(یعنی‌موادی که‌می‌شود

---

۱ ـ اگر با مدادشمعی چیـزی بر روی کـاغذ بنویسید یك‌چنین وضعی خواهیدداشت ؛ ازنوشتهٔ شما برروی کاغذ اثری‌نیست امااگر کاغذرا با مدادسیاه کنید نوشته‌ها در روی‌زمینه‌سیاه ظاهرمی‌شوند زیراکه مغزمداد جاهائی‌راکه بـا شمع‌روی آن‌نوشته‌شده است‌سیاه نمی‌کند .

آنها رنگ‌کرد) ، رجوع‌شود به تصویر خارج از متن شمارهٔ ٥ A و B ۱ .



شکل ۹۲

مراحل متوالی تقسیم یاخته

در تمام یاخته‌های یك نوع معین از جانوران (باستثنای یاخته‌های تولیدکننده) تعداد کروموزومها یکی است وهرچه جانور کاملتر باشد تعداد کروموزومها

۱ـ بایددانست که وقتی ما یاخته زنده‌ای رارنگ‌می‌کنیم درحقیقت آنرا می‌کشیم و رشدبعدی آنرامتوقف‌می‌سازیم . باین‌ترتیب‌تصاویر متعددومداوم‌ازتقسیم شدن یاخته مانند آنچه درشکل ۹۲ می‌بینید تهیه‌می‌شودواین‌تصاویر ازیك‌یاخته نیست‌بلکه‌باروش‌رنگ‌کردن وکشتن‌یاخته ازیاخته‌های گوناگون درمراحل‌مختلف رشد آنها تهیه شده است ، هرچند تفاوت‌زیادی‌باهم‌ندارند .

بیشتر وهرچه ساده‌تر باشد تعداد آنها کمتر است .

شتهٔ میوه ،که نام لاتینی پرطمطراق « دروزوفیلا ملانوگاستر »[۱] بر آن نهاده شده ودر پرده برداشتن از معمای زندگی بزیست شناسان کمکهای شایان کرده است ، درهر یاختهٔ هشت کروموزوم دارد . یاختهٔ نخودفرنگی چهارده کروموزوم و یاختهٔ ذرت بیست کروموزوم دارد . دانشمند زیست شناس ، مانند مردم دیگر ، باکمال غرور چهل وهشت کروموزوم دارد .

واین خود یك دلیل ریاضی است براینکه آدمی شش بار از شته بهتر است و باین حساب ماهی مخصوصی که دارای دویست کروموزوم است چهار بار بر آدمی رجحان دارد .

چیزی که در بارهٔ کروموزوم یاخته‌های انواع جانوران مهم است اینست که همیشه عدهٔ آنها جفت است ؛ درحقیقت درهر یاختهٔ زنده‌ای (باستثنای موردی که بعداً در همین فصل خواهیم دید) **دو دستهٔ تقریباً متشابه کروموزوم داریم** (رجوع کنید بتصویر خارج‌ازمتن شماره ۵ A) ،**یك دسته از مادر ودستهٔ دیگر ازپدر . این دو دسته که از پدر و مادر می‌آیند باخود خواص ارثی پیچیده‌ای راکه درهمهٔ جاندار ها نسل به‌نسل منتقل می‌شودهمراه دارند .**

در تقسیم یاخته هاابتکاربا کروموزومهاست که‌درجهت‌طول منشق‌وبدو جزءکاملا مشابه بااولی ،اما باریکتر، منقسم می‌شوند درصورتیکه یاخته‌بطور کلی‌دست نخورده وبصورت واحد باقی می‌ماند (ش ۹۲ ، d) .

در اوانی که دسته های کروموزومهای هسته ،که در اصل بشکل بسته‌ای بهم پیچید بوده‌اند، برای تقسیم‌شدن آماده می‌شوند دونقطه بنام **سانتروزوم** که‌کاملا در مجاورت یکدیگر ودرنزدیکی حد بیرونی هسته قرار دارندکم‌کم بحرکت در می‌آیند و از یکدیگر دورمی‌شوند و بطرف‌دوانتهای یاخته روی می‌آورند (ش۹۷،a وb وc) درهمانحال‌رشته‌های بسیار نازکی بنظرمی‌رسند که‌این سانتروزومهای جداشده‌را بکروموزومهای درون هسته‌مربوط‌می‌سازند وقتی که‌کروموزومها بدونیمه تقسیم‌می‌شوند هرنیمه به‌سانتروزوم مقابل‌خود مربوط است و بوسیلهٔ کشش رشته‌هائی کـه گفتیم شدیداً از نیمهٔ دیگر دور

---

۱ – Drosophila Melanogaster

می‌شود (ش ۹۲ e و f) . وقتی که این عمل تقریباً کامل شد (ش۹۲ g)دیوار یاخته دروسط شروع بفرو رفتن می‌کند (ش۹۲ h) ودیوار نازکی بین دو نیمهٔ یاخته بوجود می‌آید و دونیمه‌از یکدیگر جدا می‌شوند ودو یاختهٔ تازه بوجود می‌آورند .

اگر از خارج غذای کافی باین دویاختهٔ نوزاد برسد پهلوی مادرخود (عامل ۲) رشد خواهند کرد و پس از مختصر استراحتی بوضعی که هستی خود آنها را تأمین‌کرده است بیاخته های بیشتری تقسیم‌خواهندشد .

شرحی که در بارهٔ مراحل مختلف تقسیم یاخته گفتیم نتیجهٔ مشاهدات دقیق است وتقریباً همهٔ چیزی است که علم توانسته است ، در تلاش‌برای‌درك حقیقت این پدیده ، بآن پی‌ببرد ، زیراکه درراه‌وقوف بماهیت حقیقی نیرو-های‌فیزیکی وشیمیائی که‌مسبب این‌تغییرات هستند‌بسیار کم پیشرفت کرده‌ایم. بسبب پیچیدگی یك یاخته هنوز نمی‌توان آنرا کلا از جنبهٔ فیزیکی بطور مستقیم تجزیه و تحلیل‌کرد وپیش از پرداختن بحل این مسئله باید بدرك حقیقت کروموزومها پرداخت ، زیراکه این‌مسئله بنسبت ساده تراست و در بخش آینده‌مورد بحث ماخواهد بود .

اما نخست بدنیست که ببینیم‌در موجودهای زندهٔ‌پیچیده ومرکبی که‌عدهٔ بسیار زیادی‌یاخته‌دارندچگونه تقسیم یاخته‌موجب‌وسبب اعمال تولیدی‌خواهد بود . شاید در اینجا ازخود بپرسیم که تخم جلوتر آمده است یا جوجه ؟ اما حقیقت آن است که در توصیف و تبیین اینگونه اعمال تسلسلی اهمیتی ندارد که از «تخم» شروع کنیم ،که بجوجه (یا جانداری دیگر) تبدیل خواهدشد، یا از جوجه ،که درآینده تخم خواهدگذاشت .

فرض کنیدکه از جوجه ای شروع کنیم که تازه ازتخم‌بیرون آمده‌باشد. درلحظهٔ ازتخم بیرون آمدن (یا تولد) این جوجه یاخته‌های بدن آن شروع می‌کنندبیك سلسله تقسیمهای متوالی وبدینوسیله رشد سریع وبسط وتوسعهٔ این‌موجود زنده راتأمین می‌کنند .اگربیاد بیاوریم که‌بدن یك حیوان‌رسیده وبالغ چند هزار میلیارد یاخته داردکه همه براثر تکثیرهای متوالی از یك تخم‌بوجود آمده‌اند . هم ازآغاز معتقد خواهیم‌شدکه براستی برای عایدشدن

چنین نتیجه ای بایدعمل تقسیم وتکثیر متوالی بسیار مکرر ودامنه دار بوده باشد . برای درك اینکه چگونه بااینکه هردفعه هریاخته فقط بدو نیمه‌می‌شود واین تکثیر به نسبت کم بنظر می‌رسد نتیجه‌ای‌که از آن عاید می گردد چنین شگرف‌است‌کافی است بیاد بیاورید که‌دانه‌های گندمی‌که سیسابن درمقابل ٦٤ خانهٔ شطرنج ازپادشاه متبوع خود خواسته بودوباتصاعد هندسی بالا می رفت، یا سالهائی‌که برای منظم‌کردن ٦٤ قرص مسئلهٔ « آخرالزمان » فصل اول‌لازم بود بچه‌تعداد بزرگی می‌رسید .

اگر تعداد تقسیمهای متوالی یاخته‌ها راکه برای‌رشد یك‌انسان بالغ است با x تعیین‌کنیم و بیاد بیاوریم‌که درهر تقسیم تعداد یاخته‌های بدنی‌که درحال رشداست دوبرابرمی‌شود (زیراکه هریك‌یاخته‌بدل بدو می‌شود)ممکن است بتوانیم بمحاسبهٔ تعداد تقسیمهائی‌که از زمان تشکیل یك تخم تادوران بلوغ دربدن انسان انجام می‌شود بوسیلهٔ دستور $۲^x = ۱۰۱۴$ نایل شویم . جواب $x = ٤۷$ بدست می‌آید .

باین ترتیب می‌بینیم‌که هریاختهٔ بدن‌ما ،که بدورهٔ بلوغ‌رسیده ایم ، نسل پنجاهم اولین تخم یاخته‌ای است‌که مسبب وجود ما بوده است[۱] .

در جانوران جوان یاخته‌ها بسرعت تقسیم وتکثیر می‌شوند اما بیشتر یاخته های‌یك موجودرسیده عموماً در «حال استراحت»هستند ودرطول‌زندگی فقط گاه بگاه برای « نگهداری » بدن و جبران فرسودگیها و دریدگیها تقسیم می‌شوند .

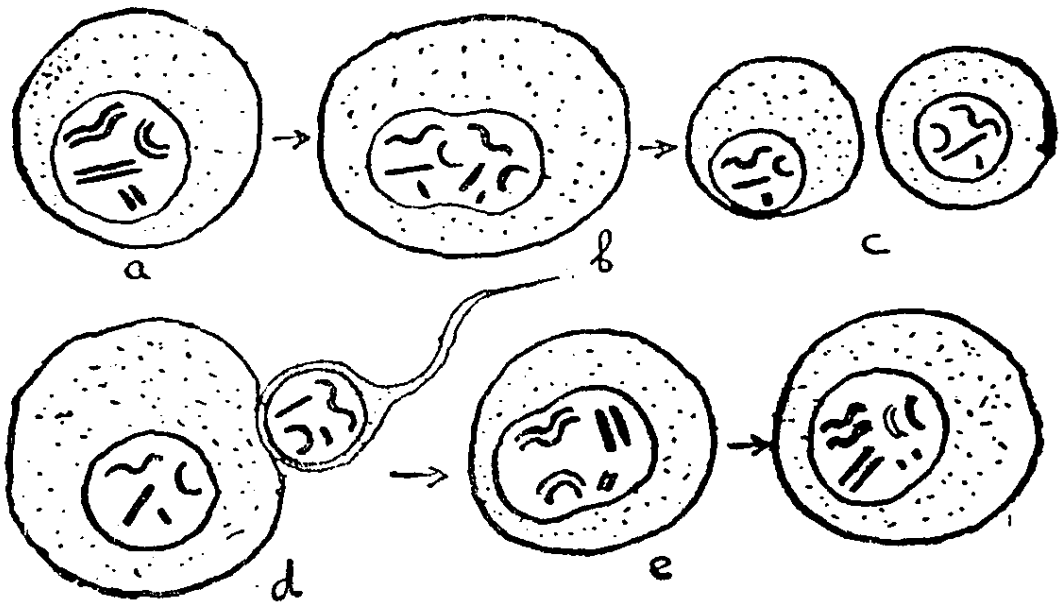
اکنون بنوع مخصوص مهمی از تقسیم یاخته رسیده‌ایم‌که نتیجه اش تشکیل یاخته های جنسی یا « گامت ها » است‌که موجب و مسبب پدیدهٔ‌تولید مثل هستند .

در هرموجود زنده‌ای‌که نروماده‌داشته باشد درهمان مرحلهٔ اول‌عده‌ای از یاخته‌ها کنار گذاشته می‌شوند و برای فعالیتهای جنسی « ذخیره »

---

۱ ـ نکته جالبی خواهد بود که این محاسبه را با محاسبهٔ مربوط‌با نفجار یك بمب‌اتمی مقایسه‌کنیم (رجوع‌شود بفصل هفتم). تعداد تقسیمهای متوالی‌اتم‌که برای ایجاد عمل انشقاق (تکثیر) هر اتم اورانیوم‌لازم است برای‌یك‌کیلو گرام از آن ماده (که برروی‌هم $۲ \times ۵ \times ۱۰۲٤$ اتم‌دارد)باهمین قسم معادلهٔ معین‌می‌شود یعنی‌بادستور $۲x = ۲ \times ۵ \times ۱۰۲٤$ ونتیجه $x = ٦۱$ می‌شود .

می‌گردند . این یاخته ها، که در جهازهای مخصوص تولیدجای دارند ، درطول مدت رشدموجود خیلی کمتراز دیگر یاخته‌های بدن تغییروتبدیل پیدامی‌کنند وشاداب و تازه‌نفس می‌مانند تاوقتی که بمنظور تولید جوانه و شاخهٔ تازه‌ای بوجودشان احتیاج پیدا شود . بعلاوه تقسیم این یاخته‌ها بـا روشی صورت می‌پذیرد که باروش تقسیم سایریاخته ها، که پیشتر در بارهٔ آن صحبت‌داشتیم تفاوت دارد وخیلی از آن ساده‌تر است . کروموزومهائی که هستهٔ مرکزی این یاخته هارا تشکیل می‌دهندبهنگام تقسیم مانندکروموزومهای یاخته‌های دیگر بدو نیمه نمی‌شوند بلکه از یکدیگر دور وجدا می‌گردندبقسمی‌کـه **هر «یاختهٔ فرزند »فقط نیمی‌ازکروموزومهای «یاختهٔ مادر»را دریافت می‌کند .**



شکل ۹۳

تشکیل گامتها (a و b و c) وتکثیر یك یاختهٔ تخم (d و e و f) . درعمل اول (مه یوزیس) کروموزومهای زوج یـاخته‌ای‌که برای تکثیر حاضر است بدو نیم یاختـه تقسیم می‌شود بی‌آنکه قبلا بدو پاره شده باشـد . در عمل دوم (سینگامی Syngamy) یاختهٔ نطفهٔ نر دریاختهٔ تخم ماده نفوذ می‌کند وکروموزومهایشان جفت می‌شوند و در نتیجه یاختهٔ جدید برای تقسیم منظم ، بقسمی‌که در شکل ۹۲ دیدیم آماده می‌شود .

عمل طبیعی‌ایرا کـه منجر بـه تشکیل ایـن گونه یاخته‌های « کم کروموزوم » می‌شود « مه یوزیس »[۱] یا «کاهش کروموزوم » می‌گویند ، عمل تقسیم معمولی یاخته‌ها را « می‌توزیس»[۲] یـا « تقسیم غیرمستقیم » می‌نامند .

---

۱ ـ Meiosis ۲ ـ Mitosis

یاخته‌هائی که ازعمل‌مه‌یوزیس‌نتیجه می گردند « یاخته‌های نطفه » یا «یاخته‌های تخم » یا **گامتهای نر** و **گامتهای ماده** نامیده می‌شوند .

ممکن است خوانندهٔ دقیق از خود سئوال کندکه چگونه تقسیم یاختهٔ مولد اصلی بدوجزء متساوی ممکن‌است گامتهائی‌بوجود آوردکه خواص‌نر یا ماده داشته‌باشند . درجواب این‌سؤال دقت وی را بآنچه پیشتر گفته‌ایم جلب می‌کنیم وآن‌این بودکه‌کروموزومومها بشکل‌جفتهای‌همانند وجود دارند جز دریك حالت استثنائی و آن اینکه یك جفت‌کـروموزوم خاص وجوددارد‌که اجزاء ترکیب‌کنندهٔ‌آن‌درموجود ماده متشابه و درموجود نرمتفاوت هستند . این‌کروموزومهای‌خاص را **کروموزومهای جنسی**می گویند و آنها را با علامتهای X وY مشخص می‌سازند. یاخته‌های یك مـوجود زندهٔ ماده همیشه دوکروموزومX دارند ویاخته‌های یك‌موجودزندهٔ نر یك‌کروموزومX ویکی Y [1] داراهستند. قرارگرفتن یك‌کروموزوم Y بجای یك X نمایندهٔ اصلی اختلاف دو جنس است (ش ۹٤) .

شکل۹۴

اختلاف‌ارزش‌اسمی بین مردوزن . درحالیکه همهٔ یاخته‌های‌بدن زن ۴۸ زوج‌کروموزوم ازیك جنس دارند از یاخته‌های بدن مرد یك زوج متقارن است و بجـای دوکروموزوم X که دریاختهٔ زن است دریاختهٔ مرد یك‌کروموزوم X ویکی Y وجود دارد .

---

۱ ـ آنچه‌گفتیم درنوع انسان و درهمـهٔ پستانداران صادق است ، اما در پرندگان وضع‌بعکس می‌شود ، خروس‌دویاختهٔ‌جنسی متشابه دارد و مرغ دویاختهٔ جنسی متفاوت .

از آنجائیکه هر یاختهٔ تولید کنندهٔ یك موجود زنده ماده کاملا از کروموزومهای X تشکیل شده‌است وقتی‌که درعمل مه یوزیس بدونیمه منقسم می‌شودبهر نیمه یك‌کروموزوم X می‌رسد . اما چون یاختهٔ تولیدکنندهٔ موجود نر یك‌کروموزوم X و یك Y دارد پس ازتقسیم آن دو یاختهٔ جنسی (گامت) بوجود می‌آیندکه یکی کروموزوم X و دیگری Y خواهد داشت .

وقتی‌که درعمل انعقاد نطفهٔ یك‌گامت نر (منی) با یك‌گامت ماده (تخم) متحد می‌شوند با پنجاه‌درصداحتمال نتیجه یاخته‌ای خواهد بود با دو کروموزوم X وبا پنجاه درصد احتمال یاخته‌ای با یك X ویك Y . درصورت اول بچه دخترخواهد بود و درصورت دوم پسر .

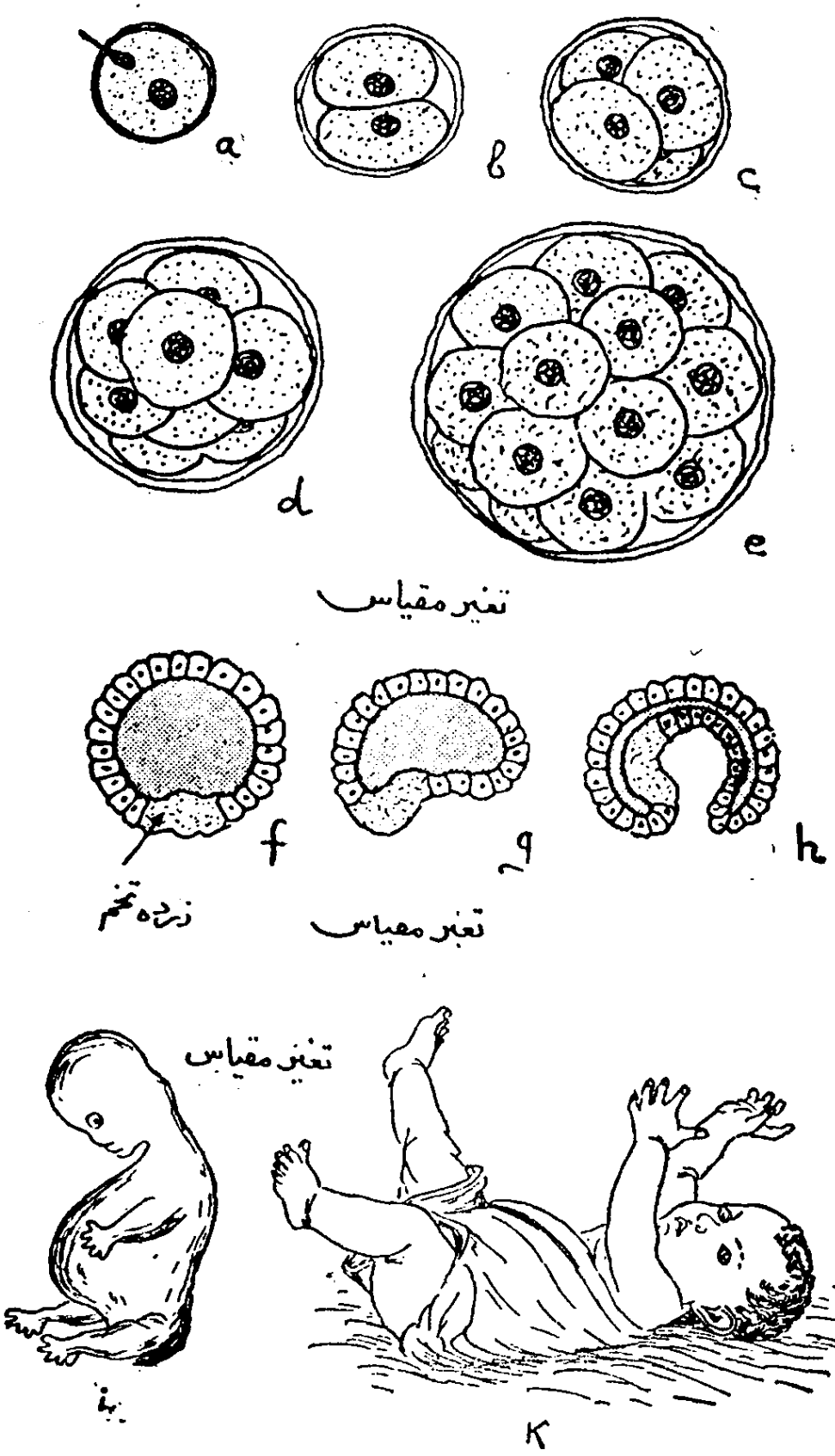
دربخش‌آینده باین مسئلهٔ مهم باز خواهیم‌گشت . اکنون بتشریح عمل توالد می‌پردازیم .

وقتی‌که عملی بنام « سینگامی»[1] انجام شود ، یعنی یك یاختهٔ نطفهٔ نر با یك یاختهٔ تخم ماده توأم‌گردد ، یك یاختهٔ‌کامل تشکیل می‌شود و باعمل « می‌توزیس» ، چنان‌که درشکل۹۲شرح داده شد، بدویاخته تقسیم می‌گردد. هریك ازاین دو یاختهٔ نو ، پس ازاندکی استراحت ، بدوتای دیگر تقسیم می‌شود و این چهار یاخته بهشت تای دیگر منقسم می‌گردد وعمل ادامه پیدا می‌کند . بهر « یاختهٔ فرزند » عیناً کروموزومهائی‌که در یاختهٔ تخم اصلی وجود داشته ونیمی‌ازآن ازمادر ونیمی دیگرازپدرگرفته شده است می‌رسد. درشکل ۹۵بسط و رشد تدریجی از تخم نطفه دار تا موجودکامل نمایش داده شده است . در (a) نطفه (منی) را می‌بینیم که در درون تخمی‌که در حال استراحت است نفوذ می‌کند . اتحاد دو یاختهٔ جنسی (گامت) دریاختهٔ کامل شده فعالیت را تحریك می‌کند و یاخته به ۲ ، سپس به ٤ ، آنگاه به ۸ ، و بعد ازآن به ۱٦ یاختهٔ جدید تقسیم می‌شودوعمل همچنان ادامه پیدا می‌کند (شکل ۹۵b و c و d و e) . هنگامی که تعداد یاخته‌های انفرادی بالنسبه زیادشد یاخته‌ها میل می‌کنندکه بوضعی قرارگیرندکه همهٔ آنها درمجاورت سطح باشند ، زیراکه این وضع بهتر و برای گرفتن غذا ازمحیط مغذی مجاور مناسبتر است . این‌مرحله از رشد را ،که درآن موجود زنده بحبابی ازهوا می‌ماندکه در درونش‌حفره‌ایست، «باستولا»[2] می‌نامند (f) . پس ازآن دیوارحفره در (g) خم‌می‌شودوموجود زنده وارد مرحله‌ای بنام «گاسترولا»[3]

---

۱ ـ Syngamy ۲ ـ Bastula ۳ ـ Gastrula

(h) می گردد که در آن شبیه بکیسه‌ایست کـه مدخلی داشته بـاشد که با آن



شکل ۹۵

غذا جذب و ازآن مواد زائد غذای هضم شده را دفع کند . جانوران ساده ، ازنوع مثلا مرجانها ، هیچگاه ازاین مرحله رشد تجاوز نمی‌کنند . برخی ازیاخته‌ها بصورت استخوان بندی وبعضی دیگر بدستگاهای گوارش یاتنفس یا اعصاب بسط پیدا می‌کنند و موجود جاندار پس از گذراندن مرحله‌های مختلف جنینی (i) بصورت جانورکوچکی که نمایندهٔ کامل نوع خود می‌باشد درمی‌آید (k) . همچنانکه پیشتر گفتیم بـرخی ازیاخته‌های موجودی که در حال رشد است حتی در همان مراحل اول کنار گذاشته می‌شوند و باصطلاح برای وظائف توالدی ذخیره می گـردند. وقتی کـه حیوان بسن بلوغ رسید یاخته‌ها عمل مه یوزنس راانجام می‌دهند و یاخته‌های جنسی (گامت‌ها) را بوجود می‌آورندو گامت ها اعمالی راکه گفته شد ازنوآغاز می‌کنند وحیات باین نحو ادامه می‌یابد .

توارث و ژن‌ها[1]

قابل توجه‌ترین نکته درعمل توالد این حقیقت است که موجود زنده جدیدی که از در هم آمیختن یك جفت یاختهٔ جنسی (گامت) پدر و مادر بوجودمی‌آیدبوضع غیرمشخص ودلخواهی‌رشدنمی‌کند بلکه بصورت نسخه‌ای صادق ، اما نه همیشه دقیق، از پدر بزرگ ومادربزرگ‌خود نمو می‌نماید .

درحقیقت می‌توانیم مطمئن باشیم که توله‌ای که ازیك‌جفت تازی شکاری مو بلند بوجود آید نه فقط بیشتر شبیه بسگ است تا بفیل یا خرگوش بلکه هرگز ببزرگی فیل یاکوچکی خرگوش نخواهد شد . وچهار دست و پا و دمی دراز ودوگوش و یك چشم در هر طرف سردارد حتی حق داریم مطمئن باشیم که گوشهایش نرم و آویزان و موهایش بلند و قهوه ای مایل بطلائی خواهد بود وخودآن شکارکردن را دوست خواهد داشت . بعلاوه عده‌ای از خصایل و صفات کوچکتر وجودخواهند داشت که بصفات پدر یا مادر یایکی ازجدهای آن‌حیوان‌خواهندماند وصفات دیگری که خاص‌خودآن‌خواهند بود.

چگونه این‌همه صفات ومشخصات تولهٔ تازی ما توانسته‌اند درذرات میکروسکپی ماده ، یعنی گامتهائی که ازدرهم آمیختنشان این تولهٔ‌کوچولو

---

۱ ـ Geneiss

شروع بتکوین کرده است ، گرد آیند ؟

همچنانکه پیشتر دیدیم هر موجود زندهٔ تازه‌ای درست نصف کروموزومهای خود را از پدر و نصف دیگر را ازمادر دریافت می‌دارد . واضح است که قسمت اعظم صفات نوع حیوان باید درهر دودسته کروموزومهای پدری ومادری وجود داشته باشند اما صفات متعدد مختلف کوچکتری ، که برحسب افراد تفاوت می‌کنند ، بطورجداگانه فقط ازیکی از پدر و مادر بفرزند رسیده باشند . اما با آنکه تقریباً تردیدی نیست که بعد از گذشتن مدتی دراز ، یعنی پس از چندین نسل ، بسیاری از خواص و صفات اصلی جانوران و گیاهان مختلف دستخوش تغییر (که تکامل آلی شاهد بارز آن است) شود تغییراتی که درمدت کوتاه و محدود مطالعاتی که ماحصل آنها علم بشری است مشهود شده‌اند تغییرات بالنسبه کوچکی است که در صفات فرعی روی داده‌است .

مطالعه دراین گونه صفات و انتقال آنهااز پدر و مادر به فرزندان موضوع اصلی علم‌جدیدی است بنام ژنتیك[1] . این‌علم که هنوز عملا دردوران کودکی است می‌تواند نکات مهیج و جالبی در بارهٔ مرموزترین ونهفته‌ترین نکات زندگی‌بما بیاموزد. مثلادانسته‌ایم که علی‌رغم پدیده‌های زیستی قوانین توارث تقریباً بسادگی قواعد ریاضی هستند و نشان می‌دهند که ما دراینجا با یکی از اساسی‌ترین پدیده‌های حیات سروکارداریم .

بعنوان مثال عیب معروفی از چشم راکه «کوری‌رنگ» نام دارد مورد مطالعه قرار می‌دهیم . کسی که این‌عیب را درچشم دارد غالباً قادربه تشخیص رنگ سرخ‌ازسبز نیست . برای اینکه بتوانیم نقص کوری رنگ را بیان‌کنیم باید اول‌بفهمیم که چگونه رنگهارا می‌بینیم وازیکدیگرتشخیص می‌دهیم ، و برای اینکارباید ساختمان پیچیده وخصوصیات شبکیهٔ چشم وواکنشهای نوری وشیمیائی راکه بر اثر تغییرطول موجهای رنگهای مختلف و عوامل دیگر بوجود می‌آیند مورد مطالعه قرار دهیم .

اما اگرازخود بپرسیم که **کوری رنگ ارثی است یا نیست ؟** در بدو امر بنظرمی‌رسد که جواب این سؤال از توصیف خود پدیدهٔ کوری رنگ

---

۱ ـ Genetics

دشوارتر باشد ، اماجواب بیشترازحد انتظارآسان وساده است . ازمشاهدات توأم با تحقیق مسلم شده است که :

۱) کوری رنگ درمردان بیشتر از زنان است .

۲) بچه‌های‌مرد«کوررنگ» وزن «عادی » هرگزکوررنگ نمی‌شوند .

۳) درمیان فرزندان یك زن‌کوررنگ ویك مردعادی‌پسران‌کوررنگ هستند ولی دختران چنین نیستند . با توجه باین حقایق که بوضوح تعیین می‌کنندکه مسئلهٔ بارث بردن صفت کوری رنگ تا حدی مربوط بجنس مرد وزن است مجبوریم فرض کنیم که صفت کوری رنگ نتیجهٔ عیب یکی از کروموزومهاست ، وبااین‌کروموزوم ازنسلی بنسل دیگر منتقل‌می‌شود، فرض علمی و منطقی‌که بآنچه بیان شد منتهی می گردد این‌است‌که **کوری‌رنگ ناشی ازعیب یکی ازکروموزومهای جنسی است‌که کمی جلوتر آنها را X نامیدیم.**

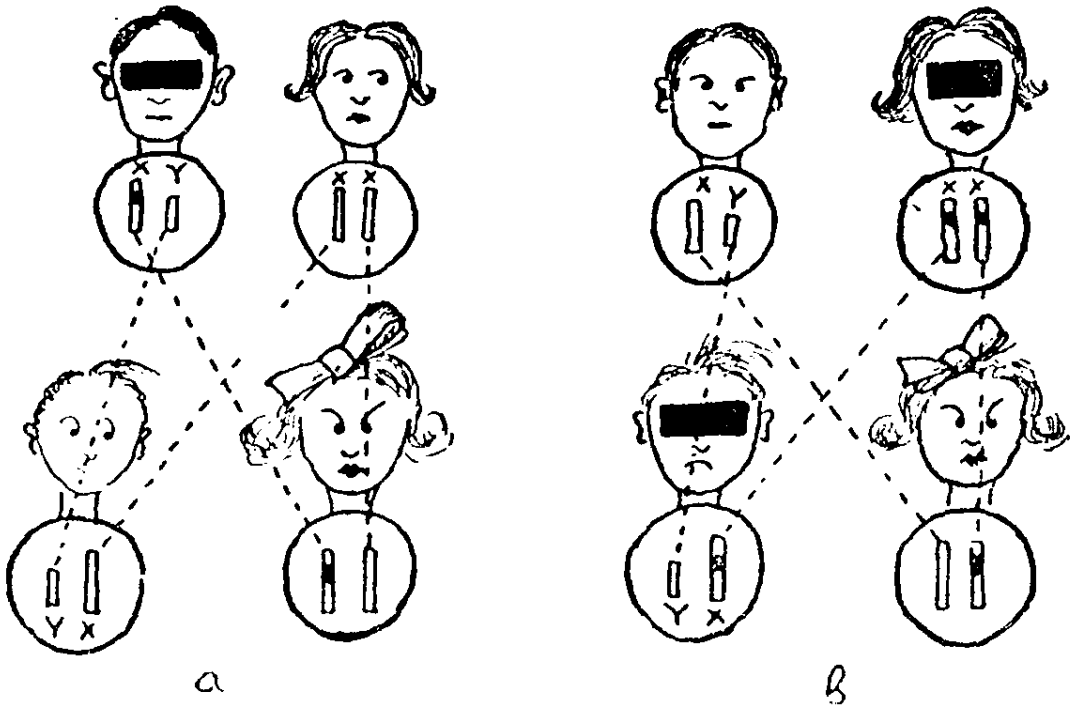
با چنین فرضی قوانین‌تجربی مربوط بکوری رنگ مانند روزروشن می‌شودبیادبیاوریدکه یاختهٔ ماده دوکروموزوم X دارد ویاختهٔ نر فقط یکی (کروموزوم دیگرآن Y است) . اگر درمرد تنهاکروموزوم Xاش ازاین حیث معیوب باشد مردکور رنگ است . درزن باید هردو کروموزوم معیوب باشند زیراکه‌اگریکی سالم باشدبرای تشخیص رنگ‌کافی است . اگراحتمال این‌راکه کروموزوم X عیب مربوط برنگ راداشته باشد یك درهزارفرض کنیم درمیان هر هزار مردیکی‌کور رنگ خواهد بود . نتیجه آنکه احتمال معیوب بودن هردوکروموزوم X زن بر طبق قضیهٔ ضرب احتمالات (رجوع شودبفصل هشتم) بوسیلهٔ حاصلضرب :

$$\frac{۱}{۱۰۰۰۰۰۰} = \frac{۱}{۱۰۰۰} \times \frac{۱}{۱۰۰۰}$$

بدست می‌آید ، یعنی باید انتظار داشت‌که از هر یك‌میلیون زن‌یکی‌کور رنگ باشد .

حالا حالتی‌را درنظر می گیریم‌که شوهرکور رنگ وزن «طبیعی» باشد (شکل۹۶a)، پسران آنان ازپدرکروموزوم X نمی گیرند وتنهاکروموزوم Xشان ازمادربآنان می‌رسد ودلیلی‌نیست‌که‌کوررنگ باشند . دختران این پدرو مادر یك‌کروموزوم X «بد» ازپدرویك «خوب» ازمادر می گیرند وکور

رنگ‌نیستند اما ممکن است‌فرزندان ، یعنی پسران ، آنان‌کوررنگ بشوند.



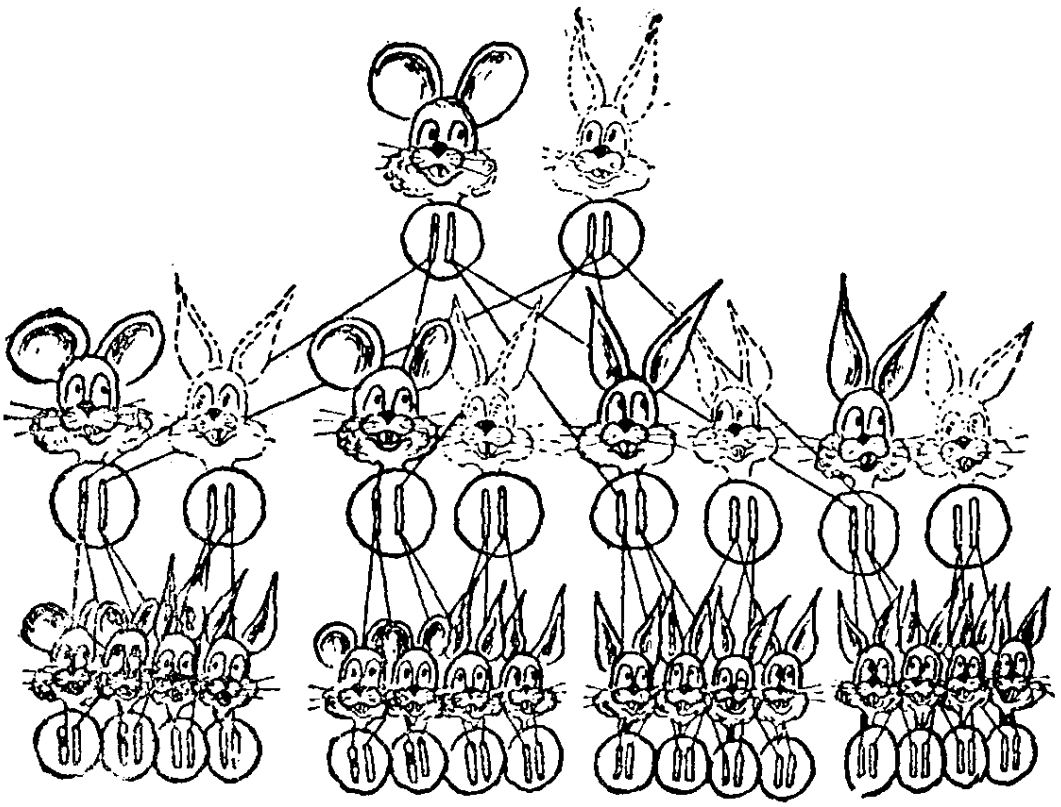
شکل ۹۶
توارث کوری‌رنگ

در حالت مقابل ، یعنی وقتی پدر «طبیعی» و مادر «کور رنگ» باشد (شکل b۹۶) ، پسران‌مسلماً کوررنگ خواهندبود زیراکه تنهاکروموزوم X آنان ازمادرمی‌رسد . دختران‌که یك X سالم ازپدر ویك X معیوب ازمادر می‌گیرند مریض‌نخواهند بود اما مانندحالت قبل پسران ایشان‌کـور رنگ خواهندشد . دیگر حساب ازاین ساده تر !

این صفات مشخصهٔ ارثی ، مانند «کوری رنگ»، که لازمهٔ آنها معیوب بودن هردو کروموزوم یك‌زوج است **بازگرد** یا **دوری** نامیده می‌شوند و خاصیتی را بوضعی نهفته‌از جدبه نوه منتقل می‌سازند. و نتیجهٔ غم‌انگیزاین پیش‌آمد آن است‌که ممکن است تولهٔ دو سگ‌گلهٔ سالم بهمه چیز شبیه باشد جز بیك سگ گله .

در مقابل صفات مشخصهٔ بازگرد خواص **غالب**را می‌توان نام بردکه فقط وقتی‌یکی ازکروموزوم های زوج‌معیوب باشدظاهر می‌شوند بجای‌اینکه ازیك مثال حقیقی ژنیتیك استفاده‌کنیم یك مثال موهوم می‌زنیم وآن بیـان

حالت خرگوشی است که گوشهایش شبیه بگوش های «میکی ماوس» باشد . اگر فرض کنیم که «گوشهای میکی ماوسی» در توارث یك خاصیت غالب بشمار



شکل ۹۷

آید ، یعنی فقط تغییر یك کروموزوم کافی باشد که گوشهائی چنین شرم آور (از قول خرگوش صحبت می کنیم) بوجود آورد می‌توانیم بامراجعه بشکل۹۷ نوع گوشهای اعقاب خرگوش را مشخص کنیم . در این مثال فرض اینست که همیشه از هر جفت خرگوش اگر یکی از نسل معیوب است دیگری سالم و طبیعی باشد . در شکل ۹۷ انحراف از کروموزوم طبیعی بکروموزومی که مسبب گوشهای میکی ماوسی باشد بوسیلهٔ نقطهٔ سیاه نموده شده است .

علاوه برصفات مشخصهٔ **بازگرد** و **غالب** صفات دیگری هستند که ممکن است **بی تفاوت** نامیده شوند . فرض کنید که در باغ خود گلهای لاله عباسی سرخ و سفید داشته باشیم . وقتی که گرده (یاخته نطفهٔ گیاه) بوسیلهٔ بادیا حشرات از بوته‌ای که گل سرخ دارد نقل شود و بر پیستیل (آلت مادگی) بوتهٔ سرخ دیگر نشیند با تخمدانی (یاختهٔ تخم گیاه) که در پائین پیستیل است توأم می‌شود و تخمهائی بوجود می‌آورد که بازهم گل سرخ ببار خواهند

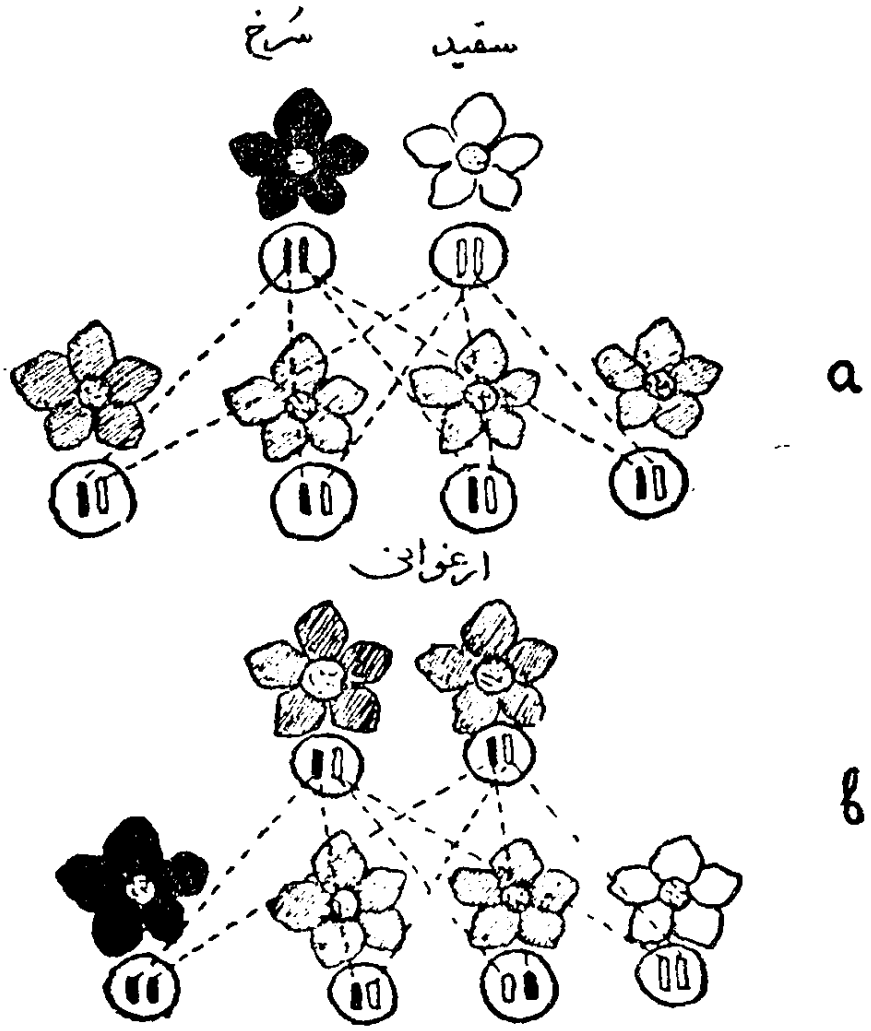
آورد . یا اگر گل‌سفید با گل سفید دیگری در هم آمیزند نتیجه گل‌سفید خواهد شد . اما اگر گردهٔ گل سفید بر گل سرخ یا گردهٔ گل‌سرخ بر گل سفید افشانده شود از تخمهائی‌که بوجود خواهد آمد گلهای صورتی خواهد رست. بآسانی دیده می‌شود که گلهای صورتی نوع‌خاصی راکه از جنبهٔ‌زیستی پا برجا بماند تشکیل نمی‌دهند واگر آنهارا تکثیر کنیم خواهیم دید که در نسل بعد ۵۰ درصد گلهای صورتی و۲۵ در صدسرخ و۲۵درصدسفید خواهندبود .

شرح این اجمال وقتی آسان می‌شودکه فرض‌کنیم خاصیت سرخ یاسفید بودن مربوط بیکی از کروموزومهای یاختهٔ گیاهی است و برای آنکه‌رنگ سرخ خالص داشته باشیم باید هردو کروموزوم یاخته از این حیث مشابه یکدیگر باشند . اگر یك‌کروموزوم سرخ باشد ودیگری سفید جنگ رنگها منجربایجاد رنگ صورتی خواهد شد . با توجه بشکل ۹۸که نمودار توزیع «کروموزومهای رنگ» بین نسلهای بعدی گیاه است همان رابطهٔ عددی‌راکه پیشتر گفتیم بدست می‌آوریم . اشکالی نخواهد داشت که نمودار دیگری‌شبیه بشکل ۹۸ رسم‌کنیم و بدان وسیله‌نتیجهٔ تربیت لاله عباسی‌های سفید وصورتی را نمایش دهیم تاببینیم‌که در نسل اول ۵۰ درصد صورتی و پنجاه درصد سفید خواهد بود و یك سرخ وجود نخواهد داشت . بهمین ترتیب از گلهای سرخ وصورتی ۵۰ درصد سرخ وپنجاه درصد صورتی خواهدبود واصلا سفید نخواهد داشت . اینها قوانین توارث بودند که نخستین بار در حدود ۱۰۰ سال پیش یك‌کشیش‌بسیار افتاده‌و متواضع‌ازاهل موراوی[۱] بنام گرگورمندل[۲] که در باغچهٔ صومعه‌ای نزدیك برنس[۳] نخود فرنگی‌تربیت می‌کرد، آنها را کشف نمود .

تا اینجا خواص گوناگونی راکه بموجود زندهٔ جوان بارث می‌رسد با کروموزومهای مختلفی‌که‌ازپدرومادر خود می‌گیرد مرتبط ساختیم‌وشناختیم. اما چون در نظر بگیریم‌که تعداد آن خواص و صفات بیرون از شمار و عدد این‌کروموزومها به نسبت محدود است (۸ درهر یاختهٔ مگس و۴۸ در هر یاختهٔ آدمی) بناچار باید قبول کنیم که هر کروموزوم فهرستی دراز از

۱- Moravia ۲- Gregor Mendel ۳- Bruns

صفات وخصوصیات موجود زنده را دربر دارد و در طول جسم ظریف رشته‌ای شکل‌خود جای می‌دهد . درحقیقت ، اگر در تصویر خارج از متن شماره ۱۵

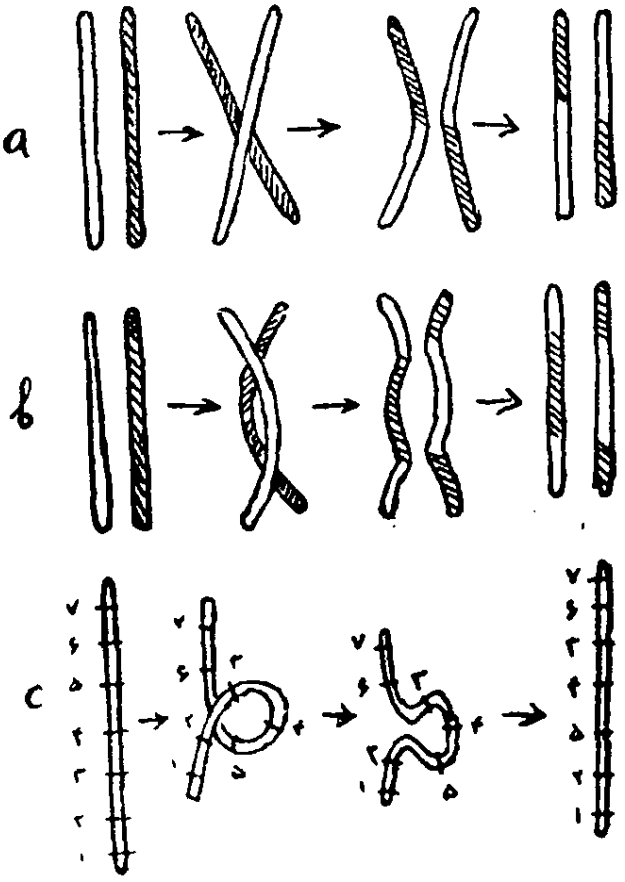


شکل ۹۸

A بکروموزومهای‌غدد بزاقی‌شتهٔ درخت‌میوه (بنام دروزوفیلاملانوگاستر[1]) توجه‌کنید بعیدبنظرمی‌رسدکه تحت تأثیر این فکر واقع نشوید که طبقات سیاهرنگ متعددی‌که جسم‌کروموزوم را در جهت قطـر آن ، یعنی در جهت عرض ، قطع‌کرده‌اند باید مقر صفات متعددی باشند که درکروموزوم جـای گرفته اند . ممکن است که برخی از این طبقات عرضی رنگ شته را سبب

۱ ـ در Drosophila Melanogaster برخلاف‌موجودهای بی‌شمار دیگر کروموزومها بطوراستثنائی بزرگ‌هستندومی‌توان باروش‌عکس‌برداری‌میکروسکپی (میکروفتوگرافی) بآسانی ساختمان آنها را مورد مطالعه‌قرار داد.

شوند ، و بعضی شکل بالهای آنرا ؛ و پاره‌ای هم‌موجب گردند که شش پا داشته باشد ، و دسته‌ای طول بدن آن را بحدود ۶ میلیمتر برسانند و عده‌ای هم شکل مخصوص آنرا فراهم سازند تا بین شتهٔ میوه و شپشهٔ جوجه فرق باشد . والحق که علم ژنتیك این فکررا کاملا تأیید می‌کند . نه‌تنها ممکن است نشان داده شود که این اجزاء کوچك کروموزوم که «ژن» نامیده شده‌اند ، حامل صفات و



شکل ۹۹

خصائص ارثی هستند بلکه در بسیاری ازموارد می‌توان تصریح کرد که کدام ژنها مقر کدام خاصیت بخصوص می‌باشند .

البته تا بزرگترین حدی که وسایل علمی اجازه می‌داده است ژنها را بزرگ کرده‌اند و دیده شده است که همه تقریباً شبیه بیکدیگرند و اختلافی که ازحیث وظیفه بین آنهاست در نقطه‌ای دراعماق ساختمان ملکولی آنها نهفته است .

پس پی بردن به « موضوع زندگی » آنها فقط بوسیلهٔ مطالعات بسیار دقیق دراین امر مسیرخواهد شد که در انواع مختلف جانور و حیوان چگونه

صفات موروثی مختلف ازنسلی بنسل دیگرمنتقل می گردند .

دیده‌ایم که‌هرموجود زنده نیمی‌ازکروموزومهای خودرا ازپدر ودیگر را ازمادرمی گیرد. چون‌دسته‌های کروموزوم پدری‌ومادری‌هم بنوبهٔخودبنسبت ۵۰ به۵۰ ، یا نیما نیم ، ازپدربزرگ‌ومادربزرگ پدری یا مادری رسیده‌اند باید انتظار داشته باشیم که نوه‌ها در هرطرف ازیکی از جدها ارث ببرند . اما معلوم شده است که الزاماً چنین نیست و مواردی دیده شده است که **هر چهار جد پاره‌ای از خصایص خود را بارث بنوهٔ خوددادەاند .**

آیا معنی‌این امر آن است که طرح انتقال بوسیلهٔکروموزوم که جلوتر بیان‌کردیم نادرست است ؟ نه ، آن طرح‌نادرست نیست اما فقط بنحوی ساده شده است . عاملی‌راکه باید بحساب آورد این است که غالباً ممکن است یك جفت‌کروموزوم یاختهٔ توالدکننده درمدتی که یاخته برای عمل « مه‌یوزیس » آماده می‌شود تابدو نیمه گردد و دویاختهٔ جنسی (گامت) بوجود آورد بدور یکدیگر بپیچند واجزاء خودرا مبادله‌کنند . اینگونه مبادلات که‌درشکل۹۹ a و b نمایش آن‌را می‌بینید منجر باختلاط ژنهائی که از والدین رسیده‌اند می گردند ومسبب و موجب مخلوط شدن صفات موروثی می‌شوند . حالتهائی هم ممکن است دیده شودکه درآنها یك کروموزوم « دولا » و تا شود (شکل ۹۹ c) و بطریق دیگری تقسیم گردد ونظم ژنهائی راکه درآن وجود دارند برهم زند (شکل c۹۹ و تصویرخارج ازمتن ۵ B) .

واضح است که اینگونه « بـرخوردن » ژنهـای دوکروموزوم یك جفت یاژنهای یك‌کروموزوم باغلب احتمال در وضع ژنها مؤثر خواهد بود وجای آنهائی راکه خیلی ازهم دوربوده‌اند یا آنهائی که درجوارهم قرار داشته‌اند عوض خواهدکرد . درست بهمین ترتیب وقتی که ورقهای بازی را «می‌بریم» وضع نسبی ورقهائی که در بالا وپائین « برش » بوده‌اند بهم می‌زنیم (وورقی راکه دربالای همه بود درمجاورت ورقی که زیرهمه جا داشت قرار می‌دهیم) اما فقط یك جفت از ورقهائی را کـه بی‌فـاصله مجاور هم بودند ازهم جدا می کنیم .

باین ترتیب وقتی که مشاهده مـی کنیم کـه از تقاطع کروموزومها دو خاصیت موروثی باهم تغییر جا می‌دهند نتیجه می گیریم که بایستی ژنهای آنها

بی‌فاصله‌مجاوریکدیگر بوده باشند . بعکس ، صفاتی که درتقاطع کروموزومها غالباً از هم دور می‌شوند بایستی در دو کـروموزوم بفاصلهٔ دورازهم جای داشته باشند .

مورگان، دانشمند ژنتیك‌دان امریکائی ، و پیروان‌مکتب اودنبال این مطالعات راگرفتند وتوانستند دربارهٔ ژنهای‌کروموزوم شتهٔ میوه ،که‌موضوع مطالعهٔ آنان بود ، نظم‌کاملی برقرار وجدولی تنظیم سازند .

۳ ــ ژنها بمنزلهٔ «ملکولهای زنده»

پس از آنکه ساختمان‌بسیار بسیار پیچیدهٔ‌جانداران راقدم بقدم‌تجزیه وتحلیل کردیم اکنون بچیزهائی می‌رسیم‌که بظاهر باید **واحدهای اصلی زندگی** باشند . در حقیقت دیدیم که تمـام دورهٔ بسط ورشد ، وعمـلا همهٔ خصائص موجودی‌که رشد کرده است ، بوسیلهٔ دسته ای از ژنهاکه در درون و اعماق یاخته‌ها نهفته‌اند تنظیم‌می‌شود . می‌توان گفت‌که جانور یاگیاه درحول ژنهای خودنمومی‌کند . اگر دراینجامجاز باشیم‌که تشبیهی بایك مثال‌بسیار ساده شدهٔ فیزیکی برقرار سازیم می‌توانیم رابطهٔ بین ژنها وموجود زنده را بارابطهٔ بین هستهٔ اتمی وقطعات بزرگ مواد غیر آلی مقایسه‌کنیم . در این موارد هم‌عملا همهٔ خواص فیزیکی وشیمیائی هرماده رامی‌توان بخواص‌اصلی هستهٔ اتمی آن ،که بوسیلـهٔ عددی‌کـه مبین بار الکتریکی آنهاست مشخص می شود،کشانید و مربوط ساخت . مثلا هریك از هسته‌هائی‌که باری مرکب از ٦ واحد اولیهٔ الکتریکی داشته باشند خود را در لفافی از شش الکترون محاط می‌کنند واین الکترونها اتمها را متمـایل می سازندکه بوضعی شبیه بیك شش ضلعی منظم قرار گیرند و بلورهـائی تشکیل دهند که دارای یك سختی اشتثنائی ویك ضریب انکسار بزرگ باشند وماآنها را الماس می‌نامیم بوضعی مشابه دسته ای از هسته ها که ۲۹ ، ۱٦ و ۸ بار الکتـریکی داشته باشند اتمهائی بوجود می‌آورندکه بهم می‌چسبند وبلورهای نرم وآبی‌ماده‌ای بنام‌کادکبود ، یا سولفات مس ،را تشکیل می‌دهند. بدیهی است‌که ساده‌ترین موجود زنده خیلی از هربلوری پیچیده تر است اما در هر دو مورد بـا این

پدیده مواجهیم که تشکیلات بسیار بزرگ ازمراکز فعالهٔ تشکیل‌دهندهٔ بسیار کوچك بوجود آمده‌اند .

عظمت این مراکز تشکیل دهنده ، کـه همهٔ خواص موجودات زنده ، از عطر دلاویز گل تا شکل عجیب خرطوم فیل ، را بوجود می‌آورند چقدر است ؟ جواب این پرسش را بآسانی می توان یافت ، بشرط آنکه حجـم یك کروموزوم طبیعی‌را بعدهٔ ژنهائی که درآن است تقسیم کنیم . برطبق مشاهدات میکروسکپی ضخامت یك کروموزوم متوسط در حدود یکهزارم میلیمتر است یعنی حجم آن درحدود ۱٤– ۱۰ سانتیمترمکعب است. بعلاوه برطبق آزمایش‌هائی که درزاد و ولدکردن موجودات زنده‌در آزمایشگاهها شده است بنظر می‌رسد که‌هر کروموزوم مسئول و مسبب هزارها خاصیت وصفت‌موروثی‌است واین‌رقم‌را هم می‌توان مستقیماً باشمردن عدهٔ ژنهای جداگانه ای بدست‌آورد که درطول کروموزوم شتـهٔ میوه (درو زوفیلا ملانوگاستـر) که بمنظـور آزمایشهای علمی آنرا بسیار بزرگ کرده باشند وجود دارد ۱ (رجوع کنید بتصویر خارج از متن شماره ٥) . اگر تمام حجم کـروموزوم را بتعـداد ژنهای‌مجزا از هم‌تقسیم کنیم متوجه‌می‌شویم که‌حجم‌یك‌ژن از ۱۷– ۱۰سانتیمتر مکعب بزرگتر نیست . چون حجـم یك اتم متوسط ۲۳– ۱۰ سانتیمتـر است (یعنی خیلی‌کم با ۳ (۸– ۱۰ × ۲) اختـلاف دارد نتیجه می گیریم که هـر **ژن منفرد باید تقریباً از یك‌ملیون اتم ساخته شده‌باشد .**

همچنین‌ما می‌توانیم وزن‌کل‌ژنها را مثلا دربدن انسان تخمین‌کنیم . بطوریکه جلوتر دیدیم کسی که رشد خود را کرده باشد تقریباً از۱۰۱٤یاخته تشکیل می‌شود که‌هریاخته ٤۸ کروموزوم‌دارد . پس‌تمام حجم‌کروموزومهای موجود در بدن انسان درحدود ۱٤– ۱۰ × ٤۸ × ۱۰۱٤ ، یا خیلی نزدیك‌به ٥۰ سانتیمتر مکعب ، است وچـون وزن مخصوص متوسط مـواد زنده بوزن مخصوص آب نزدیك است وزن تمام کروموزومها بایدکمتر از٥۷ گرم‌باشد. این مقدار تقریباً ناچیز «مادهٔ تشکیل دهنده» است‌که گـرداگرد خود این « لفاف » عظیم و پیچیدهٔ حیوانی یا نباتی راکه هزاران برابر وزن آن است فراهم آورده و از « درون » آن هرکوچکترین مرحلهٔ رشد آن ، و نیز هر کوچکترین صفت مشخصهٔ ساختمان آن ، وحتی مقدار زیـادی از رفتارآنرا اداره‌می‌کند .

اما خود ژن چیست ؟ آیا آنرا هم باید « جانور » مرکبی دانست کـه

---

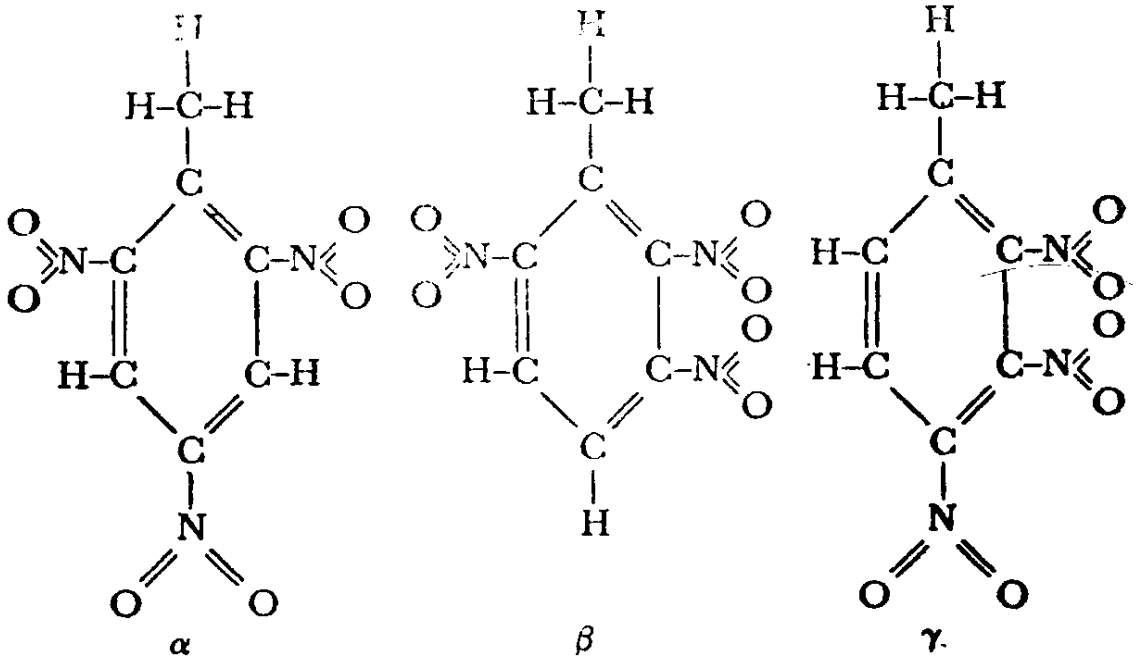
۱ ــ انـدازهٔ معمولـی کـروموزومها آنقدر کـوچك است‌کـه باتحقیقات میکروسکپی بتقسیم‌آنها به ژنهای مجزاتوفیق‌حاصل نشده است .

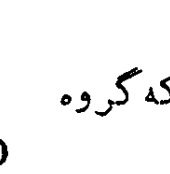
قابل تقسیم و تجزیه بواحدهای زندهٔ کوچکتری باشد ؟ جواب این سئوال مسلماً منفی است . ژن کوچکترین واحد مادهٔ جاندار است . بعلاوه با اینکه مسلم است که ژن مالك و صاحب تمام صفات و خصایصی است که مادهٔ زنده را از مادهٔ بیجان متمایز می‌سازند تردیدی نیست که این هردو ماده بوسیلهٔ ملکولهای مرکبی (مانند ملکولهائی پروتئین) که تابع تمام قواعد شیمی معمولی هستند بیکدیگر پیوسته‌اند .

بعبارت دیگر بنظر می‌رسد که **ژن پیوند مفقود بین ماده آلی از غیر آلی است ، یعنی همان ملکول زنده‌ای است که در آغاز این فصل بآن توجه کردیم .**

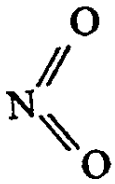
درحقیقت اگر ازیکطرف دوام قابل ملاحظهٔ ژن را، که خواص هر نوع را بدون انحراف در طول هزاران نسل منتقل می‌سازد ، و ازطرف دیگر تعداد بالنسبه کم اتمهائی را که ژن را تشکیل می‌دهند درنظر بگیریم بناچار این فکررا می‌پذیریم که ژن برطبق نقشهٔ قبلی منظمی ساخته و پرداخته شده که در آن هر اتم ، یا هر دسته از اتمها ، در محلی که قبلا برای آن تعیین شده قرار گرفته‌است. پس بنظر می‌رسد تفاوتهای بین خواص ژنهای مختلف ، که در تفاوتهای خارجی بین موجودههای مختلف منعکس و ظاهر می‌شود، وصفات و خصایلی که ژنها موجب هستند نتیجهٔ اختلاف در طرز توزیع اتمها در داخل ژنها باشد .

بعنوان یك مثال ساده یك ملکول از ت . ن . ت . (تری نیتروتلوئن) مادهٔ منفجره ای که در دوجنگ اخیر نقش مهمی برعهده داشته است ، اختیار می‌کنیم. این ملکول مرکب از ۷ اتم کربن و ۵ اتم هیدرژن و ٤ اتم ازت و ٦ اتم اکسیژن است که بیکی از این سه صورت بندی مرتب شده و قرار گرفته‌اند :



تفاوت بین‌این سه‌ترتیب دروضعی است‌که گروه  بحلقهٔ C

مربوط شده است و نتیجهٔ این سه نوع ترتیب موادی است که بترتیب ت . ن.ت α و ت . ن ، ت β وت . ن . ت γ نامیده می‌شوند. هر سه نوع را می‌توان براه شیمی‌ترکیبی درآزمایشگاهها ساخت . هر سه بطبـع قابل انفجارند اما در وزن مخصوص ، قابلیت حل ، نقطهٔ ذوب ، نیروی انفجاری و جز آنها با یکدیگر اندکی اختلاف دارند با روشهای اساسی متـداول در

شیمی می توان بآسانی گروه  را از قسمتـی از نقاط اتصـالشان

جدا کرد و در داخل ملکول بجای دیگر برد و یکنوع ت . ن . ت را بنوع دیگر تبدیل‌کرد . ازاین گونه مثالها در شیمی خیلی متداول است و هر چه ملکول مورد بحث بزرگتر باشد عدهٔ انواعی‌که ممکن است بوجود آیند (وشکلهای ایزومر نامیده می شوند) بیشتر است .

اگر ما ژن‌را ملکول دیوپیکری فرض‌کنیم‌که از یك‌ملیون اتم‌تشکیل شده باشد عدهٔ اوضاعی‌که احتمالا ممکن‌است گروه‌های اتمی در نقاط مختلف آن اشغال کنند بسیار بسیار زیاد خواهد بود .

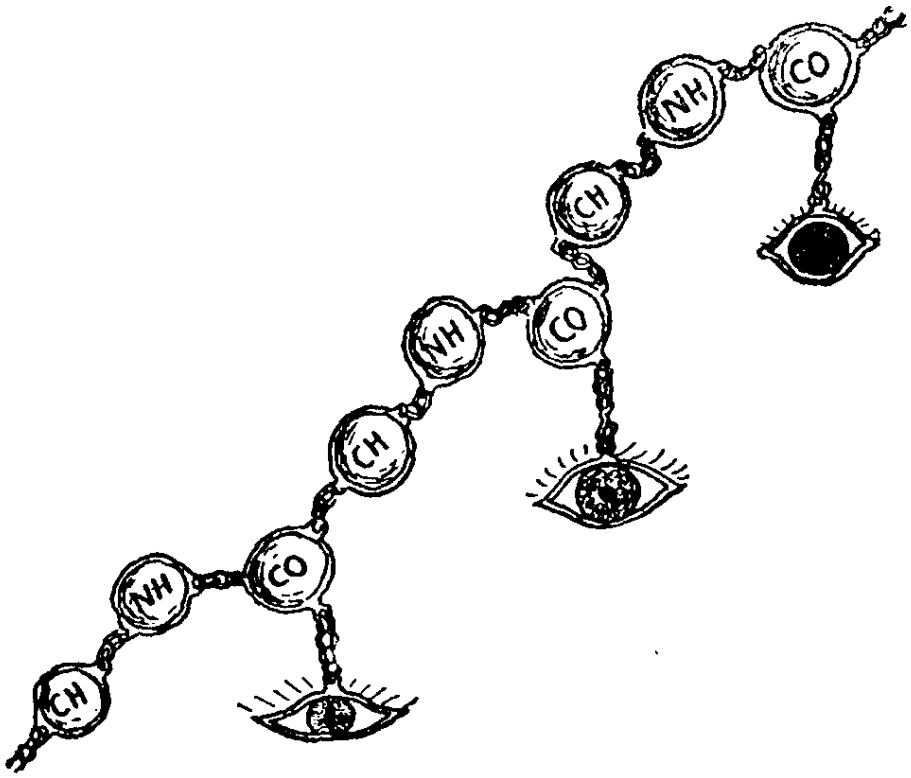
ممکن‌است ملکول‌ژن‌را مانند زنجیردرازی فرض‌کنیم‌که از گروههای اتمی‌که بطور متناوب تکرار می شوند تشکیل شده باشدو گروههای‌دیگری، مانند آویزهائی‌که بحلقه‌های دست بندی آویخته هستند ، بآن مربوط‌ومتصل گردند . درشکل ۱۰۰ نمایش‌خیالی قسمتی از این دست بند موروثی‌که‌سبب و موجب تنوع شکلها و رنگها و مشخصات دیگر چشمان حیوان است دیده می‌شود . گروههای اتمی(CH و NH و CO) آنهائی هستندکه در واقع زنجیر طولانی ملکولهای پروتئین را تشکیل داده‌اند وگروه های اضافی که بآنها آویخته اند در تصویر بشکل چشمهائی‌باشکال گوناگون نموده شده‌اند.

با جداکردن آویزهای مختلف از قلابی وآویختن آنها بقلابی دیگرصورت‌بندیهای بی‌شمار می‌توان بدست آورد .

مثلا اگر دست بندی با ۱۰ آویز مختلف داشته باشیم می‌توانیم آنرا به :

$$۱\times۲\times۳\times٤\times٥\times٦\times۷\times۸\times۹\times۱۰=۳٦۲۸۸۰۰$$

صورت مختلف‌درآوریم .



شکل ۱۰۰
دست‌بند موروثی

اگر برخی آویز ها بهم‌شبیه باشند تعداد صورت بندیهائی که ممکن است بدست آورد کمتر می‌شود . مثلا اگر ۱۰ آویز از ٥نوع باشند (از هر نوع ۲ آویز) تعداد صورت بندیها ۱۱۳٤۰۰ خواهد بود . تعداد امکانات با مجموع عده آویزها بسرعت ترقی می‌کند و اگر مثلا ۲٥ آویز داشته باشیم‌که هر ٥ تای‌آنها از یکنوع مختلف باشند تعدادصورت بندیهای ممکن تقریباً ۰۰۰ ۰۰۰ ۰۰۰ ۶۲۳۳۰ خواهدبود .

باین ترتیب می‌بینیم که عدهٔ ترکیبهای گوناگونی‌که ممکن است از توزیع آویز های مختلت بنقاط تعلیق مختلف در ملکولهای دور ودراز آلی

بدست آورد مسلماً بقدری زیاد است که نه‌فقط برای انواع مختلف موجود - های زندهٔ فعلی کفایت می‌کند بلکه برای هر نوع موهوم‌ترین گیاه یا حیوانی هم که مخلوق فکر وخیال‌ما باشد کافی است .

نکته‌ای بسیار مهم دربارهٔ توزیع آویزهائی که مبین صفات مشخصهٔ جانداران هستند اینست که توزیع آنها در طول ملکول الیافی شکل ژن دستخوش تغییراتی است که خود تابع تبدلات بزرگی هستند که در تمام‌دستگاه زنده‌روی می‌دهد. متداولترین سبب این گونه‌تغییرات حرکت عادی‌حرارتی است که تمام ملکول را مانند شاخه های درختانی که در معرض بادی شدید قرار گرفته باشند کج‌وراست می‌کند و پیچ وتاب می‌دهد . وقتی که‌درجهٔ حرارت باندازهٔ کافی بالا برود حرکات ارتعاش ملکولها آنقدر قوی می‌شود که آنها را بقطعات جداگانه تقسیم می‌کند ـو این عمل را تفرقهٔحرارتی می‌نامند (رجوع شودبفصل هشتم) اما دردرجات پائین حرارت هم ،که‌ملکول تمامیت خود را حفظ می‌کند ، ارتعاش حرارتی ممکن است در ساختمان آن تغییراتی ببار آورد . مثلاممکن است تصورکنیم که ملکول طوری تاب‌بخورد که آویزی‌که در نقطه ای از آن‌قرار دارد مجاور نقطهٔ دیگر آن شود و می‌توان احتمال دادکه‌آویز از نقطه ای‌که بدان آویخته است جدا شود و بنقطهٔ جدیدی آویزان گردد .

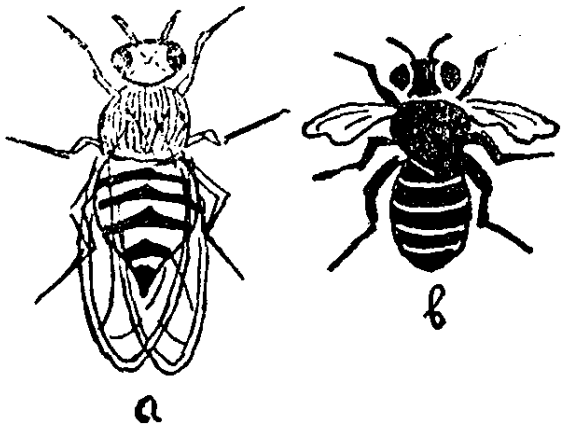
این پدیده هاکه **تغییرات‌ایزومری**[1] نام دارند در شیمی عادی‌بسیار معروف هستند و درحالات ساختمانهای بالنسبه سادهٔ ملکولی ، ونیز در همهٔ فعل و انفعالهای شیمیائی ، از قانون حرکات شیمیائی تبعیت می‌کنند . بر طبق این قانون **در هر ۱۰ درجه‌که حرارت بالابرود سرعت فعل‌و انفعالهای شیمیائی تخمیناً دوبرابر می‌شود .**

درمورد **ملکولهای ژنها** که ساختمانشان آنقدر پیچیده و بغرنج است که باید هنوز مدتی دراز مساعی دانشمندان شیمی آلی مصروف آنها شود فعلا راهی نیست که بتوان تغییرات ایزومری را در آنها بطور مستقیم

---

۱ ـ اصطلاح«ایزومر» ، چنانکه پیشترهم گفتیم ، مربوط بملکولهائی است که ازیك‌نوع اتمها ساخته می‌شوند نهایت آنکه جای اتمها وطرز قرار گرفته آنها تغییر می‌کند .

بوسیلهٔ تجزیه‌های شیمیائی تحقیق و تصدیق کرد . اماما در این موردچیزی داریم که می‌توان آنرا از جنبهٔ خاص‌خیلی بهتراز تجزیه‌های شیمیائی‌دانست



شکل ۱۰۱

استحاله خود بخودی شته میوه : a ، حشرهٔ طبیعی ،
تنهٔ خاکستری‌رنگ‌وبالهای‌بلند ؛ b ، پس ازاستحاله،
تنه سیاهرنگ وبالهای کوتاه

هرگاه یك تغییر ایزومری دریکی از ژنهای داخل یك گامت نر یا ماده ، که از بهم آمیختنشان موجود زندهٔ تازه ای بوجود خواهد آمد ، روی دهـد این تغییر باکمال دقت در اعمال شکستن ژن‌و تقسیم یاخته تکرار می‌شود و دریکی از خصوصیات مشهود حیوان یا گیاه مؤثر می‌افتد .

ودرحقیقت یکی‌ازمهمترین نتایج مطالعات درعلم ژنتیك دراین‌حقیقت (که بسال ۱۹۰۲ بوسیلهٔ دانشمند زیست شنـاس هلندی بنام دووری [۱] کشف گردید) نهفته است که **تغییرات موروثی خودبخودی که درموجوات زنده‌روی‌می‌دهندهمیشه‌بشکل‌جهشهای‌مقطعی‌صورت‌می‌پذیرند که استحاله[۲] نامیده می‌شوند .**

بعنوان مثال‌آزمایشهائی راکه برای بوجودآوردن شتهٔ میوه (دروزد-فیلاملانوگاستر) شده است واندکی جلوتر ازآن صحبت‌کردیم درنظر می‌گیریم. نوع وحشی‌این شته تنهٔ خاکی رنگ وبالهای دراز دارد وهرجایکی ازآنها را درباغ بدست‌آورید تقریباً اطمینان خواهید داشت کـه دارای این صفات است . اماوقتی‌که نسلهای متوالی‌ازاین‌حشره را درآزمایشگاه بوجود

---

۱ ـ de Vries ۲ ـ Mutation

آورید گاه بگاه به «نوع غریبی» ازآن برمی‌خوریدکه بالهایش بنحوی غیر طبیعی کوتاه شده وتنه‌اش تقریباً سیاه رنگ گردیده است (ش۱۰۱) .

نکتهٔ مهم آن است که باغلب احتمال باشتهٔ بال کوتاه سیاه رنگ شته‌های دیگری بارنگهای خاکستری سیر و روشن یابالهائی باطولهای مختلف نخواهید یافت که بین وضع استثنائی (بدن تقریباً سیاه وبالهای کوتاه) شته واجداد «معمولی» آن مراحل متوالی تشکیل داده ودرنسلها تغییرهای تدریجی بوجودآورده باشند . برطبق قاعده همه اعضاء یك نسل جدید (وممکن است صدها نسل وجود داشته باشد) دارای رنگ خاکی یکنواخت وبالهای متساوی هستند وفقط یکی (یامعدودی) ازآنها کاملا بادیگران فرق دارد . **یا اصلا تغییرقابل توجهی وجود ندارد یاتغییری شگرف (یعنی استحاله) صورت می‌پذیرد.** وضعی مشابه درصد ها حالت دیگر مشاهده شده است . مثلا کوری رنگ الزاماً موروثی نیست وفقط ازراه توارث باشخاص نمی‌رسد بلکه ممکن است کودکی «کور رنگ» بدنیاآید درصورتیکه هیچ «تقصیری» متوجهٔ نیاگان وی نباشد. درمورد کوری رنگ درانسان ، درست مانند حالت بالهای کوتاه درشته، همان اصل «همه یاهیچ» حکومت می‌کند: صحبت ازآن نیست که کسی دو رنگ راکمتر یا بیشتر ازیکدیگر تمیز دهد یاندهد بلکه گفتگو ازآن است که آنهارا اصلا ازیکدیگر تشخیص تواند داد یانه .

همانطور که هرکس که زمانی نام **چارلزداروین**[1] راشنیده‌است می‌داند این تغییراتیکه درصفات وخصایل نسلهای جدید روی می‌دهند توأم با **«تلاش برای ادامهٔ حیات» واصل بقای انسب** به اصل استوار **تکامل انواع**[2] منجرمی‌شوند وموجب می گردندکه یك نرم تن (مولوسك) که دوملیارد سال پیش پادشاه طبیعت شمرده می‌شدپیشرفت ورشدکرده وبموجودی بسیار باهوش ومتفکر، مانند شما، تبدیل شده باشدکه نادر بخواندن وحتی فهمیدن مطالب کتاب بسیارعالمانه‌ای مانندکتاب حاضرباشد .

---

۱ ـ Chares Darwin

۲ـ تنها تغییری که کشف استحاله (موتاسیون) درفرضیهٔ داروین پیش آورده است اینست که، بر خلاف آنکه داروین می‌پنداشت که تکامل نتیجهٔ یك سلسله تغییرات کوچك ومداوم است، تکامل نتیجهٔ تغییراتی است که بطور مقطع وباجهش صورت می‌پذیرد .

ازجنبهٔ تبدلات ایزومری که درملکولهای ژن صورت می‌پذیرد ، و ما دربارهٔ آن بحث کردیم ، تغییرات جهش مانند درصفات وخصایل موروثی کاملا قابل درك وفهم است . درحقیقت اگر آویزی که مبین صفتی است جای خودرا در درون ژن تغییردهد این کار را هیچگاه ناقص ونیمکاره نمی گذارد، یادر جای سابق خود می‌ماند ویاجای تازه‌ای اشغال می‌کند و باین ترتیب سبب تغییرمقطعی درخواص دستگاه می‌شود .

سرعت استحاله بستگی بدرجهٔ حرارت محیطی داردکه حیوان یا گیاه درآن پرورش داده می‌شود واین‌امراین عقیده را که استحاله نتیجهٔ تغییرات ایزومری است که در ملکولهای ژن روی می‌دهد بشدت تقویت می کند . در واقع آزمایشی که **تیمه فه‌اف**[1] و**تسیمر**[2] در تأثیر حرارت در استحاله (موتاسیون) کردند نشان دادکه (باصرف نظرازبعضی اشکالهای اضافی که محیط‌اطراف وعوامل‌دیگرهستند) قاعدهٔ‌اساسی فیزیکی‌وشیمیائی که درنتیجهٔ هرفعل وانفعال ملکولی‌حکمفرماست دراین مورد نیزصادق است . این کشف مهم موجب شدکه **ماکس دلبروك**[3] (که سابقاً فیزیك دانی نظری بود و اکنون ژنتیك دانی‌تجربی‌است) نظریات‌کاملا تازهٔ خودرا دربارهٔ تعادل‌بین پدیدهٔ زیستی استحاله و عمل کاملا فیزیکی و شیمیائی تبدلات ایزومری درملکولها بسط وتوسعه دهد .

ممکن است دربارهٔ اساس فیزیکی تئوری ژنها ، بخصوص دلیل‌بارز و مهمی که نتیجهٔ‌مطالعهٔ‌استحاله‌هائی‌است که بوسیلهٔ‌اشعهٔ‌مجهول وتشعشعات‌دیگر تولید شده‌اند ، دادسخن دادوبیحد وحصربحث کرد اما هم‌آنچه تاکنون گفته شده کافی‌است که خواننده رابااین‌حقیقت معتقد سازدکه **امروزعلم درحال عبور ازآستانهٔ تبیین پدیدهٔ مرموز حیات ازجنبهٔ فیزیکی مطلق است .**

نمی‌توانیم‌این‌فصل رابپایان رسانیم وازواحدهای زنده‌ای بنام ویروس یادی نکنیم . گوئی ویروسها ژنهای‌آزادی هستندکه یاخته بدورشان نیست. تاتقریباً همین‌اواخر زیست شناسان معتقد بودندکه نمایندهٔ‌ساده ترین‌صورت حیات انواع مختلف باکتریها هستندکه عبارتند ازموجود های ذره‌بینی یك

۱ـ Timoffeeff ۲ـ Zimmer ۳ـ Max Delbruck

یاخته‌ای که در بافتهای زندهٔ جانوران یا گیاهان رشد وزاد و ولد می‌کنند و گاهگاهی موجب انواع بیماریها می‌گردند . مثلا مطالعات میکروسکوپی محرز کرده‌اند که حصبه معلول نوع مخصوصی از باکتریهاست که تنه هائی کشیده تقریباً بطول ۳میکرن[۱] وقطر نیم میکرن دارند وباکتریهای مخملك یاخته‌های کروی شکلی بقطر دومیکرن هستند . امابرخی بیماریها بودند ، مانندزکام (گریپ) درانسان ومرض موزائیك در گیاه توتون، که بامطالعات میکروسکوپی معمولی‌هیچگونه باکتری بااندازه‌های معمولی برای آنها پیدا نشد . اما چون معلوم بود که این بیماریهای « بی‌باکتری » مانند بیماریهای عفونی دیگر از بدنهای بیمار ببدنهای سالم منتقل می‌شدند وبمجرد انتقال بسرعت در سراسر آن انتشار می یافتند بحکم ضرورت فرض شده بود که موجود های زنده‌ای ناقل آنها می‌باشند و این موجود ها **ویروس** نامیده شدند .

تقریباً درهمین اواخر بود که بسط دستگاههای فنی که استفاده ازاشعهٔ ماوراء بنفش (اولتراویولت) را درمطالعات میکروسکوپی ممکن ساخته و بخصوص اختراع میکروسکوپهای الکترونی (که در آنها استعمال اشعهٔ الکترون بجای اشعهٔ معمولی نور موجب شده است که نیروی بزرگ کردن اسباب خیلی بیشترشود) به میکروب شناسان فرصت دادکه برای اولین بار ساختمان ویروسها را که تا آنزمان از نظر ها پنهان مانده بود مشاهده کنند .

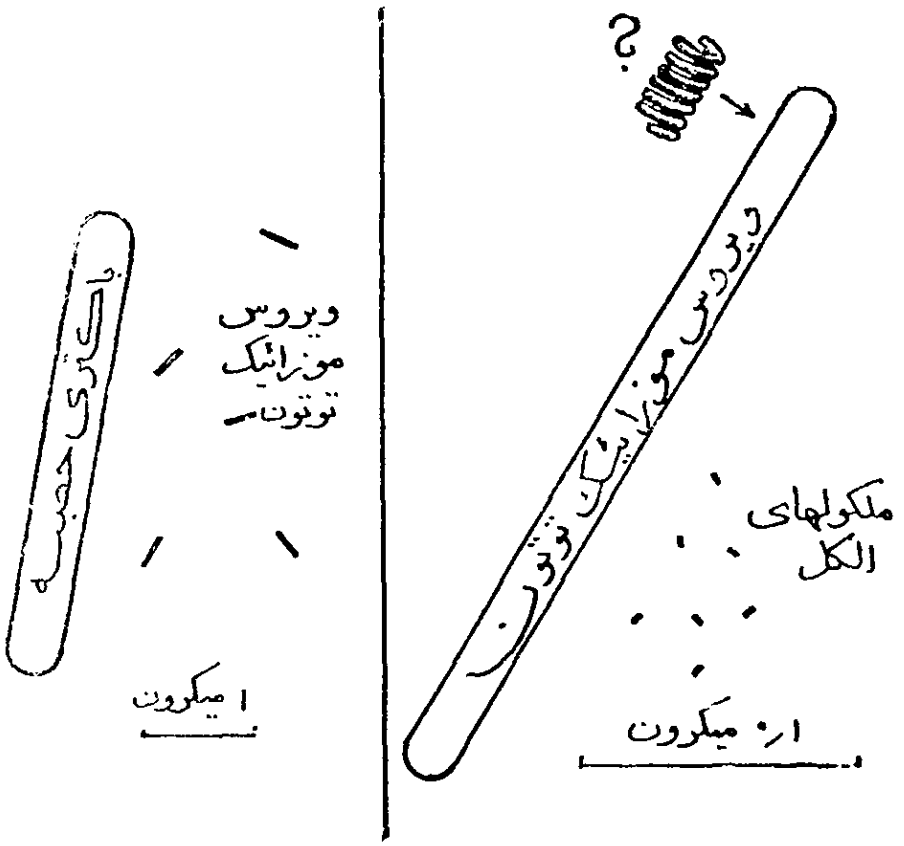
معلوم شدکه ویروسهای مختلف بشکل مجموعه هائی هستند مرکب از عدهٔ زیادی ذرات منفردکه همه بیك اندازه وخیلی کوچکتر ازباکتری های معمولی‌می‌باشند (ش۱۰۲). باین ترتیب ذرات‌ویروس گریپ کره‌هائی هستند بقطر یك ونیم میکرن و ویروسهای باریك ودراز موزائیك توتون ۰٫۲۸ میکرن طول و۰٫۱۵ میکرن قطردارند .

درتصویر خارج ازمتن شمارهٔ ٦ یك عکس بسیارحساس می‌بینیدکه با میکروسکوپ الکترونی ازویروس موزائیك توتون ، که کوچکترین واحد

---

۱ ـ میکرن مساوی است بایکهزارم (۰٫۰۰۱) میلیمتر .

زنده‌ایست که تابحال شناخته شده ، گرفته شده است وچون بیاد بیاوریم که



شکل ۱۰۲
مقایسه میان باکتریها وویروسها وملکولها

قطریك اتم درحدود۰٫۰۰۰۳ میکرن است نتیجه‌می گیریم که قطریك ویروس موزائیك تـوتـون فقط در حدود پنجاه برابـر قطر اتم و طولش در حدود هزار برابر اتم است . بر رویهم یك ویروس بیشتر از دو ملیون اتم منفرد نیست[۱] .

این عدد فوراًعدد اتمهای یك ژن تنها را بخاطرما می گذراند وامکان این امر را متصور می‌سازدکه شاید ذرات ویروس « ژنهای آزاد » ی باشند

۱ ـ تعداد اتمهای موجود دریك ذرهٔ ویروس ممکن است عملا خیلی کمتر از این عدد باشد زیرا که کاملا ممکن است در داخل آن فضای خالی وجود داشته باشد یعنی از زنجیرهای ملکولی حلقه‌ای شکل نظیرآنچه در شکل ۱۰۰ نشان داده‌ایم تشکیل شده باشند . اگرفرض کنیم کـه در واقع ویروس موزائیك توتون‌چنین ساختمانی (درشکل۱۰۲ نشان داده شده است) داشته باشد وگروههای اتم فقط درسطح ویروس جمع باشند عدهٔ کل اتمهای یك ذره فقط بچند صد هزار تقلیل پیدا می کند . همین استدلال در مورد اتمهای موجود در یك ژن جاری و صادق است .

که بصورت جمعیت هائی که کروموزوم نامیده‌ایم بهم نپیوسته و خود را در تودهٔ بالنسبه جسیمی ازپروتوپلاسم یاخته محاط نساخته‌اند .

ودرحقیقت عمل توالد ذرات ویروسها عیناً بهمانگونه صورت می‌پذیرد که عمل بدوجزء تقسیم شدن کروموزومها بهنگام تقسیم یاخته انجام می‌شد ، یعنی بدن آنها درطول محور منشق‌می‌شود ودو ویروس تمام عیارجدید بوجود می‌آورد . ظاهراً ما دراینجا ناظریك عمل اساسی تولید هستیم (رجوع کنید بشکل ۹۱ که در آن حالت فرضی تکثیر توالد الکل نموده شده است)که درآن دسته‌های مختلف اتمی که در طول یك ملکول پیچیده ومرکب قرار گرفته‌اند دسته‌های اتمهای مشابه خودرا ازمحیط مجاور جذب وجلب می‌کنند و باآنها بوضعی در می‌آیندکه عیناً درملکول اصلی وجود داشته است .

وقتی که ترکیب ملکول کامل شد ملکول جدیدکه بسن رشد رسیده است از ملکول اصلی جدا می‌شود . در حقیقت بنظرمی‌رسدکه درمورد این موجودهای زندهٔ خیلی ساده عمل « رشد » صورت نمی‌پذیرد ومولود جدید « جزء بجزء »درجوار موجود قدیم ساخته می‌شود . برای مجسم ساختن وضع می‌توان فرض کرد که بچهٔ انسان در خارج ازبدن ولی متصل و مربوط ببدن او رشدکند وهنگامی که زن یا مردکاملی شد از بدن اصلی جدا شود و براه خود برود (مؤلف ، با وجود تمایل ووسوسهٔ شدید ، تصویراین چنین وضعی را رسم نخواهدکرد) . محتاج بگفتن نیست که صورت پذیرفتن اینگونه عمل توالد و تکثیر محتاج بوجود محیط خاصی است که برای این منظور مهیا باشد . حقیقت آنکه بین باکتری و ویروس مباینت و تفاوتی است وآن اینکه باکتری از خودش پروتوپلاسم دارد اما ویروس باید در داخل پروتوپلاسم موجود دیگری تکثیر شودکه معمولا در انتخاب غذای خود خیلی « مشکل پسند » باشد .

صفت مشترك دیگری که در ویروسها هست اینست که **ویروسها هم استحاله می‌پذیرند** وآنهائی که استحاله (موتاسیون) یافته‌اند صفت تازه‌ای راکه‌بدست‌آورده‌اند برطبق قواعدمعین ژنتیك باعقاب خود منتقل می سازند. در واقع زیست شناسان بهنگام مطالعه در«تکثیر نژاد » ویروس موفق شده‌اند که شاهد و ناظر ادامهٔ خصلتی از نسلی بنسل دیگر ، و درطی چندین نسل ،

باشند . وقتی که بیماری گریپ درمیان مردم بصورت همه گیر منتشر شود می توان مطمئن بود که عامل این انتشار ویروسی است که براثر استحاله واجد صفتی شده است که دستگاههای بدن انسان هنوز در مقابل آن مصونیت لازم پیدا نکرده اند .

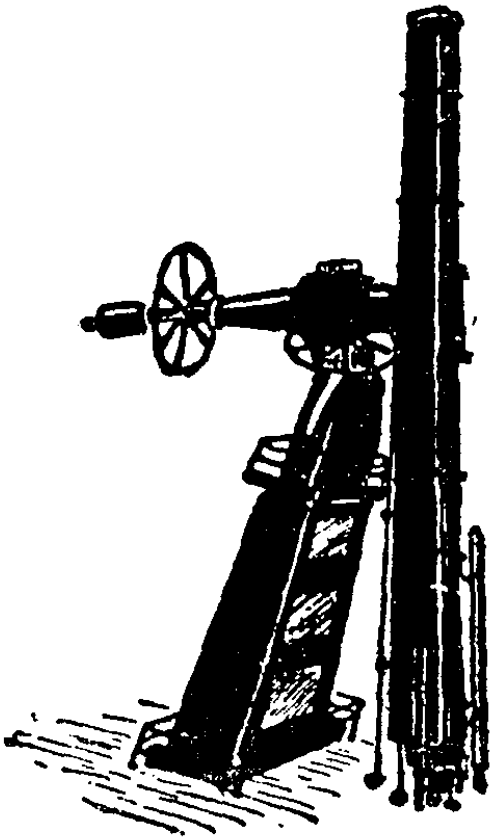
درصفحاتی که گذشت با دلایل قوی نشان داده ایم که **ذرات ویروس باید در زمرهٔ موجودهای زنده منظور شوند .** حالامی توانیم دلایلی، لااقل با همان قوت ، اقامه کنیم براینکه **این ذرات را باید ملکولهای منظم شیمیائی نیزدانست** که تابع همهٔ قواعد و نظامات فیزیك و شیمی هستند . درحقیقت مطالعاتی که کاملا ازجنبهٔ شیمیائی دربارهٔ مواد ترکیب کنندهٔ ویروس شده به ثبوت رسانیده اند که هرویروس را می توان یك ترکیب معین شیمیائی دانست وباآن مانند ترکیبات مختلف آلی (ولی غیرجاندار) رفتار کردواین ترکیب دستخوش انواع عکس العملهائی است که موجب تعویض آنهامی شوند . در واقع چنین بنظرمی رسد که دیری نخواهد کشید که دانشمند زیست شناس برای ساختمان ویروس فرمولی بنویسد بهمان سهولتی که برای الکل و گلیسیرین و قند می نویسد . نکتهٔ جالب توجه تر اینست که ظاهراً ذرات هرنوع ویروس **درست ببزرگی** آخرین اتم خود هستند .

براستی ثابت شده است که اگر ذرات ویروس از محیط مغذی اطراف محروم شوند نظم خاصی بخودمی گیرندوبشکل بلورهای معمولی درمی آیند . مثلا اگر ویروس گوجه فرنگی پرپشت رااز رشد باز دارند بشکل دوازده وجهی های قشنگی با وجوه لوزی شکل متبلور مـی شود ، شما می توانید این بلورهارا درآزمایشگاه معدن شناسی پهلوی فلدسپات وسنگ نمك نگاهدارید، اما بمجرد آنکه آنرا مجدداً درگیاه گوجه فرنگی قرار دهید بانبوهی از از موجودات زنده مبدل می شود .

آری ، ما بی شك با یك مرحلهٔ انتقال از موجودهای بیجان بجاندار سروکار داریم ووقتی کـه ـ شاید هم زیاد دورنباشد ـ دانشمند شیمی دان و زیست شناسی بتواند ملکول ویروس راازعنصرهای معمولی شیمیائی ترکیب کند حق خواهد داشت فریاد برآوردکه « اینك من بیك مادهٔ بیجان جان بخشیده ام » .

بخش چهارم

عالم کبیر



فصل دهم

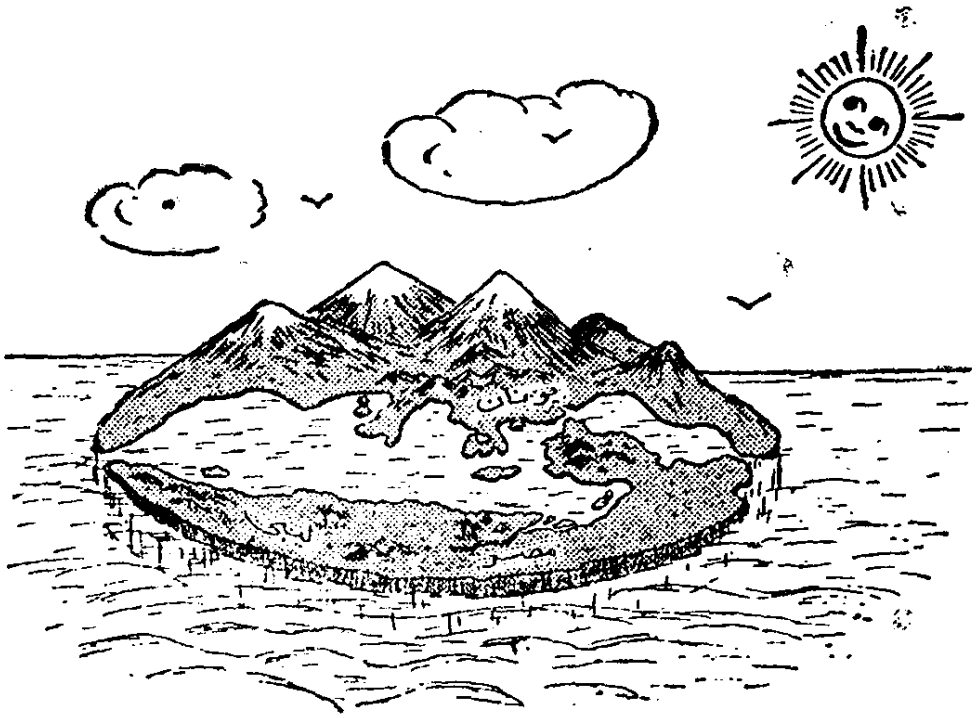
اُفقها باز می‌شود

۱ ــ زمین و آسمان

اکنون از گردشی که در قلمرو ملکولها و هسته های اتم کردیم بسوی اشیائی که اندازه‌هـای عادیتری داشته باشند باز می گردیم و باز عزم سفر تازه ای می‌کنیم ، اما در جهت مخالف سفـر پیشین ، یعنی بسوی خورشید ، ستارگان ، ابریها وحدودنامحدود جهان بیکران . دراینجا هم، مانند مورد عالم صغیر ، بسط علم و دانش ما رااز اشیاء عادی و معمولی دورترمی‌برد و دربرابر ما افقی که هردم وسیعتر می گردد باز می‌نماید .

درنخستین مرحله‌های تمـدن بشری آنچه که امروز جهـان می‌نامیم بوضعی خنده آورکوچك انگاشته مـی‌شد . زمین را قـرص بزرگ مسطحی می‌پنداشتندکه برسطح دریای جهان ،که آنرا نگین‌وار درمیان گرفته است ، شناور است . زیرپای زمینیان دریائی بودکه ژرفنای آن تا جائی بودکه در نیروی‌تصورمردم آنروزمی گنجید وبالای‌سرشان‌آسمان ، یا بارگاه خدایان ، بود . قرص زمین باندازه‌ای بزرگ بودکه تمام سرزمینهائی که درجغرافیای

آن روز بوجودشان وقوف حاصل شده بود در آن‌جا می‌گرفتند و آن عبارت بود از قسمتی از اروپا و افریقا و جـزئی از آسیا که در سواحل دریای مدیترانه قرار داشتند . قسمت شمالی این قرص بکوههای بلندی محدود می‌شدکه خورشید شب هنگام ، وقتی‌کـه از چشم زمینیان روی می‌نهفت ، درپس‌آن‌کوهها وبرسطح دریای جهان باستراحت می‌پرداخت . درشکل۱۰۳ تصویری از جهانی‌که در تصور مردم قدیم راه می‌یافته است رسم کرده‌ایم . اما سه قرن پیش از ظهور عیسی مسیح مردی می‌زیست‌که با تصورساده ای‌که مـردم از جهـان داشتند مخالـف بود . ایـن مرد فیلسوف بـزرگ‌یونـانی **ارسطو** یـا **ارسطاطالیس** بـود (در آن زمـان دانشمندان را فیلسوف می‌گفتند) .

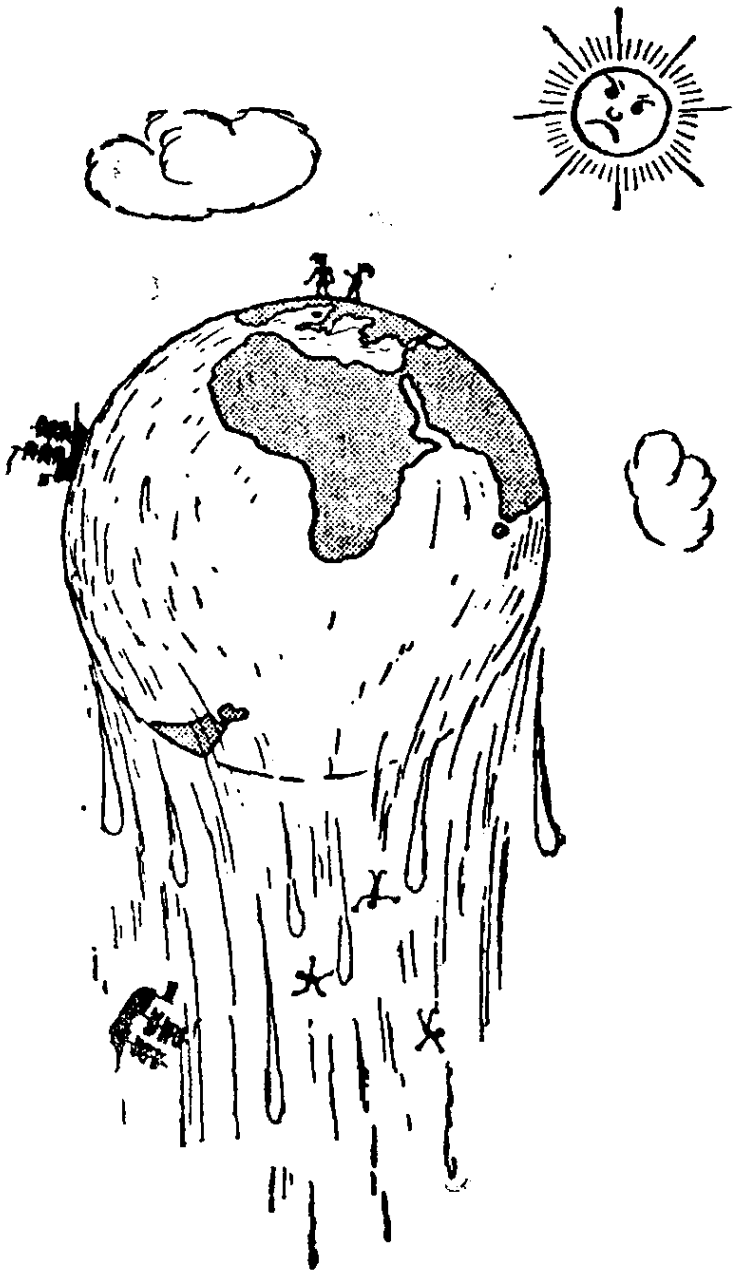


شکل ۱۰۳
جهان پیشینان

ارسطو درکتابی بنام «آسمان و جهان»[۱] این نظریه را اعلام داشت‌کـه زمین‌ماکروی‌است وقسمتی‌ازآن ازخاك وبقیه ازآب پوشیده شده وگرداگرد آنراهواگرفته‌است . برای اثبات‌نظریهٔ خوددلایلی چند اقامه‌کردکه امروز همهٔ ما بآنها آشنائیم و آنها را عامیانه می‌شماریم . وی‌گفت که چون وقتی

۱ـ About Heaven السماء والعالم .

کشتیها از کرانه دور می‌شوند نخست بدن آنها از نظر پنهان می‌شود و تا یکچند مثل آن است که دکلها سراز آب بیرون کرده‌اند دلیلی است براینکه سطح دریا منحنی است نه مستوی . همچنین استدلال می‌کرد که چون دلیل گرفتن ماه افتادن سایهٔ زمین است بر آن وچون این سایه گرد است زمین نیز باید گرد باشد . امادر آن زمان خیلی کم ازمردمان گفته‌های اورا باور کردند. مردم نمی‌توانستند بفهمند که اگر آنچه ارسطومی گفت راست باشد چگونه کسانی که در نیمهٔ آنطرفی کره ، یعنی آنچه « سمت قدم » می‌نامیم (و مانند وضع

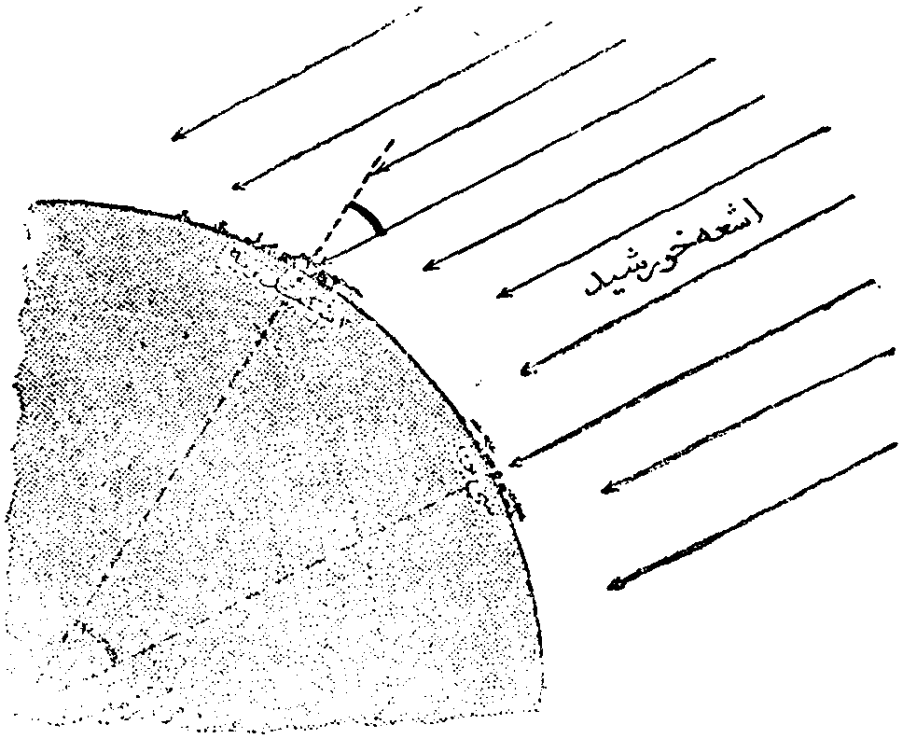


شکل ۱۰۴

دلایل برضد کرویت زمین

امریکای جنوبی است نسبت‌بشما)، زندگی‌می‌کنندمی‌توانند وارونه‌راه بروند و از زمین نیفتند ؛ یا چگونه آبهای آن قسمت زمین بطرف آنچه آسمان نیلگون نامیده می‌شود سرازیرنمی‌شوند ونمی‌ریزند (ش ۱۰٤) .

می‌بینیدکه مردم‌آن زمان نمیدانستندکه سبب افتادن اجسام‌آن است که زمین‌آنهارا بسوی خود می‌کشد. برای‌آنان «بالا» و «پائین» امتدادهای مطلقی‌درفضا بودندکه‌می‌بایستی‌درهمه جایکی‌باشند . فکر اینکه اگربه‌نیمهٔ دیگر زمین‌سفرکنید «بالا» «پائین» و«پائین» «بالا» شود درنظرآنان همانقدر نامفهوم‌بودکه‌امروزبرخی‌ازاحکام‌فرضیه‌های‌اینشتاین درنظرابناء زمان‌است. سقوط اجسام مانند امروز نتیجهٔ‌کشش‌زمین شناخته نمی‌شد بلکه‌تصورمی‌رفت که نتیجهٔ تمایل هرچیز بحرکت رو بپائین است ، پس اگر شماقدم بقسمت زیرین‌کره می‌گذاشتید بطرف‌آسمان لاجوردی‌سقوط می‌کردید . مخالفت با فکرگردبودن زمین بقدری‌شدید واثبات صحت‌آن بقدری سخت بودکه حتی دربسیاری ازکتابهائی‌که درسدهٔ پانزدهم میلادی ، یعنی تقریباً دوهزارسال



شکل ۱۰۵

بعد ازارسطو ، تفسیرشده بود تصاویری دیده شدکه مردم نیمه زیرین زمین را سرازیرنشان می‌دادند وفکرگرد بودن زمین‌را تخطئه می‌کردند. شاید

کریستف کلمب معروف هم که بسیج سفر کرد تاازراه دیگربهندوستان برسد کاملا برزانت فکروصیانت نقشهٔ خود اطمینان نداشت ودر حقیقت هم بعملی ساختن اندیشهٔ خود موفق نشد زیراکه قارهٔ امریکا راه را براوبست ، وفقط بعد ازمسافرت مشهور دور دنیای فرناندو ماگالهاس[۱] (که بیشتر بماژلان[۲] معروف است) بودکه آخرین تردید در بارهٔ کروی بودن زمین از میان رفت .

هنگامیکه برای اولین بار محرزشدکه زمین بشکل کرهٔ بسیار عظیمی استطبیعةً این سئوال پیش‌می‌آمدکه بزرگی‌این کره نسبت باقلیمهائی که در آن زمان شناخته شده بودند چقدراست ؟

اما چگونه ممکن است بی آنکه دور دنیا را بگردید اندازه آن را بدست آورید ؟ والبته گشتن دور دنیا برای فیلسوفان یونان قدیم خارج از موضوع بود .

امابرای این‌کار راهی هست واین راه رابرای اولین بار **اراتستن**[۳]، که درسدهٔ سوم پیش ازمیلاد در اسکندریهٔ مصرکه یك مستعمرهٔ یونانی بود می‌زیست، پیداکرد . وی ازساکنان شهر «سی‌ین»[۴] ،که شهری بود در ساحل نیل علیا وتقریباً بفاصلهٔ ۵۰۰۰ استادیای مصری ازاسکندریه، شنیده بودکه درآن شهر خورشید بهنگام ظهر درست دربالای سرقرار می گیرد بطوریکه چیزهائی که قائم برزمین قرارگرفته باشند اصلاسایه نمی‌اندازند ، ازطرف دیگراراتستن‌می‌دیدکه چنین امری دراسکندریه روی نمی‌دهد ودرهمان‌روز خورشید ۷ درجه ، یعنی یك پنجاهم محیط کامل دایره ، از سمت رأس (یعنی نقطه‌ای‌که مستقیماً بالای سراست) دور می‌شود . اراتستن با فرض کروی بودن زمین توضیحی برای این امر یافت‌که شما بامراجعه بشکل ۱۰۵ آنرا بآسانی خواهید فهمید. درحقیقت چون‌سطح زمین درفاصلهٔ بین دوشهرمنحنی است شعاعهای خورشیدکه درسی‌ین بطورعمودی می‌تابند درنقطهٔ شمالی تری مانند اسکندریه زاویه‌ای تشکیل خواهند داد ونیز ازروی شکل می‌توانید

---

۱ ـ Magellan ۲ ـ Fernando de Magalhaes

۳ ـ Eratosthenes

۴ ـ Cyene نزدیك محل فعلی سد آسوان .

ببینید و بفهمید که اگر از مرکز زمین دو خط یکی به «سی‌ین» و دیگری به «اسکندریه» وصل کنید زاویهٔ بین آن دو خط مساوی خواهد بود با زاویهٔ بین خطی که از مرکز زمین به اسکندریه وصل شود (یعنی امتداد سمت رأس اسکندریه) با اشعهٔ خورشید وقتی که خورشید درست بالای سی‌ین باشد .

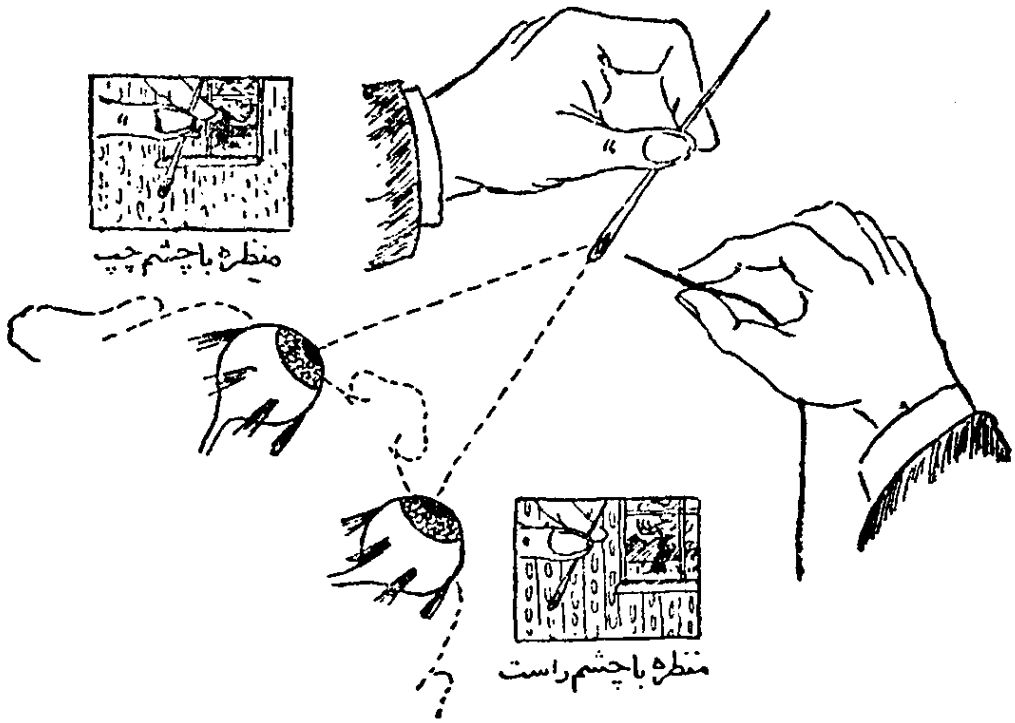
چون این زاویه یك پنجاهم تمام محیط دایره است محیط کرهٔ زمین باید پنجاه برابر فاصلهٔ بین دو شهر، یعنی درحدود ۲۵۰۰۰۰ استادیا، باشد. یك استادیای مصری در حدود ۱۶۰ متر است پس محیط زمین باین حساب می‌شده است ۴۰۰۰۰ کیلومتر . این عدد خیلی به نتیجهٔ محاسبات جدید نزدیك است .

اما نکتهٔ اساسی در اولین اندازه گیری محیط زمین بدست آوردن عدد این اندازه نبود بلکه درك این حقیقت بود که زمین **اینقدر** بزرگ است . پس باین ترتیب سطح زمین باید چندین صد مرتبه بزرگتر از مجموع ناحیه‌هائی که شناخته شده‌اند باشد . آیا چنین چیزی حقیقت دارد ؟ و اگر حقیقت داشته باشد در آنسوی حدودی که شناخته شده‌است چه خواهد بود ؟

وقتی که از فواصل بین ستارگان صحبت کنیم باید با **تغییر مکان اختلاف منظری** یا، بعبارت ساده تر با **اختلاف منظر**، آشنا شویم ، شاید که این کلمه قدری مهیب باشد اما اختلاف منظر در حقیقت هم بسیار ساده است و هم بسیار مفید .

برای اینکه با اختلاف منظر آشنا شویم از اینجا شروع می کنیم که سوزنی را نخ کنیم. سعی کنید که این کار را با یك چشم بسته انجام دهید . زود خواهید دانست که کار انجام نمی‌شود ، نخ را یا از اینطرف سوزن رد خواهید کرد یا از آن طرف . با یك چشم نمی‌توانید فاصلهٔ نخ تا سوزن را تشخیص دهید . اما اگر هردوچشمتان باز باشد یا این کار را بسیار بآسانی انجام خواهید داد و یالااقل بآسانی یادخواهید گرفت که چگونه باید آنرا انجام داد. وقتی که با چشم بچیزی نگاه می کنید خودبخود هردوچشم را روی آن متمرکز می‌سازید هرچه شیئی نزدیکتر باشد بیشتر مجبور می‌شوید که چشمهایتان را بهم نزدیك کنید و احساسی که بدین ترتیب در عضلات چشم پیدا می‌شود تصوری از فاصلهٔ

شیئی درمغزشما ایجاد می‌کند .

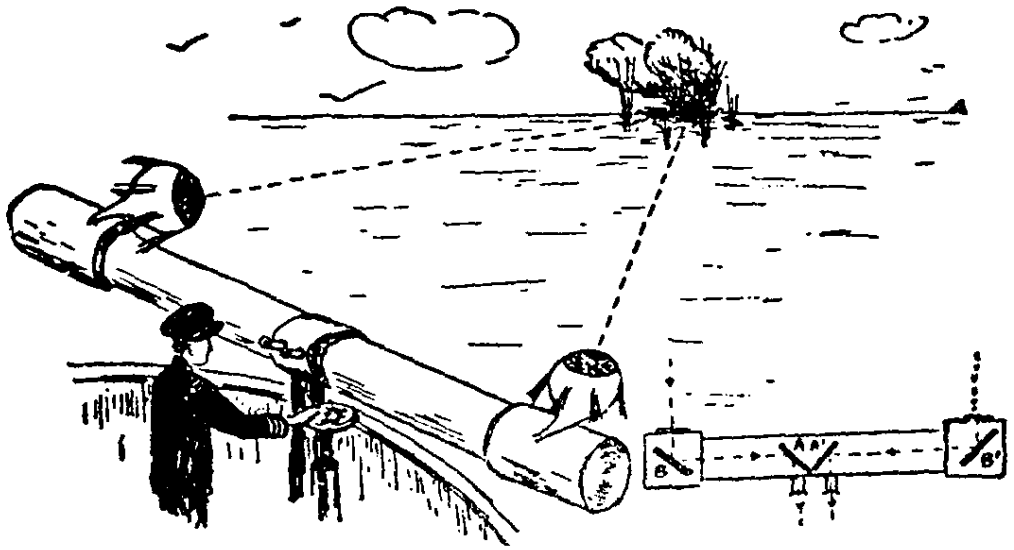


شکل ۱۰۶

حالا اگر بجای اینکه با هردو چشم نگاه کنید اول یك چشم و بعد چشم دیگررا ببندید متوجه خواهید شد کـه وضع شیئی (در اینجا سوزن) نسبت بزمینه‌ای که درعقب آن است (مثلا پنجرهٔ آنطرف اطاق) تغییر کرده است . این تأثیر را **تغییرمکان اختلاف منظری** می‌نامند و مسلماً هرکسی با آن آشناست . اگر شما تاکنون در این باره چیزی نشنیده‌اید آنرا امتحان کنید ویا در شکل ۱۰۶ وضـع سوزن وپنجره را بقسمی که با چشم راست و چشم چپ دیده می‌شود تماشاکنید . هـر چه شیئی ازچشم دورتر باشد **تغییر مکان اختلاف منظری** آن کمترخواهد بود ؛ بقسمی کـه از اختلاف منظر برای اندازه گرفتن فاصله می‌توان استفاده کرد. چون **تغییرمکان اختلاف منظری** رامی‌توان دقیقاً با درجات قوس اندازه گرفت این‌روش خیلی دقیقتر است از تخمین مسافت با استفاده از احساس عضلانی چشمها . اما چون دو چشم ما در کاسهٔ سربفاصلهٔ تقریباً ۸ سانتیمتر از یکدیگر قرار دارند برای تخمین مسافات جز در فواصل نزدیك ، مفید نیستند . و در مورد اشیاء دور محورهای دو چشم بایکدیگر تقریباً موازی می‌شوند و تغییر مـکان اختلاف منظری بقدری کوچك می‌شود که قابل اندازه گرفتن نیست . برای تخمین

فواصل دورتر لازم‌است بتوانیم چشمان خود را از یکدیگر دورتر کنیم تا تغییر مکان اختلاف منظری بیشتر شود . اما برای اینکار بعمل جراحی نیازی نیست ومی‌توانیم تدبیری بکار بندیم و از آینه‌ها استفاده کنیم .

درشکل ۱۰۷ دستگاهی می‌بینیم که (پیش از اختراع رادار) در نیروی دریائی برای اندازه گرفتن فاصلهٔ بین کشتی‌های جنگی دشمن درزمان جنگ



شکل ۱۰۷

بکار می‌رفت . این دستگاه مرکب از لوله درازی است که دو آینهٔ A و A' در مقابل دو چشم و دو آینهٔ B و B' در دو انتهای آن نصب است ؛ وقتی که از پشت این فاصله یاب نگاه کنید با یك چشم از آینهٔ B و با چشم دیگر از آینهٔ B' می‌بینید. باین ترتیب فاصلهٔ بین چشمان شما، یا باصطلاح **مبنای اندازه گیری**، خیلی بزرگتر می‌شود ومی‌توانید فاصله‌های درازتری را تخمین بزنید . البته مردان نیروی دریائی برای اندازه گرفتن فواصل بـاحساس عضلات چشمان خود اعتماد واکتفا نمی‌کنند . فاصله یابها مجهز بمقیاسها و صفحات مدرج مخصوصی هستند که تغییر مکان اختلاف منظری را باحد اعلای دقت معین می‌کند.

اما اگر قرار شود که این فاصله‌یابهای دریائی ، کـه حتی وقتی سفاین دشمن در زیر افق باشند درکمال خوبی کار می‌کنند ، برای انـدازه گرفتن فواصل اجرام آسمانی ، یا حتی نزدیکترین آنها مانند ماه ، بکار روند نتایج بسیار بدی خواهند داد . درحقیقت اگر بخواهیم تغییر مکان اختلاف منظری ماه را نسبت بـزمینهٔ پشت آن ، یعنی ستارگـان دور ، تعیین کنیم بایـد مبنای

اندازه گیری ، یا فاصلهٔ بین دو چشم لااقل چندین صدکیلـومترشود . البته لازم نیست که دستگاه بصری را طوری تنظیم کنیم که بتوانیم با یك چشم مثلا ازتهران و با چشم دیگر از تبریز بماه نگاه کنیم ، بلکه فقط بایـد در یك زمان ازاین دوشهر دوعکس ازماه وستارگان اطراف آن گرفته شود . اگر شما این دوعکس را دریك دوربین مخصوص بنام استرئوسکوپ[1] بگذارید ماه را خواهید دید که برروی زمینهٔ پرستاره درمیان آسمان درحال تعلیق است . بااندازه گرفتن عکسهائی که دریك لحظه و از دو نقطهٔ مختلف زمین ازماه گرفته شده باشد (شکل ۱۰۸) علمای هیأت دانستند کـه تغییرمکان اختلاف منظری ماه که از دوسریك قطر زمین مشاهده شود ۱° ۴۵′ ۵″ است . ازاین روی نتیجه گرفته اند که فاصلهٔ ماه اززمین ۳۰/۱۴ برابر قطر زمین ، یعنی ۳۸۴۴۰۳ کیلومتر است .

از روی این فاصله وبا توجه بفاصلهٔ زاویه‌ای معلوم شده است که قطر ماه درحدود یك یك چهارم قطرزمین است . پس سطح آن یك شانزدهم سطح زمین یعنی درحدود مساحت قارهٔ افریقا است .

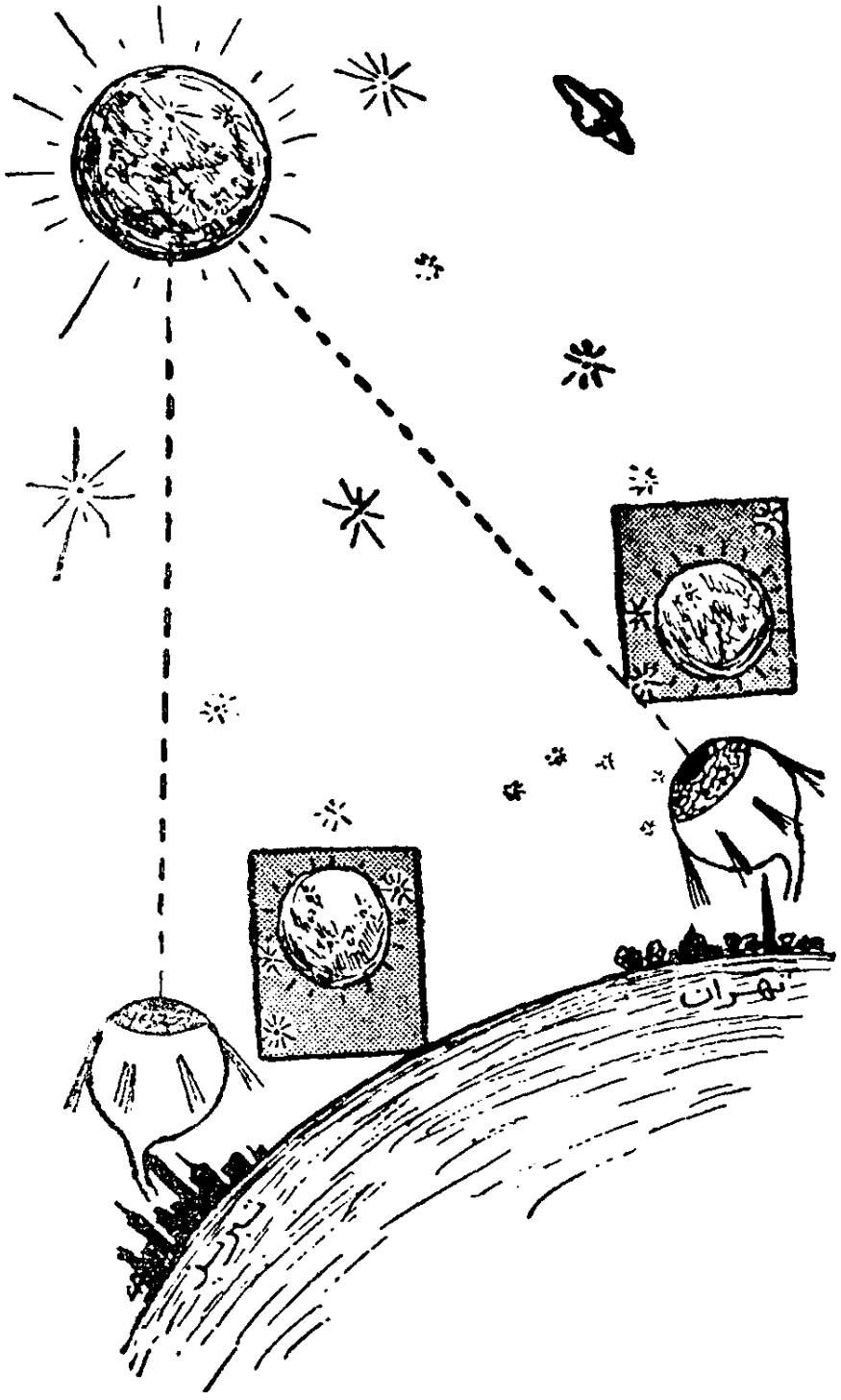
ازیك چنین راهی فاصلهٔ خورشید اززمین را می‌توان اندازه گرفت ، هرچندکه چون خورشید خیلی دورتـراست محاسبات مربوط به آن بسیار دشوارترمی‌شود . علمای نجوم حساب کرده اندکه این فاصله ۱۴۹۴۵۰۰۰۰ کیلومتر یا ۳۸۵ برابر فاصلهٔ زمین تا ماه است . درنتیجهٔ همین فـاصلهٔ سهمگین است که خورشید راتقریباً باندازهٔ ماه می‌بینیم حال آنکه درواقع خیلی بزرگتر ازآن است و قطرخورشید ۱۰۹ برابرقطر زمین است .

اگرخورشیدراکدوی تنبل بسیار بزرگی فرض کنیم زمین درمقابل آن مانند نخودی است و مـاه باندازهٔ دانـه خشخاشی و آسمان خراش معروف « امپایراستیت بیلدینگ» ، که مرتفع ترین بنای جهان است ، باندازهٔ کوچك‌ـ ترین باکتری‌ایکه می‌توان با میکروسکپ دید . بد نیست بدانید که دریونان

---

۱ ــ Stereoscope یا مجسم نما دوربینی است دو چشمی که درمقابل لولهٔ راست آن عکسی راکه باصطلاح با چشم راست گرفته شده باشد و درمقابل لولهٔ چپ عکسی راکه با چشم چپ گرفته شده است قرار می‌دهند و وقتی که بهردوعکس نگاه کنند برجستگی اشیائی که عکسشان گرفته شده است بخوبی محسوس می‌شود .

باستان فیلسوف روشنفکری بنام آناگزاگوراس[۱] را تبعید و بمرگ تهدید



شکل۱۰۸

کردند فقط برای آنکه گفته بود خورشید گلولهٔ آتشینی‌است که شاید ببزرگی همهٔ کشوریونان باشد .

---

۱ ـ Anaxagoras

علمای نجوم توانسته‌اند از راههای مشابه فواصل سیارات منظومهٔ شمسی رااز زمین پیدا کنند . دورترین آنهاکه پلوتن نام دارد وکاملا بتازگی کشف شده است فاصله‌اش از خورشید چهل برابر فاصلهٔ زمین از خورشید است یعنی درحدود ۶۰ ۰۰۰ ۰۰۰ ۰۰۰ کیلومتر .

۲ ـ کهکشان ستارگان

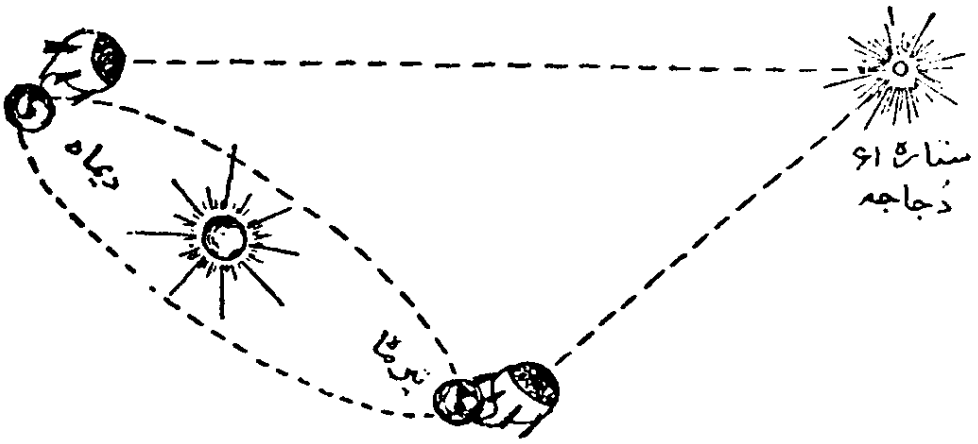
جهش دیگری که درفضا بکنیم رفتن از سیارات بثوابت است ودراینجا هم روش اختلاف منظربکار می‌آید . امـا می‌بینیم که نزدیکترین ستارگان ثابت آنقدر دور است که اگر آنها رااز دو نقطهٔ زمین که در حد اعلای دوری ازهم باشند (یعنی از دو انتهای قطری ازکره) رصد بکنیم هیچ تغییر مکان اختلاف منظری قابل ذکری نسبت بزمینهٔ ستارگان دیگردرآن مشهود نمی‌شود . اما بازهم برای تعیین اندازه این مسافت سهمناك راهی داریم . ماکه ازابعاد زمین برای تعیین اندازه‌های مدار زمین بدور خورشید استفاده می‌کنیم چرا ازمدار زمین برای تعیین فاصلهٔ ستارگان استفاده ننمائیم ؟ بعبارت دیگر می‌خواهیم بدانیم که آیا ممکن نیست با ارصاد لااقل برخی از ستارگان از دو انتهای مدار زمین فاصلهٔ آنها را بدست آوریم ؟ البته برای این کار باید ششماه بین دو ارصاد فاصله باشد . اما چرا نباشد ؟

بسال ۱۸۳۸ میلادی بسل[۱]، منجم آلمانی ، بااین طرز فکر وضع نسبی ستارگان را در دوشب بفاصلهٔ نصف‌سال مورد مطالعه قرار داد . درآغاز بخت بااو یاری نکرد و ستارگانی که درنظر گرفته بود مسلماً دورتر ازآن بودند که حتی وقتی‌هم مبنای اندازه‌گیری نصف قطرمدار زمین اختیارشد اختلاف منظرقابل توجهی‌درآنها پیدا شود. اماچرا! یك‌ستاره که درمجموعهٔ«ماکیان»[۲] بنام ستارهٔ شصت و یکم نامیده می شود و ستاره ضعیفی است نسبت بوضع ششماه پیش خوداندکی‌تغییرمکان داده بود (ش۱۰۹) . شش ماه دیگر گذشت وستاره‌بجای اول‌بازگشت . پس تأثیراختلاف منظر مشهود شده وبسل‌نخستین کسی بودکه با یك « نیم زرعی » در فضای بین ستارگان و خارج از حدود منظومهٔ شمسی ما قدم گذاشت .

---

۱ ـ Bessel ۲ ـ Cygni یا الدجاجه

تغییرمکان سالیانه‌ای که در « ۶۱ماکیان » مشهود افتاد براستی خیلی کوچك بود ، درحدود ۰/۶ ثانیه۱، یعنی زاویه‌ایکه ممکن است آدمی راکه درهشتصد کیلومتری شماست (اگردرچنین فاصله‌ای دیدن ممکن باشد) تحت آن زاویه مشاهده کنید ! اما وسایل نجومی بسیار دقیق هستند وحتی چنین زاویهٔ کوچکی را می‌توان با نهایت دقت اندازه گرفت . بسل از روی این



شکل۱۰۹

اختلاف منظر وقطر مدار زمین حساب کردکه فاصلهٔ آن ستاره از زمین ۱۰۳۰۰۰ ۰۰۰ ۰۰۰ کیلومتر یا ۶۹۰ ۰۰۰ برابر فاصلهٔ خورشید اززمین است ! براستی مشکل است که شخص معنی این عدد را بدرستی درك کند . درمثال قبلی که خورشید را بکدوئی بزرگ وزمین را به نخودی که در شش متری آن مشغول دوران است تشبیه کردیم فاصلهٔ این ستاره از آن نخود ۵۰۰۰۰ کیلومترمی‌شود .

در هیأت معمول است که وقتی از مسافات بزرگ صحبت می‌شود مدتی راکه نور باسرعت سرسام آور ۳۰۰ ۰۰۰ کیلو متر در ثانیه این مسافات‌را طی می‌کنددر نظر می گیرند. کمتر از $\frac{۱}{۷}$ ثانیه لازم است تا نور گرداگرد کره زمین را طی کند واندکی بیشتر از یك ثانیه‌لازم است تا از ماه بزمین برسد وتقریباً در ۸دقیقه از خورشید بمسکن خاکی ما می‌آید . از ستاره ۶۱ ماکیان که یکی‌از نزدیکترین همسایگان آسمانی ماست نور درمدت۱۱ سال بما میرسد و اگر بر اثر یك حادثهٔ سماوی ستارهٔ ۶۱ ماکیان خاموش

---

۱ ــ یا بطور دقیق‌تر ۰٫۰۶ + ۰٫۶۰۰

شودیا (بطوریکه گاهی بگاهی برای ستارگان وقوع می‌یابد) ناگهان منفجر وبصورت شعلهٔ زودگذری پراکنده گردد، ما باید یازده سال دور ودراز صبر کنیم تاآخرین بارقهٔ حیات این اختر ازمیان فضای بیکران بما برسد وپیام واپسین ستارهٔ معدوم را برای ما بیاورد .

بسل باتوجه بفاصلهٔ ستاره ۶۱ ماکیان حساب کردکه این نقطهٔ بسیار کوچکی که شب در زمینهٔ سیاه آسمان بما چشمك میزند جرم نورانی عظیمی است که فقط ۳۰ درصد کوچکتر واندکی کم‌نور تراز خورشید باعظمت‌وجلال ما است. معلوم‌شده است که معدودی‌از ستارگان از۶۱ ماکیان بمانزدیکترند که نزدیکترین آنها ستارهٔ آلفای‌قنطورس است (یعنی درخشنده ترین واحد صورت فلکی قنطورس) که فاصلـه اش از ما فقط ۴٫۳ سال نـوری است . اندازه و نور آن خیلی شبیه بخورشید خود ما است . بسیاری از ستارگـان خیلی دور ترند ؛ یعنی آنقدر دورکه قطر مدار زمین‌هم برای مبنای اندازه‌گیری فاصلهٔ آنها کافی‌نیست .

همچنین معلوم شده است کـه درجهٔ عظمت و نورانیت ستـارگان بسیار متفاوت است ، ازستارهٔ دیوپیکری مانند «ابطالجوزا» که سیصدسال نوری از ما فاصله دارد و۴۰۰ بار بزرگتر و۳۶۰۰ بار فروزانتر ازخورشید ماست تاستارهٔ بسیار کوچك‌کم نوری‌بنام «ستاره‌وان‌مانن [۱]» که در فاصلهٔ ۱۳سال نوری است وقطرش سه‌چهارم قطر زمین ماونورش ده هزار مرتبه ضعیفتر از نورخورشید ماست .

اکنون می‌رسیم بمسئلهٔ بسیار مهم‌تعیین تعداد ستارگان موجود .عقیدهٔ عمومی ، که شاید شما هم تابع‌آن باشید ، براین است که هیچکس نمی‌تواند ستارگان‌آسمان‌را بشمارد.اما ، همانطورکه درمورد بسیاری از عقاید عمومی صادق است ، این عقیده درست نیست . یالااقل در مورد ستارگانی‌که باچشم غیر مسلح ، یعنی بی دوربین ، دیده می شوند درست نیست .درحقیقت تعداد ستارگانی‌که باچشم دردو نیمکره دیده می‌شوند بین شش‌تاهفت هزار است و چون فقط نیمی‌ازآنهابالای افق‌هرمکان‌قراردارند وازاین‌عده هم‌آنهائی راکه درمجاورت‌افق‌واقعندبسبب‌خاصیت جذب جوزمین‌خوب نمی‌توان دید، تعداد ستارگانی‌که در یك‌شب‌صاف‌غیر مهتابی‌درمحلی دیده‌میشوند درحدود۲۰۰۰

---

۱ - Van Maonen

است . پس اگر آنها را باسرعت یك‌ستاره درهرثانیه بشمارید برای شمردن همهٔ آنها مثلا باید نیمساعت وقت صرف‌کنید .

اما اگربادوربین دوچشمی معمولی‌بآسمان‌نگاه‌کنیددرحدود ۵۰۰۰۰۰، و بایك دوربین نجومی ۷ سانتیمتری (دو اینچ‌ونیمی) در حدود یك میلیون ستاره بیشتر خواهید دید و بااستفاده از دوربین معروف دومتر ونیمی (صد اینچی) رصد خانه مانت ویلسن[1] کالیفرنیا در حدود پانصد میلیون ستاره مشاهده خواهیدکرد . اگر علمای نجوم بخواهند آنها را باسرعت یك‌ستاره در هرثانیه بشمارند وبرای اینکار هرشب ازغروب‌تا سپیدهٔ صبح وقت صرف کنند تقریباً یك‌قرن وقت لازم خواهند داشت!

اما البته مسلم است‌که هیچکس سعی نکرده است‌که ستارگانی راکه دردوربین نجومی دیده می‌شوند یکایك برشمارد . عدهٔ‌کامل را باین ترتیب بدست آورده اندکه تعداد ستارگانی راکه دربرخی از قسمتهای آسمان‌دیده می‌شوند شمرده و باتوجه بمساحت‌کل آسمان ازروی‌آن تعداد متوسط‌کواکب را قیاس‌کرده وتخمین زده‌اند .

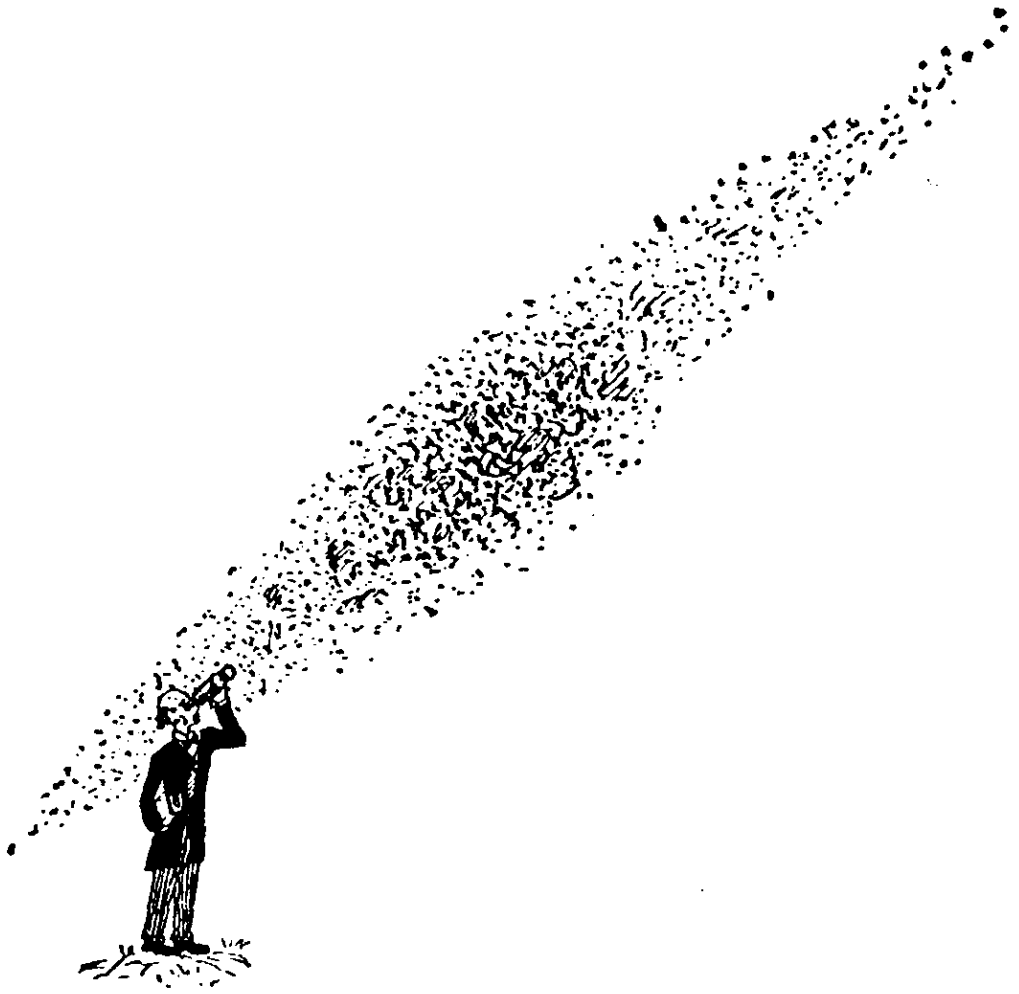
بیش از یك‌قرن پیش ویلیام هرشل[2] ، ستاره شناس معروف انگلیسی، که با دور بینی‌که خودش ساخته بود در ژرفنای آسمان سیاحت می‌کرد متوجه شدکه بیشتر ستارگانی که با چشم دیده نمی‌شوند در داحل کمربند کم‌نوری که شبها در آسمان دیده می‌شود وکهکشان نام دارد قرار دارند .و براثر هوش‌و نبوغ‌هرشل بود که‌علم نجوم‌این حقیقت را درك‌کردکه‌کهکشان یك «ابری» معمولی یاکمربندی ازابرهای گازکه درفضای لایتناهی‌پراکنده باشند نیست بلکه توده ایست از ستارگانی‌که از فرط دوری چشم ما قادر به تمیز آنها از یکدیگر نیست .

با استفاده از دوربین های نجومی نیرومند تر، و بازهم نیرومند تر ، توانسته ایم که‌عدهٔ خیلی بیشتری از ستارگان کهکشان را جدا ازهم به‌بینیم اما هنوزقسمت اصلی‌کهکشان بهمان صورت‌مبهم‌باقی مانده‌است . اماخطاست اگرتصورکنیم که‌درکهکشان ستارگان‌متراکم ترازنقاط دیگر آسمان‌هستند. اگرمادراین‌ناحیه ظاهراً عدهٔ‌خیلی‌بیشتری‌ستاره‌می‌بینیم تادرنقاط‌دیگرآسمان

---

۱ – Mount Wilson ۲ - William Herschel

سبب تراکم آنها و نزدیکی آنها بیکدیگر نیست بلکه سبب آن است که عمق توزیع ستارگان در این ناحیه بیشتر است . در امتداد کهکشان تا جائی که چشم (مسلح بدوربینهای نیرومند) کار میکند ستاره و باز هم ستاره است در صورتیکه در امتدادهای دیگر آسمان ستارگان تا انتهای دید انسان وجود ندارند و در آنسوی آنها تقریباً با فضای خالی سروکار پیدا می کنیم .



شکل ۱۱۰
ستاره شناسی که درامتداد کهکشان نگاه می کند. دراین تصویر کهکشان را ۱۰۰ ۰۰۰ ۰۰۰ ۰۰۰ ۰۰۰ ۰۰۰ ۰۰۰ مرتبه کوچك کرده ایم . سرستاره شناس تقریبا در موضعی است که خورشید اشغال کرده است .

وقتی که در امتداد کهکشان نگاه می کنیم مانندوقتی است که درجنگلی انبوه شاخ و برگ درختان در عقب یکدیگر قرار گرفته وزمینهٔ مداوم و یکنواختی تشکیل داده‌اند اما وقتی که بنقاط دیگر آسمان نظر بیندازیم قسمتهائی از فضای خالی بین ستارگان را مشاهده می کنیم همانطورکه وقتی

ازلای شاخ و برگ درختی که بالای سرمااست نگاه کنید قسمتهائی ازآسمان را می‌بینیم .

پس جهان پر ستاره ای که خورشید ما عضو ناچیزی از آن است قسمت تقریباً مسطحی ازفضا را اشغال کرده است ودرصفحهٔ کهکشان تا مسافات بعید ادامه دارد در صورتیکه در امتداد عمود بر آن به‌نسبت کم پشت است .

مطالعات دقیقتری که نسلهای متوالی منجمان کرده اند باین نتیجه رسیده است که جهان کواکب در حدود ۴۰ ۰۰۰ ۰۰۰ ۰۰۰ ستاره داردکه دریك فضای عدسی‌شکلی بقطر ۱۰۰ ۰۰۰ سال‌نوری و بضخامت ۵۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ سال نوری پراکنده اند . و نتیجه ای که مانند سیلی بچهرهٔ غرور فرزندان آدم می‌خورد اینست که خورشید ما درمرکزاین اجتماع عظیم ستارگان نیست بلکه تقریباً درلبهٔ خارجی آن است .

در شکل ۱۱۱ سعی می‌کنیم خوانندهٔ گرامی خود را متوجه سازیم که کندوی بزرگی که ستارگان چون زنبوران عسل در آن جا دارند در حقیقت بچه صورت است .

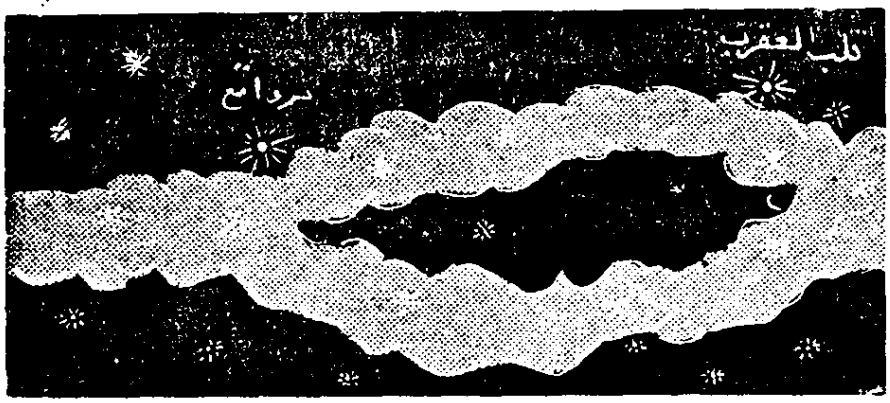
در این شکل کهکشان را صد میلیارد میلیارد مرتبه کوچك کرده ایم اما تعدادنقطه هائی که بجای‌ستارگان گذاشته ایم خیلی کمتر ازچهل میلیارد است (بعلت اشکالات فنی چاپخانه) .

یکی از صفات مشخصهٔ انبوه ستارگانی که کهکشان‌را تشکیل می‌دهند حرکت دورانی سریع آن است شبیه بحرکت دورانی دستگاه سیارات ما . همانطورکه زهره وزمین و مشتری‌و دیگر سیارات بر روی مدارهائی تقریباً مستدیر بدورخورشید می گردند میلیاردها ستارهٔ دستگاه کهکشان بدورچیزی که مرکز کهکشان نامیده می‌شود در گردش‌اند .

این مرکز کهکشان در امتداد محل صورت فلکی قوس (تیر انداز) قرار دارد . در حقیقت اگر شما درمسیر مه آسای کهکشان درآسمان دقت کنید متوجه خواهید شد که این‌مسیر در حدود صورت قوس خیلی وسیعتر می‌شود ونشان‌می‌دهدکه شما در امتداد ضخیم ترین قسمت این تودهٔ عدسی شکل نگاه می‌کنید (ستاره شناس شکل ۱۱۰ ماهم در این امتداد مشغول

نظاره است) .

این مرکز کهکشان شبیه‌چیست ؟ نمیدانیم . زیرا که متأسفانه ابرهای سنگینی که ازمواد تیره رنگی که در فضای‌بین ستارگان درحال تعلیق‌هستند تشکیل شده اند مانند پرده‌ای مرکز کهکشان را از چشم ما پنهان می‌دارند. درحقیقت اگردر امتداد صورت‌قوس بقسمت عریضتر کهکشان نگاه کنید نخست بنظرتان خواهدرسید که این‌راه مرموز آسمانی در این ناحیه بیك«دوراهی»، بمنظور تنظیم حرکت رفت وآمد ، تقسیم‌شده است ، اما بهیچ روی چنین‌نیست و آنچه بنظر ما می‌رسد نتیجهٔ وجود یك‌ابر تیره وتار ازغبار کیهانی وگاز- های آسمانی است که درست در این‌قسمت کهکشان در فضا بحال تعلیق است وما را ازکهکشان جدا می‌سازد . هرچند تاریکی دردوطرف کهکشان براثر وجود زمینهٔ سیاه آسمان است تاریکی وسط آن تأثیر وجود همان ابـر سیاه می‌باشد . معدودی از ستارگان که دروسط این‌لکهٔ سیاه دیده مـی‌شوند در حقیقت جلوتر از ابر وبین ما وآن قرار دارند (ش ۱۱۱) .



شکل ۱۱۱
هرگاه بوسط کهکشان نگاه کنیم بنظر می‌رسد که این راه مرموز آسمانی در این ناحیه‌بیك «دوراهی» تقسیم شده‌است.

براستی‌حیف است که ماازدیدار این‌مرکز نهفتهٔ کهکشان ،که‌خورشید ما ومیلیاردها اختر فروزان دیگربدور آن گردش می‌کنند محرومیم . امابا مشاهده و مطالعهٔ کهکشانهای دیگری که‌بسیار دورترازحدود خارجی کهکشان ما درفضای بی انتها پراکنده اند می‌توانیم حدس بزنیم که مرکز کهـکشان

چگونه باید باشد . این‌مرکز ستارهٔ خیلی بزرگی نیست ، که مانند خورشید که سایر اجرام‌منظومهٔ شمسی رازیرسیطرهٔ خوددارد، سایر اختران‌کهکشان را تابع خود ساخته باشد . مطالعهٔ قسمت مرکزی‌کهکشان های دیگر (که اندکی بعد دربارهٔ آنها صحبت خواهیم داشت) نشان می‌دهدکه این مـرکز هم انبوهی از ستارگان است‌که متراکم تر وبیکدیگر نزدیکتر ازستارگان قسمتهای‌خارجی کهکشان هستند . اگرمنظومهٔ شمسی خود رامانند حکومت مستبدی بدانیم که خورشید بر آن فرمانروائی دارد کهکشان را باید بیك حکومت دموکراسی تشبیه نمائیم‌که برخی از اعضاء آن در حکومت مرکزی شأن وقدرومقامی دارند ودیگران بوضع‌محقر تری‌که دارنددل خوش‌ساخته‌اند ودرحاشیهٔ اجتماع زندگی می‌کنند .

همچنانکه گفتیم همهٔ ستارگان‌کهکشان ، از جمله خورشید فروزان ما ، برروی دایره‌هائی بسیار عظیم بدور مرکزکهکشان می‌گردند . چگونه این مطلب را می‌توان ثابت‌کرد ؟

شعاعهای این مدارهای ستارگان چطور هستند ؟ چقدر وقت لازم‌است تا این مدارها یك دور طی‌شوند ؟

جواب همهٔ این پرسش‌ها را چند ده سال‌پیش « اورت » [۱] ستاره‌شناس هلندی داده است . این دانشمند در بارهٔ کهکشان مطالعاتی کرد و نظراتی ابراز نمودکه خیلی شبیه به نتیجهٔ مطالعات کپرنیك است در مورد منظومـهٔ شمسی .

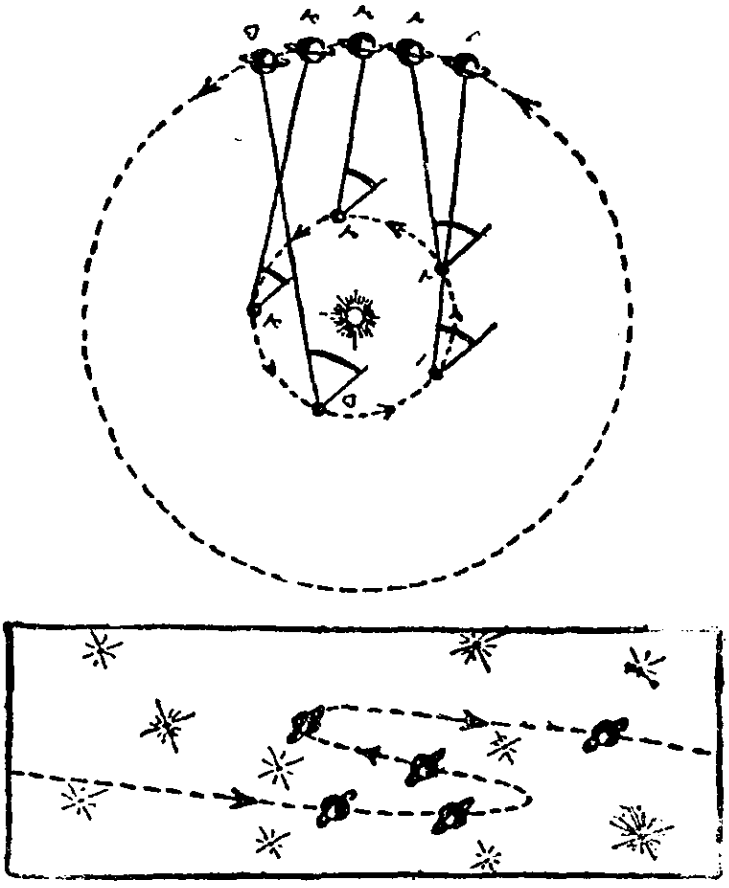
نخست دلیل‌کپرنیك را بیاد می‌آوریم . پیشینیان ، مـانند بابلیـان و مصریان و دیگران ، متوجه شده بودندکه سیارات بزرگ مانند مشتری یـا زحل بوضعی‌خاص در آسمان حرکت می‌کنند . بنظر می‌رسدکه این‌سیارات، مانند خورشید ، در روی یك بیضی سیر می‌کنند ،ناگهان متوقف می شوند ، بازپس می‌روند وپس‌ازیك تغییر جهت دیگربراه اصلی خود ادامه می‌دهند . در قسمت‌پائین شکل۱۱۲ مسیر ظاهری زحل‌در مدتی نزدیك بدو سال‌نموده شده است (مدت یك دوران‌کامل‌زحل بدور خورشید ۵ر۲۹سال است) .چون

---

۱ ـ Oort

برطبق معتقدات مذهبی که زمین رامرکز جهان می‌دانستند همهٔ سیارات ، و حتی خود خورشید ، بدور زمین می گشتند برای توجیه و توضیح این حرکات عجیب فرض می گردید که مدار های سیارات شکلهای مخصوصی باندازه‌های مختلف دارند .

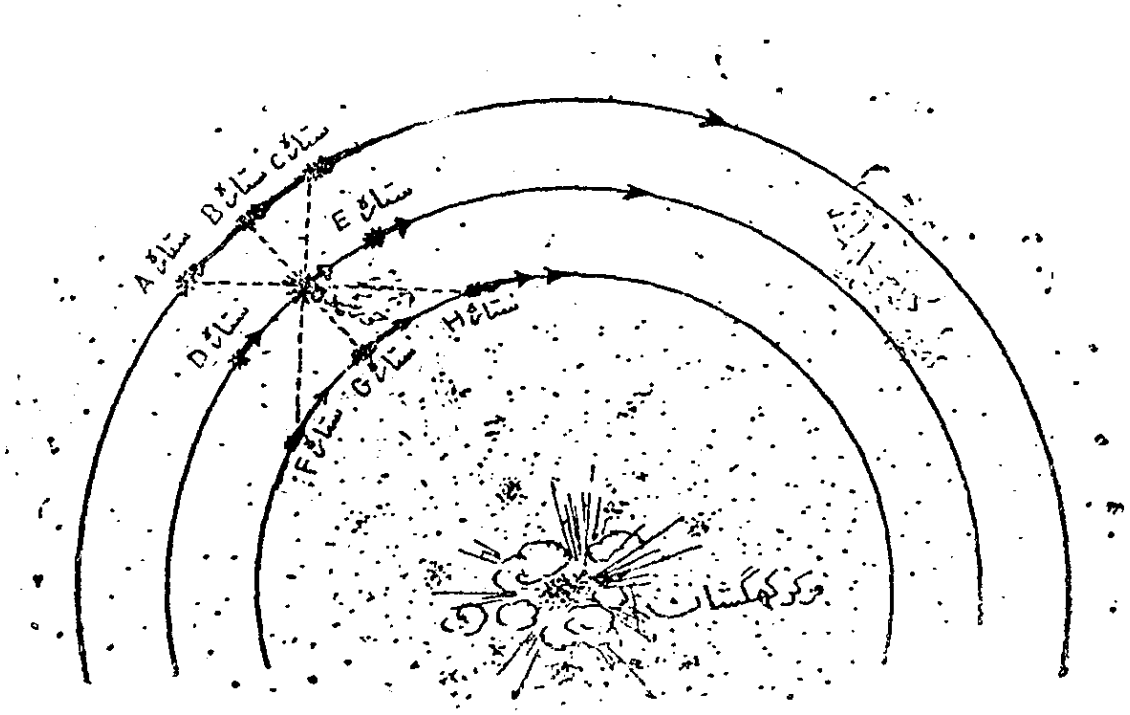
اما کپرنیك مطلب رابهتر دریافت و براثرجرقهٔ نبوغی که داشت توضیح داد که این پدیدهٔ عجیب فقط نتیجهٔ آن است که زمین هم ، مانند سیارات دیگر، دایره‌ای بدور خورشید طی می کند . توضیح این حرکت اضافی راوقتی بهتر خواهید فهمید که قسمت بالای شکل ۱۱۲ رابدقت مطالعه کنید .



شکل ۱۱۲

خورشید در مرکز است وزمین (کرهٔ کوچك) در روی دایره کوچکی بدور آن می گردد وزحل (که حلقه‌ای دارد) دایرهٔ بزرگتری رادر همان جهت حرکت زمین طی می کند. عددهای۱ و۲و۳ و٤ و٥ اوضاع مختلف زمین را درمواقع مختلف سال و اوضاع زحل را(که باسرعت خیلی کمتری حرکت میکند) درهمان مواقع نشان می دهد . قسمتی از خط قائم که درهر وضع

زمین رسم شده است امتداد ستارهٔ ثابتی را معین می‌کند . اگر از هر وضع زمین بوضع نظیر آن اززحل وصل کنیم می‌بینیم که زاویهٔ بین دوامتداد (یعنی بین امتداد ستارهٔ ثابت و امتداد زحل) اول بزرگ می‌شود بعد کوچك می‌گردد و باز بزرگ می‌شود .



شکل ۱۱۳

باین ترتیب پدیدهٔ ظاهری وجود زوائد بهیچ‌روی مربوط بتحرکت زحل نیست بلکه نتیجهٔ آن است که ماحرکت رااز نقاط مختلف زمینی که خودمحرك است مورد مطالعه قرار می‌دهیم .

ممکن است پس ازمطالعه ومداقه درشکل ۱۱۳ باستدلالی که «اورت» دربارهٔ دوران کهکشان کرده است بهتر پی برده شود . درقسمت پائین شکل مرکز کهکشان رامی‌بینیم (یعنی ابرسیاه وبقیهٔ چیزها را) . دراطراف این مرکز تعداد زیادی ستارگان گرداگرد این مرکز در همه‌طرف پراکنده‌اند. سه دایره‌ای که می‌بینید مدارستارگان رادرفواصل مختلف نشان می‌دهد ودایره وسط مدارخورشید ماست .

هشت ستاره درنظرمی گیریم که دوتای آنها برروی مدار خورشید وسه تای دیگری برروی هریك ازدودایرهٔ دیگرواقع باشند وازدوستاره‌ای که بر روی‌مدارخورشیدند یکی اندکی‌جلوتر ودیگری کمی عقب ترازخورشید باشد (برای ممتاز ساختن‌این هشت‌ستاره ازستارگان دیگر برای آنها شعاع نور

گذاشته‌ایم). باید بیاد بیاوریم که برطبق قوانین ثقل (رجوع کنید بفصل پنجم) ستارگان علوی ، یعنی خارجی ، سرعتی کمتر از سرعت دوران خورشید و ستارگان سفلی ، یعنی داخلی، سرعتی بیشتر از آن دارند (این موضوع رادر روی شکل باتیرهائی بطولهای مختلف نمایش داده‌ایم) .

ببینیم که اگر از خورشید، یا از زمین که از این حیث فرقی با خورشید ندارد، حرکت این هشت ستاره را رصد کنیم آنها را چگونه خواهیم یافت ؟ مقصود ما دراینجا حرکت درطول شعاع بصری است ومناسبتر ازهمه آن است که این حرکت را بوسیله آنچه باصطلاح تأثیردوپلر[1] گفته می‌شود مطالعه کنیم . پیش ازهرچیز مسلم است که دوستارهٔ D وE که باخورشید برروی یك مدار وبایك سرعت حرکت میکنند بنظر ناظری که در خورشید (یازمین) باشد ثابت وبی حرکت خواهندبود . همین گفته دربارهٔ ستارگان B وC که باخورشید برروی یك شعاع قرار دارند صادق است زیرا که آن دو بموازات خورشید حرکت میکنند ودرطول شعاع بصری مؤلفه‌ای برای سرعت وجود ندارد .

اما دربارهٔ ستارگان A وC واقع بر مدار خارجی چه می‌توان گفت ؟ چون هردوازخورشید کندتر حرکت میکنند می‌توانیم نتیجه بگیریم ، ودرشکل هم بوضوح ببینیم، که ستارهٔ A آرام آرام بدنبال خورشید درحرکت است و خورشید به ستارهٔ C که درآغاز ازآن جلوتراست نزدیك می‌شود تاازآن جلو افتد . فاصله از ستارهٔ A دایم در تزاید است ولی فاصله از C رفته رفته کمتر می‌شود ونوری که از دوستاره می‌رسد بترتیب تأثیر سرخ وبنفش دوپلر راخواهد داشت. برای ستارگان F وH که روی دایرهٔ داخلی حرکت میکنند وضع درست برعکس است ومااز F یك تأثیربنفش دوپلرواز H یك تأثیرسرخ دوپلرخواهیم داشت .

فرض این است که اگر حرکت مستدیری برای ستارگان متصور باشد پدیده‌ای که گفتیم تحقق می‌پذیرد ووجود حرکت مستدیربرای ماممکن ساخته است که نه‌فقط صحت این فرض رامحقق سازیم بلکه شعاع مدارهای ستارگان وسرعت حرکت آنها راحساب کنیم . «اورت» که نتایج ارصادها ومطالعاتی را

---

۱ ــ رجوع کنید به صفحه ۳۴۹ که در آن از تأثیر دو پلر صحبت خواهدشد .

که دربارهٔ حرکت ظاهری ستارگان درتمام نقاط آسمان شده بود جمع آوری کرد توانست ثابت کند که تأثیرسرخ و بنفش دوپلر درحقیقت وجود دارد و این مسئله درحرکت دورانی کهکشان کوچکترین تردیدی باقی نمی گذارد .

ازراهی مشابه می‌توان ثابت کرد که دوران کهکشان درسرعت ظاهری ستارگانی که عمودبرشعاع بصری حرکت میکنند نیزمؤثراست. هرچند اندازه گرفتن دقیق این مؤلفهٔ سرعت اشکالات خیلی زیادتری دارد (بدلیل آنکه سرعتهای بسیار زیاد ستارگان خیلی دور اختلاف زاویه‌ای بسیارکوچکی را موجب می‌شوند) اما اورت وعلمای دیگرموفق بدیدن این تأثیرشدند .

امروز اندازه گیری دقیق تأثیر اورت درحرکت ستارگان اجازه داده است که‌طول مدارستارگان ومدت‌لازم برای پیمودن این مدارراحساب کنیم. با این محاسبات معلوم شده است که شعاع مدار خورشید بدورمرکزکهکشان (که دروسط صورت قوس‌واقع است) ۳۰۰۰۰ سال نوری است یعنی درحدود دوسوم شعاع مدار دورترین ستارگان کهکشان . زمان لازم برای طی مدار ازطرف خورشید در حدود ۲۰۰میلیون سال است. البته زمان درازی است ، اما اگر بیاد بیاوریم که عمر دستگاه کواکب در حدود سه میلیارد سال است می‌بینیم که‌درمدت عمرجهان خورشیدوخانواده‌اش تقریباً بیست‌بار بدورمرکز کهکشان گشته‌اند. اگرهمان‌اصطلاحی‌راکه درمورد زمین بکار برده ایم بکار ببریم ومدت‌لازم برای طی یك‌مدارکامل‌خورشید بدورمرکزکهکشان‌را «سال خورشیدی» بگوئیم می توانیم نتیجه بگیریم که عمر جهان ما فقط بیست سال خورشیدی‌است. درحقیقت‌درجهان ستارگان‌اتفاقات بکندی تمام‌روی می‌دهند وسال خورشیدی برای ثبت وقایع تاریخ جهان واحدی بسیار مناسب است .

۳ ــ بسوی مرزهای ناشناس

همچنانکه گفتیم کهکشان ماتنها اجتماع منفردی ازستارگان نیست که درپهنهٔ بیکران جهان موج‌می‌زند. مطالعات وتحقیقات بادوربینهای نیرومند نجومی‌نشان‌داده است که درفضای بی‌انتها ودرفواصل بسیار دورتعداد زیادی ازمجموعه‌های بسیاربزرگ ستارگان شبیه بمجموعه‌ای که خورشید ماجزءآن

است وجود دارند. نزدیکترین آنها که ابری معروف به‌مراة‌المسلسله[۱] است با چشم و بی دوربین نیز دیده می‌شود ودر نظر ما مانند ابری کوچك وکم نور و کشیده‌ای جلوه می‌کند. درتصویرهای خارج‌ازمتن شمارهٔ ۷ A و Bدوعکس می‌بینید که باتلسکوپ بزرگ رصدخانه مانت ویلسن ازدومجموعهٔ آسمانی‌از این نوع گرفته شده است . دوچیزی که دراین عکسها می‌بینید ابری صورت ذات‌الشعور[۲]است که مستقیماً ازپهلو دیده می‌شود وابری دب اکبر که از بالا مشاهده می‌گردد. آنچه دراین دومجموعه جلب توجه می‌کند اینست که اگر کهکشان مادارای شکل عدسی است صفت مشخصهٔ این مجموعه‌ها شکل مار-پیچی آنهاست و از این روی « ابری مارپیچی » نامیده می شوند . نشانی - های متعددی هست بر اینکه کهکشان خودماهم شکل مارپیچی دارد ولی وقتی که شما در داخل چیزی باشید تشخیص شکل‌آن برای شما خیلی دشوار است . در حقیقت باغلب احتمال خورشید ما درست درانتهای یکی‌ازپیچهای «ابری بزرگ کهکشان» قراردارد .

تامدتی‌دراز علمای‌نجوم نمی‌دانستند که ابریهای مارپیچ‌مانند کهکشان ما دستگاههای عظیم‌ستارگان هستندوتصورمی کردند که آنهاهم مانند ابریهای معمولی‌ازقبیل ابری صورت فلکی جبار توده‌هائی ازغبار بین‌ستارگان‌هستند که بشکل‌ابرهای بزرگ‌دردرون کهکشان‌ما وبین ستارگان موج‌میزنند. اما بعداً معلوم‌شد که‌این‌چیزهای مارپیچ‌مه‌آلود مه‌نیستند بلکه‌مرکب‌ازستارگان بیشماری هستند که چون باقویترین دوربینها بآنها نظاره شود بشکل نقاط کوچك مجزا ازهم دیده می‌شوند. اما بحدی دور هستند که هیچگاه بااستفادهٔ اختلاف منظر فاصلهٔ واقعی‌آنها را تخمین نمی‌توان زد .

باین ترتیب نخست بنظرمی‌رسد که ما دراندازه گرفتن فواصل‌آسمانی بحدآخروسائل خود رسیده باشیم . امانه ، درعلم هروقت بمانعی گذرناپذیر برمیخوریم توقف ماخیلی‌کوتاه وموقتی‌است وهمیشه اتفاقی مـی‌افتد که بما اجازه گذشتن ازمانع را می‌دهد . دراین مورد هم «وسیلهٔ اندازه گیری» کاملا جدیدی بوسیلهٔ هارلوشپلی[۳] ، ستاره شناس معروف دانشگاه ها روارد ، کشف

---

۱ _ Andromede ۲ _ Coma Berenices

۳ _ Harlow ShaPley

و «تپش ستارگان» یا «سفه ئید»[1] نامیده شده است.

ستارگان انواع مختلف دارند. بیشتر آنها آرام و مدام در آسمان میدرخشند، امامعدودی دائماً تغییردرجه‌رخشندگی می‌دهند، یعنی‌درفواصل‌وبا دوره‌های منظم‌ازپرنوربکم نوروازکم‌نور به‌پرنورنوسان می‌کنند وپیکرعظیم این‌ستارگان‌مانند قلب می‌تپدوبااین تپش‌درخشندگی‌آنها تغییرمی‌کند[2]. هر چه ستاره بزرگتر باشد تپش‌آن بزرگتراست درست مانندآونگ (پاندول) که هرچه درازترباشد مدت نوسان‌آن بیشتراست. آنهائی‌که براستی‌کوچك هستند دوره تناوبشان چندساعت بیشترطول نمی‌کشد امادورهٔ تپش ستارگان واقعاً بزرگ سالها بطول می‌انجامد. بعلاوه چون هرچه ستاره بزرگترباشد درخشنده تراست ظاهراً بین دورهٔ تپش ستاره و مقدار متوسط درخشندگی‌آن رابطه‌ای بایدباشد. این‌رامی‌توان بامشاهدهٔ «تپش ستارگان صورت قیقاوس» مطالعه‌کردکه‌آنقدربمانزدیك هستندکه‌فاصله، ودرنتیجه میزان درخشندگی، آنها رامی‌توان مستقیماً بدست‌آورد.

حال اگرستارهٔ تپش‌کننده ایرادیدیدکه بیرون ازحدود اندازه‌گیری با اختلاف منظر است کافی است بادوربین بآن نگاه‌کنید ومدتی راکه برای دورهٔ تپش‌آن صرف میشود بدست‌آورید. ازروی مدت تپش‌میزان درخشندگی واقعی‌ستاره را تعیین می‌کنید وچون نتیجه رابادرخشندگی‌ظاهری‌آن مقایسه کنید فوراً می‌توانید فاصلهٔ ستاره را پیدا کنید. شاپلی این روش مدبرانه را باموفقیت‌کامل برای اندازه‌گرفتن فواصل بزرگ در داخل‌کهکشان بکار برد وآنرا برای تعیین ابعادکلی دردستگاه‌کواکب بسیار مفید یافت.

وقتی‌که شاپلی این روش رابرای تعیین فواصل چند ستاره تپش‌کننده که درهیکل عظیم ابری مراةالمسلسله جای دارند بکار برد دستخوش‌حیرتی عظیم شد. فاصلهٔ زمین تااین ستارگان‌که باید همان فاصلهٔ زمین تاخود ابری مراة المسلسله باشد به ۶۸۰۰۰۰ سال نوری رسید، یعنی خیلی بزرگتر

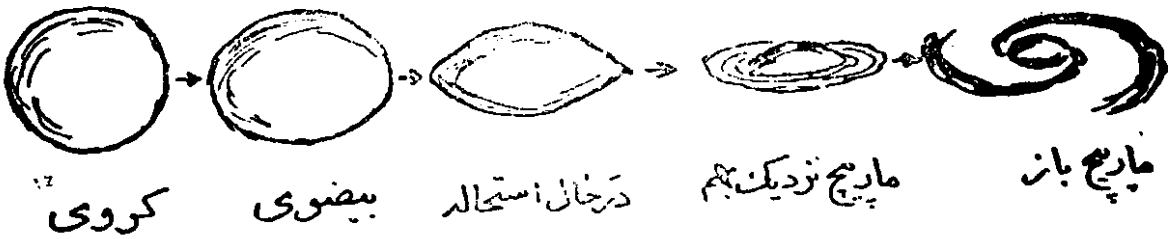
---

۱ ـ Cepheides وجه این‌نامگذاری‌آن است‌که اولین بار تپش ستارگان در ستارهٔ بتای منظومهٔ قیقاوس Cepheus کشف شد.

۲ ـ نباید این ستارگان «تپش‌کننده» را با آنهائی که منکسف می‌شوند اشتباه‌کرد. ستارگان منکسف‌شونده معمولا از دو ستاره تشکیل می‌شوند که بدور یکدیگر می‌گردند و به تناوب یکدیگر را می‌پوشانند و منکسف می‌کنند.

ازقطری که برای دستگاه فلکی کهکشان تخمین شده بود . وابعادی که برای ابری مراةالمسلسله حساب شد کمی کمتر ازابعاد کهکشان خود ماست . دو ابری مارپیچ دیگری که درتصاویرخارج ازمتن ملاحظه می فرمائید بازهم دورتر ند وقطرهایشان درحدود قطرصورت فلکی مراةالمسلسله است .

این کشف فرض آنرا که ابریهای مارپیچ « چیزهای» بالنسبه کوچکی هستند که در داخل کهکشان ما قراردارند بیکباره نابود کرد ومسلم ساخت که این ابریها دستگاههای مستقلی ازستارگانی هستند که بسیار به کهکشان ما شبیه اند . امروز هیچ ستاره‌شناسی تردید ندارد که در نظر کسی که دریکی از سیارات کوچکی که بدور یکی از میلیاردها ستاره‌ای که ابری مراةالمسلسله راتشکیل می‌دهند میگردند نشسته باشد کهکشان ما بهمانگونه جلوه میکند که مراةالمسلسله درنظرما است .



شکل ۱۱۴
مراحل مختلف تکامل کهکشان

مطالعات کاملتری ازاین اجتماعات اختران ، که بیشتر آنها رامدیون دکتر هابل[۱] کهکشان شناس نامی رصد خانه مانت ویلسن هستیم ، حقایق خیلی بیشتری راکه واجدکمال فایده واهمیت است ظاهرساخته‌اند . پیش‌از همه معلوم شدکه همهٔ کهکشانها ، که وقتی باتلسکوپ نگاه کنیم تعدادشان بیشترازستاره‌هائی است که باچشم می‌بینیم، لزوماً دارای شکل مارپیچ نیستند و شکلهای مختلف دارند . بعضی **کروی** هستند و بشکل قرصهائی با حدود مغشوش دیده می‌شوند، بعضی دیگر **بیضوی** هستند وشکل‌هائی کم وبیش کشیده دارند ، آنهائی‌هم که مارپیچ هستند درنزدیکی ودوری پیچها ودرهم رفتن آنهامتفاوتند وبعضی‌ازآنهاهم شکل بسیارعجیبی‌دارند که **«مارپیچ میله‌ای»**

---

۱ ـ Dr. E. Hubble

نامیده شده است .

نکتهٔ بسیار بسیار مهم آن است که تمام این شکلهای مختلف کهکشان‌ها را می‌توان برشته منظمی (شکل ۱۱٤) در آورد که احتمالا نماینده مراحل مختلف تکامل این اجتماعات عظیم ستارگان است .

هرچند ماهنوز خیلی از درك وفهم حقیقت تکامل کهکشانها دورهستیم خیلی محتمل بنظرمی‌رسد که این تکامل درنتیجه عمل تراکم متزاید باشد. کاملا معلوم شده است که وقتی یك جسم گازی کروی که بکندی درحال دوران باشد تحت‌تراکم مداوم قرار گیرد سرعتش روبفزونی می گذارد وشکل بیضوی مسطح می‌شود . در مرحله‌ای از تراکم وقتی که نسبت شعاع قطبی بشعاع استوائی مساوی $\frac{۷}{۱۰}$ شود ظاهراً باید جسم دوار بشکل یك عدسی درآید که لبهٔ آن بمحاذات استوا قرار گرفته باشد . اگر باز تراکم ادامه یابد شکل عدسی محفوظ می‌ماند اما گازهائی که جسم دوار را تشکیل مـی‌دهند شروع بخارج شدن ازآن می کنند ودرمجاورت لبهٔ تیزاستوا بحرکت درمـی‌آیند و پرده های نازك گازی درسطح استوا بوجود می‌آورند .

سرجمس‌جنس[۱] فیزیك‌دان وستاره‌شناس‌نامی‌انگلیسی‌تمام این‌احکام‌را درمورد یك کرهٔ گازی درحال دوران ثابت‌کرده است اما می‌توان‌آنهارا بی‌هیچگونه تغییری دربارهٔ توده‌های ابرآسای ستارگان که‌کهکشان نام دارند اطلاق‌کرد . درحقیقت این مجموعه‌های مرکب ازمیلیاردهاستاره رامی‌توانیم بمثابه تودهٔ گازی فرض‌کنیم‌که در آن نقش ملکولهای‌گاز بوسیله ستاره‌های منفرد ایفامی‌شود .

وقتی‌که محاسبات نظری «جنس» را باطبقه‌بندی تجربی کـه هابل در کهکشانها کرده بود بسنجیم می‌بینیم که‌این توده‌هـای عظیم درست همان دور تکاملی‌را طی می‌کنند که تئوری «جنس» بیان می‌کند. بخصوص که‌کهکشانی که شکلش کشیده‌ترین بیضی است‌آن است کـه نسبت شعـاع قطبی بشعاع استوائیش $\frac{۷}{۱۰}$ است واین اولین موردی است‌که دراستوا بایك لبهٔ تقریباً تیز برخورد می‌کنیم. ظاهراً مارپیچهائی که درمراحل‌بعدی‌تکامل‌تشکیل می‌شوند

---

۱ ـ Sir James Jeans

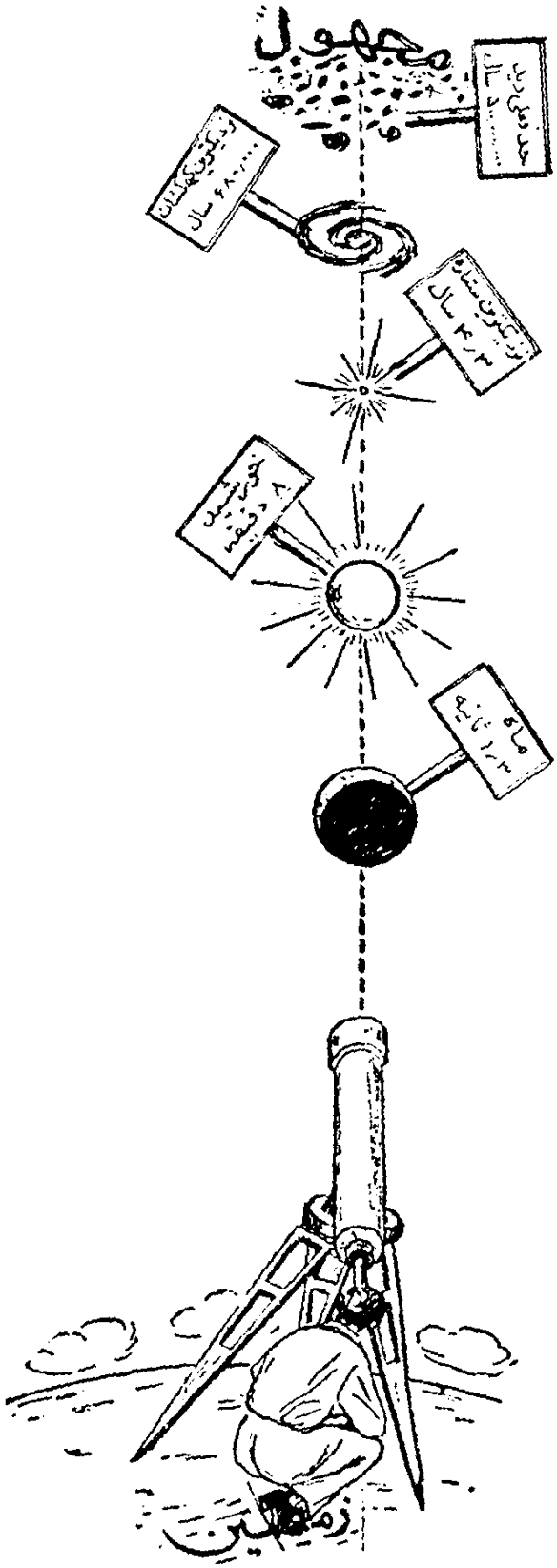
ازموادی بوجود می‌آیندکه براثردوران سریع بخارج پرتاب می‌گردند اما تاکنون توضیح رضایت بخشی در بارهٔ اینکه چرا و چگونه شکل مارپیچ پیدا می‌شود و موجب اختلاف بین مارپیچهای ساده ومیله‌ای چیست بدست نیاورده‌ایم .

هنوز خیلی چیزها در بارهٔ ساختمان و حرکت و محتویات قسمتهای مختلف کهکشانها باید آموخت ، مثلا نتیجهٔ جالبی که دو سال پیش بوسیلهٔ «و. باده»[1] منجمی که درمانت ویلسن کارمی‌کند بدست‌آمده‌است. این دانشمند توانست نشان بدهدکه هرچند قسمت مرکزی (هسته) کهکشانهای مارپیچ از ستارگانی ازنوعی‌که درهستهٔ کهکشانهای کروی یا بیضوی هستند تشکیل شده است؛ ستارگان بازوهای کهکشانهای مارپیچ ازنوعی متفاوت می‌باشند. آنچه اختران‌بازوی مارپیچ‌را ازسایرستارگان متمایزمی‌سازد وجودکواکب بسیار داغ وبسیار روشنی است بنام « دیوهای‌آبی»[2] که نه درنواحی مرکزی این کهکشانها دیده می‌شوند ونه درکهکشانهای‌کروی یا بیضوی . چون بطوریکه بعداً (درفصل یازدهم) خواهیم دید باغلب احتمال «دیوهای‌آبی» تازه‌ترین ستارگانی هستندکه بوجود آمده‌اند خلاف عقل نیست که فرض شود بازوی کهکشان بمنزلهٔ زمینه‌ایست برای‌بوجودآوردن ستارگان جدید. شاید بتوان اینگونه فرض کردکه قسمت اعظم موادی‌که ازقسمت استوائی کهکشانهای بیضوی براثرتراکم‌خارج می‌شونداز گازهای‌قدیمی تشکیل شده است‌که چون درفضای سرد بین‌کهکشانهاقرارگرفتند بصورت قطعات بزرگ ومجزای ماده متکاثف می‌گردند وسپس درنتیجهٔ تراکم زیاد خیلی داغ وبسیار درخشنده می‌شوند .

درفصل یازدهم بازبمسائل پیدایش ستارگان وزندگی‌آنها بازخواهیم گشت اما حالا باید بطورکلی چگونگی توزیع‌کهکشانهای از یکدیگر جدارا درعرصهٔ فراخ جهان مورد مطالعه قرار دهیم .

دراینجا قبل ازهرچیز باید خاطرنشان سازیم‌که روش اندازه‌گرفتن فواصل بکمك تپش ستارگان درمورد عده‌ای از کهکشان‌ها که درمجاورت کهکشان ماهستند نتایج عالی داده است اما وقتی‌که در اعماق فضا پیش‌رویم

۱ـ W . Baade ۲ـ Blue Giants



ش. ۱۱۵

سنگهای کیلومترشمار در گردشگاه کیهانی .
مسافات باسال نوری بیان شده‌اند .

زود بفواصلی می‌رسیم که در آنها حتی با قویترین تلسکوپها ستارگان جدا از هم دیده نمی‌شوند و کهکشانها کاملا بصورت ابریهای کشیده مشاهده می گردند. دراین فواصل باید مبنای تشخیص ما ابعاد کهکشانی باشد که می‌بینیم زیرا که تقریباً معلوم وثابت شده است که ، برخلاف ستارگان ، کهکشانهائی که ازیك نوع باشند همه تقریباً یك اندازه هستند . اگرشما بدانید که قدهمه‌مردم یکی است و آدمهای خیلی بلند یاخیلی کوتوله وجود ندارند همیشه می‌توانید از روی طول ظاهری قامت شخص فاصلهٔ اورا ازخودتان بدست آورید .

دکترها بل ازاین روش برای اندازه گرفتن فواصل کهکشانهای بسیار بسیار دوراستفاده کرد وتوانست ثابت کند که تاجائیکه چشم (بکمك قویترین دوربینها) کار می کند کهکشانها بوضعی کم وبیش یکنواخت درفضا پراکنده‌اند. گفتیم «کم وبیش» بدلیل آنکه درحالتهای متعدد کهکشانها بصورت خوشه‌هائی که گاهی چند هزارحبه دارد بدوریکدیگر جمع می‌شوند، درست همانطور که ستارگان منفرد گرد می آیند و کهکشان می‌سازند .

کهکشان خود ماظاهراً جزء یك گروه کوچك کهکشانهاست که درزمرهٔ آنها سه کهکشان مارپیچ (که یکی ازآنها کهکشان ما ودیگری ابری مراة ـ المسلسله است) وشش کهکشان بیضوی وچهار کهکشان غیرمنظم وجـود دارند (دوتا ازکهکشانهای اخیر ابرهای ماژلانی[۱] هستند) .

اما ازاین گروه‌های کهکشانها که بگذریم ، بطوریکه از دوربین دومتر و نیمی رصد خانه مانت ویلسن دیده مـی‌شود ، تا فـاصلهٔ پـانصد ملیون ـ (۵۰۰،۰۰۰،۰۰۰) سال نوری کهکشانها بطوری یکنواخت درفضاپراکنده‌اند فاصله بین هردو کهکشان مجاور ۲،۰۰۰،۰۰۰ سال نوری است و «افق جهان» تا جائیکه دیده شود شامل تقریباً ۱۰۰،۰۰۰،۰۰۰ کهکشان مجزا است .

درمثالی که سابقاً زدیم و بزرگترین ساختمان زمین، یعنی امپایراستیت ـ بیلدینگ ، را به باکتری وزمین را به نخود وخورشید را بکدوی تنبل تشبیه نمودیم کهکشانها بصورت توده‌هائی مرکب ازچند میلیارد کدو در می‌آیند که درفاصله‌ای نظیر مدارستارهٔ مشتری قرارداشته باشند وتوده‌های مجزای کدو در درون یك حجم کروی قرار دارند که شعاعش باندازهٔ فـاصلهٔ نزدیکترین

---

۱ ـ Magellanic clouds

ستارگان است . آری، یافتن واحدی برای تعیین فواصل کیهانی خیلی‌مشکل است ووقتی‌هم‌که مازمین را به نخود تشبیه‌کنیم فواصل بااعداد نجومی بیان می‌گردند . درشکل ۱۱۵ سعی‌کرده‌ایم برای شما مجسم‌کنیم‌که اکتشافات علمای نجوم چگونه مرحله بمرحله پیش رفته است : اززمین به ماه و از ماه بخورشید واز خورشید بستارگان و از ستارگان بکهکشانهای دور وازآنجا بسوی مجهول .

اکنون مامهیا شده‌ایم‌که بپرسش اصلی دربارهٔ ابعادجهان پاسخ دهیم. **آیا باید فرض کنیم که دامنهٔ بسط جهان بی پایان است ونتیجه بگیریم‌که دوربینهای قویتر وبهتر بازنواحی تازه تری ازجهان را درمقابل‌چشمان کنجکاودانشمندستاره شناس‌خواهندگسترد؟ یا ، بعکس ، فرض‌کنیم‌که جهان ، هرچند بسیار بزرگ است، بی پایان نیست و حجمی محدود دارد و لااقل از جنبهٔ اصولی خواهیم توانست تاآخرین‌ستاره رابببینیم ؟**

وقتی می‌گوئیم‌که ممکن است «جهان محدود باشد» منظورمااین‌نیست که جهانگرد مادرفاصلهٔ چند میلیارد سال نوری بادیواری مواجه خواهد شد که بر روی‌آن لوحه‌ای‌نصب وبرآن نوشته شده باشد «عبور ممنوع » .

درحقیقت درفصل سوم دیدیم‌که **فضا ممکن‌است محدود باشدبی آنکه لزوماً حد و مرز مشخصی داشته باشد .** ممکن است این فضا بسادگی‌خم شود و**برروی خود** بسته گردد . بقسمی‌که جهانگرد فرضی‌ماکه کشتی‌فضانورد خودراپیوسته دریك‌امتدادپیش می‌راننددرفضایك خط ژئودزیك طی خواهدکرد وبنقطهٔ عزیمت خود خواهد رسید .

قطعاً برای یك نفر یونانی قدیمی هم اگربعزم سفر بسوی **مغرب** از شهر آتن بیرون می‌آمد و پس از سفری دور و دراز خود را می‌دیدکه از دروازه‌های **شرقی** بشهر خویش باز می‌گردد چنین وضعی وجود می‌داشت .

ودرست همانطورکه برای تحقیق منحنی بودن زمین‌لازم نیست‌که بدور آن سفرکنیم بلکه فقط بامطالعهٔ هندسی قسمت‌کوچکی ازآن صحت نظریه ثابت‌می‌شود مسئلهٔ منحنی بودن جهان سه بعدی‌هم بوسیلهٔ محاسبات واندازه‌گیری‌هائی درحدود دید دوربینهای نجومی موجود حل خواهد شد . در فصل

پنجم دیدیم که دو نوع انحناء را باید ازیکدیگر تمیزداد . انحناء مثبت که مربوط است بفضاهای مسدود حجمهای محدود وانحناء منفی یا زینی شکل فضای باز نامحدود (رجوع کنید بشکل ٤٢) . اختلاف بین این دو نوع فضا دراین است که در **فضاهای** مسدود تعداد اشیائی که در فاصلهٔ معینی از ناظر بنحوی یك نواخت پراکنده‌اند کندتر ازمکعب این فاصله ترقی می‌کند و در فضاهای بازتندتر ازآن .

درجهان ما نقش اشیائیکه بنحوی یك نواخت پراکنده باشند برعهدهٔ کهکشانهاست بقسمی که برای حل مسئلهٔ انحناء جهان کافی است تعداد کهکشانهای منفردی راکه در فاصله‌های مختلف از ما قرار دارند بشماریم .

این شمارش رادکترهابل تحقق بخشیده و کشف کرده است که **تعداد کهکشان‌ها تا حدی کندتر از مکعب فاصلهٔ آنها از زمین ترقی می‌کند واین‌خودنشانهٔ‌مثبت بودن انحناءومحدود بودن‌فضاست.** باید خاطرنشان ساخت که تأثیرآنچه‌هابل مشاهده کرده‌است‌خیلی کوچك است وفقط‌وقتی که بحدودفواصلی که‌ممکن‌است با دوربین دو مترونیمی(صداینچی) مانت ویلسن دیده نزدیك شویم این تأثیر قابل توجه می‌شود و باید امیدوار باشیم که مطالعات ومشاهدات بادوربین تازه پنج متری (۲۰۰ اینچی) رصدخانهٔ مانت پالومار این مسئلهٔ مهم را روشنتر وواضحترسازد .

نکتهٔ دیگری که بابهام جواب نهائی مسئلهٔ محدود بودن عالم کمك می‌کنداینست که مجبوریم فواصل کهکشانهای خیلی دور را از روی درجهٔ درخشندگی آنها (قاعدهٔ عکس مربع فاصله) تخمین کنیم ودراین مسئله فرض آن است که درجهٔ متوسط درخشندگی‌همهٔ‌کهکشانها یکی است . اما اگردرجهٔ درخشندگی کهکشانهامتفاوت باشدیعنی‌بستگی بسن‌آنهاداشته باشد نتیجه‌ای که گرفته می‌شود غلط است .

درحقیقت بایدبیادآورد که بیشترکهکشانهائی که باتلسکوپ رصدخانهٔ مانت ویلسن دیده شده‌اند درفاصله ۵۰۰،۰۰۰،۰۰۰ سال نوری هستند وما آنهارا فعلا دروضعی می‌بینیم که پانصد میلیون‌سال قبل داشته‌اند. اگرهرچه کهکشانها پیرترمی‌شوندکم نورترشوند (شاید این‌پیش‌آمد براثرآن باشدکه

تعدادی ازستاره‌های آنهاازمیان می‌روند و کم شدن عدهٔ ستاره‌های‌فعال‌موجب نکث نور می گردد) نتایجی راکه هابل بدست‌آورده است باید تصحیح کرد ، درواقع ! گردرجهٔ رخشندگی کهکشانها درمدت ۵۰۰ میلیون سال به نسبت کمی (فقط در حدود یك هفتم عمرشان) هم نقصان یافته باشد نتایجی راکه امروز بعنوان دلیل محدود بودن عالم بدست می‌آوریم بهم خواهد زد .

پس‌می‌بینیم‌که هنوزخیلی بایدکارکنیم تااینکه روزی بتوانیم بصراحت بگوئیم‌که جهان مامحدود است یا نامحدود .

روزهای آفرینش

۱ ـ پیدایش سیارات

برای ما مردمی که در هفت قسمت جهان (ازجمله قارهٔ قطبی جنوبی دریاسالاربیرد[1]) زندگی می‌کنیم اصطلاح «زمین سخت» عملامرادف‌است‌با فکر ثبات و دوام . شاید دربدو امر چنین بنظر رسدکه آنچه برروی زمین بچشم ما آشناست ، مانند دریاها وخشکیهاوکوهها ورودخانه‌ها، ازآغازخلقت‌وجود داشته است . اما ، درست بگوئیم،آنچه ازتاریخ تحولات زمین نتیجه‌می‌شود این است‌که سطح زمین پیوسته درتغییر است وممکن است قسمت بزرگی از خشکیهای‌آن‌بزیرآب فرورودوخشکیهای دیگری‌که اکنون در زیرآب نهفته است بیرون‌آید .

ونیزمی‌دانیم‌که‌کوههای‌قدیمی بتدریج براثرباران شسته می‌شوند واز بین‌می‌روندوگاه‌بگاه درنتیجهٔ‌فعالیت‌هائی‌کوه‌های‌تازه‌ای تشکیل‌می گردند . ولی باز همهٔ این تغییرات مربوط به قشرجامدکرهٔ زمین ما است .

اما درك این مطلب دشوارنیست‌که روزگاری چنین قشر سختی وجود نداشته و زمین ما کرهٔ فروزانی از سنگهای گـداخته بوده است. درحقیقت

---

[1] Admiral Byrd

تحقیق دربارهٔ قسمتهای درونی زمین نشان می‌دهد که هنوز قسمت اعظم این کره در حال گداختگی است و « زمین سختی »که چنین با بی‌اعتنائی از آن صحبت می‌داریم قشر بالنسبه نازکی است که برسطح اقیانوسی ازخمیر گداخته قرار دارد . ساده‌ترین راه برای رسیدن باین نتیجه بیاد آوردن این نکته است که درجهٔ حرارتی که دراعماق مختلف اندازه گرفته می‌شود در هر کیلو-متری که در زمین پائین برویم تقریباً ۳۰ درجه زیاد می‌شود بقسمی که در عمیق‌ترین معدنهای زمین(معدن طلای رابینسن‌دیپ[1] درجنوب افریقا)دیوارها چنان داغ هستند که دستگاه تهویهٔ مخصوصی بکار انداخته شده است تا از زنده زنده کباب شدن کارگران معدن جلوگیری کند .

با این سرعتی که درجهٔ حرارت در داخل زمین بالا می‌رود باید فقط در عمق پنجاه کیلومتری، یعنی درکمترازیك صدم فاصلهٔ سطح ازمرکززمین، بدرجهٔ ذوب سنگها (بین ۱۲۰۰ تا ۱۸۰۰ درجه) برسد . تمام موادی که در پائین‌تر ازاین عمق‌هستند وبیشتراز۹۷ درصد پیکرزمین را تشکیل می‌دهند بایدکاملا درحالت مذاب باشند .

واضح است که چنین وضعی نمی‌توانسته است همواره وجود داشته‌باشد وما هم‌اکنون شاهد مرحله‌ای ازسرد شدن تدریجی زمین هستیم که از روزی که زمین جسمی کاملامذاب بوده شروع شده است وبه‌روزی که زمین تا مرکز خود جسمی کاملا جامد باشد ختم خواهد شد . تخمینی که از سرعت سرد شدن و نموقشرجامد زمین شده است نشان‌می‌دهدکه این عمل سرد شدن بایستی‌از چند میلیارد سال پیش شروع شده باشد .

اگرسن سنگهای پوستهٔ زمین راهم‌مورد مطالعه قرار دهیم بیك چنین عددی خواهیم رسید . هرچند بظاهر سنگ‌ها تغییری نمی‌کنند ، تا جائیکه اصطلاح « تغییرناپذیر مانند سنگ» را بوجود آورده‌اند ، معهذا بسیاری از آنها درخود نوعی ساعت طبیعی دارندکه در چشم آزموده و ورزیدهٔ دانشمند زمین‌شناس معین‌می‌کندکه‌ازوقتی سنگ ازحالت‌مذاب بحالت جامدگرائیده وسخت شده است چه‌مدت می گذرد .

ساعتی که بدینطریق عمر زمین را نشان می‌دهد عبارت است ازمقدار بسیار مختصری‌اورانیوم وتوریوم که اغلب در سنگهای مختلف زمین اعـم از سطحی وعمقی یافته می‌شود . بطوریکه درفصل هفتم دیدیم ، اتم این عنصرها

۱ـ Robinson Deep

دستخوش یك تغییر تدریجی‌است و بمرور خاصیت رادیوآکتیوی خودرا ازدست می‌دهد وسرانجام بیك عنصر پایدار بنام سرب تبدیل می‌شود .

برای تعیین سن سنگهائی که چنین عنصرهای رادیوآکتیو در بردارند کافی است مقدارسربی راکه‌درطی‌قرون متمادی براثر نقصان خاصیت رادیو-آکتیوی‌درآنها جمع شده است اندازه بگیریم .

درواقع تاوقتی‌که جنس‌سنگ بحالت مذاب بوده‌آنچه درنتیجهٔ تجزیهٔ رادیوآکتیوی درآن بوجود می‌آمده دائماً در نتیجهٔ اعمال پراکندگی (دیفوزیون) وجابجائی (کنوکسیون) ازمحل اصلی خود درجسم مذاب تغییر جا می‌داده‌است ، اما ازوقتی‌که حالت تحجر پیدا شده جمع شدن سرب در محل عنصرهای‌رادیوآکتیوآغاز گردیده ومقدارآن بطوردقیق مدت این‌عمل؛ یعنی عمر سنگ را معین می‌کند ، درست همانطورکه جاسوس دشمن از روی تعداد شیشه‌های‌خالی‌آبجوی‌که در میان درختان نخل دوجزیرهٔ اقیانوس‌آرام انداخته شده باشد بمدت توقف پادگان نیروی دریائی درهریك ازآن دو جزیره پی‌می‌تواند برد .

مطالعه درمقدار سربی‌که باین نحودرسنگها جمع شده حقیقت بسیار مهمی رافاش ساخته است وآن اینست‌که **ظاهراً عمر هیچ سنگی از دو میلیارد سال تجاوز** نمی‌کند . (قدیمی‌ترین سنگهائی‌که تاکنون شناخته شده است درکارلیای فنلاند[۱] است‌که یك میلیارد وهشتصد وپنجاه میلیون‌سال دارد ، و درتپه‌های سیاه داکوتای جنوبی[۲] که عمرشان به یك میلیارد وچهار صد وشصت میلیون سال می‌رسد). ازاین‌مطلب باین نتیجه می‌رسیم‌که **تقریباً ازدومیلیارد سال قبل پوستهٔ سخت زمین از موادی که قبلا بحال مذاب بوده شروع به تشکیل کرده است .**

پس‌شکلی‌که اززمین دومیلیاردسال پیش‌درنظرمجسم می‌شود جسمی‌است کروی شکل مرکب ازمواد مذاب‌که گرداگردآن را قشرضخیمی ازجوهوا و بخار وشاید هم موادگازی شکل بسیار فراردیگراحاطه‌کرده باشد .

این تودهٔ سوزان موادکیهانی چگونه به هستی‌آمده وچه نیروهائی در

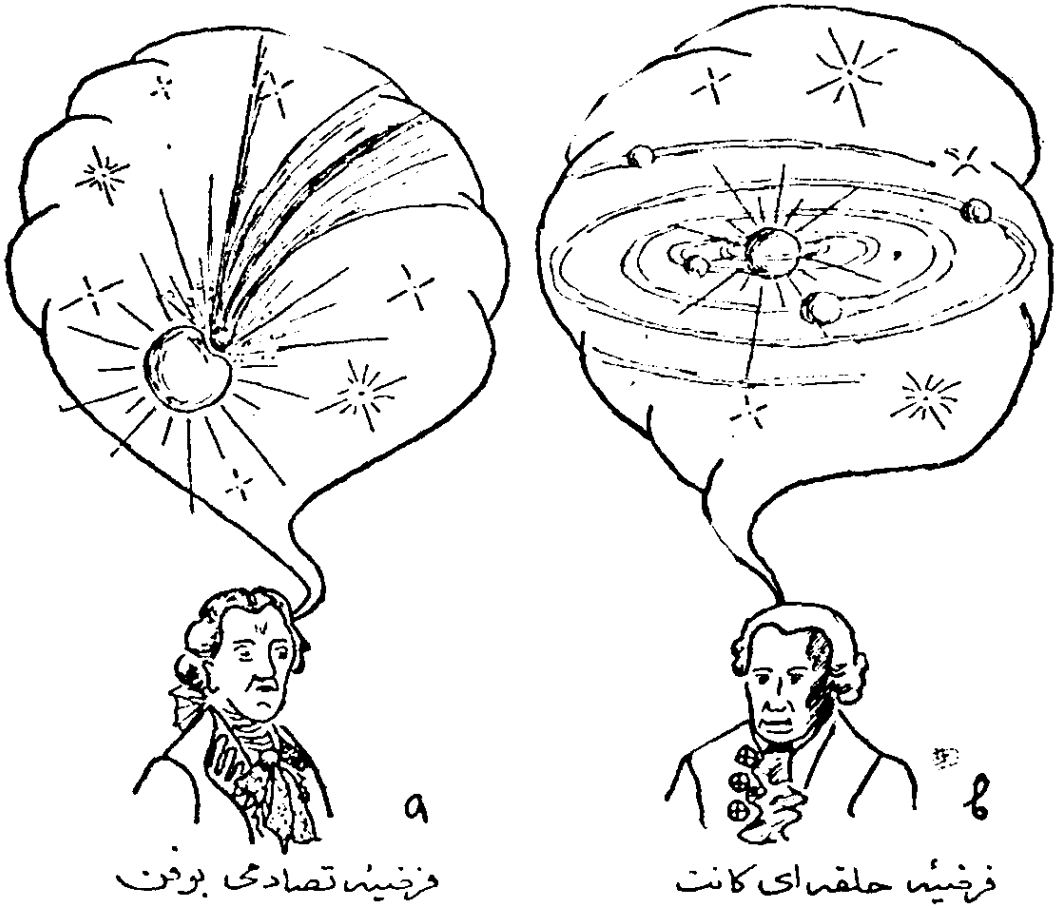
---

۱ ـ Karelia, Finland

۲ ـ Black Hills, South Dacota

بوجودآمدن آن دست اندرکار بوده‌اند وموادلازم برای ساختمان آنرا چه کسی فراهم‌آورده است ؟ این پرسشها که هم در مورد کره ماوهم درمورد هرسیارهٔ دیگرمنظومهٔ شمسی ما پیش می‌آید پایهٔ اصلی‌تئوری منشاء عالم (جهانشناسی) راتشکیل می‌دهند ومعماهائی هستندکه قرنها فکر دانشمندان هیأت رابخود مشغول داشته‌اند .

نخستین کسی که تلاش کرد ازراه علمی باین پرسشها پاسخ دهد بوفن[1] دانشمند نامی‌فرانسوی بودکه بسال ۱۷۴۹میلادی (= ۱۱۲۸هجری‌شمسی) دریکی ازچهل وچهار جلد تاریخ طبیعی خود باین‌کار پرداخت . درنظربوفن پیدایش سیارات منظومهٔ شمسی نتیجهٔ تصادم خورشید بـا ستارهٔ دنباله داری بودکه ازنقاط بسیار دور دست جهان بیکران آمده بود . وی در خیال خود



شکل ۱۱۶
دو مکتب خاص در « جهانشناسی »

«ستارهٔ دنباله‌دارنحسی»را مجسم‌کردکه با دم دراز درخشان خود با خورشید ماکه درآنزمان تنها بود برخورد کرد واز جسم بسیار عظیم آن «قطره‌هائی»

---

۱ ـ Georges _ Louis Leclerc, Comte de Buffon

چند جدا ساخت ودرفضا رها نمود واین « قطره‌ها » براثرقوه اصطکاك شروع کردند مانند فرفره بدور خود چرخیدن (ش۱۱۶ آ) .

بیست تا سی سال بعد فیلسوف معروف آلمانی امانوئل کانت[۱] نظرهای دیگری دربارهٔمنشاء منظومهٔشمسی‌ما ابرازداشت. وی‌معتقد بودکه‌دستگاه‌شمسی فقط بوسیلهٔ خود خورشید و بدون مداخلهٔ جرم آسمانی دیگری بوجود آمده است. کانت‌عقیده‌داشت‌که خورشید درآغازتودهٔ بسیارعظیمی ازگازهای بالنسبه سرد بودکه تمام فضای منظومهٔکنونی خورشید رااشغال‌کرده و بآرامی‌گرد محوری می‌گردیده است . چون‌این‌کره حرارت خود رابراثرتشعشع‌به‌فضای خالی اطراف خود منتقل می‌کرده بایستی بتدریج و بطورمداوم ازحرارتش کاسته شده و در نتیجه خود آن منقبض‌گردیده و سرعت حرکت دورانیش افزایش‌یافته باشد . افزایش‌حرکت دورانی موجب ازدیاد قوهٔ‌گریزازمرکز شده و این قوه باعث تسطیح دو قطب‌کرهٔ خورشید گردیده وبعلاوه چند رشته حلقه‌های‌گازی شکل ازخورشیدجدا ساخته و در صفحهٔ استوائی آن انداخته است(ش۱۱۷ب). چگونگی‌تشکیل‌شدن چنین حلقه‌هائی‌براثرحرکت دورانی در آزمایش « پلاتو »[۲] که درکلاسهای درس متداول است نشان داده می‌شود . دراین آزمایش‌کرهٔ بزرگی از یك مادهٔ روغنی (نه‌گازی مانند خورشید) در مایع دیگری‌که وزن مخصوصش باآن یکی است بحال تعلیق قرار می‌گیرد و با یك دستگاه مکانیکی‌با سرعت زیادی بحرکت دورانی درمی‌آید ، ووقتی که سرعت دورانش ازحد معینی بیشترشد شروع می‌کند به حلقه‌های روغنی دراطراف خود تشکیل دادن .

فرض این بودکه حلقه‌هائی‌که باین‌نحو تشکیل شده بودند بعداً درهم شکسته و متراکم‌گردیده و سیارات مختلفی راکه‌گرد خورشید درگردشند بوجود آورده بودند .

بعدها این نظریه‌ها را یك ریاضی دان بزرگ فرانسوی بنام‌لاپلاس[۳] پذیرفت و بسط داد و بسال ۱۷۹۶ میلادی در کتابی بنام « نمایش دستگاه

---

۱ ـ Immanuel Kant

۲ ـ Plateau

۳ ـ Pierre Simon Marquis de Laplace

جهان»[1] درمعرض مطالعه و در دسترس عموم نهاد . باآنکه لاپلاس ریاضی‌دان بود هرگز درصدد برنیامدکه برای‌فرضیهٔ خود دلایل ریاضی اقامه‌کند بلکه فقط دربارهٔ چگونگی آن بنحوی تقریباً مردم پسند بحث‌کرد .

وقتی‌که درشصت سال بعد فیزیك دان انگلیسی کلارك ماکس‌ول[2] در صدد برآمدکه موضوع را ازجنبهٔ ریاضی مطالعه کند نظریات کانت ولاپلاس دربارهٔ جهانشناسی چنان‌گرفتارضد ونقیض شدندکه ظاهراً غلبه برآن غیرـ ممکن بود . در واقع ثابت شدکه اگر برفرض مقدار ماده‌ای که امروز در سیارات مختلف منظومهٔ شمسی جمع و متراکم است روزی بنحوی یکنواخت درسراسراین منظومهٔ پراکنده بوده‌باشد مقدار آن بقدری‌کم و رقیق بوده‌که نیروی جاذبه مسلماً هیچگاه قادرنمی‌توانسته باشدکه‌آنهارا باهم‌جمع‌کند و با آنها سیاره‌ای تشکیل دهد . در این صورت حلقه‌هائی‌که از خورشید جدا می‌شده بایستی همیشه بشکل‌حلقه باقی بماند ، مانند حلقه‌های زحل‌که‌تصور می رود از تعداد بیشماری ذرات‌کوچك تشکیل شده و برروی مدار دایره‌ای شکلی‌بدور زحل می‌گردندوهیچ تمایلی باینکه با هم جوش بخورند و ماهی مانند ماه‌های دیگر تشکیل دهند ندارند .

تنها مفری‌که باقی می‌ماند این بودکـه فرض شود درآن زمان آنچه خورشید رااحاطه می‌کردمقدار بیشتری (لااقل صد باربیشتر) ازآنچه اکنون ماده در سیارات است ماده دربرداشته وقسمت اعظم آن ماده در خورشید فرو ریخته و فقط یك صدم آن بمصرف تشکیل سیارات رسیده باشد .

اما این فرض هم به تناقض مهم‌دیگری منتهی می‌شد وآن این بودکه اگر در حقیقت چنان محیط مادی در اصل با سرعتی مساوی سرعت سیارات دوران می‌کرده و در حین دوران قسمت اعظم آن بخورشید فروریخته باشد بایستی بخورشید یك سرعت زاویه‌ای پنجهزار برابر سرعت زاویه‌ای کنونی آن ببخشد و دراینصورت خورشید بجای اینکه چهـار هفته یکبار ، چنانکه هست ، بدور خود بگردد باید در ساعتی هفت بار بدور خود دوران‌کند .

چنان می‌نمودکه این مطالعات فرضیهٔ‌کانت ولاپلاس را محکوم بزوال ساخته است و چون چشم امید ستاره شناسان بجای دیگرمعطوف شد بر اثر

۱ـ Exposition du Systeme du Monde

۲ـ Clerk Maxwell

مساعی چمبرلین[۱] و مـولتن[۲]، دانشمندان امریکائی ، وسرجمس جنس[۳]، عالم مشهور انگلیسی ، نظربوفن‌احیا گردید و مورد قبول یافت . البته باید گفت که نظریات بوفن براثر ترقیاتی‌که علم از زمان وی‌کرده بود بمقدار قابل ملاحظه‌ای تغییر کرده و « نو » شده بود . مثلا ایـن فکرکه جرم آسمانی‌که با خورشید برخورده‌کرده بود ستاره‌ای دنباله‌دار بوده باشد از اعتبارافتاده بود بدلیل آنکه مسلم شده بودکه جرم ستارهٔ دنباله‌دار رااگربا ماه زمین هم مقایسه کنند بسیار کوچك و نـا چیز است . پس این عقیده پیدا شدکه جسم آسمانی‌که با خورشید اصطکاك کرده ستاره ثابتی بوده‌که اندازه وجرمی درحدود اندازه و جرم خورشید داشته است .

اما در نظریهٔ احیاء شدهٔ « تصادم » هم ،که تنها گریزگاه ازاشکالات اساسی فرضیهٔ‌کانت ولاپلاس بود ، ظاهراً اشکالی بود و نمی‌شد فهمیدکه اگر سیارات پاره‌هائی‌بودندکه به عنف ودر نتیجهٔ ضربت تصادم از خورشید جدا شده بودند چرابجای اینکه روی مدارهای بیضی شکل‌کشیده‌ای حرکت‌کنند برروی مدارهائی تقریباً مستدیر سیر می‌نمایند ؟

بمنظور اینکه برای این وضع محملی پیدا شود لازم بود فرض شودکه درآن زمان‌که سیارات براثربرخوردستارهٔ راهگذر با خورشید بوجودآمدند گرداگرد خورشید قشری ازگاز بوده‌که حرکت دورانی متشابه داشته واین محیط به تبدیل مدار سیارات ازصورت بیضی‌کشیده بشکل دایـره‌کمك‌کرده است . چون تا جائیکه اطلاع داریم درحال حاضرچنین ملائی درناحیه‌ای از جهان‌که درتصرف سیارات است وجود ندارد فرض‌می‌شدکه این ملاء بتدریج درفضای بین‌ستارگان پراکنده و منتشرشده است ونور ضعیفی‌که « روشنائی منطقةالبروجی » نام دارد و امـروز از خورشید شروع می‌شود و در صفحهٔ دایرةالبروج منتشرمی گرددتنها یادگاری است‌که ازمفاخر گذشته بجاماندہ است . ولی این فرضیه ،که در حقیقت جمع بین نظریهٔ‌کانت ولاپلاس حاکی ازاینکه در اصل یك قشرگازی برخورشید محیط بوده است ، وفرضیهٔ تصادم

---

۱ ـ T. C. Chamberlin

۲ ـ F. R. Moulton

۳ ـ Sir JamesJeans

بوفن بود بهیچوجه رضایت بخش نبود ، اما چون بنا بمثل معروف « همیشه بین‌دو بلا باید کوچکتر را انتخاب کرد» ، فرضیهٔ بوفن که تشکیل منظومهٔشمسی را معلول تصادم خورشید با جرم آسمانی دیگر می‌دانست صحیح شناخته شده وپذیرفته گردیده بود و تا این اواخر در کتابها ورساله‌های علمی و کتابهای ادبی (ازجمله‌در کتابهای « پیدایش و مرگ خورشید»[1] و« سرگذشت زمین»[2] که اولی بسال ۱۹٤۰و دومی بسال ۱۹٤۱ توسط نگارنده نوشته شده است) بآن استناد می‌شد .

فقط درپائیز ۱۹٤۳ (= ۱۳۲۲ شمسی هجـری) بودکه فیزیك‌دان جوان‌آلمانی «وایتس زیکر»[3] گره مشکل‌فرضیهٔ تشکیل سیارات راگشود وبا جمع‌آوری پژوهشهای جدید فیزیك نجـومی تـوانست ثابت‌کند که بآسانی می‌توان همهٔ ایراداتی راکه بفرضیهٔکانت ولاپلاس وارد شده است رفع‌کرد و برمبنای‌آن‌تئوری مشروحی دربارهٔاصل ومنشاء سیارات وضع نمودکه بسیاری ازخصوصیات دستگاه سیارات‌که تا آنزمان هیچ‌فرضیه‌ای بتوضیح آنها موفق نشده بود روشن‌سازد .

نکتهٔ اساسی کار وایتس زیکرمبتنی بر این حقیقت است که در بیست سال اخیر علمای فیزیك نجومی کاملا درمورد ساختمان شیمیائی ماده جهان تغییرعقیده داده‌اند . سابقاً بطورکلی تصورمی‌شدکه عنصرهای شیمیائی همان نسبت ترکیبی راکه در ساختمان زمین بآن پی‌برده‌ایم در ساختمان خورشید وهمهٔثوابت دیگرهم‌دارند . تجزیه‌های شیمیائی‌که دررشتهٔ زمین‌شناسی‌انجام شده نشان داده است‌که قسمت اصلی جرم زمین تشکیل شده است ازاکسیژن (بشکل‌اکسیدهای مختلف) و سیلیس‌وآهن‌ومقدارکمتری عنصرهای سنگین‌تر. گازهای سبك از قبیل ئیدرژن وهلیوم (وگازهای معروف به « کمیاب » از قبیل نئون وآرگون) بمقدار خیلی کم در روی زمین وجود دارند.[4]

---

۱ ـ The Birth and Death of the sun, 1940 بوسیلهٔ آقای احمدآرام بفارسی ترجمه شده است .

۲ ـ Biography of the Earth, 1941 بوسیلهٔ آقای دکترمحمود بهزاد بفارسی ترجمه شده است .

۳ ـ C. Weizsaker

۴ ـ قسمت اعظم‌ئیدرژنی‌که درروی‌زمین است بصورت ترکیب بااکسیژن در آب وجود دارد . اما همه‌کس می داندکه با آنکه آب سه ربع زمین را در برگرفته است همهٔ‌آبی‌که در سطح زمین است به نسبت تمام جرم‌کرهٔ زمین‌بسیار کم است .

چون هیچگونه قرینه و دلیل مقنعی در دست نبود ستاره شناسان می‌پنداشتند که این گازها در خورشید و ثوابت دیگر هم بمقدار کم وجود دارند. اما مطالعات نظری مشروحی که در بارهٔ ساختمان ستارگان بعمل آمد شترمگرن[۱] ستاره شناس دانمارکی را معتقد ساخت که این پندار یکباره نادرست است و بایدلااقل سی‌وپنج درصداز آنچه که درساختمان خورشید ما وجوددارد ئیدرژن خالص باشد. بعدها این تخمین تا بیش ازپنجاه درصد ترقی کرد و نیز معلوم شد که قسمت بزرگی از مواد تشکیل دهندهٔ خورشید هلیوم خالص است. هم مطالعات نظری که در بارهٔ ساختمان داخلی خورشید انجام شده (واخیراً با کارهای شوارتس‌شیلد[۲] بحد اعلی رسیده است) وهم تجزیه‌های دقیق باطیف‌نما [۳] که ازقسمت سطحی آن بعمل آمده باین نتیجهٔ بسیارجالب رسیده است که **فقط یك صدم‌جرم‌خورشید ازعنصرهای‌معمولی شیمیائی که در ساختمان زمین وجود دارند تشکیل شده و تقریباً تمام بقیهٔ آن ئیدرژن وهلیوم‌است ومقدار ئیدرژن‌اندکی زیادتراست.** بنظر می‌رسد که ساختمان ثوابت دیگر نیز بدینگونه باشد.

بعلاوه امروز معلوم شده است که **فضای بین‌ستارگان کاملا خالی نیست** ومخلوطی ازگاز وغبار بسیاررقیقی آنرا پرکرده است وغلظت متوسط آن در حدود ربع میلی گرم دریك میلیارد (۱،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰) متر مکعب فضاست وبنظر می‌رسد که ترکیب این مادهٔ پراکندهٔ فوق العاده رقیق ازنوع همان ترکیب خورشید باشد.

بااینکه این ماده تااین حد باور نکردنی رقیق است اثبات وجودآن درفضای‌بین‌ستارگان‌کاری است آسان بدلیل آنکه نوری که ازستاره‌های دور-دست بما می‌رسد وپیش از ورود به تلسکوپهای ما صدها هزار سال نوری در میان این ماده رقیق طی طریق می‌کند بمقدار قابل ملاحظه ای دراین ماده جذب می‌شود. شدت ووضع این «خطوط جذب بین ستارگان» بما مجال آن می‌دهدکه از غلظت این مادهٔ پراکنده تصور دقیقی در مغز خود جا دهیم و نیز ثابت می‌کندکه‌عنصر اصلی‌تشکیل دهندهٔ آن ئیدرژن است و شاید هلیوم هم باشد. درحقیقت ذرات کوچك غباری که از مواد مختلف موجود در زمین

---

۱ ـ B. Stromgren

۲ ـ M. Schwartzschild

۳ ـ اسپکتروسکوپ

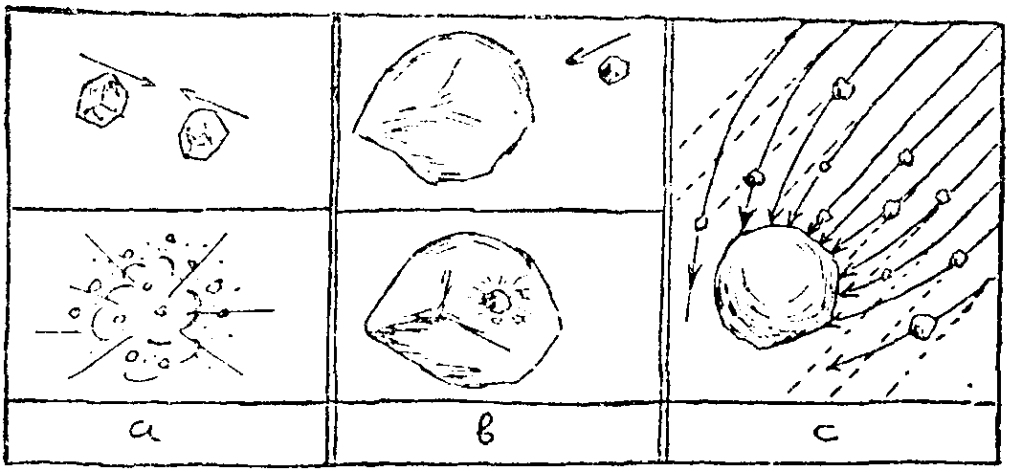
ترکیب‌شده‌اند (وقطرهریك از آنها درحدودیك‌هزارم میلی‌متر است) بیشتر از یك درصدکل مادهٔ رقیق بین ستارگان را تشکیل نمی‌دهد .

چون بفکراصلی ومبنای تئوری وایتس زیکرباز گردیم می‌توانیم گفت که اطلاعات جدیدی‌که ازساختمان شیمیائی‌مادهٔ جهان‌بدست آمده است مؤید فرضیهٔ کانت ولاپلاس است . در حقیقت اگر درآغاز لفافهٔ گازی خورشید از چنین ماده‌ای متشکل بوده است **فقط ممکن است جزء کوچکی از آن که عبارت ازعنصرهای سنگین‌خاکی بوده برای ساختمان زمین ما وسیارات دیگر بکاررفته باشد .** بقیهٔ‌آن‌که عبارت از گازهای تراکم ناپذیرئیدرژن و هلیوم بوده باید بنحوی جابجا گردیده یعنی یا در خورشید فرو ریخته ویا درفضای بین ستارگان‌پراکنده شده باشد . اماشق اول یعنی فروریختن در خورشیدکه ، همچنانکه دیدیم منجر بدادن یك سرعت حرکت دورانی‌بیرون ازاندازه بخورشید می‌شده ، مردود است و بایدبناچار شق دوم را بپذیریم یعنی قبول‌کنیم‌که بمجرد اینکه سیارات ازعنصرهای خاکی مادهٔ مذکورتشکیل شدند « مازاد » آن در فضای بین‌ستارگان پراکنده شده‌است.

ازآنچه گفتیم تصویری‌باین‌شرح‌ازآفرینش سیارات در ذهن ماتشکیل میشود : وقتی‌که ازتراکم‌مادهٔ بین‌ستارگان خورشید ما بوجود آمد (رجوع کنید به‌قسمت بعد) جزء بزرگی ازآن ،که شایدصد برابر جرم مرکب کنونی‌همهٔ سیارات بود،درخارج آن‌باقی‌ماندو بصورت لفافهٔ عظیمی گرداگرد آن بحرکت درآمد (دلیل چنین وضعی را می‌توان بآسانی در اختلاف‌حالت دورانی اجزاء مختلف گازفضای بین ستارگان‌که در اطراف خورشید نخستین درحال تراکم بوده یافت). این لفافه راکه بسرعت درحال دوران بود باید متشکل دانست ازمقدار زیادی**گازهای تراکم ناپذیر** (مانند ئیدرژن و هلیوم و اندکی گازهای دیگر) و **ذرات غبار** مواد خاکی دیگر(ازقبیل اکسیدهای‌آهن،ترکیبات‌سیلیس ، قطره‌های بسیارکوچك آب و بلورهای‌یخ) که دردرون گازموج می‌زدند و باحرکت دورانی آن‌کشیده میشدند . بایستی این‌ذرات غبار بایکدیگر تصادم‌کرده و باهم جمع‌شده واجسام بزرگتری تشکیل داده باشند واز تجمع این اجسام بزرگتررفته‌رفته آنچه‌که‌ماامروز سیارات می‌نامیم بوجود آمده باشند .

درشکل ۱۱۷ما نتایج‌این‌گونه تصادمات‌راکه شاید باسرعتی درحدود سرعت حرکت‌شهابهاوقوع یافته باشند نمایش‌می‌دهیم .

برمبنای دلایل منطقی باید باین نتیجه رسید که اگردو ذره که دارای جرمهای تقریباً متساوی باشند باچنین سرعت شگرفی بیکدیگر برخورد کنند باید متلاشی شوند و ازمیان بروند (ش ۱۱۷ a) واین وضع نه تنها موجب رشد ماده وتشکیل جسم بزرگتری نمی‌شود بلکه جسمهای کوچکتر (ذرات) راهم ازمیان می‌برد . امااگر ذرهٔ کوچکتری باذرهٔ بزرگتری تصادم کند (ش ۱۱۷ b) مسلم بنظر می‌رسد که درآن فرو رود و مدفون شود و در نتیجه به‌تشکیل‌جرم بزرگتری کمك کند .



شکل ۱۱۷

واضح است که چنین وضعی باضمحلال تدریجی‌ذرات کوچکتر و گرد-آمدن‌آنها بدوریکدیگر برای تشکیل جرمهای بزرگتر منتهی می‌گردد.

مرحلهٔ‌اخیر، یعنی عمل تشکیل جرمهای‌بزرگتر،ازراه دیگرهم‌تسریع می‌شود و آن اینست‌که ذرات بزرگتر بر اثر نیروی جاذبه ذرات‌کوچکتری راکه ازنزدیك‌آنهابگذرند بسوی خود خواهندکشید وبدینوسیله برجرم خود خواهند افزود . این امر درشکل ۱۱۷ c نموده شده ومجسم گردیده است‌که خاصیت بدام‌انداختن و اسیرکردن جرمهای‌بزرگ بسرعت‌ترقی‌می‌کند .

وایتس زیکر توانست نشان‌بدهدکه**ذرات غبار رقیقی‌که‌در آغاز در تمام‌فضائی‌که امروز در اشغال سیارات است پراکنده بوده است درحدود مدتی‌نزدیك‌به یکصد میلیون سال باهم جمع‌شده وسیارات معدودی‌راکه می‌شناسیم بوجود آورده اند .**

درتمام طول مدتی‌که سیارات ضمن حرکت بدورخورشید بوسیلهٔ‌جذب ذرات مادی‌کیهانی دیگری به‌نموطبیعی‌خودادامه می‌داده‌اند بایستی‌درنتیجهٔ بمباران دائمی‌ذرات تازه‌ای‌که پیوسته برحجم آنها می‌افزوده‌اند خیلی گرم

بوده باشند . اما بمجرد آنکه ذخیرهٔ ذرات مادی کوچك و بزرگ بپایان رسید و عمل نمو سیارات متوقف شد قشر خارجی این اجرام سماوی نوزاد در نتیجهٔ تشعشع درفضای بین ستارگان مقدار معتنابهی ازحرارت خودرا از دست داده ودر نتیجه بسردی گرائیده وپوستهٔ سختی بوجود آورده است واین قشر سخت در نتیجهٔ سرد شدن روز افـزون قسمتهای درونی سیارات پیوسته در حـال توسعه است .

نکته مهم دیگری که باید درهر تئوری مربوط بآفرینش سیارات مورد توجه قرارداد و توضیح وتشریح کرد قانون عجیبی است (بنام قانون تیتوس وبد[1]) که فواصل بین سیارات وخورشید را معین می کند . درجدول ذیل این فواصل برای نه سیارهٔ منظومهٔ شمسی وکمربند سیارات صغار نشان داده شده است . سیارات صغار ظاهراً نمایندهٔ وضع استثنائی هستند که درآن قطعات مجزا نتوانسته اند با یکدیگر جمع شوند وقطعهٔ واحد بزرگتری بوجود آورند.

نام سیاره	فاصلهٔ سیاره ازخورشید درصورتیکه فاصلهٔ زمین ازآن واحد فرض شود	نسبت فاصلهٔ هرسیاره ازخورشید بفاصلهٔ خورشید از سیاره‌ای که نامش بالای نام آن سیاره نوشته شده است
عطارد (تیر)	۰/۳۸۷	
زهره (ناهید)	۰/۷۲۳	۱/۸٦
زمین	۱/۰۰۰	۱/۳۸
مریخ (بهرام)	۱/۵۲٤	۱/۵۲
سیارات صغار	درحدود ۲/۷	۱/۷۷
مشتری (کیوان)	۵/۲۰۳	۱/۹۲
زحل (برجیس)	۹/۵۳۹	۱/۸۳
اورانوس	۱۹/۱۹۱	۲/۰۰۱
نپتون	۳۰/۰۷	۱/۵٦
پلوتن	۳۹/۵۲	۱/٤۱

ارقام ستون آخر این جدول شایان توجه خاص است . باوجود بعضی تغییرات واضح است که هیچیك ازعددهای این ستون از ۲ زیاد دور نیست و درنتیجه می‌توان این قانون تقریبی را بیان کرد . **شعاع مدار هرسیاره**

۱ ـ Titus_ Bode

تقریباً دو برابر شعاع مدارسیارهٔ مجاور آن است که بخورشید نزدیکتر باشد .

جالب دقت است که قانونی شبیه باین قانون درمورد ماههای یك سیاره وجود دارد و نمونهٔ آن جدول ذیل است که در فواصل ماههای نه گانهٔ سیارهٔ زحل بحث می‌کند:

نام ماه	فاصله بر حسب شعاع زحل	نسبت ترقی فواصل ماهها
میماس ۱	۳/۱۱	
انسدولوس ۲	۳/۹۹	۱/۲۸
تتیس ۳	٤/۹٤	۱/۲٤
دیون ٤	٦/۳۳	۱/۲۸
رئا ٥	۸/۸٤	۱/۳۹
تیتان ٦	۲۰/٤۸	۲/۳۱
هیپریون ۷	۲٤/۸۲	۱/۲۱
ژاپتوس ۸	٥۹/٦۸	۲/٤۰
فوبه ۹	۲۱٦/۸	۳/٦۳

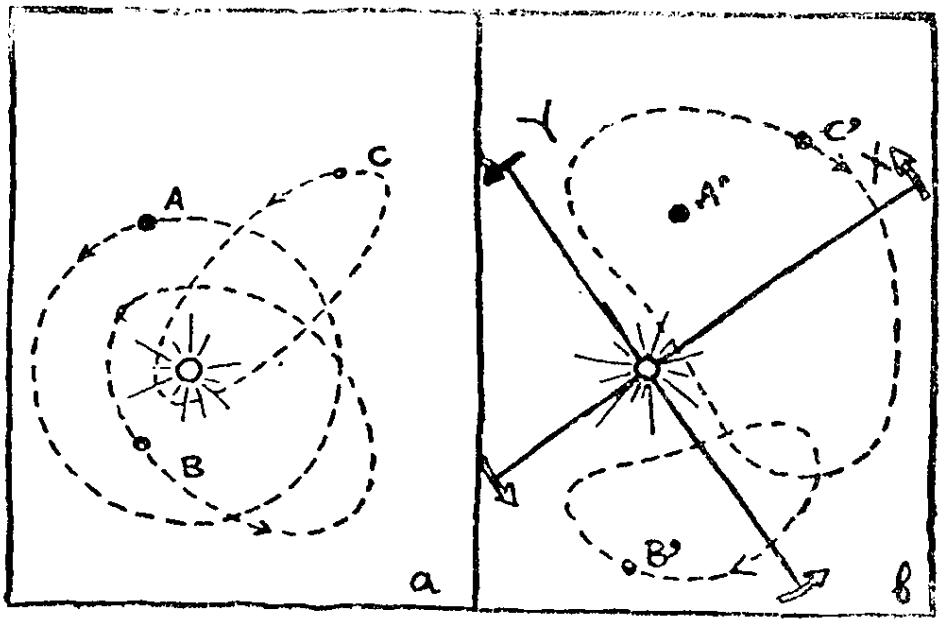
در اینجاهم ، مانند مورد سیارات ، به بعضی انحرافهای بزرگ بر- می‌خوریم (مخصوصاً درمورد فوبه) اما بازهم توجه می‌کنیم که تقریباً جای شك نیست که درهردومورد تمایلی نسبت بیك نوع نظم خاص مشاهده می‌شود.

چگونه توضیح دهیم که چرا عمل تجمع که درابرغبار اصلی که گرداگرد خورشید بود روی دادمنجر به تشکیل فقط یك سیارهٔ بزرگ نشد وچرا سیارات متعدد بااین فاصله‌های معین ازخورشید بوجود آمدند؟

برای رسیدن بجواب این سؤال باید بمطالعهٔ مشروحتری درحرکاتی که در ابرغبار اصلی انجام شده است بپردازیم . قبل ازهرچیز بایدبیاد بیاوریم که هر جسم مادی ـ اعم ازیك ذرهٔ ناچیز غبار یایك سنگ آسمانی و یایك

۱ـ Mimas ۲ـ Encedolus ۳ـ Tethys
٤ـ Dione ٥ـ Rhea ٦ـ Titan
۷ـ Hyperion ۸ـ Japetus ۹ـ Phoebe

سیاره ــ که باتبعیت ازقانون جاذبهٔ نیوتن بدورخورشید می گردد ناچار در روی مدار بیضی‌شکلی حرکت می کند که‌خورشیددریك کانون آن است. هر گاه ماده‌ای که سیارات را بوجودآورده است درآغاز تشکیل ذرات جداگانه،مثلا هریك بقطر ۰/۰۰۰۱ سانتیمتر[۱] ، بوده باشدبایستی‌درحدود $۱۰^{۴۵}$ ذره برروی بیضی‌هائی که اندازه‌ها و ابعاد مختلف داشته‌اند درحرکت بوده باشند. مسلم است که درچنین آمدوشد پر ازدحامی تصادفات‌بسیارزیاد روی می‌داده وبر اثر این استکاکها حرکت این گروه بیرون ازشمار تاحدی منظم‌می گردیده است . درحقیقت تصور و درك این مطلب دشوار نیست که این اصطکاکها یا منجر بمتلاشی‌شدن ذراتی می‌شده است که‌نظم آمد و شدرا بهم می‌زده‌اندویا آنهارامجبورمی کرده‌است که درمسیرهای خلوت تری بسیر خود ادامه‌دهند. این آمد وشد متشکل یا نیم متشکل تابع کدام‌قواعد وقوانین بوده است؟



شکل ۱۱۸

حرکت دایره‌ای و بیضی شکل درصورتیکه ازیك مبداء مختصات ثابت (ش آ) یامرکزمختصات درحال‌دوران (ش ب) مطالعه شود .

در اولین گامی که بسوی حل مسئله برمی‌داریم گروهی از ذرات را درنظر می گیریم که **دورهٔ دوران** همهٔ آنها بدور خورشید یکی بوده باشد

---

۱ ــ اندازهٔ تقریبی ذرات غباری که ماده بین ستارگان را تشکیل می‌داده است.

ولی برخی درروی‌مدارهای مستدیرو بعضی برروی بیضی‌هائی‌کم وبیش‌کشیده سیر می‌کرده اند (ش ۱۱۸ آ) . اکنون سعی می‌کنیم‌که حرکت این ذرات مختلف را نسبت بیك دستگاه‌مختصات X وY که باهمان **دورهٔ دوران** حول مرکز خورشید درگردش باشدشرح‌دهیم.

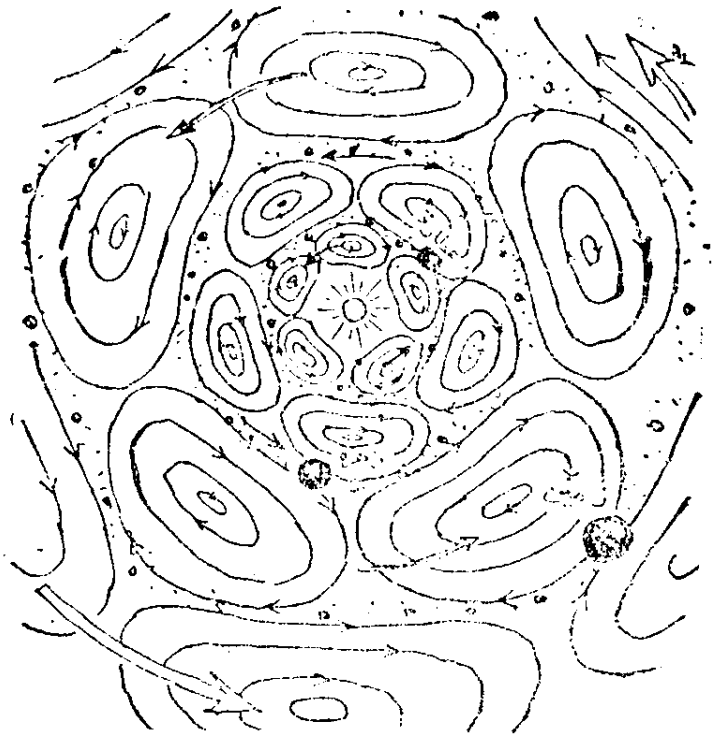
اولا مسلم است‌که چون دستگاه مختصات وذره‌ای مانند A کـه دارای حرکت مستدیر است دارای یك سرعت دورانی هستند نسبت بدستگاه مذکور نقطهٔ A بنظرمی‌رسدکه درنقطهٔ معینی مـانند A' بیحرکت بماند . ذره‌ای مانند B که‌مدارش بیضی شکل است گاهی بخورشید نزدیکتر وزمـانی ازآن دورترمی‌شود وبرحسب‌آنکه نزدیکتر یا دورترشود سرعت زاویه‌اش‌کوچکتر یا بزرگتر می گردد، یعنی گاهی از دستگاه مختصات‌که سرعت دورانش‌ثابت و حرکتش یکنواخت است جلومی افتد وگاهی از آن عقب می ماند . درك این مطلب دشوار نیست‌که درنظر ناظری کـه در این دستگاه باشد ذرهٔ B **مداری‌بشکل باقلا** طی خواهدکردکه در شکل ۱۱۸ ب بحرف B' نمایش داده شده است . ذرهٔ دیگری مانند C که مدار بیضی شکل‌کشیده تری دارد نیز در نظرناظر مذکور یك همچنان مدار C' باقلا شکلی‌خواهد داشت‌که‌از B' بزرگتر است .

اکنون واضح است‌که اگر بخواهیم حرکت انبوه ذرات راطوری‌منظم کنیم‌که هیچگاه تصادفی بین آنها روی‌ندهد باید **بطریقی عمل‌کنیم‌که مدارهای‌باقلا شکلی‌که ذرات مذکور نسبت بدستگاه مختصات دوارX وY طی می‌کنند یکدیگر را قطع‌نکنند.**

وچون بیاد بیاوریم‌که **فاصلهٔ‌متوسط** ذراتی‌که بدور خورشید **دورهٔ دوران‌مشترك**داشته باشند ازخورشیدیکی خواهد بود می بینیم‌که‌مدارهای غیر متقاطع آن ذرات در دستگاه مختصات X وY باید بشکل گردن‌بندی‌از باقلا بدورخورشید بنظربرسند .

منظور ازتوضیحاتی‌که‌دادیم وممکن است تاحدی بنظر خواننده‌دشوار بیاید ولی اصولا روش ساده‌ای را تبیین می‌کند اینست‌که **طرح مقررات آمدوشد بدون تصادم**را درمورد گروه‌های مجزای ذراتی‌که دریك‌فاصلهٔ متوسط ازخورشید حرکت می‌کنند ودرنتیجه دارای یك دورهٔ دوران هستند بیان‌کرده باشیم . چون باید انتظار داشته باشیم‌که در ابرغباری‌که خورشید

نخستین‌را احاطه می‌کرده است ذرات بفواصل مختلف ودرنتیجه باسرعتهای مختلف ، بدورخورشید درحرکت بوده‌باشند تجسم وضع‌حقیقی آن‌زمان‌دشوار می‌شود. بجای یك«گردن‌بند باقلائی»بایستی چندین«گردن‌بند» بدورگردن خورشید قرارداشته‌باشدکه باسرعتهای مختلف‌درحرکت باشند . وایتس‌زیکر درنتیجهٔ تجزیه وتحلیل دقیق مسئله توانست نشان دهدکه بخاطر پایدار و استوار بودن دستگاه لازم بوده است‌که هر«گردن‌بند» ازپنج دسته‌حلقه‌های متداخل تشکیل شده باشد بطوریکه تصویرکامل حرکت ذرات بدور خورشید بصورت شکل ۱۱۹ درآید . با این ترتیب حرکت درروی هرحلقهٔ انفرادی امن وبی خطربوده اما چون حلقه‌ها باسرعتهای مختلف دوران میکرده‌اند بایستی‌درنقاطیکه بایکدیگرتماس‌پیدا میکرده‌اند « حوادثی» روی‌دهدظاهراً کثرت تصادماتی که در این نواحی مرزی بین ذرات‌حلقه‌ای باذرات‌حلقه دیگرروی‌می‌داده موجب تجمع‌آنها بدور یکدیگرو تشکیل جرمهای‌بزرگتر وبزرگتری‌درفواصل معین‌ازخورشید می‌شده است. باین ترتیب‌حلقه‌ها بتدریج درداخل خود رقیقتر شده ودرنواحی مرزی مجتمع گردیده وبفرجام سیارات رابوجودآورده‌اند .



شکل ۱۱۹

خط سیرذرات غبار در لفافهٔ اصلی خورشید

شکل ۱۱۹ که چگـونگی تشکیل دستگاه سیـارات را نشان می دهد

قانون قدیمی مربوط به‌شعاعهای مدارات سیارات را هم توجیه می‌کند . در حقیقت اگـر از جنبهٔ هندسی مطالعـهٔ ساده ای درشکل بکنیم می‌بینیم کـه **شعاعهای خطوط مرزی که‌حلقه‌های مجاور را ازهم‌جدا می‌کنند یك تصاعد هندسی بقدر نسبت ۲ تشکیل می‌دهند ، یعنی هـر شعاع‌دوبرابر شعاع پیش از آن است .** ضمناً متوجه می‌شویم که‌چرا نباید انتظار داشت‌که این قاعده خیلی قاطع باشد . در حقیقت این قـاعده نتیجهٔ قانون مسلمی‌که حاکم برحرکت ذرات در ابرغبار اصلی بـاشد نیست بلکه بیان یك‌نوع **تمایلی** است‌که درروش نـامنظم آمد وشد ذرات وجـود داشته است .

صدق‌کردن همین‌قانون درمورد ماههای‌هرسیاره دلیلی‌که روش‌تشکیل و پیدایش ماهها نیز تقریباً بر همین اصول بوده است ، یعنی وقتی‌که ابـر غبار اصلی‌که گرداگرد خورشیدبوده‌در هم‌شکسته‌وبصورت گروه‌های‌مجزائی در آمده است‌که از آنها سیارات ساخته شده‌اند همان طرز عمل درهرگروه نیز ادامه یافته یعنی قسمت اعظم ماده درمرکز متمرکز شده‌وسیاره رابوجود آورده وبقیه در حول آن سیاره شروع بدوران‌کـرده و بتدریج تعدادی ماه تشکیل داده است .

باهمهٔ بحثی‌که دربارهٔ تصادم ذرات غبارورشد ونموآنها بعمل آوردیم فراموش‌کردیم بگوئیم برقسمت گازی لفافهٔ اصلی خورشید ،که چنانکه بیاد داریم نزدیك به نود درصد آنرا شامل‌بوده ، چه‌گذشته است . جـواب این سئوال بالنسبه آسان است .

در حینی که ذرات غبار بیکدیگـر برخورد می‌کرده وقطعـات مادی بزرگتری بوجود می‌آورده اند گاز هاکه یارای‌همکاری با آنها را نداشته‌اند بتدریج در فضای بین ستارگان پراکنده می‌شده‌اند . حساب بالنسبه ساده‌ای نشان می‌دهدکه مدت لازم‌برای این پراکندگی ۱۰۰ ۰۰۰ ۰۰۰ سال بوده است یعنی تقریباً همان مدتی‌که برای تشکیل سیارات ضرورت داشته است . باین ترتیب در زمانی‌که سیارات بوجود آمدند وتشکیل شدند قسمت اعظـم ئیدرژن وهلیومی‌که در لفافهٔ اصلی خورشید وجود داشت از منظومـهٔ شمسی خارج گردید وفقط مختصری از آن در این‌منظومه مـاندکه ازروشنائیهای منطقةالبروجی بوجودش پی‌برده می‌شود .

یك نتیجهٔمهم که برتئوری‌وایتس زیکر مترتب است‌اینست‌که **تشکیل سیارات یکواقعهٔ استثنائی نبوده بلکه همین جریان باید عملا در ساختمان همهٔستاره‌ها صورت پذیرباشد** .این‌حکم منافات‌کاملی با نتایج داستان‌تشکیل سیارات براثر تصادم خورشیدبایك جرم آسمانی‌دارد که جز امری استثنائی نمی توانسته است باشد . درحقیقت حساب شده است که تصادم بین ستارگان واقعه ایست بسیار بعید و کمیاب و در میان ۴۰،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰ ستاره‌ای که‌دستگاه نجومی کهکشان مارا تشکیل‌می‌دهد در عمر چند میلیارد سالهٔ کهکشان جز چند تصادم وقوع نیافته است .

اگر همچنانکه امروز بنظر می‌رسد **هر ستارهٔ ثابت دستگاه سیاراتی** مخصوص خودداشته باشد تنها درکهکشان ما باید ملیونها سیاره وجود داشته باشدکه اوضاع طبیعی هریك تقریباً شبیه بزمین است . عجیب است‌که حیات، حتی بعالی‌ترین صورت‌خود ، دراین‌دنیا های **قابل‌سکونت** بسط نیافته باشد .

درحقیقت ، همچنانکه درفصل نهم گفتیم ، ساده‌ترین شکلهای حیات ، مانند انواع‌مختلف ویروس ، فقط ملکولهای‌بغرنجی‌هستندکه قسمت‌اعظمشان اتمهای‌کربن و ئیدرژن واکسیژن و ازت است . چون این عناصر باید بحد وفور در هر سیارهٔ تازه بوجود آمده‌ای موجود باشند باید قبول‌کنیم‌که پس از تشکیل پوستهٔسخت زمین‌و نزول بخارهای آب‌موجود درجو بر آن‌وتشکیل مخزن های بسیاروسیع آب بعد از مدتی‌بر اثر یك پیش آمد اتفاقی‌تعدادی اتم‌که ضرورت داشته ، بنحوی‌که لازم بوده ، با هم ترکیب شده و معدودی ملکولها از آن نوع‌که گفته شدبوجود آورده‌اند . برای‌اطمینان بیشتری‌باید گفت‌که ساختمان موجودات زنده بقدری‌پیچیده است‌که بنظراحتمال اتفاقی بودن تشکیل آنها بکلی ضعیف می‌شود ، درست مثل اینکه شکلی راکه‌روی مقواکشیده شده باشد با قیچی قطعه قطعه‌کنیم و قطعات درهم و برهم را در جعبه‌ای بریزیم‌وجعبه‌را تکان دهیم‌باحتمال اینکه‌قطعات بوضعی مناسب‌پهلوی هم قرارگیرند وهمان شکل‌را تجدیدکنند . اما از طرف دیگر نباید ازیاد بردکه تعداد بی‌شماری اتم دائماً با یکدیگر در اصطکاك و تصادم بوده‌اند و زمانی بسیار دراز لازم بوده است تا نتیجهٔ لازم حاصل شود . اینکه حیات

تقریباً در فاصلهٔ کوتاهی بعد ازتشکیل پوستهٔ سخت‌زمین در عرصهٔ کره‌خاکی ظاهر شده (هرچند قبول‌آن دشوار باشد) نشانهٔ آن است‌که فقط بعد ازچند میلیون سال برحسب اتفاق یك‌ملکول مرکب جاندار بوجود آمده است . پیدایش ساده ترین صورت حیات در عرصهٔ کرهٔ نوزاد زمین کافی بوده است که بتدریج موجب تکثیر و تکامل موجودات زنده شود تا جائیکه بجانداران کاملتری منجرومنتهی گردد[1] . هنوزنمی‌توان گفت‌که تکامل‌حیات درسیارات « قابل سکونت » دیگر همان راهی را پیموده است‌که در زمین مـاطی‌کرده است . درصورت امکان مطالعه دربارهٔ زندگانی درکـرات دیگر بـکار درك حقیقت سیر تکاملی‌کمك بسیار خواهدکرد .

اما اگر در آینده‌ای‌که خیلی دورنیست باکشتی فضانورد اتمی‌خاصی بتوانیم سفری پرحادثه و پرسر وصدا بکرات زهره ومریخ‌کرده و ازنزدیك درمظاهر حیات در این دوکره ،که مناسبترین سیارات منظومهٔ شمسی برای زندگی هستند ، بپردازیم ظاهراً حصول این منظومه های دیگری‌که صداها هزار سال نوری از ما فاصله دارند هیچگاه میسر نخواهد شد .

۲ ـ زندگی خاص ثوابت

حال‌که تصویری‌کمابیش دقیق در مغز مـا رسم شد از اینکه چگـونه ثوابت منظومه های سیارات خود رابوجود آورده‌اند جای آن است‌که دربارهٔ ثوابت به پژوهش بپردازیم .

سرگذشت یك‌کوکب ثابت چیست ؟ چگونه قدم بعرصهٔ وجود گذاشته است و در عمردراز خود دستخوش‌چه تغییراتی خواهد شدو فرجام آن‌چگونه خواهد بود ؟

برای مطالعه در این مسئله‌اول بخورشید خودمان می‌پردازیم که‌نمونهٔ بارزی است از میلیاردها ستارهٔ ثابتی‌که کهکشان ما را تشکیـل می‌دهند . پیش از هرچیز باید بدانیم‌که خورشید ما ستاره ای « پیر » است زیراکه بر طبق قرائنی‌که در علم « دیرین‌شناسی » بدست‌آمده خورشید چند میلیاردسال

۱ـ برای بحث مشروحتری‌دربارهٔ منشاءوتکامل‌حیات در کرهٔ زمین‌بایدبکتاب « سرگذشت زمین » تألیف مؤلف همین کتاب وترجمهٔ آقای دکتـر محمود بهزاد مراجعه کرد .

برزمین تابیده تاحیات بمرحلهٔ کمال رسیده است . هیچ منبع عادی ممکن نبود بتواند اینهمه و درطی مدتی باین درازی کار مایه (انرژی) تدارك کند ، ومسئلهٔ تشعشع خورشید مشکلترین معمای علمی بود تا اینکه تبدلات رادیو-اکتیو کشف گردید و تبدیل مصنوعی عنصرها بیکدیگرمنابع دهشتزای کار-مایه راکه در دل هستهٔ اتم نهفته بود برای ما هویدا ساخت . کمی پیشتر ، در فصل هفتم ، دیدیم که عملاهر عنصر شیمیائی عبارت از یك سوخت کیمیائی است که بالقوه می‌تواندمقداری فوق‌العاده زیادکار مایه صادرکند وبرای آزاد کردن این کار مایه باید این مواد را تا چندمیلیون درجه حرارت داد .

این درجات عالی حرارت که در لابراتوارهای زمینی تولیدشان میسر نیست در ثوابت بطور عادی وجود دارند . مثلا در خورشید درجهٔ حرارت که درقسمت سطحی فقط ۶۰۰۰ درجه است بتدریج بطرف مرکز کره افزایش می‌یابد و درمرکزبه‌عددوار انگیز ۲۰،۰۰۰،۰۰۰ درجه می‌رسد! این‌عدد، بدون زحمت ، از توجه بدرجهٔ حرارت‌سطحی خورشیدوخاصیت هدایت‌حرارت گازهائی که خورشید را تشکیل داده اند بدست می‌آید . بهمین ترتیب اگر درجهٔ حرارت سطح یك سیب‌زمینی داغ‌را بدانیم‌وبدرجهٔ قابلیت هدایت‌جنس آن واقف باشیم می‌توانیم بی آنکه سیب زمینی را خرد یا قطع کنیم بدرجهٔ حرارت داخل آن پی ببریم .

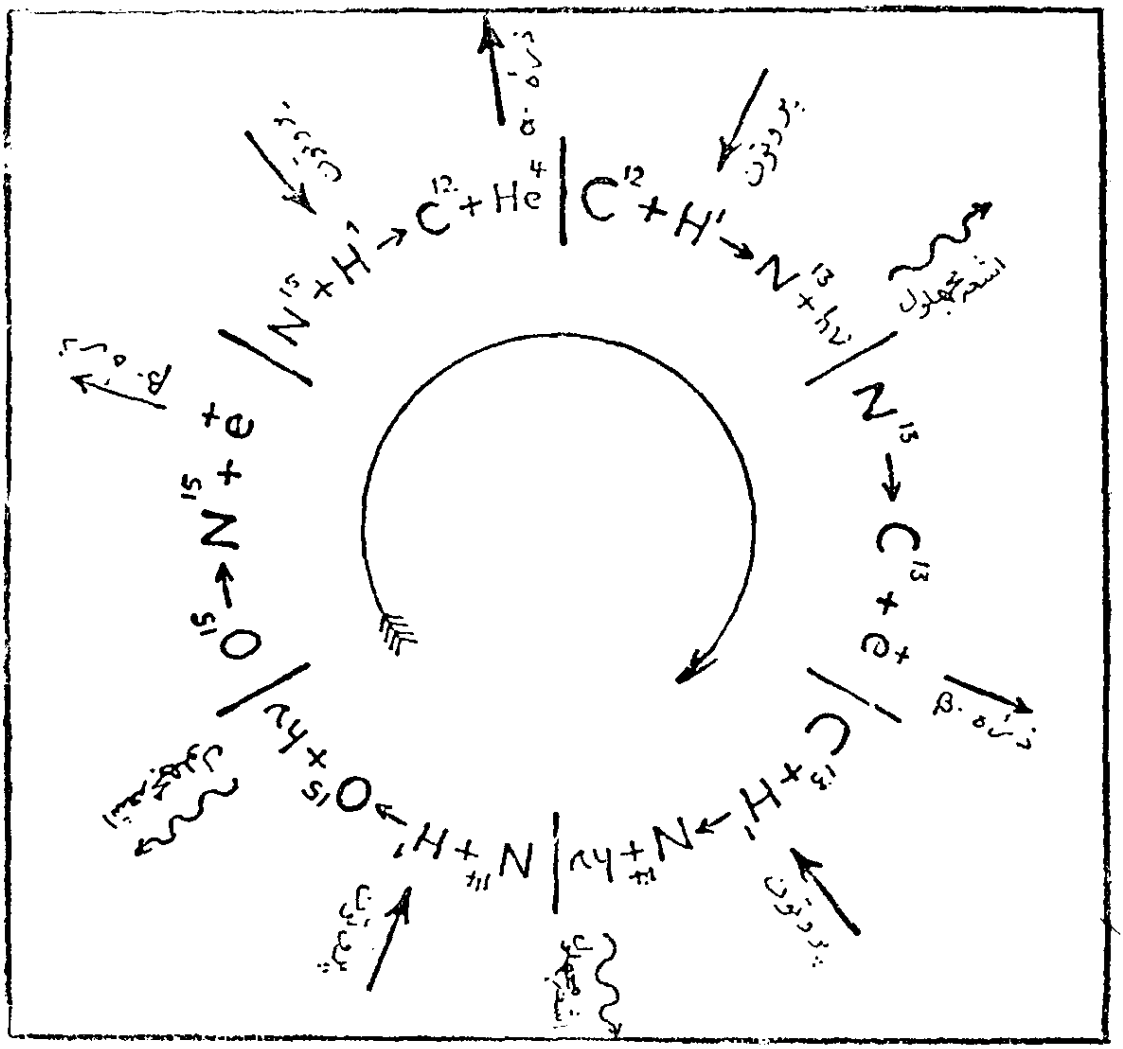
چون اطلاعات مربوط بدرجهٔ حرارت‌مرکزی خورشید را باحقایقی که دربارهٔ سرعت ودرجهٔواکنش تبدلات گوناگون اتمی می‌دانیم پهلوی هم‌قرار دهیم می‌توانیم درك کنیم که تولیدکار مایه درخورشید بستگی به‌چه واکنش خاصی دارد . این جریان اتمی‌بسیار مهم‌که به « دورهٔ کربن »[1] معروف است دریك زمان بوسیلهٔ دو فیزیك دان اتم شناس ،که به‌فیزیك نجومی نیزعلاقه پیداکرده بودند ، یعنی « بت[2] » و « وایتس زیکر » کشف گردید .

روش تولید حرارت با اتم که در حقیقت عامل اصلی تولید کار مایهٔ خورشید است محدود و منحصر به یك تبدیل اتمی نیست بلکه عبارت است ازیك رشته تبدلات وابسته بیکدیگرکه باصطلاح یك «**واکنش زنجیری**[3]» خوانده می شود . یکی از جالبترین مشخصات این رشته فعل وانفعالها، آن است که در حقیقت یك **زنجیر حلقه‌ای شکل** تشکیل می‌دهندکه بعد از

---

۱ ـ Carbon Cyclo ۲ ـ H. Bethe ۳ ـ Reaction chain

هرشش مرحله مانند دایره بجای اول باز می‌گردد . در شکل ۱۲۰ ، که یك زنجیر واکنشهای خورشیدرا نمایش می‌دهد ، می‌بینیم که چیزهائیکه عملادر این رشته سهیم هستند عبـارتند از هستهٔ اتم کربن وازت بعلاوه پروتونهـای حرارتی که باآنها تصادم می‌کنند .



شکل ۱۲۰

زنجیر واکنش اتمی که عامل تولید کارمایه درخورشید است .

هرگاه بطورمثال ازکربن‌معمولی (C^{12}) شروع کنیم می‌بینیم که نتیجهٔ تصادم آن باپروتون تشکیل ایزوتوپ سبکتری از ازت (N^{13}) و آزاد شدن مقداری کارمایهٔ‌دون‌اتمی[1] بشکل اشعهٔ γ است . این‌واکنش‌مخصوص رافیزیك‌ـ دانان اتم شناس خوب می‌شناسند و در شرایط موجود در آزمایشگاهها نیـز بدست آمده است و برای این‌کار ازپروتونهای دارای‌کار مایهٔ‌خیلی زیادکـه

۱ ـ Subatomic ـ مراد ازآن‌درون اتم یا پدیده هـائی است که دردرون اتم روی می‌دهد یااجزاء ترکیب کنندهٔ اتم‌است وپدیده های‌وابسته بآنها .

بطور مصنوعی حرکتشان تسریع گردیده استفاده شده است . هستهٔ اتم N^{13} ناپایدار است ووضع خود را باین‌نحوتثبیت می‌کندکه یك الکترون مثبت ، یاذرهٔ مثبت β ، صادرمی‌کند و به‌هستهٔثابت ایزوتوپ سنگین ترکربن(C^{13}) تبدیل می‌شود. این ایزوتوپ‌کربن بمقدارکم در زغال معمولی موجود است. وقتی‌که این ایزوتوپ‌کربن با پروتون حرارتی دیگری تصادم‌کند بازت معمولی(N^{14}) تبدیل می‌شود و با تشعشع‌شدید اشعهٔ γ توأم است . حالااین هستهٔ اتم N^{14} (که ممکن بود تشریح وتبیین دوره را از آن شروع‌کنیم)با پروتون حرارتی دیگری (سومین پروتون) برخورد می‌کند و یك ایزوتوپ ناپایدار اکسیژن (O^{15}) می‌سازد که خیلی زود یك الکترون مثبت از دست می‌دهد وبه ازت پایدار N^{15} تبدیل می‌شود . بالاخرهN^{15} یك‌پروتون‌چهارم در خود می‌پذیرد وبدو جزء نامساوی تقسیم می‌شودکه یکی از آن دو اتم کربن C^{12} است‌که ما از آن شروع می‌کنیم و دیگری یك اتم ئیدرژن یا ذرهٔ α است .

باین ترتیب می‌بینیم‌که **در زنجیرحلقه ای‌شکل واکنشهاکه مورد بحث ما است اتمهای کربن و ازت پیوسته تجدید وجود می‌کنند و(بقول شیمی دانها) نقش‌کاتالیزر بر عهده دارند .** نتیجهٔ ویژه‌ای‌که از این رشته واکنشها گرفته می شود تشکیل شدن یك اتم هلیوم است ازچهار پروتونی‌که پشت‌سر هم وارد دوره شده‌اند . وممکن‌است تمام این جریان را **تبدیل ئیدرژن به‌هلیوم‌در درجات عالی‌حرارت و بکمك‌عمل کاتالیزری کربن‌وئیدرژن** نامید.

«بت» توانست ثابت‌کندکه مقدارکار مایه‌ای که در « زنجیر واکنش » او در حرارت بیست میلیون درجه آزاد می شود **با مقدارکار مایه‌ای که عملاازخورشید مامتشعشع می‌شودمطابقت دارد .** چون هرگونه فعل وانفال دیگری‌که امکان پذیر باشد به نتایجی می‌رسدکه با واضحات فیزیك نجومی‌سازگارنیست‌باید بطورقطع قبول‌کردکه **قسمت اصلی‌تولید کارمایه درخورشید نتیجهٔ دورهٔ کربن وئیدرژن است .**

این‌نکته راهم باید خاطرنشان ساخت‌که دردرجهٔ حرارتی‌که دردرون خورشید ماوجود دارد یك دورهٔ‌کامل ، بنحوی‌که درشکل ۱۲۰ دیده می‌شود، تقریباً پنج میلیون سال طول می‌کشد بقسمی‌که در انتهای هردورهٔ تناوب هراتم‌کربن (یاازت)که درآغاز واردفعل وانفعال شده بود، تروتازه ودست‌

نخورده مثل روز اول ، ازآن خارج می‌شود .

ازآنجائیکه کربن دراین جریان نقش‌اساسی مهمی دارد می‌توان باین عقیدهٔ قدیمی‌اشاره کردکه حرارت خورشید اززغال حاصل‌شده است . نهایت آنکه این « زغال» یك سوخت واقعی نیست بلکه مـانند سیمرغ وعنقا جنبهٔ افسانه‌ای دارد .

دراینجا باید این‌نکته راهم متوجه بودکه هرچند سرعت وشدت تولید کارمایه درخورشید اصولا بستگی دارد بدرجهٔ حـرارت ووزن مخصوص ماده درقسمتهای داخلی‌آن اماتاحدی تابع مقدار ئیدرژن وکربن و ازت موجود درماده متشکلهٔ خورشید نیز هست . ازاین نتیجه فوراً روشی بخاطر می‌رسد که باآن‌می‌توانیم ساختمان گازهای خورشید راتجزیه‌کنیم وبرای‌این‌کارباید تمرکزعکس‌العمل دهنده هائی راکه بکار مـی‌روند تنظیم نمائیم بنحوی که درست بانورانیت خورشید مناسب باشد .

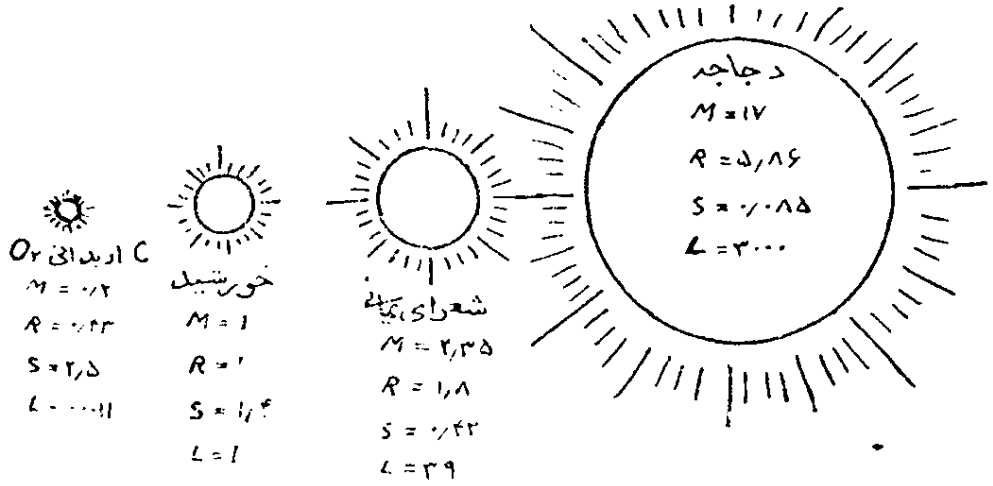
درست دراین اواخرشوارتزشیلد برمبنای این روش محاسباتی‌نمود و در نتیجه‌کشف‌کردکه بیش ازنیمی ازمادهٔ خورشید ئیدرژن خـالص است و کمی‌کمترازنیمی دیگرآن هلیوم وفقط قسمت خیلی‌کمی‌که باقی می‌ماند از همهٔ عنصرهای دیگرمرکب است .

توضیحی‌که‌دربارهٔ تولیدکارمایه درخورشیددادیم درموردغالب ستارگان دیگرنیزصحیح است ، باتوجه باینکه هرچه جرم ستاره‌ای بیشتر باشد درجهٔ حرارت داخلی آن بالاتراست ودر نتیجه مقدار کارمایه‌ای‌که درآن تـولید می‌شود بیشتر . باین ترتیب ستاره‌ای‌که «اریدانی» [۱] نام دارد وپنج بـار از خورشید سبکتر است با شدتی صدبارکمتـر از خورشید می‌درخشد یـا ستاره دیگری در مجموعه « سگ بـزرگ » بنام « شعرای یمـانی» دو ونیم برابر خـورشید وزن و چهـل برابر آن نور افشانی دارد . ستاره های دیوپیکر دیگری وجـود دارند مانند « ماکیان»[۲] کـه چهل مـرتبه بزرگتر وچندین صد مرتبه درخشنده تر از خورشید است . در تمام ایـن موارد نسبت بین جرم‌زیاد هرستاره ونورافشانی‌زیادآنرامی‌توان بنحو رضایت بخشی‌باافزایش فعل وانفعال «دورهٔ‌کربن» ،که خود بستگی بدرجهٔ حـرارت قسمت درونـی

۱ـ O_2 Eridani C

۲ـ Cygni الدجاجه

ستاره دارد، مربوط دانست . برطبق این باصطلاح «تسلسل اصلی» ستارگان می‌بینیم که افزایش جرم کواکب باافزایش شعاعشان (که درستاره اریدانی ۰٫۴۳ شعاع خورشید ودرستاره ماکیان ۲۹ برابرآن است) وافزایش متوسط وزن مخصوصشان (که دراریدانی ۲٫۵ ودرخورشید ۱٫۴ ودرماکیان ۰٫۰۰۲ است) بستگی دارد .



شکل ۱۲۱

درشکل ۱۲۱ برخی اطلاعات مربوط بچند ستاره جزء «تسلسل‌اصلی» داده شده‌اند .

علاوه برستارگان «عادی» که شعاع ووزن‌مخصوص‌ومیزان نورافشانیشان از روی جرمشان‌معین می‌شود ستاره شناسان درآسمان بستارگان دیگری برخوردانده‌که بطورقطع ازاین نظم ساده برکنارند .

نخست اخترانی‌هستندکه باصطلاح «دیوهای سرخ» یا«ازدیوبالاتر» نام دارند . بااینکه مقدار مادهٔ‌این ستارگان باستارگان «عادی» که دارای همان درجه نورافشانی‌باشند یکی‌است ابعادآنها بسیار بزرگتراست. درشکل۱۲۲ نموداری ازاین ستارگان «فوق عادی» نموده شده است .

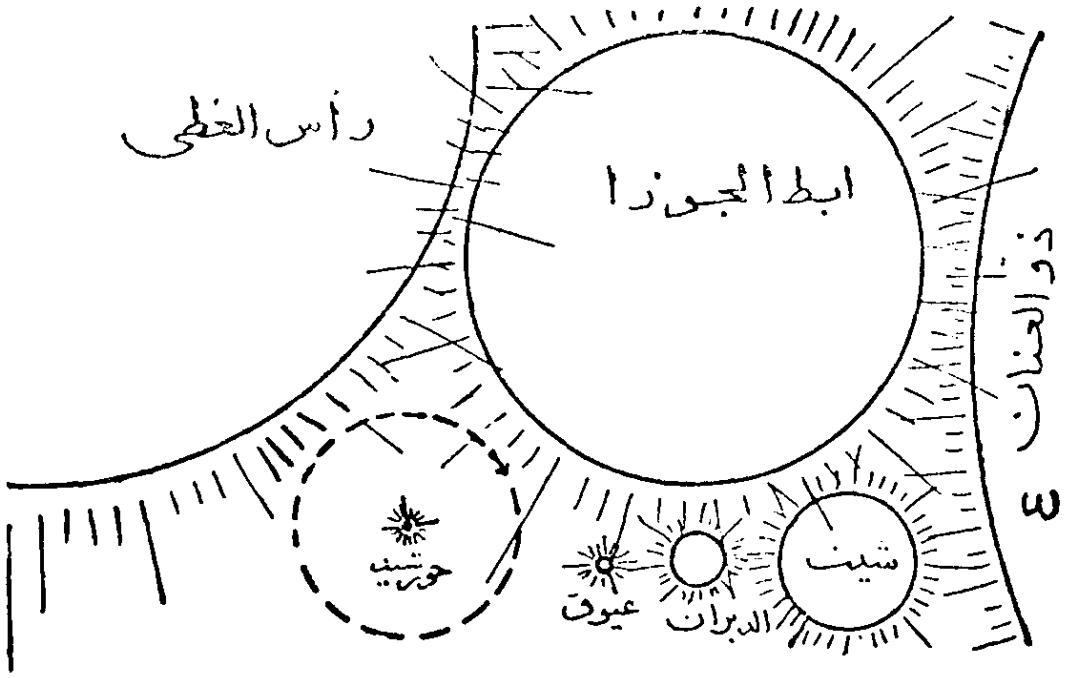
اززمرهٔ این‌ستارگان می‌توان اختران مشهور عیوق وشیث[1] والدبران وابطاالجوزاورأس‌الغطی را نام برد.

ظاهراً جسم ستارگان تحت تأثیر نیروهای داخلی ، که در بارهٔ آنها هیچگونه توضیحی برای مامقدور نیست ، باندازه هائی باورنکردنی متورم گردیده وبزرگ شده است ودرنتیجه وزن مخصوص‌آن‌ها ازوزن مخصوص‌هر ستارهٔ عادی‌کمتراست .

---

۱ ـ Scheat (ستارهٔ بتای صورت فرس‌اعظم) .

درمقابل این اختران «بادکرده» گروهی ازستارگان وجود دارند که قطرشان بسیارکوتاه وکوچك شده‌است ازاین‌رو آنهارا «کوتوله‌های سفید»[1] می‌نامند .

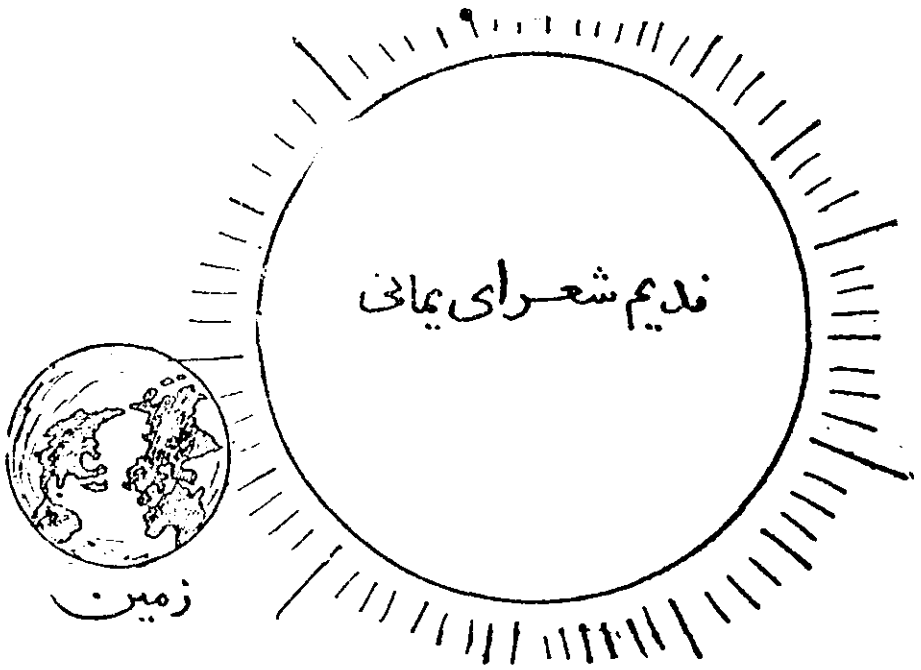


شکل ۱۲۲
مقایسهٔ اندازه های ستارگان «دیو» و «ازدیو بالاتر»
بامنظومهٔ سیارات شمسی

در شکل ۱۲۳ یکی از این « کوتوله های سفید » را با زمین مقایسه کرده‌ایم . این‌ستاره که «ندیم شعرای یمانی» خوانده می‌شودقطرش سه برابر قطرزمین وجرمش سه برابرجرم خورشید است . وزن مخصوص متوسط آن‌باید ۵۰۰ ۰۰۰ برابر وزن مخصوص آب باشد . تقریباً دراین مطلب تردیدی نیست که «کوتوله‌های سفید» نمایندهٔ آخرین مرحلهٔ تکامل ستارگان هستند و منطبق بادوره‌ایست که‌ستاره هرچه ئیدرژن دراختیار ودسترس داشته بمصرف رسانیده است .

۱ــ لقبهای «دیوهای سرخ» و «کوتوله‌های سفید» که بستارگان داده شده، نتیجهٔرابطهٔ بین‌درخشندگی وسطح آنهاست. چون‌ستاره هائی که وزن مخصوصشان خیلی کم است سطحی‌بسیار بزرگ دارند وباید کارمایه‌ای راکه دردرون آنها تهیه می‌شوددراین‌سطح وسیع متشعشع سازند درنتیجه درجه حرارت سطح آنها بالنسبه کم است وبآنهارنگی سرخ می‌دهد . در مقابل سطح کوچك ستاره‌هائی که وزن مخصوص زیاد دارند خیلی داغ است یعنی تابحدی که نورشان سفید است .

بطوریکه جلوتر دیده‌ایم منابع حیات ثوابت درفعل وانفعال کیمیائی نهفته است ،که بکندی ئیدرژن رابه‌هلیوم مبدل می‌سازد. چون دریك ستارهٔ جوان‌که ازتراکم ماده‌ای‌که درفضای بین ستارگان پراکنده‌است بوجودآمده است مقدارئیدرژن ازنصف تمام مادهٔ موجود درستاره بیشتراست‌انتظارمی‌رود که طول عمرستارگان فوق‌العاده زیاد باشد. مثلا باتوجه بدرجهٔ نورافشانی خورشید حساب‌کرده‌اندکه این‌کوکب فروزان در هرثانیه ۶۶۰ میلیون تن ئیدرژن مصرف‌می‌کند وچون‌تمام‌جرم‌خورشید ۲×۱۰^{۲۷} تن‌ونصف‌آن ئیدرژن



شکل ۱۲۳

یك ستارهٔ کوتولهٔ سفیدوزمین

است طول عمرخورشید باید ۱۵×۱۰^{۱۸} ثانیه یانزدیك به ۵۰ میلیارد سال باشد! وچون‌درحال حاضرفقط سه یاچهارمیلیاردسال ازعمرخورشیدمی‌گذرد[۱] بایدآنرا خیلی جوان دانست و منتظر بودکه میلیاردهاسال دیگرادامهٔحیات دهد و باهمین‌شدت بدرخشد .

اما جسیم‌ترین ستارگان ،که درنتیجه پرنورترین آنهاهستند ، ذخیرهٔ ئیدرژن خودرا با سرعت بیشتری مصرف می‌کنند . مثلاشعرای یمانی که۳ر۲

---

۱ ـ بدلیل‌آنکه برطبق تئوری وایتس زیکرخورشید نباید خیلی‌پیش‌از تشکیل منظومهٔ‌آن بوجودآمده باشد وعمرزمین‌ما که یکی‌ازسیارات این‌منظومه ا ت دراین حدود است .

بار ازخورشیدسنگین‌تراست ۳ر۲ بار بیشتر ئیدرژن دارد . اما این‌ستاره۳۹ بار ازخورشید بیشتر نورافشانی می‌کند و در زمان معین ۳۹ برابر خورشید سوخت ، یعنی ئیدرژن ، مصرف می‌کند در صورتیکه ذخیره ئیدرژنش فقط ۳ر۲ برابر ذخیره‌سوخت آن است . باین‌ترتیب شعرای یمانی سوخت خودرا درمدت سه میلیارد سال بپایان خواهد رسانید . درستاره‌های‌درخشانترمانند ماکیان (که جرمش۱۷ برابر ودرخشندگیش ۳۰۰۰۰ برابر خورشید است) ذخیره ئیدرژن بیشترازصد میلیون سال دوام نخواهدکرد .

وقتی که ذخیرهٔ ئیدرژن ستاره‌ای بپایان رسدبروزگارآن ستاره چه خواهد آمد ؟

وقتی‌که منبع کارمایهٔ اتمی که در طول عمردراز ستاره وضع آنرا کمابیش ثابت نگاهداشته است‌بپایان رسد ستاره شروع بفشرده شدن می‌کند و از مراحل متوالی زیاد شدن وزن مخصوص می‌گذرد .

مطالعات نجومی وجود عدهٔ زیادی از اینگونه « ستارگان فشرده » را نشان می‌دهدکه وزن مخصوصشان چند صد هزار برابرآب است . اینگونه ستارگان هنوز خیلی داغ هستند و براثر زیادی درجه حرارت با نور سفیدی‌که با نورزرد رنگ یا سرخ‌رنگ ستارگانی‌که جزء «تسلسل اصلی » هستند مباینت بارز دارد می درخشند . اما چون این ستارگان بسیار کوچك‌هستند برروبهم نورافشانی‌ستارگانی راکه دراین مرحله سیرمی‌کنند «کوتوله‌های سفید » می‌نامند ووجه تسمیه«کوتوله » هم باندازهٔ آنها ارتباط دارد و هم با نورشان . باگذشت زمان از درجهٔ حرارت ، و در نتیجه ازنور این اجسام بسیار درخشان کاسته خواهد شد و بفرجام به «کوتوله‌های‌سیاه» مبدل‌خواهند گردید . یعنی‌توده‌های وسیع وسرد ماده‌که ازدسترس مطالعات عادی نجومی خارج خواهند بود .

باین نکته هم باید توجه کردکه عمل فشرده وکوچك شدن و بتدریج بسردی گرائیدن ستارگان سالخورده‌ای‌که همهٔ سوخت ئیدرژن حیاتی خودرا بمصرف رسانیده‌اند همیشه بصورتی منظم و بی سروصدا صورت نمی‌پذیرد و اغلب این ستارگان در واپسین روزهای عمر و آخرین گامهای سیرخود دچار خلجانهای عظیم‌می‌شوند . چنانکه گوئی با سرنوشت شوم‌خود بمبارزه برمی‌خیزند .

این گونه ستارگان «نووا»[۱] و «سوپرنووا»[۲] و وضعی راکه درآنها پیدا می‌شود «انفجار نوواها و سوپر نوواها[۳]» نامیده‌اند این پیش آمدهای ناگهانی از هیجان‌انگیزترین حوادث عالم نجوم بشمار می‌روند. در مدت چند روز ستاره‌ای‌که تا آنزمان با ستارگان دیگر بظاهرفرق زیادی نداشته است چند صدهزاربار نورافشانتر می‌شود ودرجهٔ حرارت سطح آن مسلماً فوق‌العاده بالامی‌رود. وقتی‌که درتغییرات‌این ستارگان و افزایش ناگهانی نور آنها با طیف مطالعه‌کنند مشاهده می‌شودکه این ستاره‌ها بسرعت شروع بمتورم شدن می‌کنند و پوستهٔ خارجی آنها با سرعتی نزدیك به ثانیه‌ای دوهزارکیلومتر انبساط پیدا می‌کنند. ولی این افزایش نورافشانی موقتی است و پس از آنکه بحد اعلی رسید ستاره اندك اندك شروع به تنزل می‌کند وتقریباً یك سال طول می‌کشد تا میزان نورآن بمقدار اولی واصلی برسد حال‌آنکه تغییرتشعشع ستاره‌های دیگردرمدت خیلی‌طولانی‌تری مشهود می‌شود. با اینکه درجه درخشندگی ستاره باردیگر عادی می‌شود اما معلوم نیست که‌خواص دیگرآن چنین‌شوند. قسمتی ازجو ستاره‌که در دورهٔ انفجار در توسعهٔ سریع حجم‌کوکب شرکت دارند بحرکت خود بسوی خارج ادامه می‌دهد و باین ترتیب کوکب در یك لفاف گازی روشنی‌که پیوسته قطرش در افزایش‌است‌احاطه می‌گردد. قرائنی‌که‌تغییرات دائمی خودستاره را توضیح کنند هنوز خیلی غیرقطعی هستند و تا کنون فقط دریك مورد توانسته‌اند از ستاره پیش ازانفجارعکس‌بگیرند؛ ار(نورائی بنام اوریگه۱۹۱۸)[٤]. واین عکس هم ظاهراً آنقدر ناقص است‌که اطلاعات مربوط بدرجهٔ حرارت وشعاع ستاره را پیش از اینکه «نووا» شود نمی‌توان قطعی شمرد.

از انفجار ستاره‌هائی‌که باصطلاح «سوپرنووا» نامیده‌می‌شوند اطلاعات دقیقتری درباره نتیجهٔ انفجار جرم خود ستاره می‌توان بدست آورد. این انفجارهای عظیم در دستگاه‌کواکب درهرچند قرن یکبار بیشتردیده نمی‌شود

---

۱ ـ Nova

۲ ـ Super Novaسوپرنووا صدها بار درخشنده‌تر از نوواها می‌شوند.

۳ ـ Nova explosions

٤ ـ Nova Aurigae1918

در صورتی که انفجار « نوواها » در حدود سالی چهل بار وقوع می‌یابد ولی نوری که توأم با انفجار «سوپر نوواها»است چند هزار برابر آن‌است که با انفجار « نوواها »ی معمولی همراه است. نوری که در موقع چنین انفجاری ساطع می‌شود وقتی که بحد اعلای خود برسد قابل‌قیاس با تمام نوری‌است که ازدستگاه کامل کواکب خارج‌می گردد. ستاره‌ای که تیکوبراهه بسال ۱۵۷۲ رصدکرد و دروسط روز نیزمرئی‌بود ، یا ستاره‌ای که ستاره‌شناسان چینی بسال ۱۰۵٤ مشاهده وثبت کردند ، وشاید هم کوکبی بنام « بیت‌اللحم» ، نمونه‌های بارزی ازاین گونه « سوپر نووا »های موجود دردستگاه کواکب‌ما ، یعنی درکهکشان ما ، بشمار می‌روند .

نخستین«سوپر نووا»ی‌خارج‌ازکهکشان‌بسال۱۸۸۵درکهکشانی مجاور کهکشان ما و موسوم به «ابری بزرگ مراة‌المسلسله»[۱] مشاهده‌گردید و نور آن بیشتر از هزار برابر « نووا » های دیگری بود که درآن‌کهکشان دیده شده است . با وجود آنکه این‌انفجارهای عظیم بالنسبه بندرت روی می‌دهد مطالعهٔ خواص آنها در سالهای اخیر پیشرفتهای زیادکرده است و علم این پیشرفتها را مدیون « باد »[۲] و « زویکی »[۳]است‌که نخستین‌کسانی بودندکه باینگونه‌انفجارها پی‌بردند وکمر بمطالعهٔ دقیق و علمی « سوپر نووا » هائی که در دستگاههای مختلف‌کواکب ظهور می‌کنند بستند .

بااینکه‌درانفجارسوپر نوواهاو نوواهای معمولی اختلاف نوربسیارشدید مشهود است در صفات و مشخصات متعدد دیگر همانند یکدیگرند . افزایش سریع درخشندگی و تنزل تدریجی بعدی‌آن درهردو مورد (باستثنای مقدار نور) بوسیلهٔ منحنی‌های مشابه نموده می‌شوند . همانطورکه در مورد نووا گفتیم انفجار سوپر نوواها هم موجب می‌شودکه یك قشر گازی بسرعت توسعه یابد اما نسبت مقدار این گاز بمجموع جرم‌سوپر نووا بزرگتراست ازهمان‌نسبت درمورد نوواها. درحقیقت گازحاصل ازانفجار نوواها بتدریج رقیق‌ترورقیق‌تر می‌شود تااینکه درفضای‌اطراف محو می گردد اما توده‌های گازی‌که ازانفجار

---

۱ _ Great Andromede Nebula

۲ _ Beade

۳ _ Zwicky

سوپرنووا بوجودمی‌آیند با درخشندگی‌خاصی‌درمحل انفجار باقی‌می‌مانند . بعنوان مثال می‌توان مسلم دانست‌که آنچه بنام « ابری خرچنگ »[۱] معروف است و در محل سوپر نووای سال۱۰٥٤ دیده شده است نتیجهٔ گازهائی بوده که براثر انفجارآن سوپرنووا حاصل شده بوده‌اند (رجـوع کنید به تصویـر خارج ازمتن شمارهٔ۸) .

در مورد این سوپرنووای بخصوص (که بسال ۱۰٥٤ بوسیلهٔ ستاره‌ـ شناسان چینی مشاهده وثبت شده است) قرائنی دردست است‌که پس ازانفجار آن‌کدام ستاره برجای مانـده است . در حقیقت در وسط « ابری خرچنگ » وجودستاره‌ضعیفی تشخیص شده است‌که ازروی‌خواصش در زمرهٔ «کوتوله‌های سفید» بسیار سنگین قرار داده شود .

همهٔ این نکات مؤید آن است‌کـه سیر فیزیکی انفجار سوپرنوواها و نوواهای معمولی یکسان است منتهی دریکی به نسبتهای‌کوچکتر ودردیگری به نسبتهای بزرگترصورت می‌پذیرد .

بفرض پذیرفتن « تئوری فرو ریختگی » نوواها و سوپرنوواها باید درصددکشف علت انقباض و تراکم سریع جـرم اینگونه ستارگان برآئیم . امروزمسلم بنظر می‌رسدکه‌ثوابت‌عبارتند ازتوده‌های بسیارعظیم‌گازهای داغ ووقتی‌که‌ستاره درحال تعادل باشد فشارزیادگازمواد بسیارداغی‌که در درون آن هستند وسیلهٔ قطعی متعادل بودن جرم ستاره است . تا زمانی‌که « دورهٔ کربن » ،که قبلا شرحش را داده‌ایم، درمرکز ستاره وقوع می‌یابدکارمایه‌ای که درسطح‌ستاره مصرف می‌شود بوسیلهٔ‌کارمایهٔ دون اتمی[۲] که در داخل ستاره تولید می‌شود جبران می‌گردد و حالت ستاره بسیار کم تغییرمی‌کند . اما هم‌ینکه ذخیرهٔ ئیدرژن ستاره تمام شددیگرکارمایهٔ دون اتمی تولید نمی‌شود و ستاره ناچار شروع می‌کند به منقبض شدن و انرژی پتانسیل ثقل خود را به تشعشع تبدیل‌کردن . اما چون بسبب‌کدر بودن زیاد ماده‌ای‌که ستاره را تشکیل می‌دهد انتقال حرارت از مرکز بسطح ستاره خیلی بکندی صورت می‌گیرد عمل انقباض بسیار آهسته انجام می‌شود . مثلا تخمین شده است‌که

---

۱ ـ Crab Nebula

۲ ـ Subatomic energy

بیش از ده میلیون سال لازم است تـا شعاع خورشید ما به نصف مقدار فعلی برسد . هرتلاشی که برای تسریع این عمـل انقباض بشود منتج بآزاد شدن مقدار بیشتری کارمایهٔ ثقلی وافزوده شدن درجهٔ حرارت و فشار گازدرقسمت داخلی ستاره خواهدشد واین خود عمل انقباض راکندخواهدکرد. ازآنچه گفته شد نتیجه گرفته می‌شود که تنها راه تندکردن عملا انقباض ستارگان و تبدیل آن بیك فرو ریختگی سریع مانند آنچه در موردنوواها وسوپرنوواها مشهود می‌شود آن است که کارمایه‌ای که براثرتراکم در درون ستاره تولید می‌شود با دستگاه ومکانیسم خاصی ازآن خارج گردد . مثلا اگـر بتوان درجهٔ کدر بودن مادهٔ ستاره را چند میلیاردمرتبه کمترکرد عمل انقباض بهمان نسبت سریعتر می‌شود و ستاره درمدت چند روز در هـم فرومی‌ریزد .اما فکرامکان چنین امری بکلی ازمغزما خارج شده‌است زیراکه تئوری کنونی تشعشع بطورمسلم نشان‌می‌دهدکه درجهٔ کدربودن مادهٔ ستاره قطعاً بستگی‌دارد به جرم مخصوص و درجهٔ حرارت آن و شاید نتوان آنرا ده یا صد بارهم کمترکرد .

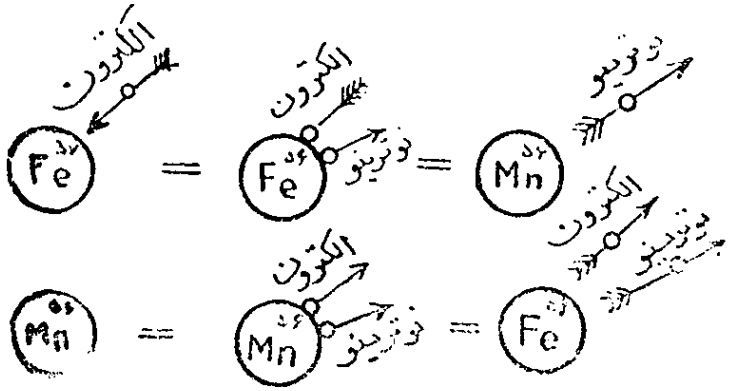
اخیراً مؤلف این کتاب وهمکارش «دکتر شنبرگ» این فکـر را شیوع داده‌اندکه‌دلیل تراکم وفروریختگی ثوابت تشکیل توده‌های «نوترینو»[۱]ها ، یعنی آن ذرات کوچك اتمی است‌که در فصل هفتم این کتاب به تفصیل از آنها صحبت‌کرده ایم . درتعریف‌نوترینو واضح می‌شودکه خودآن مناسبترین عامل‌است برای انتقال کارمایهٔ اضافی‌درونی ستارگان درحال انقباض بسطح آنها، بدلیل‌آنکه‌بهمان سهولتی‌که نورازشیشهٔ پنجره می گذرد نوترینوهاهم ازمادهٔ ستاره گذر می‌کنند . باقی می‌ماند اینکه‌آیانوترینو بوجود می‌آید و اگر بوجود آید آیا تعداد آن دردرون بسیارگرم ستاره ای‌که درکارانقباض است باندازهٔ‌کافی خواهد بود ؟

فعل وانفعالی که‌باید باصادر شدن‌نوترینوها ملازمه داشته باشدعبارت است از اینکه بوسیلهٔ هسته‌های اتمهای عنصرهای مختلف الکترونهائی راکه بسرعت در حال حرکت هستند بدام اندازند . وقتی‌که یك الکترون‌سریع‌السیر در داخل یك هستهٔ اتم نفوذ می کند فوراً یك نوترینو با انرژی بسیار

---

۱ ـ Neutrino ذره ایست کوچکتراز نوترون و بدون‌بار الکتریکی .

زیاد خارج می‌شود والکترون در هسته باقی می‌ماند و هستهٔ اصلی را بهستهٔ ناپایدار دیگری که دارای همان‌وزن اتمی است تبدیـل می‌کند . این هستهٔ تازه بسبب ناپایداری‌فقط مدت‌معینی‌دوام می‌کند و بعدتباه می‌شودوالکترون خود را در مصاحبت نوترینوی دیگری رها می‌سازد ؛ بعد این‌وضع ازسر نو



شکل ۱۲۴

روش Urca در هسته اتم آهن که منجر به تشکیل تعداد نامحدودی نوترینو می شود

آغاز می‌شود و منجر بصدور نوترینوی جدیدی می گـردد . . .(شکل ۱۲٤)

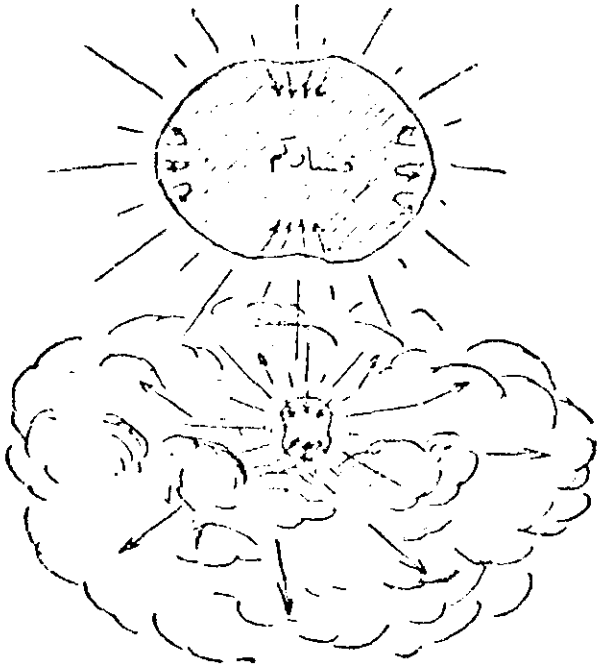
اگر وزن مخصوص و درجهٔ حرارت زیاد باشد ، یعنی همانطوری باشد که دردرون ستاره هائی است‌که درحال انقباض وتراکمند ،کار مایه ای‌که‌در نتیجهٔ صادرشدن نوترینوتلف می‌شود بسیار شگرف است . مثلا بدام انداختن ودوباره آزاد ساختن الکترونها‌بوسیلهٔ هستهٔ اتمهای آهن معادل ۱۰۰ارگ درگرم در ثانیه را تبدیل بکار مایهٔ نوترینو می‌کند . درمورد اکسیـژن در صورتیکه عنصر ناپایداری‌که حاصل می گردد ازت ، ومدت لازم برای تباهی آن ۹ ثانیه ، باشددرهر ثانیه تا معادل ۱۰۱۷ ارگ درگرم در ثانیه ازمادهٔ ستاره از میان می‌رود . مقدار کار مایه ای که در صورت اخیر تلف مـی‌شود آنقدر زیاد است‌که فرو ریختگی کوکب در مدت بیست و پنج دقیقه صورت می‌پذیرد .

باین ترتیب می‌بینیم‌که شروع تشعشع نوترینوها از نواحی مرکـزی بسیار گرم ستاره هائی‌که درحال تراکم وانقباضند مارادر موردفروریختن ثوابت کاملاروشن می‌سازد و توضیح‌کافی دراین باره بما می‌دهد .

اما باید متوجه بود که‌هرچندمقدارکار مایه‌ایراکه براثر صدور نوترینو

تلف می‌شود می‌توان تخمین کرد مطالعه وتحقیق درکیفیت خود فرو ریختگی بامشکلات ریاضی متعدد مواجه است بقسمی‌که در حال حاضر فقط مـی‌توان در بارهٔ چگونگی حوادث مذکور توضیحاتی داد .

باید چنین تصور کرد که توده‌هائی که قسمت خارجی بسیار عظیم ستاره‌ها را تشکیل می‌دهند در نتیجهٔ نکث فشار گاز درداخل آنها بوسیلهٔ نیروی جاذبه بطرف مرکز ستاره جلب می‌شوند و بسوی مرکز سقوط می‌کنند . امـا چون هرستاره دارای حرکتی دورانی است امر فروریختگی بنحوی غیر متقارن انجام می‌شود وتوده های قطبـی یعنی آنهـائی که نزدیك محور دوران ستاره‌اند ، زود تر فـرو می‌ریزند و درنتیجـه توده‌های استوائی را بخـارج می‌رانند (شکل ۱۲۵) .



شکل ۱۲۵

یك مرحلهٔ نوین ویك مرحلهٔ کهن درانفجار یك سوپرنووا

این امر موجب می‌شود که موادی که قبلادر درون ستاره نهفته ودارای درجهٔ حرارتی درحدودچند هزار میلیون درجه بود بخارج رانده شود وبتوان افزایش ناگهانی نور ستاره ها را نتیجهٔ این جریان دانست . بـاین ترتیب بتدریج مواد فرو ریختهٔ ستارهٔ پیر در مرکز آن متراکم می‌شوند وکم کم یك «کوتولهٔ سفید »سنگین بوجود می‌آورند . در حالی که توده‌هائی که به بیرون رانده می‌شوند متدرجاً سرد می‌شوند و به‌تشکیل نوعی «ابری» ازقبیل آنچه

در «ابری خرچنگ» دیده می‌شوند ادامه می دهند .

۲ ــ هیولای اولین وانبساط جهان

اگر جهان رایکجا و برروی هم درنظر آوریم با این سئوال حیاتی مواجه می‌شویم که تکامل آن دردور زمان چگونه صورت پذیرفته است ؟ آیا باید فرض کنیم که همواره بوضعی که امروز دارد بوده است وخواهد بود ؟ یا اینکه همواره درتحول وتغییراست و پیوسته مراحل تکامل راطی‌می کند ؟

وقتی که مسئله را بر مبنای حقایق تجربی رشته های مختلف و وسیع علوم مطالعه کنیم باین جواب قطعی‌می‌رسیم که **«آری، جهان‌ما بتدریج دستخوش تغییر است»** وضع آن در گذشتهٔ بسیار دور ووضعش در زمان حاضر ووضعی که در آینده ای‌خیلی دور ودرازخواهد داشت سه حالت‌مختلف «هستی» هستند . واقعیات متعددکه متکی بعلوم مختلف هستند نشان می‌دهند که جهان ماحادث است و **آغازی** داشته و براثر تکامل تدریجی بوضع کنونی رسیده است . در صفحات پیش گفتیم که‌عمر دستگاه کواکب ما **چند میلیارد** سال است ووقتی که از جهت‌های مختلف و بوسایل گوناگون مسئله رامورد مطالعه قراردهیم همواره بهمین‌جواب‌چند میلیاردسال می‌رسیم . تصورمی‌رود که ماه نیز چند میلیارد سال‌قبل درنتیجهٔ نیروهای جاذبهٔ خورشید از زمین جداگردیده وتشکیل شده باشد.

مطالعه در تکامل انفرادی ستارگان (رجوع شود به مبحث قبل) نشان می‌دهدکه غالب ثوابتی که امروز ما در آسمان می‌بینیم **چند میلیارد سال** عمردارند . تحقیق‌درحرکات ستارگان ، خاصه‌حرکات نسبی ستارگان‌معروف به دوتائی (مضاعف) وسه تائی و ستارگانی که با ترتیبی بغرنجتر گرد یکدیگر آمده و آنچه راباصطلاح **خوشه های کهکشانی** می‌نامندتشکیل داده‌اند ، علماء هیئت را باین نتیجه رسانیده ودراین‌عقیده راسخ گردانیده است که این گونه صورت بندیها چند میلیارد سال قبل وجود نداشته است .

دلایل دیگری برصحت‌این امربوسیلهٔ مطالعه‌درمقدار عنصرهای‌مختلف شیمیائی که در جهان موجودند بدست آمده است ، خاصه از مطالعهٔ مقدار عنصرهای‌رادیوآکتیو،ازقبیل توریوم واورانیوم ،که معروف است که متدرجاً

بزوال می‌گرایند. درحقیقت بااینکه‌این‌عنصرها بتدریج رو به‌نیستی می‌روند باز درجهان وجود دارند و ماباید برای وجود آنها بیکی از این دو فرض قائل شویم : یا این عنصرها هنوز هم از هسته‌های عنصرهای سبکتر بوجود می‌آیند یا اینکه باقیماندهٔ ذخائری هستندکه درزمانهای خیلی قدیم بوجود آمده بوده است .

اطلاعاتی‌که درحال‌حاضر ازطرز تغییر وتبدیل اتمها داریم مارامجبور می‌کندکه فرض‌اول ، یعنی بوجودآمدن این‌عناصردرحال حاضر ، رابیکباره طردکنیم زیراکه حتی دردرون گرمترین ستارگان درجهٔحرارت بحدی‌نمی‌رسدکه برای « پختن » هسته‌های سنگین عنصرهای رادیو آکتیوکفایت‌کند. درحقیقت ، چنان‌که در قسمت پیشین دیدیم ، درجهٔ حرارت درونی ستارگان چندین ده‌میلیون درجه‌است درصورتیکه برای«پختن» هستهٔ عنصرهای‌رادیو‌آکتیو از عنصرهای سبکتر درجهٔ حرارت باید بچند میلیارد برسد .

پس باید این فرض راقبول‌کنیم‌که هسته‌های عنصرهای سنگین دریکی از زمانهای پیشین دورهٔ تکامل جهان‌بوجود آمده‌اند و **در آن‌زمان معین تمام‌محکوم به تحمل آن‌درجهٔ حرارت دهشتناک‌و فشارعظیمی که مربوط‌بآن بوده است بوده‌اند .**

می‌توانیم تاحدودی زمان تقریبی این مرحله « برزخ » جهان‌کهن را معین‌کنیم .می‌دانیم‌که‌اززمان تشکیل دوعنصرتوریوم واورانیوم ۲۳۸ که‌مدت «نیمه زندگی »[۱] آنها بترتیب ۱۸میلیارد و $\frac{۱}{۲}$ ٤ میلیارد است‌تقریباً‌چیزی از ماده آنها کم نشده زیرا که امروز این دو عنصر تقریباً بفراوانی عنصرهای سنگین ثابت دیگر یافته می‌شوند . از طرف دیگر اورانیوم ۲۳۵ که‌مدت نیمه زندگیش درحدود پانصد میلیون (نیم میلیارد) سال است امروز ۱٤۰ مرتبه‌کمتر ازاورانیوم۲۳۸ وجوددارد . وفور اورانیوم ۲۳۸وتوریوم نشانه آن است‌که اززمان تشکیل این عنصرها بیشتر ازچند میلیارد سال نمی‌گذرد وکمیابی اورانیوم ۲۳۵ تعیین این مدت را آسانترکرده است . درحقیقت اگر مقدار عنصر درهر پانصد میلیون سال نصف شود باید درحدود

---

۱ ـ نیم زندگی یا Half ـ life عبارت است از زمان لازم برای خرد شدن نصف اتمهای یك‌عنصر

هفت بار پانصدسال یا سه میلیارد نیم سال از بوجود آمدن این عنصر گذشته باشد تا مقدار ۱٤۰ مرتبه تقلیل یافته باشد (بدلیل آنکه:

$$(\frac{1}{2}X\frac{1}{2}X\frac{1}{2}X\frac{1}{2}X\frac{1}{2}X\frac{1}{2}X\frac{1}{2} = \frac{1}{128}$$

عددی که باین ترتیب با استفاده ازعنصرهـای شیمیائی وفیزیك اتمی بدست آمده است کاملا باعددی که عمر ستارگان رامعین می کند وفقط مبتنی برمعلومات نجومی است مطابقت دارد .

اما آیا می توان دانست که چند میلیارد سال پیش ، یعنی وقتی که هر چیز شروع به پیدایش کرده ، جهان در چه حالتی بوده ودر این فاصله چـه تغییراتی رخ داده تاعالم بوضع کنونی درآمده است ؟

جواب کامل ایـن سئوال را می توان ازمطالعه پدیدهٔ «انبساط جهان» بدست آورد . درفصل پیش دیدیم که فضای بی انتهای عالم پر است از عـدهٔ زیادی دستگاههای عظیم کواکب که کهکشان نامیده می شوند و خورشید مایکی از میلیاردها ستاره ایست که دریکی ازاین کهکشانها وجود دارند. ونیزدیدیم که تا جائیکه چشم (البته بکمك تلسکوپ عظیمی که قطر عدسیش دو مترو نیم است) کار می کند این کهکشانها کم و بیش بوضعی یکنواخت درآسمان پراکنده اند .

دانشمندی بنام هابل[1] که در رصدخانه معروف مانت ویلسن[2] امریکا بمطالعه مشغول است ازبررسی طیف نوری که ازکهکشانهای دوردست می رسد متوجه شد که خطوط طیف اندکی بطرف انتهای سرخ طیف تمایل دارند وهرچه کهکشان دورتر باشد این تمایل بطرف انتهای سرخ بیشتر است ومعلوم شد که این تمایل نسبت مستقیم دارد بافاصله کهکشان ازما .

طبیعی ترین راه برای تعبیر این پدیده قبول این فرض است که **همهٔ کهکشانها بسرعت ازما دور می گردند وهرچه دورتر می شوند سرعت دور شدنشان بیشتر می شود.** این توضیح مبتنی بریك خاصیت

۱ـ E . Hubble

۲ـ Mount Wilson

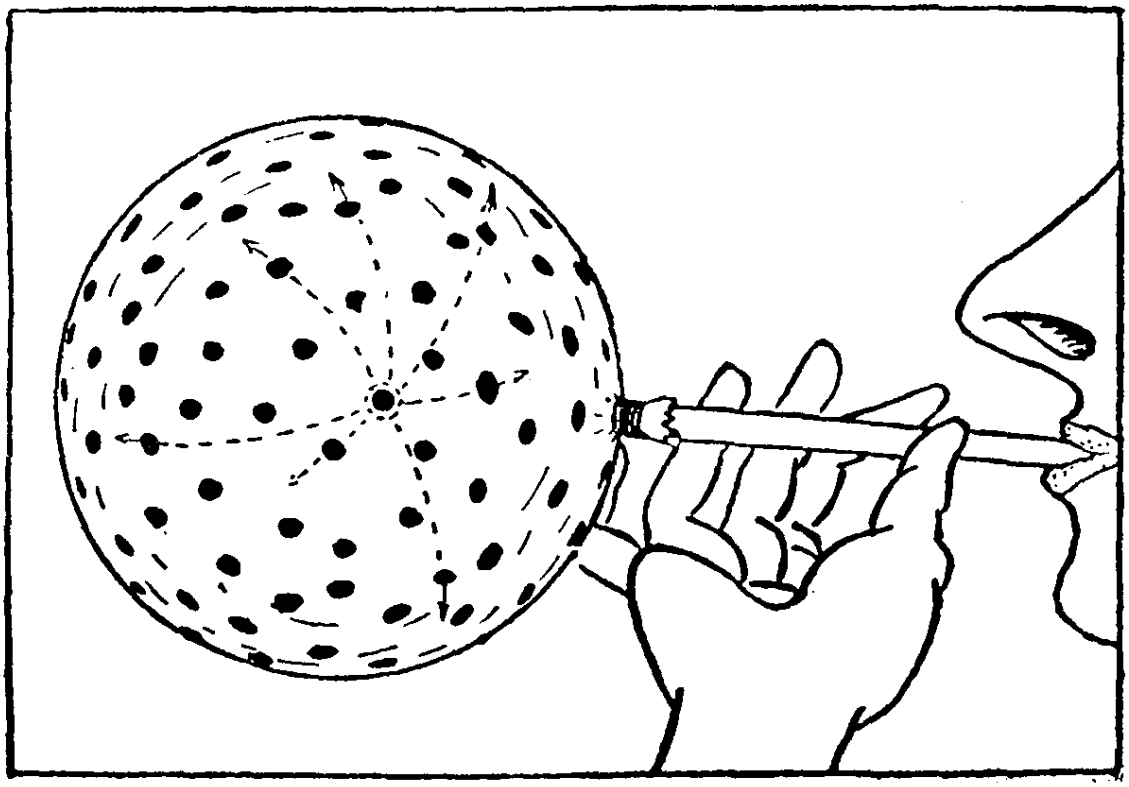
فیزیکی‌است که به « تأثیردوپلر»[۱] معروف‌است وعبارتست از اینکه اگرمنبع نوری بما نزدیك شود خطوط طیفش بطرف انتهای بنفش‌طیف می‌روند ودرمورد منبعی که ازما دور می گرددخطوط بطرف‌انتهای سرخ‌طیف میل‌می کنند. البته برای اینکه این تمایل به تغییر جا محسوس باشد باید سرعت منبع نورنسبت بشخص ناظر بالنسبه زیاد باشد . دانشمندی بنام پروفسور وود[۲] که درشهر بالتیمور بسبب تخلف ازمقررات رانندگی وحرکت دروقتی‌که چراغ‌راهنما سرخ بوده است توقیف گردید متعذر شدکه چون با اتومبیل بچراغ راهنما نزدیك می شده بموجب خاصیت « تأثیر دوپلر » آنرا سبز دیده است . اما پروفسور با این عذرکلاه سرقاضی گذاشت زیراکه اگر قاضی دادگاه‌بیشتر وبهتر فیزیك می‌دانست ازپروفسور وود می پرسیدکه باچه سرعتی بچراغ نزدیك می‌شده‌که تأثیر دوپلر موجب سبز دیده شدن آن شده باشد؟ وسپس پروفسوررا بجرم‌سرعت زیادجریمه می کرد .

اکنون بمسئلهٔ « تمایل بطرف انتهای‌سرخ»که درطیف کهکشانها دیده می‌شود بازمی گردیم ودر بدو امربه نتیجه‌ای می‌رسیم‌که زیاد مطلوب بنظر نمی‌رسد. مثل‌اینست‌که‌همه کهکشانهای دیگر ازکهکشان ما اجتناب‌می کنند ومانند اشخاص ترسیده ووحشت زده می گریزندودورمی‌شوند . مگر خواص کهکشان ماو ستاره‌های آن چیست‌که آنقدر مورد بی میلی وبی مهری کهکشانهای دیگر است ؟ اگر اندکی در این باره مطالعه‌کنید بآسانی باین نتیجه می‌رسیدکه درحقیقت درکهکشان ماعیبی نیست و همه بخصوص ازآن نمی گریزند بلکه‌کهکشانها همه ازیکدیگر فرار می‌کنند، بادکنکی درنظر بگیریدکه برروی‌آن، نقطه‌های زیادگذاشته شده باشد (ش۱۲۶) ، اگر آنرا آهسته آهسته پرباد‌کنید وحجم آنر بیش ازپیش زیاد نمائید فواصل بین‌هر نقطه بانقاط دیگر پیوسته زیادتر می‌شود وبنظر حشره‌ای‌که برروی یکی از این نقاط نشسته‌باشد چنین می‌رسدکه سایر نقطه‌ها مرتباً ازآن دورمی‌شوند. بعلاوه سرعت دور شدن نقطه‌های مختلفی‌که برروی بادکنك هستند نسبت مستقیم دارد با فاصله‌های آن نقاط ازنقطه‌ای‌که حشره برروی آن نشسته‌واز

۱ـ Doppler Effecr

۲ـ Prof. R. W. Wood

آنجا مشغول مشاهده وترصد است. این مثال کاملا روشن می کند که دورشدن کهکشانها از کهکشان‌ما ارتباطی با خاصیتی خاص این کهکشان ندارد واز آن به **انبساط عمومی و یکنواخت دستگاه عظیم کهکشانهائی که در سراسر جهان بیکران پراکنده‌اند تعبیر می‌شود .**



شکل ۱۲۶

ازروی سرعت انبساط و باتوجه بفواصل کنونی کهکشانهای مجاور از یکدیگر بآسانی می‌توان حساب کرد که **این انبساط باید ازدوتاسه‌میلیارد سال پیش شروع‌شده‌باشد[1] .**

پیش از این تاریخ ابرهای مجزائی که امروز ما درآسمان می‌بینیم و

۱ـ مطابق ارقامی که هابل داده است فاصله متوسط بین دو کهکشان مجاور ۱٫۷ میلیون سال نوری (یا ۱۰^۱۹ × ۱٫۶ کیلومتر)وسرعت دورشدنشان ازهم‌ثانیه‌ای ۳۰۰ کیلومتر است . اگر فرض کنیم که سرعت این حرکت یکنواخت باشد زمان لازم برای این مقدار انبساط عبارت‌خواهدبود از:

$$\frac{۱٫۶ \times ۱۰^{۱۹}}{۳۰۰} = ۵ \times ۱۰^{۱۶} \text{ثانیه} = ۱٫۸ \times ۱۰^{۹} \text{سال}$$

ازروی اطلاعات‌جدید برای مدت انبساط عدد بالنسبه بزرگتری بدست آمده‌است.

کهکشان می‌نامیم قسمتهای مختلف جهانی بودند مرکب ازستارگانی که بنحوی یکنواخت توزیع گردیده بودند و باز پیشتر ازآن تاریخ خود آن ستارگان بیکدیگر فشرده شده وپیوسته جهان را ازگازی سوزان پرمی‌داشتند . بازهم اگر درزمان بعقب تر برویم این گاز راسوزانتر و سنگین‌تر می‌یابیم وشاید درآن‌زمان عنصرهای مختلف شیمیائی ، خاصه رادیو آکتیوها ، بوجود آمده باشند . اگر یك قدم دیگر بعقب برویم بزمانی می‌رسیم که مادهٔ جهان بهم فشرده وبصورت هسته سیالی بودکه سنگینی و حرارتش ازحد وصف بیرون بوده است ودر فصل هفتم درباره آن بحث کرده‌ایم .

اکنون این‌مطالعات راباهم جمع می‌کنیم ووقایعی راکه در دورهٔ بسط وتکامل جهان روی داده‌اند بترتیب ازنظر می‌گذرانیم .

داستان اززمانی آغاز می‌شودکه جهان درحال جنینی بوده است وتمام ماده‌ای‌که امروز درفضا تا جائیکه حدبینائی دوربین رصدخانه مانت‌ویلسن است ، یعنی تا شعاع پانصد میلیون سال نوری، پراکنده است درکره‌ای بشعاع تقریباً هشت برابرشعاع خورشید[1] فشرده‌ومتراکم بوده است . اما این‌حالت زیاده ازحد سنگین دوامی نداشته‌وباید توسعه وانبساط سریعی‌موجب شده‌باشد که وزن مخصوص‌مادهٔ جهان درمدتی کمتر از دوثانیه بیك میلیون برابروزن مخصوص‌آب ودرمدت‌چندساعت بوزن مخصوص آب پائین آمده باشد . تقریباً درآن زمان بایستی‌آن‌گازیکدست ومداوم بکره‌های گازی مجزائی‌که همین ثوابت امروزند تقسیم‌شده باشد . ستارگانی‌که‌باین وضع تشکیل شدندبراثر انبساط روز افزون‌جهان‌بسوی یکدیگرکشیده شدند و ابریهائی‌راکه امروز کهکشان می‌خوانیم وهنوز پیوسته ازیکدیگر دورمی‌شوند وبطرف ژرفنای نامعلوم جهان می‌روند بوجودآوردند.

۱ــ چون وزن مخصوص هسته سیال اتم $۱۰^{۱۴}$ گرم درسانتیمتر مکعب بود و درحال حاضر وزن مخصوص متوسط ماه در فضا $۱۰^{-۳۰}$ گرم در سانتیمتر مکعب‌است

ضریب تراکم $\frac{۱۰^{۱۴}}{۱۰^{-۳۰}} = ۵ \times ۱۰^{۱۴}$ بوده‌است‌ودر نتیجه‌فاصلهٔ $\sqrt[۳]{\quad}$ $۱۰^{۸} \times ۵$ سال‌نوری

کنونی بایستی در آغاز $\frac{۵ \times ۱۰^{۸}}{۵ \times ۱۰^{۱۴}} = ۱۰^{-۶}$ سال‌نوری‌یا ۱۰ ۰۰۰ ۰۰۰ ۰۰۰ کیلومتر

بوده باشد.

اکنون می‌توانیم ازخود بپرسیم که چه نیروهائی موجب انبساط جهان بوده‌اند وآیا این انبساطروزی متوقف خواهد شد یا تبدیل بانقباض خواهد گردید؟ آیا اشکال داردکه جهانی که درحال انبساطاست بازپس آیدودستگاه کواکب وکهکشان و خورشید و زمین وبشری راکه بروی زمین است درهم فشارد وبخمیری بسنگینی هسته اولین تبدیل کند؟

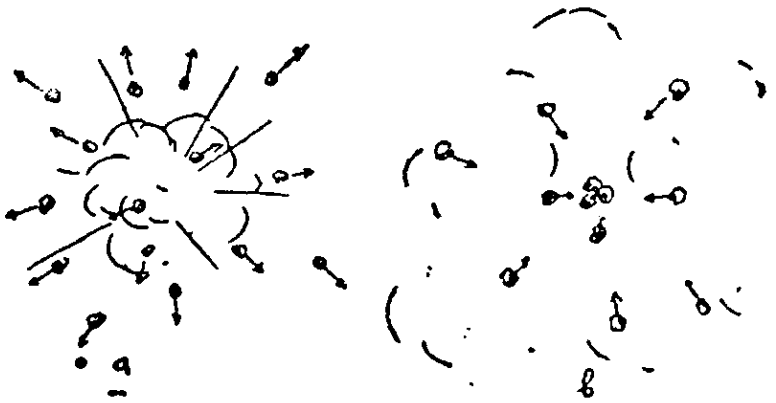
تا جائیکه جامعترین اطلاعات ماحکایت می‌کندچنین امری صورت پذیر نیست . درزمانی بسیار دور ، در اولین مراحل تکامل جهان که درکار انبساط بود ، هرپیوندی که اجزاءآنرابیکدیگر می‌پیوست درگسست وامروز به‌تبعیت ازقانون جبر (اینرسی) همچنان بسط می‌یابد . پیوند هائی که گفتیم نیروهای جاذبه بودندکه سعی می‌کردند اجزاء جهان را از جدا شدن از هم باز دارند .

برای اینکه این گفته رابامثالی مجسم سازیم فرض می‌کنیم که بکوشیم تاموشکی را برای مسافرت بسیارات دیگراززمین پرتاب کنیم. می‌دانیم که تاامروز هیچ موشکی ، حتی و۲ معروف آلمانی ، دارای نیروئی نشده است که‌آنرا آنقدر به پیش براند تا از حیطهٔ تسلط جاذبهٔ زمین خارج کند وهر موشکی پس‌ازمدتی درنتیجهٔ قوهٔثقل متوقف می‌شود وبسوی‌زمین بازمی گردد امااگربتوانیم برای موشکها نیروئی فراهم سازیم که آنها را باسرعت اولیهٔ ۱۱ کیلو متر درثانیه از زمین پرتاب کند (و باید دانست که با سرعت و توسعه ای که درکار موشکهای جت اتمی‌مشهود است حصول باین مقدار سرعت ممکن خواهد بود) موشك خواهد توانست که از حوزهٔ کشش ثقل زمین‌خارج شود ودرفضائی آزادقرار گیرد وبی‌رادع ومانعی بسیرخود ادامه دهد . سرعت ۱۱ کیلومتر درثانیه را «سرعت گریز ازحوزهٔ جاذبهٔ زمین » می‌نامند .

حال گلولهٔ توپی رادر نظرآوریدکه درمیان هواترکیده وقطعات خود را درهمه جهت پراکنده باشد (شکل ۱۲۷آ) این‌قطعات براثرنیروی انفجار وعلی‌رغم جاذبه‌ای که‌آنها رابطرف مرکزمشترك می‌خوانـد درهرطـرف دور می‌شوند. لازم بتذکار نیست که درمورد قطعات گلولهٔ این نیروهای جاذبه دو جانبی بسیار ناچیزند یعنی‌آنقدر ضعیفند که درحرکت قطعات گلوله درفضا

تأثیری ندارند . اما اگر نیروها قویتر بودند ممکن بود که قطعات گلوله را پس ازچندی ازپیشرفت بازدارند وآنهارا بسمت مرکزثقل اصلی خـود فرا-خوانند وفروکشند (شکل ۱۲۷ب). مسئلهٔ اینکه آیا قطعات گلوله بمبداء باز خواهند گشت یا بسیر خود درفضا ادامه خواهند داد منوط است بمقدار نسبی کارمایهٔ حرکتی(انرژی سینتیك) آنهاو کارمایهٔ ذخیره (انرژی‌پتانسیل) نیرو-های جاذبهٔ بین آنها .

بجای قطعات گلوله کهکشانهای مختلف را درنظرآورید تاتصویری از جهانی که درحال انبساط است ودر صفحات گذشته شرحش را دادیم درمخیلهٔ خود رسم کنید . اما در صورت اخیر بسبب وجود توده های عظیم کهکشانهای مختلف کارمایهٔ ذخیرهٔ نیروهای جاذبه نسبت به کارمایهٔ حرکتی دارای اهمیتی خاص[1] می‌شود بقسمی که آیندهٔ انبساط جهان براثرمطالعهٔ دقیق دربارهٔ وضعیتی که درآن دخالت دارند معین می گردد .



شکل ۱۲۷

بر طبق موثق‌ترین اطلاعاتی که تاکنون در بارهٔ جرم کهکشانها کسب شده است بنظر می‌رسد که فعلا کارمایهٔ حرکتی کهکشانهائی کـه دور می‌شوند چند برابر کارمایهٔ ذخیره ایست که درنتیجهٔ جاذبه بریکدیگروارد مـی‌آورند وازاینجا نتیجه‌می‌شود که **جهان ما دائماً منبسط می‌شود وبسوی بی-نهایت‌سیرمی کند بی آنکه امیدی به‌آن باشد که روزی اجزاءآن درنتیجه قوهٔ جاذبه بسوی هم‌گرایند و بیکدیگر نزدیك شوند .**
این راهم باید دانست که اغلب اطلاعات متکی باعدادکه دربـارهٔ جهان داده

---

۱ ــ زیرا که کارمایهٔ حرکتی ذرات متحرك به تناسب جرم آنها و کارمایهٔ ذخیرهٔ متقابل آنها به تناسب مربع جرمشان تغییرمی کنند .

می‌شود خیلی‌درست نیست وممکن است‌که مطالعات‌آینده عکس این نتایج را ببخشند ، اما اگرهم جهانی‌که درحال انبساط است ناگهان ازسیربازبماند و درجهت قهقهرائی بطرف تراکم رود میلیونها سال‌لازم است تـاروز شومی‌که بقول شوخ طبعی «ستاره‌ها فروریزند» فرارسد ومادرزیرفشارکهکشانهائی‌که درحال اضمحلالند خرد وخمیرشویم .

کدام مادهٔ منفجره بود که قطعات جهان رابااین سرعت دهشت زابهر طرف‌پرتاب‌کرد؟ جواب این‌سئوال تاحدی برخلاف انتظار است:شاید هرگز انفجاری بمعنی و مفهوم معمولی کلمه وقوع نیافته باشد . امروز جهان در حال‌انبساط است بدلیل‌اینکه دریکی ازدوره‌های سابق تاریخ خـود (دوره‌ای که البته پرونده واسنادی از آن بر جای نمانده است) از مقدار بـی‌نهایت بزرگ بحالتی بسیار سنگین متراکـم ومنقبض گـردید وسپس درتحت فشار نیروهای ارتجاعی که درنهادآن ذخیره شده بودبسوی‌حالت اول بازگشت . اگرشما وارداطاق بازی‌پینگ پونگ شویدودرست دروقت ورودتوپ پینگ‌ـ پونگ رابینیدکه‌بهوا می‌رود قطعاً(بی‌آنکه واقعاً به فکرآن باشید) نتیجه خواهید گرفت‌که توپ درلحظهٔ پیش ازآنکه شماوارد اطاق شوید ازارتفاعی بهمان‌اندازه‌بزمین‌سقوط‌کرده واینك‌بسبب خاصیت‌ارتجاعی‌بهوابازمی‌گردد.

اینك می‌توانیم توسن‌خیال رابی‌آنکه مانعی بر سرراه باشد بهرجاکه بخواهیم برانیم وازخود بپرسیم‌که‌آیاآنچه در روزگار مـااتفاق می‌افتد در دوران مقدم برمرحلهٔ تراکم جهان درجهت عکس اتفاق افتاده است ؟

آیا در شش یاهشت میلیارد سال پیش شما این‌کتاب را ازآخر به اول می‌خواندید وآیامردم‌آن‌زمان جوجه سرخ‌کرده‌را ازدهان بیرون می‌آوردند ودرآشپزخانه‌بآن جان‌می‌بخشیدند وآنهارابه‌روستا می‌فرستادند تاازبزرگی بخردی‌گرایند وسرانجام درپوست تخم بخزنـد وبعد ازچند هفته تخم مـرغ تازه شوند ؟ اماباین مسائل دلپذیر ازراه علمی جوابی نمی‌توان داد زیراکه حد اعلای تراکم جهان‌که همه ماده را درهـم فشرده وبصورت هستهٔ سیال‌در آورده است بایستی تمام اسناد دوره‌های مقدم برآن را ازمیان برده باشد .

پایان

فهرست الفبائی

آ

آبه (فرضیهٔ . . .) ۱۳۲
آدامار ۳۲
آرگاند (ربر) ۳۶
آزمایش فیزو ۷۹
آکتینو اورانیوم ۱۷۹

الف

ابری خرچنگ ۳۴۲
ابریهای گازی ۲۹۴_۳۴۲
ابریهای مارپیچ ۳۰۳

اتم

اصول . . . ۱۲۰
اندازهٔ . . . ۱۲۵
پیوند . . . ۱۴۳
تفرق . . . ۱۵۳
تقسیم پذیری . . . ۱۳۵
اتم شکن ۱۷۸

اتمی

شمارهٔ . . . ۱۴۱
عکاسی . . . ۱۳۱
وزن . . . ۱۲۵
هستهٔ . . . ۱۳۸
اثر اورت ۳۰۲

احتمالات

جمع . . . ۲۲۱
حساب . . . ۲۱۸
ضرب . . . ۲۲۱
اختلاف منظر ۲۸۶
اراتستن ۲۷
ارسطو ۲۸۲
ارشمیدس ۶

ارقام

. . . رومی ۴
. . . مصری ۴
اریسترخوس ۷
استون ۱۵۶
اشترم گرن ۳۲۱
اشترن ۱۳۰
اشعهٔ کیهانی ۱۶۳
اشعهٔ گاما ۱۶۳

اشعهٔ مجهول

استحاله در نتیجهٔ . . . ۲۷۳
خواص . . . ۱۳۲
عکس برداری با . . . ۲۰۵
اصل تکمیلی بوهر ۱۵۰
اصل عدم یقین ۱۴۵
اصل عنصرها ۳۴۷
اطاق ابر ۱۸۲
اطاق ویلسن ۱۸۲

اعداد

. . . اول ۲۶

... بزرگ ۳
... بی‌نهایت ۱۵
تئوری ... ۲۶
... مختلط ۳۶
... موهوم ۳۵
اقلیدس ۲۶
التصاق ۱۷۶
الف عبری ۲۳
الکتروستاتیك(مولدهای) ۱۸۳
الکترون
تشکیل زوجهای ... ۲۰۳
جرم ... ۱۳۷
... مثبت ۱۶۳
نابود شدن ... ۱۶۳
الکترون سنگین (رجوع شود به مسون)
انباذقلس ۱۲۱
انبساط زمان ۱۰۴
انتروپی ۲۱۸_۲۳۳
انشقاق اورانیوم ۱۸۸
انشقاق پذیر ۱۹۵
انطباق تاریخهای تولد ۲۲۵
اورانیوم ۲۳۳ ۲۰۰
» ۲۳۵ ۱۹۵
» ۲۳۸ ۱۹۶
اورکا (عمل ....) ۳۴۴
اولر (لئونارد) ۲۹_۳۵
ایزوتوپها(جداشدن...) ۱۹۶

ب

باد Baade ۳۴۱
باد اثیر ۹۲
بار اولیه ۱۳۷
باستیولا ۲۵۴
بافتها ۲۴۲
باکتری ۲۴۴
بال Ball ۹
بت ۲۰۳
براون R. Brown ۲۰۳
براون T.B.Brown ۱۶۱
برگ Bragg ۱۳۱
بروستروم ۱۸۹
بروگلی ۱۵۳
بطری کلاین ۶۵
بکرل ۱۷۸
بلاکت ۱۸۶
بورن ۱۶۱
بوفن ۲۳۳
بوگیلد ۱۸۹
بوهر ۱۵۰_۱۷۵
بهاسکارا ۳۴

پ

پائولی ۱۶۷
پراوت ۱۵۵
پروتوپلاسم ۲۴۷
پروتون ۱۵۷
پروتون منفی ۱۶۰
پلوتن (فاصلهٔ ...) ۲۹۱
پلوتونیوم ۱۲۴

ت

تامسن ۱۳۶
تئوری آرمانها ۳۳
تئوری حرکتی حرارت ۱۳۱
تخمدان ۲۶۰
تراکم فیتزجرالد ۱۰۰
(اتوسنتز) ۲۴۶
تری نیتروتلوئن ۱۵۹
تسمیر Zimmer ۲۷۳
تشعشع برق ومغناطیسی ۱۴۵
تصویر هندسی ۶۸
تعادل‌زمان ومکان ۷۶
تعادل ۱۷۶
تفرق نور ۱۵۲
تکامل انواع ۲۷۲
ت . ن . ت ۱۵۹
توپولوژی ۴۶
توریوم ۱۷۸
تیموفه‌اف ۲۷۳

ج

جریان برق ۱۴۴

جهان

. . . پشت ورو شده ۶۱
سن . . . ۳۵۰

چ

چندوجهی‌ها ۴۷

چهار بعدی

اشکال ... ۷۴
کرهٔ . . . ۷۱
مسافت . . . ۸۱
مکعب . . . ۶۹

ح

حرارت (هدایت) ... ۱۴۴

حرارتی

بی نظمی . . . ۲۰۲
تجزیهٔ . . . ۲۰۸
حرکت . . . ۲۰۲
سرعتهای . . . ۱۵۰
یونیزه‌شدن.... ۲۰۸

حرکت

براونی ۲۰۳_۲۱۴.
حرارتی ۲۰۲
دائمی ۲۳۷

خ

خاکهای کمیاب ۱۴۲
خط جهانی ۷۵

خواص بازگرد ۲۸۹
خورشید (فاصلهٔ . . .) ۲۹۱

د

داروین (چارلز) ۲۷۲
دالی (سالوادر) ۶۰
دروزوفیلا ملانوگاستر ۲۴۹
دستگاه تناوبی ۱۴۲
دکارت (رنه) ۴۹
دلبروك ۲۷۳
دورهٔ کربن ۳۳۲
دو وری ۲۷۱
دیریشله ۳۳
دیوفانتس ۳۲
دیوهای آبی ۳۰۷
دیوهای سرخ ۳۳۶

ذ

ذرات اصلی ۱۶۹
ذیمقراطیس ۱۲۱-۱۳۴

ر

رابینس ۴۹
رادیوآکتیو(خانواده‌های...) ۱۷۹
رادیوآکتیوبودن ۱۷۸
رادیوم ۱۷۹
روترفورد ۱۵۷
رومر ۷۸
رید برگ ۱۳۶

ز

زمین
اندازهٔ . . . ۲۸۶
درون . . . ۳۱۴
عمر . . . ۳۱۴

ژ

ژئودزیك (خطهای...) ۱۰۹
ژنتیك ۲۵۷
ژنها ۲۵۶

س

سال نوری ۸۰
سانتروزوم ۲۴۹
سایکلوترون ۱۸۴

ستارگان
انفجار . . . ۳۴۰
تپش . . . ۳۰۴
جرمهای . . . ۳۳۵
رخشندگی . . . ۳۳۵
شعاعهای . . . ۳۲۹
عدهٔ . . . ۲۹۳
فواصل . . . ۲۹۱
منشاءکار مایهٔ . . . ۳۳۲
سترن ۱۳۰
سر جمس جنس ۳۰۶
سرزمین مستوی ۶۳
سرعت نور ۷۹

سرعت مأخذ ۷۶
سیارات
اصل‌ومنشاء ... ۳۱۶
حرکت ... ۲۹۸
زندگی در ... ۳۳۰
... ستارگان دیگر ۲۹۸
فواصل ... ۳۲۵
سوپرنواها ۳۴۰
سینگامی ۲۵۴
ش
شاپلی ۳۰۳
شتاب‌دهندهٔ خطی ۱۸۵
شتراسمان ۱۹۲
شرودینگر ۱۵۳
شعاعهای‌ملکولی ۱۲۸
شینرلمان ۳۰
شوارتزشیلد ۳۲۱_۳۳۵
شیریاخط ۲۱۸
شیمیائی
تبدلات ... ۱۲۲
عنصرهای... ۱۲۴
ص
صفات‌بازگرد ۲۶۰
صفات بی‌تفاوت ۲۶۰
صفات‌غالب ۲۶۰
صفحهٔ شطرنج ۸
صفرمطلق ۲۰۴
ف
فارادی ۱۳۶
فرما ۲۷_۲۹
فضا
ابعاد ۴۵
...بازوبسته ۱۱۴
تقارن ... ۶۲
...کروی ۵۵
فلزات ۱۴۴
فلورانس ۷۷
فلوکتواسیون (رجوع شود به موج زدن)
فیتزجرالد ۱۰۰
فیزو ۷۹
فیزیك کوانتوم ۱۴۹
فیثاغورس (مثلثهای) ۳۲
ق
قارچها ۲۴۴
قواعد هندسی نور ۱۵۲
ک
کاردان ۳۵
کانت ۳۱۷
کانتور ۱۵
کروماتین ۲۴۷
کروموزوم ۲۴۷
کوانتوم ۱۴۹

کوتوله‌های سفید ۳۳۷
کوتوله‌های سیاه ۳۳۷
کوران ۴۹
کوری رنگ ۲۵۷
کهکشان
دوران ... ۳۰۲
مرکز ... ۲۹۷
کهکشانها
تکامل... ۳۰۷
شکل... ۳۰۶
عدد... ۳۱۰
کیلومتر نوری ۸۰
کیمیا ۱۲۴
گ
گازهای کمیاب ۱۴۴
گاسترولا ۲۵۴
گالیله ۷۷
گامتها ۲۵۴
گردش‌مست ۲۱۱
گلدباخ ۲۹
ل
لاپلاس ۳۱۷
لازارینی ۲۳۳
لاوریتسن ۱۸۹
م
مادهٔ معکوس ۱۶۴
مارك تواین ۲۰۷
ماژلان ۲۸۵
ماشین‌چاپ ۱۳
ماکس‌ول ۳۱۸
مانت‌ویلسن ۲۹۴
ماه(فاصله...) ۲۸۹
مایکلسن(آزمایش) ۹۳
مختصات
تعریف... ۴۳
... قطبی ۴۴
... قائم الزاویه ۴۴
مدارهای الکترون ۱۶۱
مدارهای بیضی شکل ۱۴۳
مراة المسلسله ۳۰۴
مسئلهٔ جستجوی گنج ۳۷
مسئلهٔ رنگ ۵۳
مسئله‌معبد بنارس ۹
مقایسه بی‌نهایت‌ها ۱۶
مکانیك کوانتومها (رجوع شود به میکرومکانیك)
مکانیك‌موجی ۱۴۵
ملکولها ۱۲۱
ملکولهای ایزومری ۲۷۳
ملکولهای معکوس ۱۶۵
مندل ۲۶۱
مندلیف ۱۴۱
موبیوس(سطح) ۶۵
موتاسیون ۲۷۲
موج‌زدن ۲۳۸
مورگان ۲۶۵
مولتن ۲۱۹