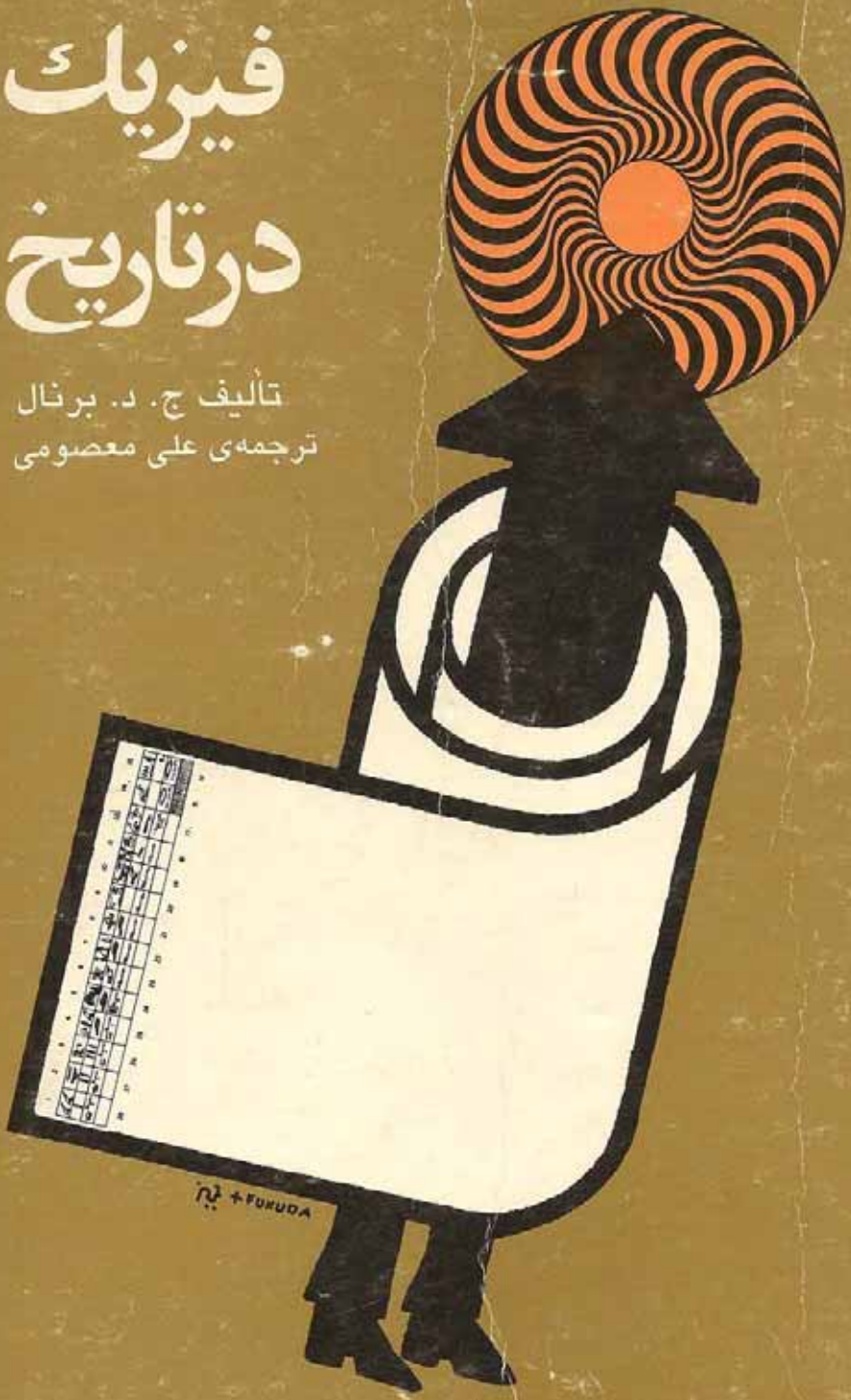
فیزیک در تاریخ

تألیف ج. د. برنال
ترجمه‌ی علی معصومی



فیزیک در تاریخ

تألیف ج. د. برنال

ترجمه‌ی علی معصومی

The Extension of man
J.D.Bernal
paladin, 1973

فیزیک در تاریخ
مؤلف: ج.د. برنال
مترجم: علی معصومی
ویراستار: بهرام معلّمی
چاپ اوّل: ۱۳۷۲
تعداد: ۳۰۰۰ نسخه
حروفچینی: فرهنگان
لیتوگرافی: شاهین
چاپ و صحافی: کارون
حق چاپ و نشر محفوظ و متعلّق است به:

انتشارات فرهنگان

تهران ۱۵۹۱۶ ـ خیابان انقلاب، خیابان انوشیروان، شماره‌ی ۲/۵۲، تلفن: ۶۴۶۰۰۶۹

برنال، جان‌دزموند، ۱۹۰۱ـ Bernal, John Desmond
فیزیک در تاریخ / ج.د.برنال؛ ترجمه‌ی علی معصومی.ـ تهران: فرهنگان، ۱۳۷۲.
عنوان اصلی: The extension of man: a history of physics before 1900.
۱. فیزیک ـ تاریخ. الف. معصومی، علی، ، مترجم.ب.عنوان.
۹ف ۴ب/QC۷ ۵۳۰/۰۹

طرّاح جلد: مرتضی ممیّز

چند نکته

۱ـ پیش از این، دو کتاب از این نویسنده به فارسی در آمده است: یکی «علم در تاریخ» و دیگری «جهان بدون جنگ».

۲ـ کتاب حاضر در اصل «امتداد انسان» نام دارد و جزوه‌ی درسی تاریخ فیزیک استاد در کالج برک بک است. بنابراین، در فهرست‌های مختصر آثار ایشان در فارسی، نامی از آن نمی‌بینید. مترجم عنوان «فیزیک در تاریخ» را در فارسی مناسب‌تر یافت.

۳ـ جان دزموند برنال یک‌سالی پس از آغاز سده‌ی بیستم در ایرلند به دنیا آمد. تحصیلات دانشگاهی خود را در رشته‌ی فیزیک با تخصّص در بلورشناسی به پایان برد و به استادی فیزیک در دانشگاه لندن و عضویّت در انجمن پادشاهی رسید. در زمینه‌ی علم و تاریخ و امور اجتماعی صاحب بصیرت بود. عمده‌ترین آثار او عبارتند از:

۱) جهان و تن و شیطان ۱۹۲۹
۲) عملکردهای اجتماعی علم ۱۹۳۹
۳) آزادی و ضرورت ۱۹۴۹
٤) بنیان‌های فیزیکی زندگی ۱۹۵۱
۵) علم و صنعت در سده‌ی نوزدهم ۱۹۵۳
٦) جهان بدون جنگ ۱۹۵۸
۷) سرچشمه‌ی زندگی ۱۹٦۷

برنال در سال ۱۹۷۱ جهان را به‌درود گفت.

علی معصومی
۱۳۷۲

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
سخن ناشر	هشت
سخن مؤلّف	۱
۱ـ مقدّمه: فیزیک چیست؟	۵
جدایی علوم ۷؛ ماهیّت علم فیزیک ۸؛ بینایی آدمی ۱۰؛ حس عضلانی۱۱؛ نیرو ۱۲؛ شنوایی ۱۳؛ لمس کردن ۱۴؛ حسّ دما ۱۶؛ جنبه‌های اجتماعی علم فیزیک ۱۷؛ عناصر اربعه ۱۹؛ مشاهده‌ی افلاک ۲۰؛ اندازه‌گیری ۲۲؛ آزمایش ۲۶؛ نظریه‌پردازی ۲۹؛ فیزیک نوین۳۱.	
۲ـ علم باستان	۳۵
منشاء جامعه‌ی بشری ۳۸؛ سلاح ۴۰؛ آتش ۴۴؛ انقلاب کشاورزی ۴۸؛ ترازو ۵۱؛ چرخ ۵۴؛ آسیاب آبی ۶۶؛ پنوماتیک۶۸.	
۳ـ سرچشمه‌های علم باستان	۳۷
تقویم ۷۴؛ یونانیان ۷۷؛ گرفتگی خورشید و ماه (کسوف و	

خسوف) ۷۹؛ محاسبه ۷۹؛ علم یونانی ۸۱؛ فیلسوفان ۸۵؛ فیثاغورث ۸۶؛ عناصر ۹۰.

۴ـ فیزیک یونانی ۹۵
اتم ۹۸؛ جبّاران ۱۰۲؛ آکادمی ۱۰۴؛ ارسطو ۱۰۵؛ موزئوم (موزه) ۱۰۸؛ ارشمیدوس ۱۱۱؛ زمین گرد ۱۱۳؛ میراث دنیای کلاسیک ۱۱۹.

۵ـ فیزیک در قرون وسطیٰ ۱۲۳
گسترش هِلنیسم (یونانی‌گری) ۱۲۵؛ علم در سرزمین‌های اسلامی ۱۳۰؛ شیمی ۱۳۳؛ نورشناخت ۱۳۴؛ صناعت در قرون وسطیٰ ۱۴۰؛ یراق جدیداسب ۱۴۵؛ مغناطیس ۱۴۸.

۶ـ فیزیک خورشیدْ مرکزی ۱۵۸
دگرگونی در اروپا ۱۶۲؛ انقلاب کشاورزی ۱۶۴؛ انقلاب در نجوم ۱۸۱؛دریانوردی ۱۸۵؛ انقلاب کُپرنیکی ۱۸۹.

۷ـ علم و دین ۱۹۵
تیکوبراهه ۱۹۶؛ یوهان کپلر ۲۰۱؛ گالیلئو گالیله ۲۰۶؛ بنیان‌گذاری دینامیک ۲۱۴؛ قوانین سقوط اجسام ۲۲۱؛ گالیله و محکمه‌ی تفتیش عقاید ۲۲۹.

۸ـ تولّد دینامیک ۲۳۳
ایزاک نیوتون ۲۳۴؛ انجمن‌های علمی ۲۳۸؛ حساب دیفرانسیل و انتگرال (حساب جامعه و فاضله) ۲۵۳؛ لختی (ماند) ۲۵۷؛ دینامیک منظومه‌ی شمسی ۲۶۰؛ کتاب اصول (پرینکیپیا) ۲۶۲.

۹ـ ماهیّت نور و رنگ ۲۶۹
پدیده‌های مربوط به منشور ۲۷۱؛ سرعت سیر نور ۲۷۸؛ کریستین

هویگنس ۲۷۹؛ حلقه‌های نیوتون ۲۸۵؛ پراش (تفرّق) ۲۸۹؛ فلسفه‌ی نیوتون۲۹۶.

۱۰ـ ظهور ماشین بخار و نظریه‌ی گرما ۲۹۹
تلمبه‌ی خلأ ۳۰۱؛ فنر هوا ۳۱۶؛ دِنی‌پاپن ۳۱۷؛ کاپیتان ساوری ۳۲۱؛ توماس نیوکامن ۳۲۴؛ گرمای نهان: جوزِف بِلک۳۲۹؛ جیمزوات: چگالنده‌ی مجزّا ۳۳۰؛ ماتیوبولتن ۳۳۲؛ لوکوموتیو۳۳۸.

۱۱ـ الکتریسته و مغناطیس ۳۴۳
رابرت‌نورمن ۳۴۴؛ ویلیام گیلبرت ۳۴۶؛ الکتریسته و خلأ ۳۴۹؛ استیفن گِرِی ۳۵۱؛ بطری‌لید ۳۵۴؛ بنجامین فرانکلین ۳۵۷؛ گالوانی: الکتریسته‌ی حیوانی ۳۶۱؛ ولتا: باتری الکتریکی ۳۶۴؛ مؤسّسه‌ی سلطنتی ۳۶۶؛ رکود در پیشرفت مباحث الکتریکی۳۶۸

۱۲ـ نتیجه‌گیری ۳۷۳
ارتباط درونی نیروهای طبیعی ۳۷۵؛ بقای انرژی ۳۷۸؛ ریشه‌های فیزیک جدید ۳۸۲؛ عصر جدید در فیزیک۳۸۳.

فهرست راهنما ۳۸۶

سخن ناشر

تاریخ فقط آموزنده نیست، سازنده نیز هست ـ به‌ویژه برای ما که، فعلاً، مصرف‌کننده‌ی علم و فنِ دیگران هستیم ولی امید داریم و تلاش می‌کنیم تا، مثل گذشته‌ها، تولیدکننده‌ی علم و فن نیز بشویم. آگاهی بر تاریخ هر علم، از جویندگانِ آن علم انسان‌هایی می‌سازد با بصیرتی گسترده‌تر، و آگاه نسبت به دانگی که هر قوم ـ از جمله، گذشتگانِ خودی ـ در آفرینشِ علم گذاشته‌اند؛ و اگر این جویندگان از ملّتی چون ما باشند آنان را در برابر این پرسش قرار می‌دهد که: چرا از تولید علم و فن باز ایستادیم؟ و اکنون چه کنیم؟

انتشار این کتاب را از همین رو پذیرفتیم. باشد که، در شرایطی که در اکثرِ نزدیک‌به‌اتّفاقِ رشته‌های علوم ـ از جمله فیزیک، این علمِ پایه ـ جای آموزشِ تاریخِ آن رشته‌ها در دانشگاه‌های ما خالی‌ست، این کتاب اندکی از آن خلأ را پُر کند. هرچند این کتاب از اکثرِ تعصّباتِ معمولِ غربیان که آغازِ علم را از یونان معرّفی می‌کنند خالی‌ست، بازهم حقّ مطلب را در موردِ دانگِ شرق در فیزیک ادا نکرده ـ یا جای کافی نداشته تا برای مخاطبانِ غربیِ خود ادا کند. رفعِ این کمبود نیز بر ما و پژوهندگانِ ماست.

نثرِ انگلیسیِ کتاب، چون درسِ سرِ کلاس بوده، بسیار به محاوره‌یی نزدیک است، ولی ترجمه‌ی فارسی، علی‌رغمِ سعیِ ویراستار، آقای معلّمی، و دیگرانی پس از ایشان، «کتابی» مانده است. امیدواریم با توجّه به این‌که زبانِ علمیِ ما هنوز از حالت «کتابی» زیاد در نیامده، این نکته نقصِ عظیمی تلقّی نشود.

انتشارات فرهنگان

سخن مؤلّف

این کتاب گردآمده‌ی چند درس در مورد تاریخ و ماهیّت فیزیک تجربی است که به دانشجویان سال اوّل رشته‌ی فیزیک دوره‌ی *مایکل‌مس*[1] کالج برک‌بک[2] عرضه شده است و اینک با انشای خودم ارائه می‌شود. هدف آن است که تاریخ علم فیزیک تا پایان سده‌ی نوزدهم، یعنی پایان عصر فیزیک کلاسیک، پیش از کشف اتم و نسبیت، بررسی شود. کشف اتم و نسبیّت، تغییری را رقم زد که اگر از تحوّلات حاصل از «رنسانس» بزرگ‌تر نباشد، دست کمی از آنها ندارد و عنوان نخستین «انقلاب علمی» برازنده‌ی آن است.

من احساس می‌کنم که در برابر اعتبار و وجهه‌ی کشفیّات جدید، احتمالاً بخش بزرگی از موضوعات قدیم‌تر این علم از یادها خواهد رفت، و لازم است برای زنده نگه داشتن آنها در ذهن فیزیکدانهای جدید فکری بشود تا چگونگی

۱- Michaelmas : ترمِ پاییزه در کالج برک‌بک که از روز ۲۹ سپتامبر آغاز می‌شود.

2- Birkbeck College

تکامل فیزیک ــ به عنوان ماحصل تأثیر متقابل ضرورت‌های دریانوردی و علم توپخانه از یک‌سو و تکامل اندیشه‌های فلسفی و دینی از سوی دیگر ــ روشن بماند.

بخش عمده‌یی از فیزیک نوین را مطالب نظری تشکیل می‌دهد که حاصل کاربرد روش‌های پیچیده‌ی ریاضی است، و سهم آزمایش در این علم الزاماً کاهش یافته است. ظاهراً این وضع تناقض‌آمیز به‌نظر می‌رسد؛ چه در عصر حاضر آزمایش‌های فیزیکی از همیشه پیچیده‌تر و گرانتر است. من دامنه‌ی این سلسله‌درس‌ها را به زمان کنونی نکشانده‌ام و البتّه دلیل این امر بی‌علاقگی نبوده است، بلکه از آنجا که می‌دانستم در دیگر درس‌های بخش فیزیک کالج مرتباً در مورد آن بحث می‌شود از دوباره‌کاری پرهیز کرده‌ام.

در این کار ناگزیر عنصری تاریخی وارد می‌شود، اما ورود آن روال متفاوتی دارد؛ چون بانیان دگرگونی‌های بزرگ سده‌ی بیستم یعنی *رادرفورد*، بور، پلانک و *اینشتین* اخیراً وفات یافته‌اند و معاصر به حساب می‌آیند، کارشان در خطر فراموشی نیست.[1]

در تدریس شفاهی، نمی‌توان کلّ موضوع را به همان آراستگی که در یک کتاب عرضه می‌شود ارائه کرد. علاوه‌بر تفاوت‌هایی که میان زبان محاوره و زبان مکتوب وجود دارد، در بیان شفاهی مطالب تاریخی ناچار باید سادگی و ایجاز را مراعات کرد. در این کتاب، همین مطالب ساده‌شده را بدون حک و اصلاح، اما مبتنی بر مطالعاتی که سال‌ها داشته‌ام، عرضه کرده‌ام.[2]

سعی من بـراین بوده است که نشان دهم افکار گذشتگان دور، بیش از آنکه تصوّر می‌رود، با علم مناسبت دارد. مثلاً: مفهوم «اتم» علاوه بر آن که از

۱ــ این کتاب سلسله‌درس‌هایی است که برنال در دهه‌ی شصت، که از مرگ اینشتین و پلانک زمان درازی نمی‌گذشت، ایراد کرده است.

۲ــ به کتاب‌های *علم در تاریخ* و *علم و صنعت در سده‌ی نوزدهم* نوشته‌ی ج. د. برنال نگاه کنید. [ــ*علم در تاریخ*، ترجمهٔ ج. اسدپور پیرانفر (و دیگران)، تهران، امیرکبیر، ۱۳۵٤ شمسی. ــ م.]

لحاظ زبانی میراث‌خوار *ذیمقراطیس* (دموکریتوس) یونانی است، با مفهوم «اتم» در فیزیک جدید ارتباطی ناگسستنی دارد. یا اندیشه‌های فیلسوفانی چون *افلاطون* و *ارسطو*، با همه‌ی تخیّلی بودنشان، بر سراسر جریان تکامل علم فیزیک تأثیر داشته‌اند. بسیاری از پیشرفت‌های علم فیزیک عبارت از نقد و ردّ این اندیشه‌هاست. بدین ترتیب، حتّی اندیشه‌های غلط آنها هم به نحوی در غنای معرفت بعدی نقش داشته است.

روش‌های علم فیزیک هم مانند برخی مفاهیم آن، ریشه در اعصار باستان دارد. روش تجربی به‌خودی خود بخشی از فعّالیّت‌های سازندگی بشر به‌شمار می‌آید و طبعاً از سودمندی عملی آن جدایی‌پذیر نیست. تکامل توپ‌ها و ماشین‌های بخار، هر دو محصول تلمبه‌های آبی عهد عتیق هستند که برای آبیاری یا نواختن ارگ بادی به‌کار می‌رفت. در آغاز، علم فیزیک عبارت بود از تدوین دستاوردهای کار صنعتگران؛ امّا در عصر جدید عکس این فرایند روی می‌دهد: تکنولوژی عبارت است از فیزیک کاربردی. مفاهیم بنیادی مانند **کار** و **انرژی**، در اصل از حوزه‌ی عمل به‌عرصه‌ی نظر وارد شده‌اند. حتّی پیدایش ماشین بخار هم، که به علّت شناخت خلأ به حق ماشین فلسفی خوانده می‌شد، جز از راه تجارب عملی آهنکارانی چون نیو *کامن دارتموتی*[1] امکان‌پذیر نبود.

اعتقاد من این بوده است که تاریخ، مدخل مناسبی برای آشنایی با مفاهیم فیزیکی است. امیدوارم خوانندگان این کتاب موفّق شوند دست کم بخشی از ارتباط متقابل جنبه‌های نظری و عملی این علم را دریابند.

ج. د. برنال

۱ـ آهنکار انگلیسی مخترع ماشین بخاری که پیستون‌های آن با فشار هوا کار می‌کرد (۱۷۲۹ـ۱۶۶۳)ـ م.

۱

مقدّمه: فیزیک چیست؟

این چند فصل، مبتنی بر درس‌هایی است که به‌عنوان یک دوره‌ی مقدّماتی کوتاه با هدف توضیح اهمیّت علم فیزیک تجربی و چگونگی رسیدن آن به مرتبه‌ی علم تجربی، ارائه شده است. این درس‌ها را از آن رو تدریس کرده‌ام که نه تنها داشتن تصوّری از فیزیک را مفید می‌دانم، بلکه تأمّل در مورد چگونگی رسیدن انسان به شیوه‌ی موجود تفکّر و کیفیّت بستگی کلّ جریان علم فیزیک به تاریخچه‌ی آن را هم سودمند می‌شمارم. زبان علم فیزیک در بستر تاریخ علم فیزیک تکامل یافته است. این امر از یک‌سو با تکامل وسیله‌های عملی و از سوی دیگر با تکامل تفکّر انسان در حوزه‌ی فلسفه ارتباط دارد.

ما با این خطر مواجهیم که علم را مجموعه‌یی از دانستنی‌های پراکنده بدانیم. علم مظهر معرفت ماست؛ چیزی است که می‌توانیم آن را مستقیماً در

عمل به‌کار گیریم و مهم‌تر از همه، مبنایی است برای پی بردن به امور دیگر. در عصر حاضر علم کلاً همین است که گفتیم و به‌نظر من، تا سالیان دراز به طور روزافزون همین نقش را خواهد داشت؛ امّا علم خیلی فراتر از این چیزهاست. علم چون رودی بسیار تندرو، جاری است. حال، حداکثر چیزی که می‌توان از آن دانست، شناختن جریان رود در جایی است که ایستاده‌ایم و احتمالاً پی بردن به اینکه در مجموع مسیر آتی آن چگونه خواهد بود. نمی‌توان رویدادهای آینده را پیشگویی کرد، امّا باید برای رویارویی با آنها آماده شد. بدین سبب، در آموزش علم، بخصوص در تدریس فیزیک، باید این جنبه‌ی تاریخی را به حساب آورد.

بررسی عملی مآخذ موجود، نشان می‌دهد که نیمه‌عمر یک مقاله‌ی معمولی و متعارف در رشته‌ی فیزیک به‌طور متوسّط به دو سال و نیم می‌رسد؛ و پس از این مدّت احتمال مراجعه به این مقاله بسیار کاهش می‌یابد. البتّه اگر این ادّعا بدون کم و کاست درست باشد، بهره‌یی که از یک دوره فیزیک به دست می‌آید باید در هنگام رسیدن به پایان دوره برباد رفته باشد. امّا اوضاع این قدرها هم وخیم نیست، چون مقاله‌ها به دانش جدید مربوط می‌شوند. حتّی اگر معرفت جدیدتر، از مفاد این مقاله‌ها پیشی بگیرد، باز هم دانش قبلی ــ در صورتی که به نحو شایسته‌یی تفسیر شود ــ همچنان کارساز خواهد ماند.

به عنوان مثال، ما هنوز هم درباره‌ی «اتم» صحبت می‌کنیم، اما دیگر چون مردم یونان باستان یا مردم عهد ویکتوریا آن را جاودان و تغییرناپذیر نمی‌شماریم. امروز گرچه این نکته را بیش از اندازه مسلّم می‌شمارند که اتم ابدی نیست و می‌تواند به شدّت و ناگهان تغییر کند؛ امّا هنوز هم صحبت کردن درباره‌ی آن سودهایی دارد. درست همان طور که آدمی پیش از احاطه بر علم کالبدشناسی یا تکامل، می‌توانست در مورد انسان و گربه صحبت کند. اصطلاحات و شیوه‌های تفکر قدیمی هنوز هم مفیدند. بیشتر اعمالی را که دانشجویان در جوانب ریاضی علم فیزیک انجام می‌دهند، می‌توان در کتاب *اصول* **نیوتون** یافت. ایده‌ی بنیادی علم دینامیک، معادلات حرکت، و

مفاهیمی نظیر اندازه‌حرکت، لختی، جرم و شتاب، که نیوتون آنها را در مورد اجسام بزرگی چون ماه و زمین یا اجسام متوسطی چون گلوله‌های توپ به کار می‌برد، در هنگام سروکار پیدا کردن با اجسامِ ریزِ فرضی مانند اتم یا حتّی چیزهای ریزتری نظیر ذرّات بنیادی تشکیل‌دهنده‌ی اتم و چیزهایی نظیر ذرّات نور، یعنی فوتون‌ها که نمی‌توان آنها را جرم‌های مادّی دانست، به کار آمد. پس گذشته در فیزیک همچنان زنده است و جا دارد که به‌هنگام یادگیری کاربرد آن، تصویر گذشته را در وضع امروزی فیزیک ببینیم.

جدایی علوم

پس از این مقدّمه‌ی کوتاه، مستقیماً به سراغ خود فیزیک می‌رویم که با دیگر شاخه‌های علوم متفاوت است. امروز چگونه فیزیک را، به سهولت، از شیمی یا ریاضیّات تمیز می‌دهیم؟ قبلاً تمیز این علوم از یکدیگر آسان‌تر بود. در ایّام بالندگی علم جدید، یعنی از زمان گالیله تا عصر نیوتون، همه‌ی علوم به هم پیوسته بودند. فردی نظیر **هوک** می‌توانست در ریاضیات، فیزیک، شیمی و حتّی زیست‌شناسیِ محض پژوهش‌های از هرحیث درجه‌ی اوّلی داشته باشد. در اواخر این دوره، جدا شدن علوم از یکدیگر شروع شد و این جدایی هر روز بیشتر شد. از آغاز سده‌ی نوزدهم تا چهل سال پیش[1]، یعنی هنگامی که من دانشجوی کمبریج بودم، دانشکده‌های علوم مختلف به کلّی از یکدیگر جدا بودند امّا نشانه‌هایی از نزدیکی مجدّد آنها به چشم می‌خورد.

در این لحظه ما شاهد همگرایی عظیم تمام علوم هستیم. امروز اگر کسی بخواهد زیست‌شناس خوبی شود، نه تنها باید بر فیزیک دبیرستانی بلکه بر بسیاری از مفاهیم فیزیک نوین، یعنی مکانیک کوانتومی و نظایر آن، و بر بسیاری از مفاهیم علم شیمی به‌عنوان مبنای زیست‌شیمی احاطه یابد. از سوی دیگر، فیزیکدان ــ حتّی در صورتی هم که زیست‌شناسی بخشی از موضوع

۱ــ توجّه داشته باشیم که این کتاب در سال ۱۹۷۳ انتشار یافته است. ــ م.

دانش او نباشد ــ برای انجام اموری که به زیست‌فیزیک مربوط می‌شود، ناگزیر است مقداری زیست‌شناسی بداند. مسئله‌یی که امروز بیش از آنکه به خود علم فیزیک مربوط باشد به فیزیکدان مربوط می‌شود، ناشی از نفوذ روزافزون فیزیک در سایر بخش‌های علم است. این امر تاحدودی بانام رشته‌های «دورگه‌ی» علمی روشن می‌شود. مدّت‌ها علمی به‌نام شیمی-فیزیک داشته‌ییم؛ و امروز علمی به نام فیزیک شیمیایی داریم، که علمی کاملاً متفاوت است و تفاوت آن معلول نسبت‌های متفاوت فیزیک و شیمی موجود در آن نیست، بلکه ناشی از تمرکز آن بر کمک به علم شیمی در درجه‌ی نخست و بسط گستره‌ی علم فیزیک در درجه‌ی بعد است.

امروز زیست‌فیزیک و زیست‌شیمی هم داریم. می‌بینیم که از یک‌سو فیزیک به سوی زیست‌شناسی دامن می‌کشد، و از سوی دیگر جنبه‌های ریاضی علم فیزیک روز به روز مهم‌تر می‌شود؛ به خصوص این روزها که همزیستی رو به رشدی میان فیزیک و ریاضیّات در کامپیوتر ایجاد شده است. در کامپیوتر، هم با عنصر فیزیکی محض که در اجزای دستگاه به‌کار رفته است سروکار داریم، و هم با عنصر ریاضی که در منطق ریاضی عملیّات آن جلوه می‌کند. برای پروراندن و ساخت ترانزیستور یا اجزای حافظه‌ی مغناطیسی یا وسیله‌های جدیدی که جانشین آنها خواهد شد، به علم فیزیک نیاز داریم. امّا با وجود آنکه ارتباط میان کامپیوترها، با سیم‌ها و مدارهای چاپی برقرار می‌شود، در طراحی و برپایی آنها به ریاضیّات محض نیازمندیم.

ماهیّت علم فیزیک

مقدّم بر هر چیز، و پیش از تعریف کردن فیزیک، باید بگویم که تعریف این علم بسیار دشوار است. البتّه می‌توان همواره به این نکته توسّل جست و ساده‌ترین شیوه‌ی تعریف را چنین ارائه کرد: فیزیک موضوعی است محدود. برای کسانی که می‌خواهند در امتحانات شرکت کنند، فیزیک عبارت است از مباحث گرما، نور، صوت، الکتریسیته، مغناطیس و کمی هم فیزیک اتمی.

اینجا نیز توجّه ما بر همین موضوعات معطوف است و پیدایش فیزیک را در این زمینه‌ها بررسی می‌کنیم.

ما از این بخش خاص از معرفت و تجربه طرحی اجمالی ترسیم می‌کنیم و آن را *علم فیزیک* می‌خوانیم؛ زیرا این علم، در درجه‌ی نخست با آنچه می‌توان آن‌را بسط آرایش حسّی-حرکتی انسان نامید سر و کار دارد. اگر آدمی را از همه چیز محروم کنیم و تمام ابزار و پوشاک او را بگیریم و کاری کنیم که به قول *یاگان‌های منطقه‌ی تیرا دل فوئه‌گو*[1] به «تنها بدن» تبدیل شود، باز هم گنجینه‌ی عظیمی از *وسایل فیزیکی* ، یعنی اندام‌های حسّی که وظیفه‌ی ثبت جهان خارج و انجام فعّالیّت‌های عضلانی برای تغییر آن‌را بر عهده دارند، در اختیار خواهد داشت. علاوه بر اینها، وسایل پیچیده‌تر *شیمیایی* برای گوارش و بقای سوخت و ساز در اختیار اوست که البتّه شناخت اینها اخیراً به یاری علم «زیست‌شیمی» تا حدّی صورت گرفته است. امّا دستگاه فیزیکی حسّی-ماهیچه‌یی بیشتر قابل شناخت است، یا دست کم می‌توان آن‌را نقطه‌ی آغاز ادراک عقلی جهان توسّط انسان دانست، که می‌گویند *فیزیک* از اینجا شروع شده است.

برای درآمیختن تجارب حرکتی و حسّی، باید از بینایی آغاز کنیم. البتّه در تکامل جانوران، حس بینایی بسیار دیر پیدا شد. جانوران اوّلیّه چندان به بینایی متّکی نبودند، و امرشان بیشتر از طریق بویایی می‌گذشت، که شیوه‌ی بسیار ظریف‌تر و حساس‌تر و متنوع‌تری برای شناخت پیرامون است. امّا این حس بیش از آنکه فیزیکی باشد، شیمیایی است. پیداست که نمی‌توان درباره‌ی «بو» به مباحثه پرداخت: چون بو نمی‌تواند مبدأ استنتاج باشد؛ بویایی کلاً از تمیز و تشخیص، یادآوری و تداعی‌های دقیق و باریک تشکیل شده است. امّا در مورد بینایی می‌توان به بحث برخاست: می‌توان فلان شیء را نزدیک و شیء

۱ـ یاگان‌ها (Yahgan of Tierra del Fuego) قبیله‌ی کم‌جمعیّت سرخ‌پوست آمریکای جنوبی بودند که به‌صورت پراکنده در ساحل «تیرا دل فوئه‌گو» و جزایر «کیپ‌هورن» زندگی می‌کردند ــ م.

دیگر را دور دانست، می‌توان چیزی را در این‌سو و چیز دیگر را در آن‌سو به حساب آورد، و می‌توان دید را به حرکت مربوط کرد. یکی از دستاوردهای عظیم فیزیک عملی، که تجربه‌یی است مربوط به دوران پیش از انسان اندیشه‌ورز، عمل پرتاب است، به خصوص پرتاب شیئی به سوی یک نشانه و زدن آن.

دستاورد بسیار مشابه دیگر، پریدن به حالت سقوط آزاد است. جانوران اوّلیّه، مدّت مدیدی پس از خروج از آب دریا، با قرار دادن یک پا در جلوی پای دیگر به تمرین راه رفتن و ایجاد یک مکانیسم درونی برای انتظام این رفتار می‌پرداختند. امّا جهیدن موضوع دیگری است. پشه‌ها و کک‌ها می‌جهند و برایشان مهم نیست که پس از جهیدن در چه نقطه‌یی فرود آیند، اما میمون در جهشی که گاهی تا چهار متر می‌رسد و در پایان آن شاخه‌یی را به چنگ می‌گیرد و از آن می‌آویزد، به سطح بسیار رفیعی از هماهنگی چشم و دست، که مهنای فیزیولوژیکی علم فیزیک به‌شمار می‌آید، نیاز دارد. مرحله‌ی بعدی تکامل انسان، هنگامی فرا رسید که وی موفّق شد نه تنها تَرکِه‌های چوب را پرتاب کند بلکه آن‌ها را در دست نگه دارد و به کار بَرَد. آدمی قطعات چوب را برای سیخ زدن و سوراخ کردن و ضربه زدن به کار می‌برد. کاربرد قطعه چوب و سنگ در درجه‌ی نخست، بسط و تعمیم کارایی چارچوب پیکر آدمی یعنی دست و پا و اندام‌های حسّی اوست. انسان برهنه و بی‌وسایل، با دست‌ها و دندان‌های خود می‌تواند کارهای معیّنی را انجام دهد. امّا همین که به چوب و سنگ مجهز شود، می‌تواند به کارهای مهمی دست یازد.

بینایی آدمی

بسط فیزیکی آگاهی و فعّالیّت آدمی، نخست در زمینه‌ی فعّالیّت‌های عضلانی روی داد و پس از آن نوبت به جنبه‌های حسّی رسید. آینه و عدسی مدت‌ها پس از ابزار پدید آمدند. با این همه، برد حواس انسان در مسیر شناخت جهان، حتی هنگامی که به لوازم کمکی مجهز نیست، تا دوردست‌ها می‌رود. بینایی در این

مورد جای ویژه‌یی دارد. علّت آن است که بینایی انسان، همانقدر که در چشم جای دارد، در مغز متمرکز است. مغز در جریان تکامل، صاحب یک دستگاه درونی تحلیل گر تصویرهای شبکیه می‌شود. همین تحلیل گر، لکّه‌های متحرّک و رنگارنگ را به دنیایی از اشیای قابل تمیز و قابل کاربرد تبدیل می کند.

در حقیقت ما نمی‌توانیم اشیا را به شیوه‌ی ایستا ببینیم؛ شیوه‌ی بینایی ما بیشتر پویاست. اگر می‌توانستیم چشم را با وسیله‌یی بر روی یک جسم ثابت نگـه‌داریم، اصـلاً نمی‌توانستیم آن جسم را ببینیم. چشم نمی‌تواند نور را ثبت کند و تنها تغییرات روشنایی را آشکارسازی می‌کند؛ چشم همواره به اطراف می‌چرخد، و رویدادهای جهان خارج را می‌پاید. دیدن را نمی‌توان ادراک منفعل دانست؛ دیدن یک عمل است. دانشمندان باستان همواره دیدن را عمل می‌شمرده‌اند؛ تا سال‌ها تصوّر می‌کردند اجسام به کمک چیزی که از چشم خارج می‌شوند و باریکه‌ی نوری یا نور بصر نام دارد، دیده می‌شوند. این نور به جسم برخورد می‌کند و آن‌را به سوی آدم می‌آورد، و بدین ترتیب، رؤیت صورت می‌پذیرد. طبق این نظر، چشم یک وسیله‌ی قدرتمند جادویی است. البتّه اگر این نظر درست می‌بود، چشم به هنگام دیدن افراد می‌توانست آسیب‌های فراوانی بر آنها وارد آورد. همه‌ی این توضیحات برای توجیه و تعلیل امری ارائه می‌شد که ما امروز آن را دیدن می‌خوانیم، و این موضوع ما را به مسئله‌ی حرکت می کشاند.

حسّ عضلانی

حرکت عضلانی بخشی از احساس و بخشی از فعّالیّت ماست. همواره از پنج حس گفتگو می‌شود، اما می‌توان گفت که تعداد حواس ما به هفت می‌رسد که یکی از آنها خود حس عضلانی است. در ماهیچه‌های انسان کشش‌سنج‌هایی تعبیه شده است که می‌تواند نیروهایی را که بر آنها وارد می‌آید اندازه‌گیری کند. درون هر ماهیچه، اندام‌های ریزی به نام رشته‌های دوکی وجود دارد که اعصاب مربوط به آنها از عصب‌های حرکت‌دهنده‌ی ماهیچه جداست و به

کمک آنها می‌توان میزان کشیدگی ماهیچه را در هر لحظه تعیین کرد. ما حتّی هنگامی که اندام‌های خود را حرکت نمی‌دهیم، پیام‌هایی به سوی ماهیچه‌ها می‌فرستیم. اندام‌ها چنان به دقّت متعادل شده‌اند که ماهیچه‌هایشان در یک آرایش دوتایی، نظیر تاکننده‌ها و بازکننده‌ها، به‌طور دقیق و فعّال دارای تعادل موزونی شوند. به همین دلیل، بدون آنکه از جای خود حرکت کنیم، می‌توانیم وزن اجسام را با دست بسنجیم. هنگامی که جسمی را با دست بالا می‌کشیم، بیش از زمانی که دست به حالت آزاد آویزان است به سوی ماهیچه‌های آن فرمان می‌فرستیم، و به این ترتیب حالتی پایدار ایجاد می‌کنیم. تفاوت احساس در رشته‌های دوکی در این دو حالت، تعیین‌کننده‌ی وزن است. علم قدیمی جرّاثقال درواقع بیان پیچیده‌تری بود از شیوه‌های بلند کردن اجسام توسّط اهرم، قرقره، چرخ و محور، سطح شیبدار و پیچ. بعداً خواهیم دید که چگونه با کاربرد این ابزارهای ساده و بسیار سودمند، مکانیکی کمّی بنیاد نهاده شد که در درجه‌ی نخست بر انرژی انسانی متّکی بود. در این مسیر، نخستین گام با مطالعه‌ی کاربرد اهرم به صورت ترازو برداشته شد. ترازو، فی‌نفسه، در چارچوب پیکر انسان تعبیه شده است. ما بیش از سایر جانوران به عمل تراز کردن نیاز داریم، چون به مناسبت وضع قائم بدن و راه رفتن بر روی دو پا، از همان کودکی می‌آموزیم که چگونه تعادل خود را حفظ کنیم. برای عملی شدن تعادل، در گوش‌های ما ترازهای ظریف و دقیقی کار گذاشته شده است.

نیرو

اندیشه‌ی تعادل، کلاً از عمل اهرم منبعث می‌شود. بخش خارجی بدن را به مثابه‌ی سیستمی از اهرم‌ها می‌توان در نظر گرفت. این تشبیه اهمیّت بسیار دارد و ما به‌هنگام بحث در تاریخچه‌ی مفهوم نیرو در علم فیزیک، بدان خواهیم پرداخت (فصل هشتم). نقطه‌ی آغاز طبیعی بحث، این واقعیّت است که نیرو مستقیماً حس می‌شود. این پدیده توسّط همان رشته‌های دوکی، که پیشتر از آن سخن گفتیم، حس می‌شود. حالا دانشجویان رشته‌ی فیزیک آموخته‌اند

که نیرو ایده‌یی ثانوی است. از زمان نیوتون به بعد، ما نیرو را به عنوان آهنگ تغییر اندازه‌حرکت (تکانه) یا شتاب جرم می‌شناسیم. امّا دیدگاه بدوی در مورد نیرو هم خالی از حقیقت نیست. نیرو، درست مانند جسمی که مستقیماً دیده می‌شود، مستقیماً قابل حس است.

سپس نوبت به مفهوم «لَختی» می‌رسد؛ مفهوم ریاضی لختی، به‌شرحی که در فصل هشتم خواهیم دید، بعدها پیدا شد؛ ولی لختی هم بلاواسطه احساس می‌شود. ما براساس تجربه می‌دانیم که حرکت دادن اجسام مشکل است. در بسیاری از موارد ظاهر چند جسم به هم شبیه است، ولی هنگامی که اقدام به حرکت دادن آنها می‌کنیم پی می‌بریم که تا چه حد با هم متفاوتند. شاید با این حقّه‌ی قدیمی آشنا باشید که گاهی یک قوطی مقوایی را چنان رنگ می‌زنند که هر کس آن‌را می‌بیند تصوّر می‌کند که از سرب ساخته شده است، و هنگامی که قصد بلند کردنش را می‌کند از پشت به زمین می‌افتد.

شنوایی

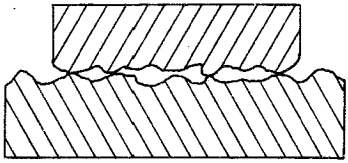
شنوایی هم اساساً یک حس مکانیکی است، ولی عنصر زمان در آن جنبه‌ی اصلی را دارد. ارتعاشات صوت مستقیماً به مغز نمی‌رسند، بلکه از طریق تحلیل‌گر هارمونی که در گوش‌های ما تعبیه شده است، می‌گذرد و به مغز می‌رسد. هر گیرنده‌ی موجود در این تحلیل‌گر با بسامد معیّنی به نوسان درمی‌آید، و بدین ترتیب ما به‌جای آنکه بخش‌های یک مجموعه صوت کامل را بشنویم، نت‌های آن‌را می‌شنویم. این مسئله‌ی اساسی را دانشجویان رشته‌ی فیزیک خواهند خواند: برای مطالعه‌ی هر آشفتگی، چه منظّم و چه بی‌نظم، دو راه در پیش داریم، یکی راه مستقیم یعنی مطالعه‌ی نمودار جابه‌جایی طنین‌ها (تُن‌ها)، دیگری راه غیر مستقیم یعنی تجزیه‌ی صوت به بسامدها. ما عین این عمل تجزیه به بسامدها را در موسیقی انجام می‌دهیم؛ ما هنوز هم کار تفسیر فریادها و سروصداها را مثل انسان‌های پیش از تاریخ تفسیر می‌کنیم و با تجزیه‌ی هماهنگ‌های صداها، آنها را بازمی‌شناسیم. علّت پیدایش اصطلاح «تحلیل

هماهنگ» هم همین است و این مبحث کلاً از مفهوم هماهنگی (هارمونی) در موسیقی نشأت گرفته است.

لمس کردن

تا اینجا دو حس دیگر باقی می‌ماند که در علم فیزیک اهمیّت حیاتی دارند؛ یکی از آنها لمس کردن است. لمس کردن هنوز هم عملی تا حدودی مکانیکی، امّا در عین حال خیلی خیلی پیچیده است که بسیاری از مشخصات آن در همین سی-چهل سال اخیر روشن شده است. احتمالاً در فیزیک دبیرستان خوانده‌اید که یکی از ساده‌ترین و در عین حال پرمعنی‌ترین قوانین فیزیکی، «قانون اصطکاک» *آمون‌تون*[1] است. این قانون از سال ۱۶۷۰ آموخته و در عمل به کار گرفته می‌شد، و تنها در سال‌های ۱۹۳۰ بود که معلوم شد این قانون سر تا پا غلط است. بنابر این قانون، نیرویی که برای حرکت دادن یک جسم بر روی یک سطح ناهموار لازم است، به ماهیّت دو سطح تماس و نیروهایی که آنها را به هم می‌فشارد بستگی دارد، و به کلّی، از مساحت سطح تماس مستقل است. حال اگر دانشجویی بگوید که این ادعا یاوه است، به او خواهند گفت که این یک قانون علمی است و تقریباً سیصد سال است که درستی آن آزموده شده است و آدم نباید مسائل پرت را مطرح کند. در واقع، همانطور که بسیاری از خوانندگان زیرک می‌دانند، اگرچه این قانون درست است، ولی توضیح آن بی‌معنی است. در واقع اصطکاک از مساحت سطح تماس مستقل نیست؛ بلکه دقیقاً با آن متناسب است. ولی آنچه در ظاهر مساحت سطح تماس شمرده می‌شود، مساحت حقیقی سطح تماس نیست. اگر به دقت به جسمی که بر روی یک سطح قرار دارد نگاه کنید (شکل ۱) خواهید دید که سطح دو جسم، تنها در چند منطقه‌ی کوچک با هم تماس دارند. اگر وزن بیشتری را روی جسم وارد آورید، تعداد این مناطق تماس بیشتر می‌شود. اگر سطح تماس را

۱ـ فیزیکدان فرانسوی(۱۷۰۵ـ۱۶۶۳)؛ Amontons, Guillaume.



شکل ۱ ـ سطح مقطع بزرگ‌شده‌ی جسمی که بر روی یک سطح قرار دارد و مساحت حقیقی تماس آنها را نشان می‌دهد.

رنگ کنیم می‌توانیم ببینیم چه نقاطی ازسطح با هم تماس دارند و چه نقاطی از هم جدا می‌مانند، و با این فرایند ساده معیاری برای سنجش سطح حقیقی تماس به‌دست آوریم. امّا کمتر کسی به فکر این کار می‌افتد. آنچه مورد نظر من است، احساسی است که در هنگام لمس ملایم اجسام به آدمی دست می‌دهد؛ منظور هنگامی است که تنها با لمس کردن یک سطح، به آزمودن آن می‌پردازیم. فرانسوی‌ها به این عمل "*effleurer*" می‌گویند، که به معنای «نوازش گل» است. ما هنگام لمس هر سطح، در چند نقطه‌ی معدود تماس فشاری معادل ۱۰۰۰ آتمسفر وارد می‌آوریم که این فشار برای در هم شکستن مولکول‌های سطح پوست کافی است. بسیاری از افراد با کسب تجربه از آسیب‌های ناشی از کفش‌های پاشنه‌صنّاری، دریافته‌اند که برای ایجاد فشار زیاد باید مساحت سطح تماس را کم کرد. لمس کردن، حس بسیار ظریفی است و به دو مجموعه گیرنده بستگی دارد. مجموعه‌ی نخست عبارت است از گیرنده‌های بسیار حساسی که عملاً در کار لمس کردن مشارکت دارند و کم و بیش به نوک انگشتان و لب‌ها محدود می‌شوند. این گیرنده‌های ویژه، سطح را به‌دقّت اندازه‌گیری می‌کنند. ایجاد دستگاه‌های اندازه‌گیری ویژه‌یی که بتواند به خوبی نوک انگشتان به حس کردن سطح بپردازد، در همین چند سال اخیر میسّر شده است. آسیابانی که با نوک انگشتان خود آرد را لمس می‌کند، دقیق‌تر و بهتر از هر وسیله و روش علمی دیگر می‌تواند کیفیّت آرد را تمیز دهد.

علاوه بر اینها، یک مجموعه گیرنده‌ی حسّ لامسه در عمق بیشتر وجود دارد که می‌تواند عقب رفتن سطح مورد لمس را تشخیص دهد و تعیین کند که آیا جسم نرم است یا سخت. مجموعه‌ی اوّلی گیرنده‌ها، تعیین‌کننده‌ی صافی و زبری سطح به‌شمار می‌آیند.

حس دما

سرانجام، به نوعی آشکارساز کاملاً متفاوت می‌رسیم که با آن، *دما* یا جریان گرما را می‌سنجیم. همانطور که می‌دانید، گرما نوعی حرکت شامل ارتعاش‌هاست؛ امّا مدارهای عصب، نمی‌توانند این ارتعاش‌های سریع را تحلیل کنند. آنچه ما اصطلاحاً حس مستقیم گرمی و سردی می‌خوانیم، احساس دما نیست بلکه احساس تغییر دماست. شما مطمئناً با کلک معروف گذاشتن یک دست در آب داغ و دست دیگر در آب سرد آشنا هستید و می‌دانید که اگر بعد از این عمل دو دست را در یک ظرف آب معمولی فرو کنید، یک دست آن‌را سرد و دست دیگر آن‌را گرم حس می‌کند. در این آزمایش چیزی که حس می‌شود، آهنگ انتقال گرما از پوست به خارج یا برعکس است، که عمدتاً با خاصّیت هدایت گرمایی جسم مورد لمس کنترل می‌شود. فلزات را معمولاً خیلی گرم یا خیلی سرد احساس می‌کنیم. پشم در همه‌ی دماها، گرمای متعادلی دارد.

احساس دما، تنها از حیث منشأ، فیزیکی است: آنچه عملاً آشکارسازی می‌شود، تغییری شیمیایی است که با دو حس صرفاً شیمیایی دیگر، یعنی بویایی و چشایی مشابهت دارد. در اینجا، در مورد این دو حس چیزی نمی‌گویم، جز آن‌که این‌ها حساس‌ترین حواس به‌شمار می‌آیند.

با گردآوردن حواس و حرکات ارادی مربوط به آنها، به ساده‌ترین تعریف علم فیزیک برمی‌گردیم و آن را موضوعی به حساب می‌آوریم که با اشیای مورد حس و کارهایی که صورت می‌گیرد سر و کار دارد. امّا این نوع فیزیک، فیزیک «واقعی» است و عمدتاً از طریق تجارب روزمره و بدون نیاز به

معرفت کتابی، آموخته می‌شود. بعضی از وسایل مقدّماتی فیزیکی که در این کتاب مورد بحث قرار خواهد گرفت، توسّط افراد کاملا بی‌سواد و حتی مردمی که از حیث اجتماعی عقب‌افتاده بوده‌اند، ایجاد شده است. برای اینکه یک اسکیموی کارآزموده باشید به میزان قابل توجّهی فیزیک نیاز دارید. بسیاری از چیزهایی که برای ما ناشناخته است، توسّط اسکیموها به منظورهای مختلف به کار برده می‌شود. مثلاً در ایّام جنگ با استفاده از تکنیک منجمد کردن خزه‌ی مرطوب، ماده‌ی سخت و مقاومی برای سورتمه‌رانی درست می کردند؛ و این امر موضوعی است که پیش‌بینی آن برای فیزیک پیشرفته‌ی امروزی هم دشوار است. این نوع فیزیک، یعنی فیزیکی که از طریق ترکیب خلاق محتوا و شکل جهان را بررسی می کند، موضوعی است که باید در عمل کشف شود.

جنبه‌های اجتماعی علم فیزیک

امّا در پس این فیزیک، فیزیک دیگری نهفته است که در تاریخ نقش بسیار مهم‌تری بر عهده داشته است. تکامل تکنیکی در زمینه‌ی عملی، فقط تا همین حدّ پیش می‌رود. امّا در تلاشی که برای شناخت صورت می‌گرفت، فیزیک متکامل‌تری پدید آمد که تجارب عملی مفید را به کار می‌بست و به قالب کلمات می‌ریخت. این جنبه‌ی فیزیک، تقریباً به طور کامل، اجتماعی است. مسئله‌ی چگونگی سازمان‌دهی روابط انسان و جهان به عنوان یک عمل اجتماعی، که نمونه‌ی بارز آن در رابطه‌ی تقویم کشاورزان با حرکات ماه و خورشید و ستاره‌ها دیده می‌شود، به تکوین خطوط اصلی فیزیک نظری در تاریخ انجامید و در درازمدت، نتیجه‌ی آن در عمل تجلّی یافت. این جریان، کوششی در راستای یافتن یک زبان مناسب برای تبیین عالم خارج بود که بسیار مفید افتاد. از این رو بخش عظیمی از تاریخ علم فیزیک، تاریخ پالایش این زبان خاص علمی را تشکیل می‌دهد که به جای زبان عاری از دقت و پر از اشتباه معمولی، برای بیان یافته‌های علمی به کار می‌رود. گوردن چایلد[1] معتقد است

1- V. Gordon Childe

که از میان تمام عناصر فرهنگ، زبان از همه پایدارتر و تغییرناپذیرتر است. زبان‌های امروزی، با همه‌ی اختلاط‌هایی که یافته‌اند، با زبان‌های عهد کهن‌سنگی چندان تفاوتی ندارند. واژه‌های اساسی زبان و ارتباط آنها متناسب با نیازهای عصر کهن‌سنگی شکل گرفته‌اند و ما هنوز هم همان‌ها را در مورد شمشیر، توپ، سفینه‌ی فضایی، میزر[1]، و مانند آنها که هر روز بر گنجینه‌ی اختراعات انسان افزوده می‌شوند، به کار می‌بریم. زبان‌های عصر کهن‌سنگی، مدام حک واصلاح شده ولی عوض نشده‌اند. شالوده‌ی اصلی زبان و پایه‌ی اساسی تفکّری که در پشت آن نهفته است، هنوز به صورت سنگواره‌ی تفکر کهن بر جای مانده است، و تا آن هنگام که بتوانیم بدان سطح از تفکّر برسیم که گریبان خود را از چنگ آن رها کنیم فاصله بسیار است. توجّه داشته باشید که برخی مفاهیم مانند زاویه‌ی قائمه و مربع که امروز آنها را اصطلاحات صرفاً ریاضی می‌دانیم، در اصل منشأ اجتماعی و تکنیکی دارند.

شبکه‌ی مربعی که آن‌را دستگاه مختصات دکارتی یا مختصات متعامد می‌خوانیم، به زمان‌های خیلی دور برمی‌گردد؛ امّا مفهوم تقاطع قائم، منشأ ریاضی یا فیزیکی ندارد. به عنوان مثال، اردوگاه‌های چهارگوش رومی دقیقاً به همین شیوه برپا می‌شد؛ دو خیابان اصلی و پست فرماندهی در محل تقاطع آنها. این اردوگاه‌ها طبق الگوی دهکده‌ها بنا می‌شد و در نتیجه به صورت دهکده‌یی متشکّل از جمعیتی عظیم و متحرّک درمی‌آمد. این روستاهای نقشه‌دار، به ایتالیای قرن هشتم پیش از میلاد تعلّق دارند. ولی از عصر کهن‌سنگی، روستاها به دلایل اجتماعی محض و بر اساس یک لایه‌بندی چهاربخشی به چهار بلوک مربع‌شکل تقسیم می‌شد. این لایه‌بندی قبیله را به چهار «کلانِ» فرعی که ازدواج میان آنها ممنوع بود، تجزیه می‌کرد. هر یک از این بلوک‌ها، نشانه‌ی

۱ـ کلمه‌یی متشکّل از سر نام کلمات عبارتی انگلیسی به معنی «تقویت میکروموجی به‌وسیله‌ی گسیل القایی»:

MASER= Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation

متناسب و جانوران توتم خاص خود را داشت.

اندیشه‌ی طراحی صحیح محل سکونت، همان اندیشه‌ی دستیابی به قانون و قاعده است. خود قاعده واژه‌یی اجتماعی است که بعداً یک معنی ریاضی به آن داده شده است. همین امر در مورد نوکِ عقربه‌های قطب‌نما، متناظر با موقعیت نسبیِ بخش‌های قبیله، مصداق دارد: گذار از یک آرایش اجتماعی بدوی به یک آرایش پیچیده و متکامل هندسی.

عناصر اربعه

سرنوشت چهار عنصر خاک، آب، هوا و آتش هم همین طور است. امروزه با خودِ این چهار عنصر کاری نداریم و تنها به طور استعاری درباره‌ی آنها بحث می‌کنیم: تضاد عناصر، یا تعیین جوهر هر فرد. ما، در علم امروز، عناصر را موادّی مخصوص می‌دانیم که از یک نوع اتم خاص تشکیل شده‌اند. امّا یونانیان به چهار عنصر بسیار ساده اعتقاد داشتند: *آتش*، که می‌گفتند بر فراز هوا جای دارد؛ *هوا*؛ *آب*؛ و *خاک*. پیش از این تاریخ، عناصر کمتر از اینها به طبیعت وابسته بودند. به عنوان مثال، چینی‌ها چوب و فلز را که عنصرهای کاربردی بودند، به عنوان عناصر اصلی می‌شناختند. همه‌ی این زیر و بم‌ها تلاشی برای ارائه‌ی تصویری از عالم به شمار می‌آمد، بویژه آن بخش از عالم که ما از تغییر دادن آن عاجزیم. مدت‌ها طول کشید تا آدمی پی برد که کارهایی در حد توان وی وجود دارد؛ مثلاً می‌توان جانوران را به دام انداخت، غذا پخت، زمین را شخم زد، دانه کاشت و محصول درو کرد. امّا بعضی امور هم خارج از توان انسان بود؛ نمی‌شد به خورشید و ماه و ستارگان رسید. در مورد این اجرام نمی‌توان کاری صورت داد، در حالی‌که آنها می‌توانند خیلی کارها با آدم بکنند. آدم راگرم کنند یا بگذارند تا از سرما خشک شود، می‌توانند باد بوزانند و می‌توانند باران ببارانند یا از ریزش باران جلوگیری کنند. این اجرام، عناصر تشکیل‌دهنده‌ی جهانی بودند که قابل مشاهده بود امّا قابل دستکاری نبود، تنها به کمک دعا و جادو امیدی برای ایجاد دگرگونی می‌رفت.

مشاهده‌ی افلاک

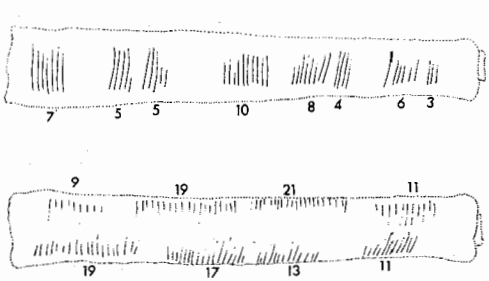
معرفت بر امر مشهودی چون گردش اجرام آسمانی، سر نخ یک داستان دراز پلیسی بود که طی آن رمز مفاهیم علم فیزیک گشوده می‌شد. نخستین نظاره‌ی خام بر طرح جهان نشان می‌داد که جهان مانند خانه‌یی است چهار دیواری و دارای سقفی با چراغ‌های متعدّد که به اطراف حرکت می‌کنند. دوتا از چراغ‌ها بزرگ و بقیه کوچکند. توضیح خوبی بود، ولی هیچ سودی دربر نداشت. آدمی نیاز داشت بداند چه هنگام چراغ‌ها روشن و خاموش می‌شوند، کِی باران می‌بارد و چه موقع آب رودخانه‌ها بالا می‌آید. دانستن این نکات، مستلزم مشاهدات مستمری بود که به کشف پدیده‌های *منظّم*، که بنیادی‌ترین کشف‌ها بود، انجامید. ممکن است بگویید برای تشخیص این موضوع نیازی به ادوات پیچیده نیست. روز را می‌بینیم و می‌گوییم که طول آن همواره یکسان است، امّا از کجا می‌دانیم که طول روز چقدر است؟ تا ساعت نداشته باشیم، نمی‌توانیم از یکسان بودن طول آن مطمئن شویم. طول روز همیشه یکسان احساس نمی‌شود، بعضی روزها بسیار زودگذر و بعضی بسیار طولانی و کسالت‌بار به نظر می‌آیند. موضوع دیگر آن است که اگر روزهای بعد از بدر را بشمارید، خواهید دید که ۲۹ روز بعد باز هم بدر کامل پدیدار می‌شود.

شمردن هم کاری بسیار قدیم است، در شکل۲ قدیم‌ترین سندی را که تا به حال به دست آمده است می‌بینید. این سند یک دسته‌ی استخوانی است که بر روی آن خراش‌هایی دیده می‌شود. این استخوان ۱۲۰۰۰ سال عمر دارد و در افریقای مرکزی کشف شده است. با دیدن خراش‌ها چه احساسی به شما دست می‌دهد؟ در یک طرف این دسته، اعداد ۱۱، ۱۳، ۱۷ و ۱۹ را می‌بینیم. این امر نشان می‌دهد که سازندگان این شیء نه تنها بر شمارش اعداد احاطه داشته‌اند، بلکه در ضرب و تقسیم هم ماهر بوده‌اند، چون اعداد حک‌شده بر این تکّه استخوان جملگی اوّل‌اند.

حتّیٰ تنها با شمارش‌های طولانی هم می‌توان اطّلاعاتی در مورد رویدادهای فلکی استنتاج کرد. اگر یک ماه تمام به مشاهده‌ی ماه

بنشینید و کارتان را از روزی که ماه به هنگام غروب به صورت یک هلال باریک ظاهر می‌شود آغاز کنید، خواهید دید که در نه روز نخست، ماه روز به روز بزرگتر می‌شود و طیّ نه روز دوم تقریباً به صورت بدر به چشم می‌آید و پس از آن به مدّت نه روز مرتباً کوچک‌تر می‌شود و یک یا دو شب اصلاً دیده نمی‌شود. امّا هر قدر به محاسبه و شمارش بنشینید، نخواهید توانست عدد دقیقی برای تعداد روزهای ماه یا عدد ثابتی برای تعداد ماه‌های سال به دست آورید. پی بردن به این موضوع که علی‌رغم مشاهدات اوّلیّه، افلاک به صورت منظّم حرکت نمی‌کنند و قوانین چندان دقیقی هم در کار نیست، تکان‌دهنده است؛ کلّ ریاضیّات، در جریان تلاش برای دستیابی به یک هدف محال یعنی ایجاد تقویم صحیح و تعیین تعداد دقیق روزهای ماه و ماه‌های سال شکل گرفت. اعدادی که طی این محاسبات به دست می‌آمد گنگ و نامنظّم بود. تعداد روزهای فصل تابستان، با تعداد روزهای فصل زمستان فرق دارد. این نکته نیاز به توضیح داشت! نه یونانیان و نه بابلیان نتوانستند این توضیح را ارائه کنند و این امر به عصر نیوتون موکول شد.

غالب مردم چندان اعتنایی به این چیزها نداشتند. شکارچیان اوّلیّه به چیزی فراتر از وعده‌ی بعدی غذا یا حداکثر به تاریخ بعدی بدر توجّه نداشتند. اما، از آغاز دوران کشاورزی، تقویم اهمیّت یافت و لازم آمد که کسی مسؤول آن شود: جادوگر، کاهن یا منجّم دربار. نیازی نبود که تعداد این آدم‌ها زیاد باشد،



شکل ۲ـ دسته‌ی استخوانی بافت‌شده در ایشانگو واقع در افریقای مرکزی، که خراش‌های آن شاهدی است بر اطّلاع انسان از ضرب اعداد و شناختن اعداد اوّل در ۱۲۰۰۰ سال قبل

بدین ترتیب ریاضیّات و نجوم به صورت اشکال متعالی معرفت درآمدند، که اساساً برای امور مربوط به تقویم و رصد به‌کار می‌رفتند، امّا از جنبه‌های جادوگری صرف هم عاری نبودند. هرم بزرگ مصر، نمونه‌یی از تجسّم عینی چیزهای از لحاظ ریاضی بی‌معنی است؛ این هرم با سمت‌گیری فوق‌العاده دقیق در محدوده‌ی چند دقیقه‌ی قوس، و با احتساب چهار جهت صحیح بنیاد شده است. قاعده‌ی آن مربع کامل است، و شیب وجوهش کاملا صحیح انتخاب شده و تونلی که در کنار آن حفر شده دقیقاً متوجّه قطب شمال است. کاهنان از طریق این تونل می‌توانستند ستاره‌ی شمالی آن عهد را، که با ستاره‌ی شمالی امروز فرق داشت، ببینند. همه‌ی این مطالب بیانگر ریاضیّات و نجوم پیچیده‌یی‌اند که به خدمت اعتقادات مذهبی فوق‌العاده ابتدایی درآمده‌اند. تاریخ این رویداد، به تجسّد و حلول فرعون به عنوان *خدای خورشید* باز می‌گردد. نکته‌ی مهم این است که از آن زمان نجوم و ریاضیّات به صورت سرآمد علوم بوده‌اند. سایر جنبه‌های علم فیزیک، مانند نور و گرما و مانند آنها، تا مدّت‌ها از جمله‌ی علوم شمرده نمی‌شدند. تنها در نجوم امکان داشت با شروع امور بسیار ساده، ریاضیّات را به صورت تدابیری برای مطالعه‌ی امور مشهود به‌کار گرفت. آدمی در دست‌های خود ده انگشت داشت که یک دستگاه حسابگر دقیق ریاضی به حساب می‌آمد؛ و با الهام از وجود این حسابگر می‌توانست حسابگری به صورت ده مهره‌ی به نخ کشیده‌شده بسازد. بنابراین، با ساختن چرتکه، انگشتان انسان آزاد شد و اعشار و نمادگذاری به وجود آمد و ریاضیّات سامان گرفت. همین مختصر در این مورد کافی است، چون بیشتر به جنبه‌های نظری فیزیک مربوط می‌شود.

اندازه‌گیری

فکر اندازه‌گیری، از طریق تکوین اصول نظری با علم درآمیخت. مثلاً، نجوم ابتدا برای تقویم و در درجه‌ی دوّم به خاطر دریانوردی گسترش یافت. آشنایی با اندازه‌گیری به دو شیوه صورت گرفت: یکی از طریق منظّم کردن مبادلات

متداول، که در شکل معاملات و مالیات پدیدار می‌شد؛ و دیگر از طریق نظام‌دادن به گردش افلاک در مواردی که این گردش بر اشیای روی زمین تأثیر می‌نهاد یا تصوّر می‌شد که تأثیر می‌نهد. در سازمان‌دهی امور کشاورزی مصر باستان که احکام خدایان بر آن حاکم بود، اندازه‌گیری با هر دو شیوه‌ی فوق حضور یافت.

هم نظم مبادلات و هم نظام گردش افلاک با *اندازه* آغاز می‌شود. در علم، پس از شمارش اشیای منفرد نوبت به شمارش چیزهای مکرر استانداردشده‌یی نظیر *یکاهای* اندازه‌گیری می‌رسد. یکا (واحد) چیست و در آغاز چه چیزی را اندازه می‌گرفته است؟ کیل اندازه‌گیری غلّه، سنجه‌یی بنیادی بود و گام اوّل در سنجش به حساب می‌آمد. پس از آن، طول اجسام، با گام‌های آدمی که در اندازه‌گیری مساحت زمین معمول بود، اندازه‌گیری شد. این عمل، برای تشخیص مساحت زمین مزروعی لازم برای برداشت مقدار مشخص غلّه ضرورت داشت. یک سازمان مرکزی را تصوّر کنید که مالیات را به صورت فلان تعداد سبد غلّه مطالبه می‌کند؛ محصّل مالیاتی باید ثابت کند که دهقان قادر به تولید مقدار غلّه‌ی درخور مالیات تعیین‌شده خواهد بود، و دهقان باید ثابت کند که قادر به تولید آن میزان غلّه نیست. این مرحله‌ی آغازی اندازه‌گیری زمین، در زبان یونانی *ژئومتری* (geometry) خوانده می‌شد که به معنای *هندسه‌ی* امروزی است. همیشه زمین را با توجّه به مقدار محصولی که از آن به دست می‌آید اندازه می‌گرفتند؛ مثلاً، در چین یکای اندازه‌گیری زمین مزروعی مو (mou) بود، ولی مو در ایام باستان همیشه اندازه‌ی یکسانی نداشت. یک مو می‌توانست زمین بسیار وسیعی باشد که چندان حاصلی ندهد؛ و می‌توانست زمین کوچکی باشد با حاصل‌خیزی بسیار. مو در همه جا مقدار زمینی بود که از آن تعداد معینی سبد برنج به عمل آید.

اندازه‌گیری وزن بعداً برای چیزهایی مطرح شد که نمی‌شد طول وحجمشان را ملاک سنجش قرار داد؛ و شاید از اندازه‌گیری پشم خام یا فلز و به‌خصوص فلزات قیمتی آغاز شده باشد. اندازه‌گیری وزن به اختراع ترازو وابسته

بود (فصل دوّم). اندازه‌گیری به خاطر کاربرد عملی در همه جا معمول شد و برای هر منظوری نوع خاصّی از اندازه‌گیری را اختیار می‌کردند؛ و قرن‌ها طول کشید تا این یکاها در دستگاه مشخصی نظیر دستگاه متریک گردآوری شوند.

آنچه در آخرین مرحله اندازه‌گیری می‌شد، چیزی بود که قاعدتاً می‌باید در نخستین مرحله اندازه‌گیری می‌شد: و آن *زمان* بود. آدمی هنگامی به اندازه‌گیری زمان توجّه کرد که شمارش روزها برایش کافی نبود و به تقسیمات ریزتری نیاز داشت؛ و این امر تا حدودی مستلزم احاطه بر نجوم بود. باید تیرهایی نصب می‌شد و طول سایه و چگونگی حرکت آن اندازه‌گیری و بررسی می‌شد. به این ترتیب شاخص و ساعت آفتابی به وجود آمد؛ روز به ۱۲ بخش تقسیم شد که متناظر با وجود ۱۲ ماه در یک سال بود. این تقسیمات هم، برای مقاصد نجومی، به تقسیمات ۶۰تایی کوچکتر، یعنی دقیقه، و تقسیمات ۶۰تایی بازهم کوچکتر، یعنی *ثانیه*، تقسیم شد.

این آرایش ۶۰تایی، نمونه‌یی از یافته‌هایی به‌شمار می‌آید که منشأ نجومی داشته است، آن نجومی که خود را بر عرف عام تحمیل می‌کند. نخستین شمارش‌ها رقم به رقم، در واحدهای ده‌تایی، صورت می‌گرفت. پس از تشخیص ۳۶۰ روز در هر سال، تقسیم دایره‌ی فلک به ۳۶۰ قسمت یا درجه را مناسب یافتند. خود کلمه‌ی درجه ــ و در زبان‌های لاتینی، صور مختلف کلمه «degree» ــ به معنای یک پله‌ی نردبان است. به علّت آغاز کار با علم نجوم، چیزهای دیگری هم به صورت ۶۰تایی به شمارش درآمدند. بابلیان واحد اصلی پول خود، یعنی شِکِل (shekel) [1] را به ۶۰ مینا (mina) تقسیم کردند. محاسبات اقتصادی بابلیان هم براساس محاسبات نجومی، که در این حوزه به ایجاد جدول‌های دقیق دست یافته بودند، صورت می‌گرفت. نیمه‌ی متعالی و حرمت‌آمیز ریاضیّات به افلاک مربوط می‌شد و نیمه‌ی دیگر آن در امر معامله

---

۱ ــ سکّه‌یی از طلا یا نقره که وزنش نصف یک واحد وزن به همین نام و به وزن تقریبی یک اونس بود. ــ م.

و تسویه حساب مطالبات مالیاتی به‌کار می‌رفت؛ امّا هر دو بخش آن به تکامل تکنیکی ناب روش‌های محاسباتی منجر شد. این نکته از آن رو که همین امروز در عصر ما روی می‌دهد، برای ما روشن‌تر از نکات دیگر است. ما امروز با عملیات شگفتی که کامپیوترهای الکترونیکی انجام می‌دهند به وجد می‌آییم؛ ولی کسانی که ۵۰۰۰ سال پیش از این می‌زیستند و مبتکر نمادگذاری شصت‌تایی (سِتّینی) بودند دریافتند که مفهوم ارزش مکانی، آنها را بر امر به‌دست‌آوردن و جدول‌بندی توابعی نظیر ریشه‌گیری و توابع مثلثاتی قادر می‌کند؛ و این نکات بسیار پیچیده‌تر از آنند که به وسیله‌ی چرتکه یا انگشت‌ها قابل محاسبه باشند. کشف این قوانین برای مردم پنج هزار سال پیش در زمینه‌ی فیزیک و نجوم درست نظیر پیدایش کامپیوتر در زمان ما، یک جهش تلقی می‌شد.

این ملاحظات به صورت یک طرح بسیار مختصر، نشانه‌هایی از انگیزه‌های حرکت به سوی شناخت مقدّماتی چیزی را ارائه می‌کنند که امروز طبیعت فیزیکی عالم خوانده می‌شود و در گذشته با عنوان فلسفه‌ی طبیعی از آن یاد می‌شد. این موضوع، با طالع‌بینی (اخترگویی) که در ایّام باستان فوق‌العاده مهم بود ارتباط داشت. امروز طالع‌بینی به نظر ما امری بی‌ربط به نظر می‌رسد، ولی در تاریخ نوعی تکامل فرخنده به حساب می‌آید. موضوع جالب آن است که چون اوضاع اقلیمی به طور منظّم ظاهر می‌شد، مردم معتقد بودند که امور تجاری آنها هم باید به طور منظّم بچرخد و با آنکه معمولاً چنین نبود، تصوّر می‌شد که نظم رویدادهای جوّی همه چیز را در مسیر درست به جریان می‌اندازد. بنابراین ناگزیر باید با ماشین بزرگ هماهنگ شد، باید چگونگی عملکرد ستارگان را دریافت و همبستگی میان زمین و عالم صغیر و عالم کبیر (جهان بزرگ خارج از زمین) را پیدا کرد. علم احکام نجوم، اساساً همه‌ی این نکات را شامل می‌شد. بخش اعظم علم فیزیک تا قرن هفدهم انگیزه‌های خود را در علم احکام نجوم می‌جست.

آزمایش

در گام بعدی با موضوعی سروکار داریم که روش فیزیکی خوانده می‌شود. روش فیزیکی مورد نظر ما، از مشاهده آغاز می‌شود و به آزمایش می‌رسد. آزمایش چیست؟ آزمایش، همانطور که از نامش پیداست، به معنای آزمون یا تجربه‌ی مستقیم است. انسان برای تشخیص اینکه اشیا به کار می‌آیند یا خیر، ناگزیر است آنها را امتحان کند. هنگامی که معلوم شد همیشه هم لازم نیست برای درک هر موضوع به تجربه‌ی کامل دست زد، گام بزرگی به جلو برداشته شد. مثلاً آدمی در آغاز کار برای انتقال آب تونل‌های مناسبی حفر می‌کرد و در کار حفر معدن و دست‌کم حفر تونل، بسیار متبحّر شده بود. هنگامی که می‌خواستند دو طرف کوهی را با تونل به هم وصل کنند ناگزیر بودند مدام متوجّه باشند که کجا قرار گرفته‌اند، به خصوص در مواردی که تونل به پیچی می‌رسید. شیوه‌ی کار چنین بود که مقداری نخ را می‌گرفتند و سر آن را به درون تونل می‌کشیدند، پس از آن در بیرون تونل نخ را می‌کشیدند و با همان زاویه‌ی تونل، آن را خم می‌کردند و بدین ترتیب درمی‌یافتند که کار به کجا کشیده است و برای اتصال دو قطعه تونل به کدام سو باید رفت. همیشه کار با همین ابعاد صورت می‌گرفت، تا آنکه آدم تیزهوشی پی برد که می‌توان مقیاس کار را به یک دهم یا در این حدود کاهش داد و به جای مطالعه‌ی کار در محوطه‌یی وسیع، بر روی یک برگ کاغذ به محاسبه و اندازه‌گیری حدود کار پرداخت.

با این تدبیر، اندیشه‌ی طراحی و ترسیم نقشه ظهور یافت. مصریان و بابلیان (فصل ۲) به تهیه‌ی نقشه‌ی شهرها و استحکامات و مزارع و سایر تأسیسات پرداختند. نقشه‌های اهرام مصر باید در جایی وجود داشته باشد، ولی تاکنون اثری از آنها به دست نیامده است. مصریان حتماً سندهای مکتوبی در این مورد داشته‌اند، چون این کار مسئله و مبحثی ریاضی است. آنها می‌خواستند هرمی بسازند که فلان «اِل»[1] طول و بهمان «اِل» ارتفاع داشته باشد. باید تعداد

۱ـ واحد طولی برابر با ۱۱۵ سانتی‌متر ـ م.

طبقات آن تعیین شود وتعداد بشکه‌های آبجو و گرده‌های نانی را که برای تغذیه‌ی کارکنان لازم است، تشخیص دهند. برای تعیین همه‌ی اینها، باید از پیش معلوم شود که چند نفر آدم در هر روز چقدر باید کار کنند. این نقشه‌ها و برنامه‌ها نخستین متن درسی مصریان در ۲۰۰۰ سال پیش از میلاد بوده است. باید فرمول حجم هرم به دست می‌آمد، و این کار حتّی در زمان ما هم جای تفکّر دارد. همه‌ی این تدابیر و همه‌ی این تلاش‌ها که در جهت کاربرد ریاضیات ضروری می‌نماید، جزیی از انجام امور بزرگ در مقیاس کوچک به شمار می‌آید. یک موضوع اساسی که ضرورت تحقّق آن احساس می‌شد، عبارت بود از عملی‌کردن یک اصل ریاضی که امروز آن‌را اصل تشابه می‌خوانیم. البتّه، این اصل، به عنوان یک مفهوم بسیار قدیم است، چون علاوه بر اشیا در مورد حیوانات و انسان هم مصداق پیدا می‌کرد. در عصر حجر، آدم‌ها تصویر حیوانات را درست به اندازه‌ی طبیعی آنها نقش می‌زدند و پس از آن، نیزه‌هایی را هم که به طرف آنها پرتاب شده بود ترسیم می‌کردند. اصل تشابه در آن هنگام چنین بود. امّا بعدها تصویر حیوانات را کوچکتر از اندازه‌ی طبیعی کشیدند، حتی این گونه تصویرها را بر روی پیکر یکدیگر خال‌کوبی کردند تا به توفیق آنها در شکار کمک کند. در اینجا مفهوم **مقیاس** مطرح می‌شود. کلمه‌ی مقیاس که در انگلیسی scale و در فرانسه échelle خوانده می‌شود، باز هم به یکی از امور کاربردی مربوط می‌شد، چون این کلمات به معنای «پلکان» و «نردبان» به کار می‌رفتند. مصریان هنگام ساختن تزئینات عظیم و خیره‌کننده‌ی معابد، یک شبکه‌ی دکارتی ترسیم می‌کردند و بدین وسیله یک قطعه کاغذ رسم به دست می‌آوردند و از کارگران معمولی می‌خواستند تا آنچه را که بر روی کاغذ نقش شده است، در مقیاس بزرگ اجرا کنند. طرّاح، نقشه‌ی کار را بر یک قطعه کاغذ کوچک رسم و مختصّات را مشخّص می‌کرد، کارگران عین همان طرح را سی‌بار بزرگ‌تر، اجرا می‌کردند.

مفهوم مقیاس در ذهن مصریان وجود داشت، ولی عملی‌کردن آن به منزله‌ی یک آزمون بود. امروز نمونه‌های کامل آزمون را، به جای علم فیزیک،

باید در علم شیمی جستجو کرد. در گذشته اگر کسی معدنی کشف می‌کرد و به کانه‌هایی دست می‌یافت، می‌توانست تمام توده‌ی کانه را بگدازد و طلای آن را استخراج کند. با این شیوه مقدار طلای موجود در کانه مشخص می‌شد، اما بهتر آن بود که پیش از حفر معدن و گداختن کانه، معین شود آیا معدن مورد نظر اصولاً ارزش این همه تلاش را دارد یا خیر. به این منظور می‌توان قطعه‌یی از سنگ معدن را در مقیاس کوچک آزمایش کرد. به جای استفاده از ترازوی عظیمی که بتواند مثلا نیم تن ماده را توزین کند، می‌شود از ترازوی کوچکی بهره گرفت که بتواند وزن مثلاً ۱ گرم را اندازه بگیرد. پس می‌توان تمام امور را با کار در مقیاس کوچک به جریان انداخت: کار در مقیاس کوچک، نشان می‌دهد که در مقیاس بزرگ چه کارهایی می‌توان صورت داد.

مدت‌ها بعد پای آزمایش‌های کنترل‌شده به میان آمد. نخستین و بهترین آزمایش‌ها، که بعداً به بحث درباره‌ی آنها خواهیم پرداخت، توسّط *گالیله* به عمل آمده است. گالیله از طریق آزمایش، قانون سقوط آزاد اجسام را کشف کرد، یا به بیان دقیق‌تر، کشف کرد که از میان قوانینی که به نظر ریاضیدان‌ها همگی از لحاظ نظری صحیح بودند، کدام یک را طبیعت خام عملاً به کار می‌برد. اما آزمایش‌های وی در مورد سقوط اجسام، از یک لحاظ، کمی بیش از اندازه خوب بود. منظورم، جمله‌یی است که وی درباره‌ی آزمایش‌ها گفته است: «من این آزمایش را صد بار انجام داده‌ام و هر دفعه دقیقاً به همان نتیجه‌ی قبلی رسیده‌ام.» گالیله آمار نخوانده بود! شاید حالا کسی بگوید وی دروغ می‌گفته است، ولی مسئله این است که با این آزمایش‌ها، طبیعت به استنطاق کشیده می‌شد و به قول مردم آن روزگار: «طبیعت برای افشای اسرارش تحت شکنجه قرار می‌گرفت.» به عبارت فاضلانه‌تر، اشیا را ناگزیر می‌کردند که نشان دهند در شرایط متفاوت چه رفتاری در پیش می‌گیرند؛ و از این دیدگاه، ماهیّت ذاتی آنها را تشخیص می‌دادند و بدین ترتیب آنها را دگرگون می‌کردند.

نظریه‌پردازی

این امر به آخرین مرحله‌ی آزمایش منجر می‌شود. پس از آنکه قوانین بسیار ساده‌یی نظیر «قانون بویل» و «قانون هوک» ــ که مستقیماً مأخوذ از تجربه هستند ــ از راه آزمایش به دست آمد، باید ببینیم: منظور از آنها چیست، چگونه تفسیر می‌شوند، بر چه نظریه‌یی متّکی‌اند و واقعاً چگونه می‌توان آنها را فهمید؟ این نظریه‌پردازی، و پرداختن نظریه‌های واقعاً شایسته، منطقاً باید در آخر کار صورت گرفته باشد، امّا عملاً در جریان تاریخ، پیش از تمام این ماجراها ظهور یافته است. نخست باید پاسخ را یافت، و در پایان کار باید دید آیا این پاسخ با طبیعت تطبیق می‌کند یا خیر. دید کلّی در آن هنگام این بود که اگر این پاسخ با طبیعت تطبیق نکند، وای به حال طبیعت! طبیعت، بی‌نظم و بی‌اعتبار می‌شد، امّا امر ایده‌آل (که *افلاطون* قهرمان اصلی آن بود) بر این دایر بود که علم نجومی مبتنی بر وجود اجسام کروی کامل که در مدارهای کاملاً دایره‌یی گردش می‌کنند، وجود دارد. این نجوم، نجوم واقعاً نجیبی بود اجسام واقعی موجود در افلاک، عملاً از قواعد این علم پیروی نمی‌کنند، امّا باید این کار را بکنند. درواقع می‌توان به مطالعه‌ی معقولاتی پرداخت که محسوسات، تصاویر حقیر و واپیچیده‌ی آنها به شمار می‌روند.

برآورد این واپیچیدگی‌ها بعدها صورت گرفت؛ مثلاً **کپلر** متوجّه شد که در موردی میان نتایج حاصل از نظریه و عمل، هشت دقیقه اختلاف وجود دارد که مقدار قابل اغماضی است. اکثریّت مردم نظریه را پذیرفته بودند، ولی وی فرد ویژه‌یی بود. کپلر به محاسبات خود اطمینان داشت و تأکید می‌ورزید که اختلاف فوق، واقعیّت دارد. با این اندازه‌گیری‌ها معلوم شد که مدار گردش سیّارات دایره‌یی نیست؛ و این نمونه‌یی است از مواردی که در آن، عدم تطابق مشاهده با نظریه به پیشرفت مداوم نظریّه می‌انجامد.

یکی از نخستین کسانی که در فیزیک با او همکاری داشتم، *کاپیتزا*[1] بود.

۱ـ فیزیک‌دان معاصر شوروی Kapitza .

وی یکی از آن متخصصّین نکته‌گیر فیزیک تجربی بود که خیلی دوروبر نظریه نمی‌گشت؛ امّا البتّه به هنگ کامل نظریه‌پردازان «کمبریج» دسترسی داشت. وی این پرسش ساده را برای نظریه‌پردازان مطرح می‌کرد که: «مقاومت الکتریکی فلان فلز خالص، در فلان نوع میدان مغناطیسی چقدر می‌شود؟» نظریه‌ی رسانش فلزات در میدان‌های مغناطیسی کاملاً شناخته شده است، و نیازی به استخراج مجدّد آن نیست؛ ولی کاپیتزا شروع به اندازه‌گیری می‌کرد و نشان می‌داد که نظریه غلط است. البتّه نظریه کاملاً غلط نبود، بلکه با یک ضریب کوچک، از واقعیت فاصله داشت. و بعد البتّه ریاضیدان‌ها وارد میدان می‌شدند و با بررسی محاسبات نظری پی‌می‌بردند که در نظریه به تقریب عددها دست زده‌اند (که البتّه همه‌ی فیزیک ـ ریاضیدان‌ها این کار را می‌کنند)، و از جمله‌هایی که درجه‌ی آنها بالاتر بوده چشم پوشیده و عملیّاتی انجام داده‌اند که پس از آزمون‌های دقیق معلوم می‌شود که نباید انجام می‌شد. بعد از این همه ماجرا، به پاسخی دست می‌یافتند که با آزمایش بیشتر مطابقت می‌کرد. پس از آن، کاپیتزا می‌گفت: «حالا فرض کنید یک میدان مغناطیسی داشته باشیم که شدت آن ده برابر بیشتر باشد». او در این مورد از موضع امنی برخوردار بود، چون کسی نمی‌توانست میدانی به این شدت ایجاد کند و جریان باز از نو آغاز می‌شد. بدین ترتیب، نظریه مدام دستخوش پالایش و انتقاد قرار می‌گرفت و با آزمایش، اصلاح یا رد می‌شد. در فیزیک نوین ــ که من در این کتاب بدان نخواهم پرداخت ــ نمونه‌هایی از این فرایند می‌بینیم. مثلاً، در مورد مزون‌ها و سایر ذرات بنیادی تازه‌آشنا، نظریه بر آزمایش‌ها سایه‌ی شک انداخت. مثال‌های بسیاری هم دیده‌ییم که در آنها آزمایش به بطلان نظریه منجر شده است. البتّه زیربنای فیزیک نوین را نظریه‌ی *کوانتومی* تشکیل می‌دهد، که خود حاصل محدودیت نظریه‌های پیشین و عدم تطابق آنها با شواهد تجربی است.

فیزیک نوین

در این بخش یک بررسی بسیار کلّی ارائه داده‌ام و مایلم کمی دیگر در خصوص فیزیک نوین صحبت کنم. به دلیل نو بودن این رشته و امکان کسب اطلاعات مربوط به تاریخچه‌ی آن از منابع دیگر، گفته‌های من در این زمینه مختصر است. هنگامی که از «فیزیک نوین» نام می‌برم، منظورم دقیقاً روشن است. فیزیک پس از سال ۱۸۹۶؛ همان سالی که نخستین روزنه گشوده شد و نامنتظره‌ترین پدیده با کشف «پرتو ایکس» توسّط رونتگِن[۱]، به صورت تجربی و از طریقی غیر نظری حاصل شد. با کشف پرتو ایکس، کلید درک بسیاری از امور خلاف قاعده‌ی دیگر به دست آمد. پس، سال ۱۹۰۰ را با قدری تسامح، تاریخ شروع دوران نوین این علم به حساب بیاوریم.

فیزیک نوین، که فیزیک اتمی هم خوانده شده است، با فیزیک قدیم تناقض ندارد امّا با آن تفاوت بسیار دارد و این موضوع با مطالعه‌ی تاریخ این علم کاملاً آشکار می‌شود. قصد من آن است که شما را طی این بحث‌ها به سال ۱۹۰۰ برسانم. به یاد دارم هنگامی که در سال ۱۹۳۷ برای نخستین بار ممتحن دانشگاه شدم، یکی از ممتحنین قدیمی هنگام بررسی برگه‌های امتحانی دوره‌ی لیسانس علوم تذکر داد که «دراین برگه‌ها سوآلی درباره‌ی الکترون وجود دارد و این کار خلاف است، چون این موضوع جزو برنامه‌ی تحصیلی نیست.» ما به برنامه‌ی تحصیلی مراجعه کردیم و دیدیم که واقعاً خبری از الکترون در آن نیست. برنامه در سال ۱۸۹۶ طرح‌ریزی شده بود، و با آنکه در سال ۱۸۹۱ الکترون نامگذاری شده بود، هنوز آن را به رسمیّت نشناخته و در برنامه راه نداده بودند.

در واقع، آن نوع فیزیکی که پیش از اکتشافات جدید وجود داشت یک آیین و حکمت کامل بود. این کامل‌ترین آیین قابل تصوّر را امروز فیزیک توصیفی می‌خوانیم، و شامل اندازه‌گیری و تفسیر اموری است که خواص مادّه

۱ـ فیزیک‌دان آلمانی (۱۹۲۳ـ۱۸۴۵)ـ م.

خوانده می‌شود. مثلاً تعدادی ثابت اندازه‌گیری شده که می‌توان با ترکیب مناسب آنها به اندازه‌گیری‌ها یا پیش‌بینی‌های دیگر بپردازید به شما می‌دهند، و از شما می‌خواهند که مثلاً وزن مخصوص طلا را به دست آورید یا ضریب انبساط فلان شیء را معین کنید یا فلان ضریب شکست را محاسبه کنید. به‌طور جدّی گفته می‌شود که ماهیت فیزیک این است: اگر در مورد چه بود اشیا سوآل کنید، این فیزیک می‌تواند پاسخی به شما عرضه کند. امّا اگر درباره‌ی *چرای* اشیا بپرسید، پاسخی نخواهید یافت. مثلاً چرا ساختار آب خلاف قاعده است؟ چرا آب دارای نقطه‌ی کمینه‌ی چگالی است؟ اینها واقعیّات هستند و همین که به‌وجود امر واقع پی‌بردید، آن‌را در ورقه‌ی امتحانی می‌نویسید و نمره می‌گیرید. این فیزیک، مبتنی بر اطّلاع از قوانین است. مثلاً اطّلاع از قانون بویل، در سطح دبیرستان خوب است امّا به درد دانشگاه نمی‌خورد. در دانشگاه باید بدانید که می‌توان قانون بویل را تصحیح کرد و متغیرهایی به کار برد که این قانون را تقویت کند و با عمل، تطابق بیشتری بیابد. آن بخش از فیزیک توصیفی که از نعمت داشتن قوانین محکم‌تری نظیر قوانین حرکت نیوتون برخوردار است، بخش مهمی از کلّ این فیزیک را تشکیل می‌دهد.

به یک استثنا توجّه داشته باشید. هر جا به جای فیزیک توصیفی از فیزیک تشریحی نام بردم، منظورم بخش‌هایی از فیزیک است که در آن از اتم یا هر واحد فرضی دیگر سخن به میان می‌آید. این مفهوم، تا حدودی از قرن نوزدهم به حوزه‌ی فیزیک وارد شده است. جالب آن است که در آغاز آن قرن، این مفهوم ابتدا در شیمی ظاهر شد. نظریه‌ی اتمی، که در شیمی هرگز جدّی گرفته نشد، از سال ۱۸۰۴ مطرح بود. امّا نظریه‌ی اتمی در فیزیک قبل از سال ۱۹۱۳، یعنی سال پیدایش نظریه‌ی اتمی **بور**، سابقه نداشت. باید اشاره کنم که مفهوم اتم، برای توضیح قانون بویل و نظریه‌ی جنبشی گازها به کار رفته بود. در محدوده‌ی تنگ‌تر در الکتروشیمی، برای تعریف یکای بار الکتریکی فاراده هم، *الکترون* به عنوان یک واحد فرضی به‌کار می‌رفت. امّا اگر نخواهید همه چیز را به‌صورت ضرایب ثابت مشهود درآورید، باید تعداد این ضرایب را محدود

کنید. در حال حاضر، هدف فیزیک (که البتّه ممکن است یک بار دیگر تغییر کند) این است که قوانین و نظم‌های زیربنایی را پیدا کند و به بیان این امر قناعت نکند که طلا زرد و نقره سفید است، بلکه کشف کند که چرا طلا زرد و نقره سفید است. امروز پاسخ این سوآلات را نمی‌دانیم و تصوّری هم از آن در ذهن نداریم. اتم طلا بسیار پیچیده است، و با اصول اوّلیّه‌یی که در اختیار داریم نمی‌توانیم روشن کنیم چرا طلا باید زرد باشد. امّا جای هیچ شکی نیست که در آینده ارائه‌ی پاسخ امکان‌پذیر خواهد بود، و شاید هم امروز به کمک کامپیوتر بتوان بدان دست یافت. اغلب این واقعیّات نه به خاطر خود آنها، بلکه به خاطر نکاتی اهمیّت دارند که در پشت آنها نهفته است. مثلاً ما سخت مشتاقیم بدانیم چه فلزاتی یا چه آلیاژهایی در چه دماهایی می‌توانند اَبَررسانا باشند. امروز تنها راه یافتن پاسخ این پرسش، تجربه و آزمایش است. اگر به یک نظریه‌ی مناسب در این خصوص دست می‌یافتیم می‌توانستیم آن را به شیوه‌ی ریاضی انجام دهیم.

پس رسالت‌های کلّی فیزیک روشن شد، امّا باید اشاره کنم که فیزیک بالاتر و پایین‌تر از این سطح هم وجود دارد. من تنها در مورد فیزیک پایین‌تر، یعنی فیزیک تجربی و چیزهایی که قابل آشکارسازی و اندازه‌گیری هستند، بحث می‌کنم. فیزیک بالاتر، یعنی فیزیک ریاضی، هنوز با دنیایی سروکار دارد که از دنیای مورد علاقه‌ی افلاطون کمی ناقص‌تر است. امّا در عین حال، در هرزمان مشخص، کامل‌ترین توضیحی است که می‌توان در مورد پدیده‌ها به دست آورد.

در آغاز این سلسله مباحث، جمع‌بندی موضوع را بیان کردم و در درس بعد به جزییات آن خواهم پرداخت. فکر می‌کنم بهتر باشد هر یک از شما دست کم به یک کتاب درسی فیزیکی نگاهی بیندازد و ببیند در هر عصر، فیزیک چه وضعی داشته است. جالب آن است که هرچه بیشتر به عقب برگردیم خواهیم دید که فیزیک خواندنی‌تر می‌شود، چون در آن روزگاران با شیوه‌ی عمومی‌تری به نوشتن در مورد این علم دست زدند. در فیزیک نوین، من

تنها به ذکر کتاب *مکانیک کوانتومی*[1] اثر کلاسیک دیراک بسنده می‌کنم. این کتاب هم آدم را از خواندن خود مسرور می‌کند و هم از جمله‌ی بهترین آثاری است که در زمینه‌ی کوانتوم نوشته شده است. کتاب‌های درسی قدیمی‌تر هنگامی نوشته شده‌اند که مردم به اندازه‌ی ما معلومات نداشتند، بنابراین درک محتوای آنها برای ما دشوار نیست.

1- Dirac, *Quantum Mechanics*

۲

علم باستان

در جدول ۱، ترتیب زمانی پیشرفت‌هایی را می‌بینید که از حدود ۴۰۰۰ سال پیش از میلاد تا حدود اواخر قرن گذشته در زمینه‌های مختلف علم فیزیک پیدا شده است.

چنان که در ستون اوّل می‌بینید، ریاضیّات ــ که در فصل قبل به اختصار از آن یاد کردیم ــ از شمارش ساده شروع می‌شود و به هندسه می‌رسد و در ارتباط با آن، نجوم به پیش می‌رود. بخش مهمّی از نجوم شامل شمردن است، و گام نخست در دانش نجوم عبارت است از شمردن روز و ماه و سال. امّا در این فصل، بحث من در اطراف مطالب ستون سوّم دور می‌زند که بیشتر به جنبه‌های عملی فیزیک یعنی مکانیک مربوط می‌شود. سرانجام، نوبت به دو کشف می‌رسد که در نخستین مراحل تاریخ زندگی بشر صورت گرفت، در حالی که نخستین تجلیّات آنها به عصر کهن‌سنگی می‌رسد. مردم عصر کهن‌سنگی

جدول ۱

دوره‌ی ۴۰۰ پیش از میلاد	ریاضیات	نجوم	مکانیک	دینامیک	پنوماتیک و گرما	مغناطیس و الکتریسیته	نور شناخت
دوران باستان ۵۰۰ پیش از میلاد	حساب هندسه	حرکت افلاک شکل و اندازه‌ی زمین	کمان؛ فنری اهرم؛ چرخ؛ قرقره؛ گوه؛ پیچ	حرکت و مقاومت در برابر آن صوت به منزله‌ی ارتعاش (فیثاغورث)	دَم، لوله، تلمبه اصل ارشمیدس	آهنربا و کهربا	سایه آینه‌های تخت و کروی
قرون وسطی و عصر تمدن اسلامی ۱۴۵۰ میلادی	ارقام هندی جبر	نجوم دریانوردی	زین و برگ اسب به کارگیری دنده آسیاب‌های بادی و ساعت تلمبه بادی	حرکت پرتابه‌ها	باروت	قطب‌نما	عدسی عینک
رنسانس ۱۶۰۰ میلادی	معادلات	منظومه‌ی شمسی (کپرنیک)	متوازی‌الاضلاع نیروها (استه‌وینوس)		تلمبه‌ی مخصوص معادن	قوانین مغناطیس «گیلبرت»	پرسپکتیو (مناظر و مرایا)
۱۷۰۰ میلادی	هندسه‌ی تحلیلی (دکارت) حساب دیفرانسیل و انتگرال (نیوتون)	مدارهای بیضوی (کپلر) قمرهای مشتری (گالیله)	کشانی (هوک)	آونگ؛ قانون سقوط آزاد (گالیله) قوانین حرکت گرانش (نیوتون)	خلأ (توریچلی) فشارسنج قوانین گاز (بویل) دماسنج	الکتریسیته‌ی مالشی	تلسکوپ؛ میکروسکوپ سرعت نور رنگ تداخل؛ شکست دوگانه
۱۸۰۰ میلادی	معادلات دیفرانسیل	حل مسئله‌ی طول جغرافیایی	مقاومت مصالح (اسمیتون)	تعمیم مکانیک (لاپلاس) (همیلتون)	ماشین بخار، گرمای نهان و گرملی ویژه (بلک) چگالنده (وات) گرمای ناشی از اصطکاک (رامفورد)	رسانایی (گری) الکتریسیته (فرانکلین) چگالنده؛ قوانین نیرو باتری و جریان (ولتا)	آکروماتیسم
۱۸۹۰ میلادی	هماهنگ‌ها (فوریه)	منظومه‌ی ستاره‌یی سحابی (هرشل)	محاسبات ساختاری حرکت سیّالات توربین‌ها		معادل مکانیکی (ژول) قانون دوّم ترمودینامیک (کارنو)	الکترومغناطیس (آمپر)ـ(فارادی) تلگراف؛ دینام معادلات ماکسول	قطبش نظریّه‌ی موجی نور عکّاسی نظریه‌ی الکترومغناطیس

از خاصیّت جذب آهن توسّط «آهنربا» (magnet) و جذب کاه توسّط «کهربا» (*الکترو* =electrum) براثر مالش، آگاهی داشتند. کهربا، به خاطر کاربرد در شعبده‌بازی، فوق‌العاده ارزشمند بود و از سواحل بالتیک به بقیه‌ی نقاط جهان صادر می‌شد.

دانش مردم روزگاران باستان از این حد که نور به خط مستقیم حرکت می‌کند و می‌تواند سایه پدید آورد، بالاتر نمی‌رفت. سایه دارای اهمیّت زیاد بود و پدیده‌ی سحرآمیزی به شمار می‌آمد. سایه نوعی تصویر است و من فکر می‌کنم بسیاری از قوانین مربوط به تصاویر، از مطالعه‌ی سایه‌ها یا سوادها[1] به دست آمده‌اند.

تا اینجا به‌طور افقی به جدول ۱ نظر انداختیم. اگر به طور قائم به آن بنگریم می‌بینیم که دوره‌ها به چندین مقطع تقریبی زمانی تقسیم شده‌اند. من این بخش‌ها را به همان ترتیبی دنبال می‌کنم که وقایع مختلف اتفاق افتاده است. یعنی ابتدا در فصل‌های ۲ و ۳ به عصر باستان و کلاسیک می‌پردازم، پس از آن به سراغ قرون وسطیٰ و رنسانس می‌روم، و بعد به بخش بزرگ و پرهیجان به اصطلاح انقلاب علمی می‌رسم که از قرن پانزدهم آغاز می‌شود و دنباله‌ی آن به قرن شانزدهم و سپس به دوره‌ی پیچیده‌ی قرن هفدهم می‌کشد؛ و سرانجام نوبت به علم واقعاً جدید، یعنی علم نیوتونی و پس از نیوتون تا سال ۱۸۹۰ می‌رسد. من سال ۱۸۹۰ را سال آخر بحث قرار داده‌ام، چون از این پس به عصر علم واقعاً نوین، یعنی علم قرن بیستم و علم اتمی و کوانتومی و نسبیّتی وارد می‌شویم. در این بررسی اجمالی، تلاش کرده‌ام توالی اصلی رویدادهایی را نشان دهم که منجر به اکتشافاتی در زمینه‌های مختلف علم فیزیک شده و آنها را به صورت یک مجموعه‌ی همگرا فراهم آورده است.

1- silhouette

منشأ جامعه‌ی بشری

پیش از هر کار، لازم است طرح مختصری از تاریخچه‌ی مقدماتی این دوره‌های زمانی را ارائه کنیم و مشخصات ویژه‌ی نخستین بخش این دوره را نشان دهیم. از آغاز شکل‌گیری جامعه‌ی بشری شروع می‌کنیم، که هرگز تاریخ مورد توافقی برای آن پیدا نشده است؛ چون هر وقت تلاشی برای تعیین این تاریخ به عمل می‌آمد، پیدا شدن واقعیّات تازه نشان می‌داد که باید به عقب‌تر برگشت. در عصر کهن‌سنگی که در فصل پیش از آن یاد کردیم، دو اختراع صورت گرفت. با اینکه یکی از این دو اختراع بیشتر شیمیایی به حساب می‌آید تا فیزیکی، می‌توان هر دو را فیزیکی دانست: یکی اختراع *ابزار* بود و دیگری *آتش*، که تاریخ پیدایش آنها بسیار باستانی است. انسان پکن، یا انسان معاصر وی که آثار حیاتش اخیراً در مجارستان یافته شده است، درحدود ۳۰۰,۰۰۰ تا ۵۰۰,۰۰۰ سال پیش از این مطمئناً آتش را در اختیار داشته است. از آتش این انسان‌ها مقداری کربن، به صورت زغال چوب، بازمانده است که با روش تعیین عمر به کمک کربن ۱٤، سن آنها قابل تشخیص است. در افریقای مرکزی، بقایایی کشف شده است که عمر آنها به متجاوز از یک میلیون سال پیش می‌رسد. از این عصر شاهدی دال بر وجود آتش بر جای نمانده، امّا نشانه‌هایی از کاربرد سنگ آتش‌زنه به دست آمده است.

سنگ آتش‌زنه (سنگ چخماق) نه تنها از حیث کاربردهای معیّنی که داشته، بلکه از آن لحاظ دارای اهمیّت است که می‌توان آن‌را سنگواره‌ی اجتماع به حساب آورد. واقعیّت این است که ما از پکن تا افریقای مرکزی و بسیاری از جاهای اروپا، در همه جا به یک نوع سنگ آتش‌زنه برمی‌خوریم که همه‌ی آنها به شیوه‌ی معیّنی ساخته شده‌اند. پس از مدّتی شیوه‌ی ساختن سنگ آتش‌زنه دگرگون می‌شود و این امر به انسان‌شناسان و باستان‌شناسان کمک می‌کند تا با توجّه به شکل سنگ آتش‌زنه، سن آن را تشخیص دهند. سنگ آتش‌زنه ممکن است با این روش ساخته شود که سنگی را انتخاب می‌کنند، آن‌را می‌تراشند و

تکّه‌های اطرافش را جدا می‌کنند؛ یا «تکّه تکّه» می‌کنند که طیّ آن از هر تکّه سنگ به عنوان یک سنگ آتش‌زنه‌ی مستقل استفاده می‌شود. پس از مدتی روش «شکستن» سنگ‌ها عوض می‌شود و بشر با خُردکردنشان انواع بسیار آراسته و شکیلی از سنگ آتش‌زنه به دست می‌آورد.

می‌خواهم به این نکته اشاره کنم که تکنیک ساختن آتش‌زنه‌ها را مطمئناً می‌بایست روزگار درازی در مدرسه تدریس می‌کردند، چون نقش آن در روزگار باستان به اندازه‌ی خواندن و نوشتن اهمیت اجتماعی داشته است. هر کودک، ناگزیر باید شیوه‌ی صحیح ساختن و کاربرد سنگ‌آتش‌زنه را می‌آموخت. اما مسئله‌یی که هرگز کاملاً حل نشد، مسئله‌ی چگونگی پیشرفت و تکامل تکنیک بود. آتش‌زنه‌های اوّلیّه برای کاربردهای خاص آن ایّام بسیار کامل بودند، امّا کاربرد تغییر می‌یافت و موادّ اوّلیّه هم به تدریج دستخوش تغییر می‌شد.

معلومات امروز ما در امر کاربرد آتش‌زنه کم نیست، چون هنوز هم این ماده در روی زمین فراوان و زوال‌ناپذیر است. اما با اتکا بر معلوماتی که در مورد فرهنگ‌های دیگر داریم، باید فرض کنیم که کاربرد چوب، به‌عنوان هیزم، همزمان با کاربرد آتش‌زنه آغاز شده است. در واقع، کاربرد چوب گسترده‌تر از کاربرد آتش‌زنه بوده است؛ امّا از بقایای وسایل چوبی چیزی در دست نداریم. یک فرهنگ پیچیده‌ی اجتماعی و بسیار به قاعده را، همراه با نظام خانوادگی متعلّق به آن، به تصوّر درآورید. در این نکته تردیدی نیست که گرچه جامعه‌ی انسانی به‌تدریج محیط زندگی را گسترش می‌داده است، امّا این گستردگی آن‌را به‌صورت بخش‌های کم‌جمعیّت درمی‌آورده است. هر خانواده در حالت طبیعیِ شکار و جمع‌آوری غذا، در پهنه‌های وسیع، که همیشه هم مطلوب نبود، به زیستگاهی به شعاعی حدود پانزده کیلومتر نیاز داشت. خانواده‌ی کوچکی که متشکل از ده تن بود تنها در چنین شعاعی می‌توانست معاش خود را تأمین کند؛ و اگر در جایی به این کار توفیق نمی‌یافت راهی

نداشت جز آنکه به جای دیگر کوچ کند.

نکته‌ی دیگر در مورد عصر کهن‌سنگی این است که مردم آن روزگار کاملاً انگل طبیعت بودند. یعنی، زندگی آنها به حیوانات دیگر وابسته بود و اگر وضع حیوانات خراب می‌شد، آنها هم از دست می‌رفتند. گاهی بخت کاملاً با آنها یار بود، مثلاً جایی در شمال مجارستان نصیب انسان می‌شد. ماموت‌ها، تابستان را به چرا در مراتع لهستان می‌گذراندند؛ امّا همین که هوا سرد می‌شد به جلگه‌های نسبتاً گرم‌تر مجارستان بازمی‌گشتند. تنها سه راه برای عبور آنها وجود داشت، و انسان در مبادی این سه معبر به انتظار می‌ماند و تا آنجا که می‌توانست ماموت شکار می‌کرد. آن‌قدر شکار فراوان بود که حتی آتش خود را هم با سوزاندن استخوان ماموت تأمین می‌کردند. آتش را با روان کردن مغز استخوان‌ها فروزان نگه می‌داشتند و چون گوشت فراوان در اختیار داشتند، از اتلاف مغز استخوان‌ها بیمی به دل راه نمی‌دادند. مسئله‌ی بزرگ آنها، که البته یک مسئله‌ی شیمیایی بود و به فیزیک مربوط نمی‌شد، یافتن شیوه‌یی برای نگه‌داری موادّ غذایی بود. تمهیداتی برای این کار اندیشیده شد، ولی در مرحله‌ی وابستگی به حیوانات، پیشرفت بسیار کند بود و تکنیک‌های بسیار محدودی خلق شد. امّا همین پیشرفت کند هم به فیزیک تجربی کارآمد، بسیار بستگی داشت.

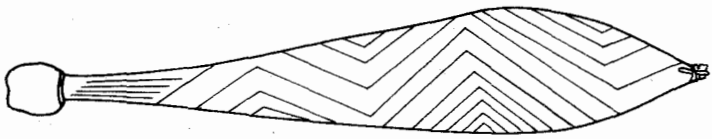
سلاح

یکی از نتایج این پیشرفت‌ها تکوین **سلاح** بود. سلاح‌های اوّلیّه را در دست نگه می‌داشتند، اما بعد یک قطعه چرم یاچیزی مشابه آن در اطـراف مچ قرار دادند تا دست به‌هنگام نگه‌داری سلاح زخمی نشود. پس از آن، دسته ظاهر شد که از جنس شاخ یا چوب بود و در نتیجه دو ابزار بنیادی ساخته شد؛ یکی تبر که تیغه‌ی آن عمود بر یک قطعه چوب قرار می‌گرفت و دیگری نیزه که نوکش در امتداد دسته واقع می‌شد. این شیوه‌ی پیشرفته در اصل برای نگه‌داشتن و حرکت

دادن و بعدها برای پرتاب‌کردن طرّاحی شده بود. نخستین تجربه‌ی استادانه و از پیش سنجیده‌ی دینامیکی در ارتباط با پرتاب کسب شد.

فرض کنیم خودِ عملِ پرتاب‌کردن تجربه‌یی متعلّق به پیش از انسان باشد، چون می‌دانیم که بسیاری از میمون‌ها و میمون‌های انسان‌نما کم و بیش با دقّت، اشیا را به اطراف پرتاب می‌کنند. کار پرتاب را می‌توان بدون نیاز به نوعی دانش خاص، و صرفاً با اتّکا به تجربه، بهبود بخشید. مثلاً، غلتاندن توپ کریکت و هدایت آن براساس یک رشته از پیچیده‌ترین قوانین آئرودینامیک صورت می‌گیرد که حتی امروز هم نمی‌توان ادعا کرد که تمام اصول آن شناخته شده است. تمام لم‌های غلتاندن توپ کریکت به جریان هوا در اطراف درزها بستگی دارد، و فوت و فن‌های آن را می‌توان کلاً به کمک تمرین به دست آورد. مهارت‌های انسان مقدّم بر دانش وی شکل گرفته است. پس می‌توان گفت که مهارت پرتاب، امری است که به صورت طبیعی حاصل شده است. امّا آدمی به زودی دریافت که برد پرتاب به طول بازو بستگی دارد و نخستین تدبیر برای افزایش طول بازو، به صورت کاربرد چوب پرتاب ظاهر شد. برای این منظور، نیزه را روی چوبی که در دست نگه داشته می‌شد به حالت تعادل در می‌آوردند. نمونه‌هایی از این «نیزه‌انداز»ها یافت شده است. معمولاً روی آنها یک برجستگی به صورت خار دیده می‌شود که در سوراخ انتهای نیزه فرو می‌رود (شکل ۳).

این نیزه‌انداز، نخستین مرحله‌ی ایجاد نوعی پیش‌رانش مکانیکی بود که امروز آن‌را به نام کمان می‌شناسیم. از تاریخچه‌ی پیدایش کمان اطلاعی نداریم، نمی‌توانیم در مورد آن چیز زیادی بگوییم. ظاهراً کمان دو منشأ داشته است: یکی از آنها کاربرد چوب و نخ به همراه یکدیگر بوده است. نخ از ایّام بسیار قدیم به کار برده می‌شد، که یا از الیاف گیاهان رشته‌داری به دست می‌آمد که در بعضی مناطق فراوان بود، یا از چرم پوست حیوانات حاصل می‌شد. این گونه «زه»ها هنوز هم توسّط اسکیموها به کار می‌رود. نخ را به



شکل ۳ـ نیزه‌انداز

چوب می‌بستند و آن‌را در زمین محکم می‌کردند، یا به درختی که خم کرده بودند، می‌بستند و یک حلقه نخ را به سر آن متصل می‌کردند و دامی برای شکار جانوران آماده می‌شد. دام‌گذاری برای شکار حیوانات، مطمئناً در عصر کهن‌سنگی معمول بوده است. پس از مدتی، اندیشه‌ی نگه داشتن نخ به صورت کشیده و عقب کشیدن آن به میان آمد. در این روش، همین که چیزی به دام می‌افتاد، نخ کشیده می‌شد (شکل ٤). این فکر و استفاده از خاصیّت فنری چوب، به ساختن کمان منجر شد. می‌دانیم که در آغاز عصر کهن‌سنگی کمان در کار نبود و این سلاح به بخش متأخّر این عهد تعلّق دارد؛ چون تنها در نقش‌های مربوط به این قسمت، آثاری از شکار به کمک تیر و کمان به دست آمده است.

پیش از اختراع کمان، انسان آلت دینامیکی دیگری دراختیار داشت که قدرتی پیچیده بود و بولاس (bolas) خوانده می‌شد. چند قطعه سنگ را به سر چند رشته نخ می‌بستند و انتهای نخ‌ها را به هم گره می‌زدند؛ یکی از سنگ‌ها را در دست می‌گرفتند و بقیّه را در حول آن تاب می‌دادند و ناگهان رها می‌کردند (شکل ۵). این تمهید یکی از بهترین روش‌های شکار حیوانات در فضای باز بود، چون طناب به دست و پای آنها می‌پیچید و زمین‌گیرشان می‌کرد. امّا این سلاح محدودیت‌هایی هم داشت؛ مثلاً، فقط در جلگه‌های باز قابل استفاده بود، چون در غیر این صورت به شاخ و برگ درخت‌ها و بوته‌ها گیر می‌کرد. البته ما هیچ نشانه‌یی از «بولاس» نیافته‌ییم، امّا کشف سنگ‌هایی که در انتهای آنها فرو رفتگی ایجاد کرده‌اند نشانه‌یی بر وجود این سلاح است.

شکل ٤ـ دام

این مثال‌ها شواهدی بر وجود تدابیر مکانیکی به حساب می‌آیند، تدبیرهای بسیار استادانه‌یی که به پیدایش اندیشه‌ی استفاده از خاصیّت فنر در ساختن تیر و کمان منجر شد. تیر و کمان را می‌توان ماشینی برای ذخیره و آزاد کردن انرژی به وقت ضرورت، دانست. به همراه تیر و کمان و شاید هم پیش از آن، وسیله‌ی دیگری پیدا شد که آن هم کمان بود ولی می‌توانست ایجاد صدا کند. شالوده‌ی ایجاد سازهای زهی و آلت‌های موسیقی متناظر با آن، از همین جا ریخته شد. بعداً به چگونگی پیدایش سازهای بادی و طبل خواهیم پرداخت.

شکل ٥ ـ بولاس

اصل اوّلیّه‌یی که منجر به پیدایش این وسیله‌ها شد، عبارت بود از کاربرد یک عامل وشناخت قابلیت‌های مختلف آن.

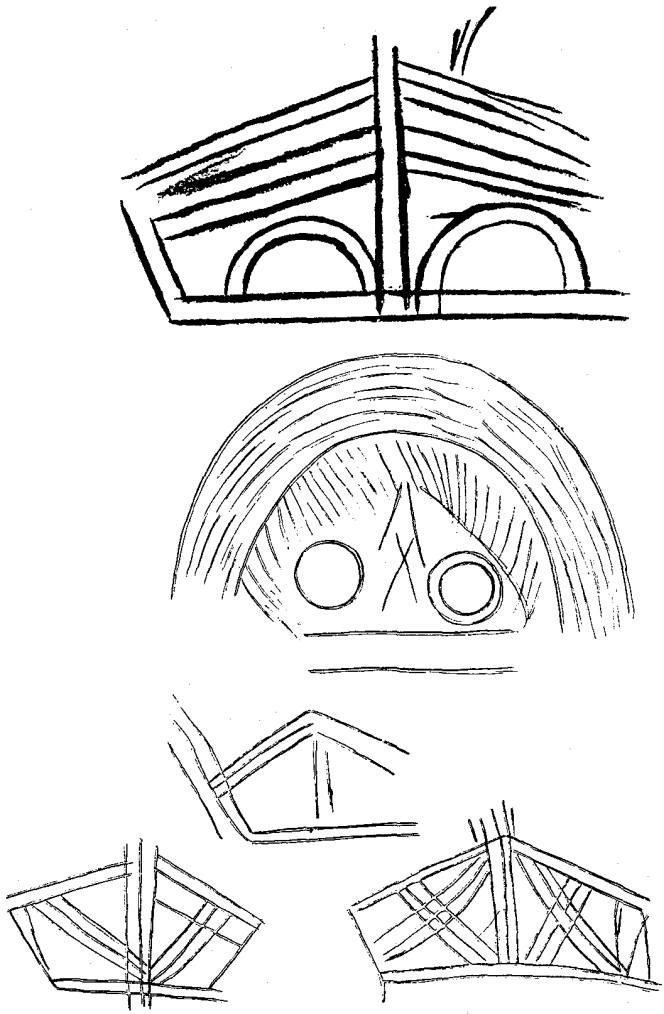
آتش

عنصر دیگری که از آن یاد کردیم، آتش است. شاید بگویید آتش یک پدیده‌ی شیمیایی است، امّا این را می‌دانید که آتش توسّط انسان اختراع نشده است. آدمی، آتش را به دام انداخت. افسانه‌های قدیمی حاکی از آن است که آتش از آسمان به زمین آمد. اندیشه‌ی رام‌کردن آتش و توانایی حفظ اندکی از آن، در اعماق ذهن آدمی جای داشت. در جوامع قدیم، رام‌کننده و نگاهبان آتش، مهم‌ترین فرد بود و اگر از حفظ آتش درمی‌ماند جامعه دچار خسران‌های بزرگ می‌شد.[1] مسئله‌ی بعدی، چگونگی تولید آتش بود. تولید آتش به راه‌های فراوان صورت می‌گیرد، امّا همه‌ی این راه‌ها بر آگاهی واقعی در مورد تبدیل انرژی مکانیکی به انرژی گرمایی مبتنی است. این تبدیل، یا از طریق مالش و اره کردن یا به وسیله‌ی متـه‌کردن و ضـربه‌زدن میسّر می‌شود. نخستین گام‌های علم شیمی و معدن‌شناسی از همین جا برداشته شد، چون تولید آتش مستلزم کاربرد دو نوع سنگ آتش‌زنه بود. با یکی از آنها کاملا آشنایی داشتند و می‌دانستند که در ساختن ابزار هم کاربرد دارد. با دردسـت‌داشتـن همین یک سنگ می‌توان از عهده‌ی کارهای معمولی برآمد، ولی برای دستیابی به نتایج مطلوب‌تر باید یک ماده‌ی فلزی هم در دسترس داشت. سال‌ها پیش از استخراج و تولید فلز، بشر سنگ آتش‌زنه‌ی دیگری یافت که امروز هم به همان

۱ـ یکی از نمونه‌های جالب که نشان می‌دهد تهیّه‌ی آتش تا همین زمان‌های اخیر هم مشکل بوده است، جریان حمله‌ی عوام پیرو کلیسا و شاه انگلستان به خانه و آزمایشگاه دکتر پریستلی در بیرمنگام است. هنگامی که این جمعیت برای سوزاندن و ویران کردن خانه و آزمایشگاه به محل موعود رسیدند، متوجّه شدند که آتشی در دسترس ندارند و باید کسی را برای آوردن آتش بفرستند. پریستلی با استفاده از فرصت، جان بـه‌دربـرد. این رویداد به سال ۱۷۹۱ در سالروز انقلاب فرانسه رخ داد.

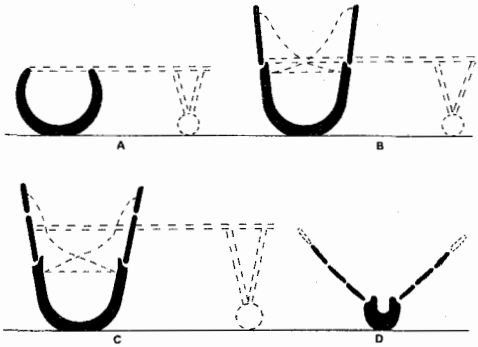
نام قدیمی خود پیریت (سنگ آذر) خوانده می‌شود. پیریت یا سولفید آهن، در برخورد با سنگ چخماق تولید آتش می‌کند و سنگ مقدّسی به حساب می‌آید.

کلّ علم شیمی، همراه باآتش تولّد یافت. در یکی از کتاب‌های قرن هجدهم، کلمه‌یی که برای علم شیمی به کار رفته است با کلمه‌یی که برای علم شناخت و تولید آتش به کار می‌بردند یکی است *Pyritologica*. مفهوم این کلمه، علم مطالعه‌ی سنگ‌های آتش‌زنه و تمام اموری است که با آتش ارتباط می‌یابد. از دیدگاه علمی، یکی از نخستین اموری که انجام آن به یاری آتش امکان‌پذیر می‌شود استخراج فلز است؛ ولی اگر الان به صحبت در مورد فلزّات بپردازیم تند رفته‌ییم؛ چون بعضی از چیزهایی که باید در مورد آنها سخن بگوییم پیش از پیدایش فلزات وجود داشته‌اند. اگر به مجموعه‌ی تکنیک‌های عصر کهن‌سنگی توجّه کنیم، می‌بینیم که در ارتباط با زندگی عملی در حدّ کمال است، بگذریم از آنکه اسکیموها در مواردی از فلز استفاده می‌کرده‌اند. در عصر کهن‌سنگی هر کاری که انجام آن با استفاده از انواع موادّ موجود و معرفت حاصل از کاربرد آنها ممکن بود، انجام می‌شد. مردم آن عصر چندان توجّهی به خورشید و ستارگان نداشتند و بیشتر به فکر تهیّه‌ی انواع ابزار مکانیکی مناسب برای شکار بودند، و این وسایل را با شکل دادن و مته‌کاری و کارهای دیگری نظیر به‌هم‌بستن، به‌هم‌دوختن و روی‌هم سوارکردن اشیا به صور گوناگون، عملی می‌کردند. بدین ترتیب نوعی معماری پدید آمد و انواع متفاوت مسکن، بنیاد نهاده شد (به شکل ٦ توجّه کنید. در مورد یکی از نقاشی‌ها کاملاً مطمئن نیستیم، چون ممکن است تصویر چهره‌ی یک آدم باشد! امّا معمولاً این نقّاشی‌ها را تصویر کلبه به‌شمار می‌آوردند). امروزه در مورد کلبه‌های عصر کهن‌سنگی اطّلاعات نسبتاً زیادی داریم؛ چون سوراخ‌هایی که برای نصب چوب‌بست این کلبه‌ها کنده می‌شد تا حدودی برجای مانده است. سازندگان این کلبه‌ها، قاعدتاً وسایلی برای به دست آوردن تیر سقف و اتصال آنها به یکدیگر از طریق اسکنه کردن یا دوختن، در دست داشته‌اند. در ارتباط با «آب» هم وسایل جدیدی به دست آمد؛ ابتدا از کلک‌های شناور و بعدها



شکل ٦ ـ نقّاشی‌های عصر کهن‌سنگی غار فون دو گوم، دوردونی[1]، به عقیده‌ی عدّه‌یی از صاحب‌نظران، تصویرهایی از کلبه‌های ییلاقی هستند.

1- Font -de- Gaume cave, Dordogne



شکل ۷ـ نمودارهای مقطعی از چگونگی پیدایش تیر محافظ از الوار توخالی. الف) الوار توخالی؛ ب) الوار توخالی و بدنه با یک ردیف دیوار؛ ج) همان وسیله‌ی بند ب، به علاوه‌ی یک ردیف دیواره‌ی دیگر؛ د) تیر محافظ کامل. در تصاویر الف تا ج، خطوط نقطه‌چین نشانه‌ی تشکیلات جانبی قایق است که در تصویر حذف شده است.

از الوارهـایی که درون آن‌ها را خالی کرده بودند استفاده شـد (شکل ۷). در این تصویر، خط‌چین‌ها، نشان دهنده‌ی تشکیلات جانبی قایق است که از هنگام پیدایش بادبان و پارو مورد استفاده قرار می‌گرفت. در این مرحله، در دو پهلوی الوار تو خالی دو دیواره‌ی تخت نصب شد و مقدّمات شکل‌گیری قایق و کشتی، به صورتی که امروز می‌شناسیم، فراهم آمد. کشتی به شکل امروزی، غفلتاً ساخته نشد. ته کشتی، ابتدا پهن بود و تخته‌های آن به هم دوخته شده بود و در قسمت زیرین تیر محافظی برای نگه‌داری تخته‌ها داشت. این تیر محافظ حتّیٰ در قایق‌های امروزی هم دیده می‌شود، هر چند از نظر مکانیکی وجود آن به هیچ وجه ضروری نیست.

قایق اختراع مهمّی است، چون هنگام کاربرد در ماهیگیری و تجارت، نخستین وسیله‌ی دست ساخت آدمی بود که می‌باید با نیروهای عظیم دینامیکی حاصل از موج و باد مقابله کند. آگاهی بر چگونگی ساخت قایق و پارو زدن و راندن و هدایت آن، در واقع یک مکتب بود. مکتبی که علاوه بر مکانیک قایق‌سازی، شامل فنّ دریانوردی نیز می‌شد و این صنعت با رسیدن به مرحله‌ی دریانوردی در اقیانوس‌ها بار دیگر توجّه بشر را به آسمان جلب کرد. صنعت

اقیانوس‌پیمایی، مطمئناً پیش از پیدایش خواندن و نوشتن ظهور یافته است؛ چون اهالی پولی‌نزی در هنگام پیمودن پهنه‌ی اقیانوس‌ها، از این هنر برخوردار بوده‌اند.

انقلاب کشاورزی

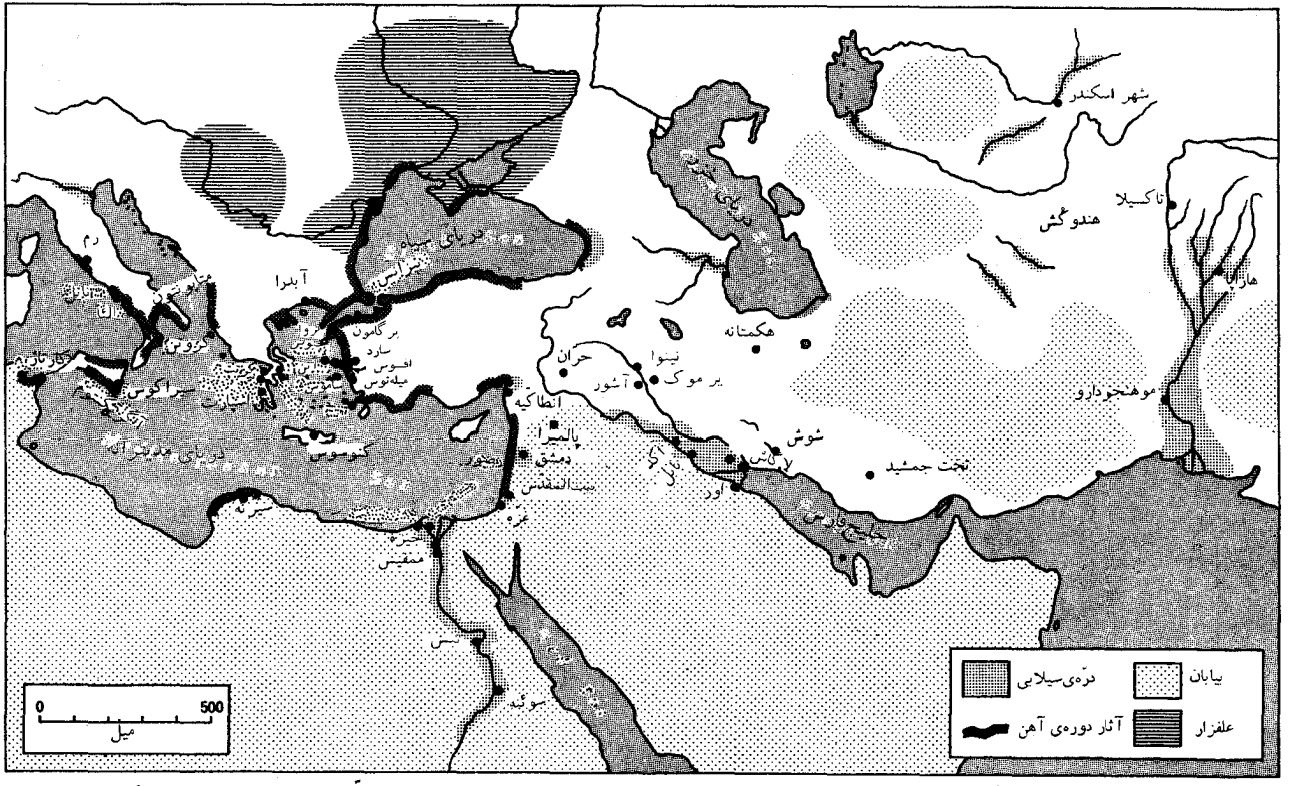
آنچه تا به‌حال تشریح شد پیشرفت‌های بدوی بود. کلّ این نظام ناگهان با یک کشف عظیم زیست‌شناختی متحوّل شد. تاریخ این کشف، مدام به زمان‌های دورتری نسبت داده می‌شود. هنگامی که در سال ۱۹۴۸ این سلسله‌درس‌ها را آغاز می‌کردم، با اطمینان خاطر، تاریخ ۴۰۰۰ سال پیش از میلاد را به عنوان دوران انقلاب کشاورزی ذکر می‌کردم. ولی این ادّعا، مدام مورد تجدید نظر قرار می‌گیرد. در نقشه‌ی صفحه‌ی ۵۰، تصویری از جهان باستان می‌بینید که مکان‌ها و شرایط ایجادکننده‌ی این شیوه‌ی جدید در آن مشخص شده است. آخرین دوران یخ‌بندان در حدود ۷۰۰۰ تا ۸۰۰۰ سال پیش از میلاد پایان گرفت. یخچال‌هایی که قسمت اعظم سرزمین اروپای شمالی را پوشانده بود ذوب شد، و تنها بخشی از آن در بلندی‌های آلپ و نروژ بر جای ماند. نتیجه‌ی این رویداد، پیدایش مساحت زیادی زمین گسترده و هوای گرم‌تر بود. آب حاصل از ذوب یخ‌ها، سطح آب اقیانوس‌ها را بالا برد. ۲۰۰۰ تا ۳۰۰۰ سال بعد از این هم آب اقیانوس‌ها در حدود ۹۰ متر بالا خواهد آمد، چون هنوز هم ذوب یخ‌های مربوط به عهد یخ‌بندان اخیر ادامه دارد. البتّه در آن هنگام ما دیگر زنده نیستیم، بنابراین جای نگرانی نیست! مسئله‌ی اساسی این بود که با گرم شدن هوا، اراضی وسیعی همچون بیابان صحرا یا بیابان عربستان که روزگاری جلگه‌های سرشار از جانوران مختلف بودند، به زیر آب فرو رفتند. بیشتر این جانوران نابود شدند، امّا بعضی از آنها جان به در بردند. هنوز هم در هوقار [1] که از دریا حدود ۳۰۰۰ کیلومتر، فاصله دارد و صحرایی بی‌آب به شمار می‌آید، تمساح دیده

۱ـ هوقار یا حُجار، منطقه‌یی در شرق الجزایر.

می‌شود. این منطقه روزگاری سرزمین جانوران بزرگی چون شیر، زرّافه و گاومیش بوده است. خشک‌شدن این گونه اراضی، مردم را به‌سوی سواحل رودها و محل‌های تجمّع جانوران کوچ می‌داد. هرجا که جویباری از کوه سرازیر می‌شد و در شن‌ها فرو می‌رفت، دلتا یا مخروط افکنه‌یی می‌ساخت که در آن، مردم و مرغ و مور گرد می‌آمدند. در همین محل‌ها، شیوه‌ی تولید غذا با بهره‌گیری از غلّات ابداع شد و ریشه‌ی همه‌ی پیشرفت‌های کشاورزی در این مرحله است.

واقع امر این است که هنوز هم بر سر محل رویداد انقلاب کشاورزی بحث و مجادله ادامه دارد. گروهی بر آنند که این تحوّل در شمال دجله صورت گرفته و کسانی هم *اَریحا*[1] در فلسطین را محل ظهور آن می‌دانند. هر دو منطقه بسیار قدیمی هستند و دست کم ۱۰۰۰۰ سال عمر دارند، و می‌دانیم که در آن تاریخ در این نواحی غلّه وجود داشته است و مردم آن را آسیاب می‌کرده‌اند. از مردم آن زمان داس‌هایی برجا مانده است که با آنها غلّه درو می‌کرده‌اند؛ سنگ‌آسیاب‌هایی نیز یافت شده است که با آنها غلّه خرد می‌کرده‌اند و همچنین ظرف‌هایی مربوط به بخشی از تاریخ این مناطق به دستمان رسیده است که در آنها پخت و پز می‌کرده‌اند. یک مرحله از تاریخ اریحا را ماقبل سفالگری می‌خوانند، چون در این روزگار مردم لباس داشتند و از غلّه استفاده می‌کردند؛ هنوز در عهد نوسنگی به سر می‌بردند، ولی ظرف نداشتند. تاریخ دستیابی بر غلّه در منطقه‌یی که یَرموک[2] خوانده می‌شود، از این حدود هم فراتر می‌رود. مناطقی که وسعت آنها به اندازه‌ی وسعت اریحا و یرموک بود، گنجایش تعداد محدودی جمعیت داشت. همین‌که تکنیک کشاورزی در این باریکه‌ی دورافتاده‌ی حاشیه‌ی صحرا شناخته شد، از طریق رودخانه‌ها به مناطق گسترده‌ی جهان آن روزگار منتقل شد.

1- Jericho
2- Jarmo

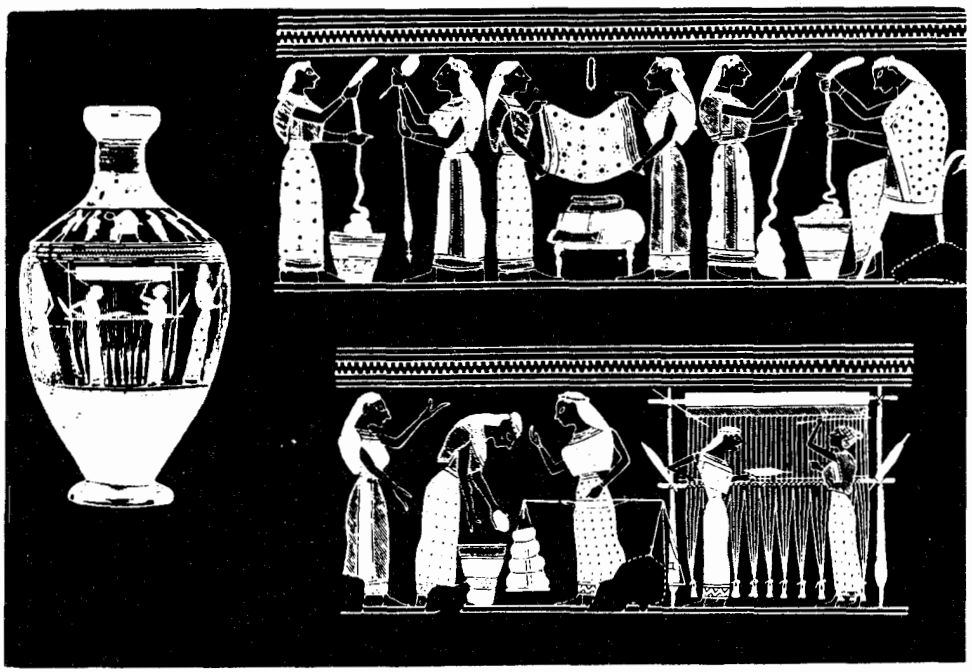


نقشه شماره ۱: آغاز تمدّن. در این نقشه، مکان‌های اصلی جهان باستان که مهد کشاورزی بودند مشخّص شده است. شهرهایی که در این نقشه دیده می‌شوند، متعلّق به عصر مفرغ و آهن بوده‌اند.

علّت آنکه کشاورزی در ساحل رودخانه‌ها ظهور نیافت تا حدودی روشن است، چون در آن ایّام تنها سه رودخانه‌ی اصلی وجود داشت: نیل، دجله و فرات (دو رودخانه‌ی سرزمین بین‌النّهرین) و بالاخره رودخانه‌ی سند. در بسیاری از موارد، رودخانه‌های پر آب از قلب صحرا می‌گذشتند (که در باریکه‌یی از جنگل و بیشه‌زار محصور بودند) و تنها به‌درد شکار جانوران آبی می‌خوردند. امّا بشر به‌محض دستیابی به‌تکنیک کشاورزی، شروع به‌پاک کردن حاشیه‌ی رودخانه‌ها از بیشه‌زار و خشکاندن مرداب‌ها کرد. خطّ تمدن کشاورزی ساحل نیل، تا آنجا که تمساح‌ها برجامانده‌اند کشیده می‌شود. چون همراه با گسترش کشاورزی، تمساح‌ها به‌سوی سرچشمه‌ی نیل رانده شدند.

ترازو

پیشرفت عظیم کشاورزی باعث پیشرفت سایر جنبه‌های مکانیک عملی شد. شکل ۸ منظره‌یی است ازیک کارخانه‌ی پشمبافی یونانی که در آن، دو جریان مختلف قابل تشخیص است؛ در یک صحنه کارکنان را می‌بینید که پشم خام را می‌گیرند و به تابیدن و بافتن آن می‌پردازندو در صحنه‌ی دیگر که برای ما بسیار جالب است، عدّه‌یی از آنان در حال وزن کردن پشم دیده می‌شوند (تصویر صفحه‌ی بعد). به یاد دارید که در فصل پیش در مورد اندازه‌گیری مقدار غلّه بر حسب حجم صحبت کردیم، امّا مقدار پشم را نمی‌توان بدین ترتیب اندازه گرفت. در صورت تمایل، می‌توان پشم را به صورت نخ در آورد و طول آن را اندازه گرفت. امّا اگر بخواهیم بدانیم دقیقاً چقدر پشم خام داریم و با آن چه کارها می‌توانیم بکنیم، باید آن را وزن کنیم. به همین دلیل است که در این تصویر قدیمی، شاهد استفاده از یک ترازوی بدوی هستیم. اندیشه‌ی اندازه‌گیری وزن، از همین ترازوی ساده که چیزی نیست مگر قطعه چوبی که دو کفه به دو سر چوبی آن آویزان شده است، آغاز شد. هنگامی که باری را به یک سر چوبی آویزان می‌کنیم و به این سو و آن سو می‌بریم، طبیعتاً آن قدر چوب را عقب و جلو می‌کنیم تا بالاخره تعادل آن برقرار شود؛ و می‌دانیم که اگر

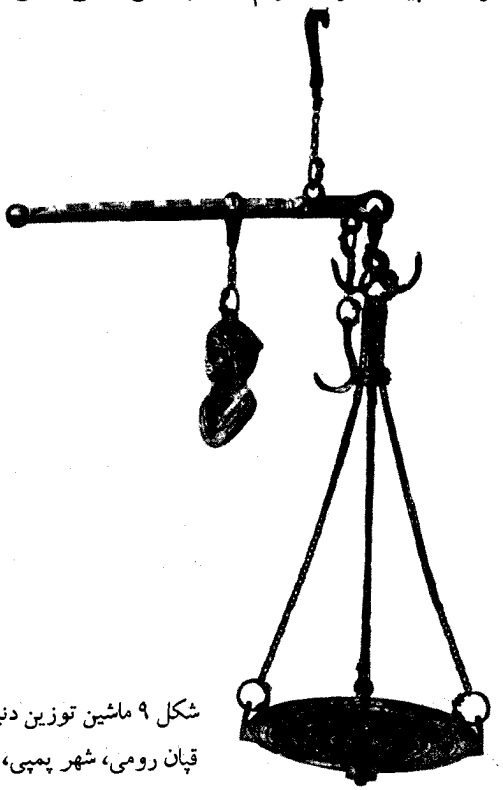


شکل ۸ـ ریسندگی، بافندگی و توزین پشم در کارخانه‌ی پشم‌بافی یونایی

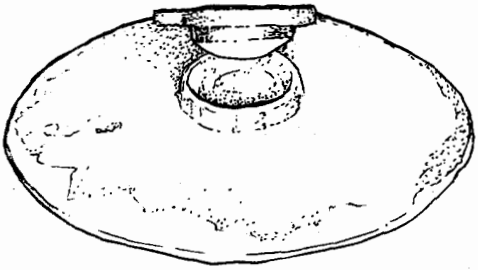
بارهای آویزان از دو سر چوب با هم مساوی باشند، دو سر چوب در حالت تعادل باقی می‌مانند چون اگر چوب را بچرخانیم تعادل آن به هم نمی‌خورد. به همین سبب، ترازو به صورت نمادی برای هر اندیشه یا پدیده‌ی درست و عادلانه درآمد. عدالت، در واقع یک تعادل کامل و میزان است که همه را به‌طور مساوی می‌سنجد. هنوز هم مفهوم عدالت، تصویر ترازو را در ذهن ما القا می‌کند. البتّه در آن ایّام، همیشه ترازوی بازو مساوی، که تا حدودی جدیدتر به حساب می‌آید به کار نمی‌رفت. در شکل ۹، یک ترازوی رومی از نوع قپان معمولی مورد استفاده‌ی قصاب‌ها دیده می‌شود، که بازوی آن با هم مساوی نیست و دارای وزنه و درجه‌های اندازه‌گیری است. این دستگاه در حقیقت ماشین معمول

توزین در روزگار باستان بود.

تا اینجا، در مورد برخی از خواص مکانیکی که مستلزم کاربرد اهرم است، صحبت کرده‌ایم. تجلّی عددی کاربرد اهرم، در ترازو به ویژه نوع بازو نامساوی آن دیده می‌شود. قدمت اهرم، به اندازه‌ی قدمت تمدّن است. در عصر کهن‌سنگی اهرم را برای کندن و بلند کردن اشیا به کار می‌برده‌اند، امّا کاربرد پیچیده‌ی آن با ظهور ترازو و دو کشف دیگر که تاریخ پیدایش آنها شاید قدیم‌تراز تاریخ پیدایش ترازو باشد، آغاز شد که یکی از آن‌ها لغزاندن اجسام بود که راهی برای جابه‌جاکردن به‌حساب می‌آمد. بنابراین، استفاده از وسیله‌یی مانند سورتمه ضرورت پیدا کرد. مردم عصر کهن‌سنگی ازاین‌وسیله استفاده



شکل ۹ ماشین توزین دنیای باستان:
قپان رومی، شهر پمپی، ۷۹ میلادی.



شکل ۱۰ـ چرخ افقی: صفحه گرد و پایه‌ی سفالگری، متعلّق به افریقای امروز

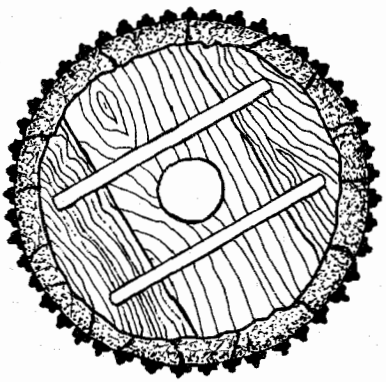
می‌کرده‌اند، امّا سورتمه فقط به درد مناطق هموار می‌خورد و استهلاک آن هم سریع بود. سورتمه در نقاط پوشیده از برف دوام می‌آورد، ولی در سنگلاخ‌ها خیلی زود می‌فرسود. در این گونه مناطق وسیله‌ی مناسب‌تری لازم بود؛ مسئله با قرار دادن چند غلتک در زیر سورتمه حل شد و موضوع چرخش مورد توجّه قرار گرفت. ایده‌ی چرخش هم بسیار قدیمی است. از زمان‌های بسیار دور، بشر برای جا به جایی اشیا آنها را کمی می‌چرخانده‌اند و همین چوب را به عنوان غلتک در زیر سورتمه قرار داده‌اند. در موزه‌ها تصویرهایی از کار قراردادن غلتک زیر اجسام مختلف می‌بینید، و با دیدن این تصاویر متوجّه می‌شوید که این کار بسیار شاق بوده است. زیر اجسام سنگین، کنده‌های درخت می‌گذاشتند و در حالی که جسم را به جلو حرکت می‌دادند، عدّه‌یی از پشتِ سر کنده‌هایی را که از زیر جسم بیرون می‌آمد بر می‌داشتند و به جلو جسم می‌آوردند ومجدّداً در زیر آن قرار می‌دادند. با همین شیوه بود که صدها کارگر، مجسمه‌ها و قطعات سنگین را جا به جا می‌کردند.

چرخ

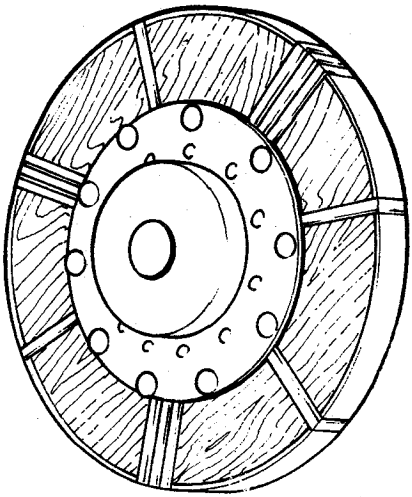
استفاده از غلتک، به خوبی جا افتاده بود، ولی تبدیل آن به چرخ، یعنی دوّمین تحوّلی که از آن یاد کردیم، روند بغرنجی داشت که درک کامل آن تاحدودی

مشکل است. در کاربرد چرخ، یک یا حتّی دو شگرد مطرح است. شگرد اوّل این است که ضمن قرار دادن غلتک در زیر بار، برای حفظ بار و کنار رفتن غلتک‌ها، مقداری طناب به دور آنها بسته شود. لیکن این موضوع چندان کمکی به حل مسئله نمی‌کند، چون در حالتی که قطر حلقه‌ی طناب و غلتک مساوی باشد، همان میزان لغزش روی می‌دهد. امّا اگر چرخ‌های بزرگ‌تری در انتهای غلتک یا محور نصب کنیم، مقاومت در محور بسیار کم می‌شود و شیوه‌ی مقرون به صرفه‌یی برای حرکت دادن اجسام به دست می‌آید؛ و این دقیقاً همان چیزی است که در تاریخ روی داد.

می‌خواهیم به‌نحوه‌ی کاربرد چرخ نظری بیفکنیم. اوّلین و ابتدایی‌ترین چرخی که به کار رفت، چرخ افقی بود (شکل ۱۰). چرخ افقی، با سوار کردن یک جسم بر روی محوری که جسم به گرد آن می‌چرخید به دست می‌آمد. به عنوان مثال، از قطعه‌سنگی که بر یک محور سوار می‌شد، یا چرخ سفالگری یا پاشنه‌ی در نام می‌برم. اندیشه‌ی قرار دادن چرخ در راستای قائم و استفاده از آن

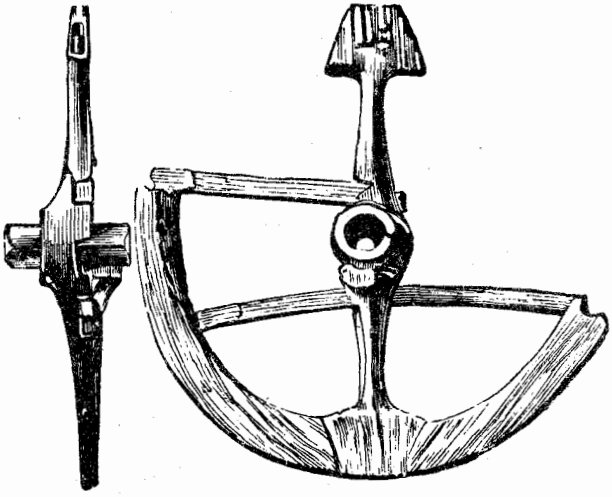


شکل ۱۱- چرخ میخ‌دار، از شهر شوش. ۲۵۰۰ قبل از میلاد، به قطر ۷۵ سانتی‌متر.

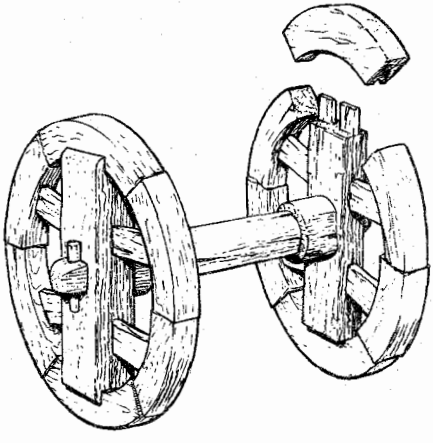


شکل ۱۲ـ بازسازی تسمه‌ی مسی اطراف یک چرخ، از شهر شوش.

در حرکت، مدّت‌ها بعد عملی شد، یعنی حدود ۳۰۰۰ سال پیش از میلاد. در شکل ۱۱، نخستین شکل چرخ که تقریباً توپر است دیده می‌شود. این چرخ در واقع از سه قطعه چوب ساخته شده است، چون یک قطعه چوب، که به تنهایی برای ساختن آن کافی باشد به دست نمی‌آمده است. این سه قطعه را با دو قطعه چوب باریک به هم متّصل کرده و آج‌های آن‌را با میخ‌های مفرغی درست کرده‌اند. یک چرخ مشابه در شکل ۱۲ دیده می‌شود که تسمه‌ی اطراف آن از جنس مس است. در شکل ۱۳ یکی از اَشکال دیگر این چرخ‌ها دیده می‌شود که چندان محکم نیست. این چرخ دارای یک میله‌ی شعاعی مرکزی و دو میله‌ی جانبی است و نمونه‌های آن امروز تقریباً کاربرد جهانی دارد. در شکل ۱٤، نمونه‌یی از این چرخ‌ها که امروز معمول است دیده می‌شود. من در مغولستان،



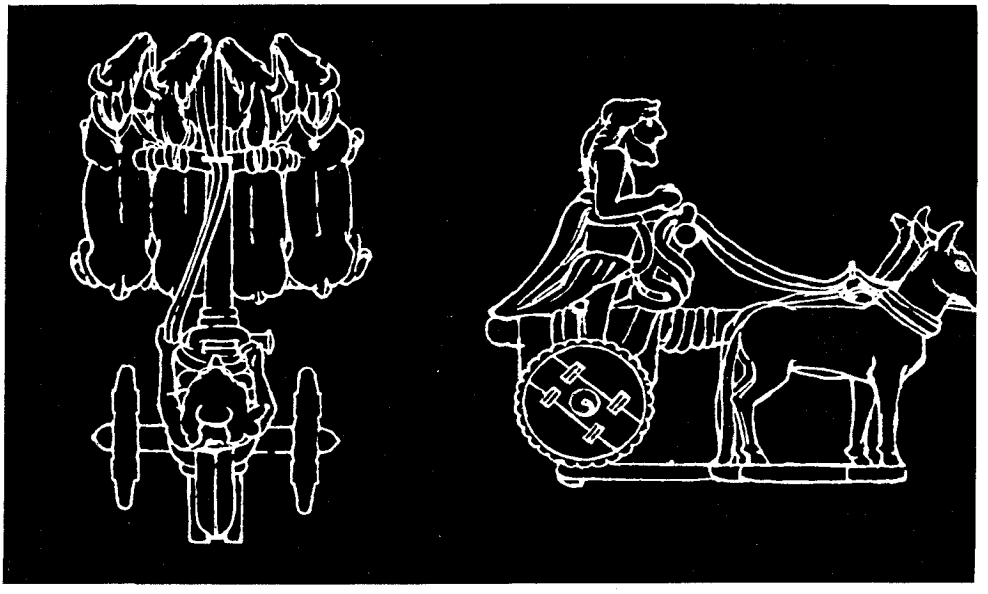
شکل ۱۳ـ چرخ چوبی اوّلیّه. دارای یک میله‌ی شعاعی مرکزی و دو میله‌ی جانبی است.



شکل ۱۴ـ چرخ‌هایی که هنوز هم در چین به کار می‌رود، و مرحله‌یی از مراحل اوّلیّه‌ی تکامل چرخ، محسوب می‌شود.

نمونه‌ی این نوع چرخ‌ها را با تایرهای لاستیکی دیده‌ام. بله، هنوز هم این‌گونه چرخ‌ها ساخته می‌شود.مثلاً هیچ انتظار نداشتم که دیگر اثری از کاربرد چرخ‌های توپر ببینم؛ امّا از میان همه‌ی کشورها، در شیلی نمونه‌هایی از آن دیدم. البتّه این چرخ‌ها در شیلی اختراع نشد، امّا جزو دارایی مهاجرنشین‌های اسپانیایی به مردم شیلی رسید که هنوز هم از آن استفاده می‌کنند.

در شکل ۱۵، کاربرد این نوع چرخ مشخّص شده است. آنچه می‌بینید، ماکت کوچکی است از یک ارّابه متعلّق به هزاره‌ی سوّم که به وسیله‌ی چهارالاغ کشیده می‌شده است. در آغاز الاغ را، به‌علّت آنکه راحت‌تر مهار می‌شد، بر اسب ترجیح می‌دادند. در تصویر، محور مرکزی



شکل ۱۵ـ مدل مسی ارّابه‌یی که به چهار الاغ بسته می‌شد، مربوط به «تَلِّ عقرب» بین‌النّهرین، هزاره‌ی سوم پیش از میلاد.

که میله‌یی شبیه محور گاوآهن است دیده می‌شود. احتمالاً جریان پیدایش ارّابه چنین بوده است که در ابتدای کار، به خاطر تهیّه‌ی وسیله‌یی برای زیر و رو کردن خاک، قطعه چوبی را که دارای ریشه یا شاخه بود انتخاب می‌کردند و قطعه‌یی سنگ یا بعدها یک کج‌بیل فلزی را به آن شاخه یا ریشه می‌بستند. پس از آن یا با ضربه زدن و یا با کشیدن کج‌بیل، خاک را زیر و رو می‌کردند. پس از مدّتی، با استفاده از یک یوغ، این دستگاه به گاوآهن تبدیل شد.

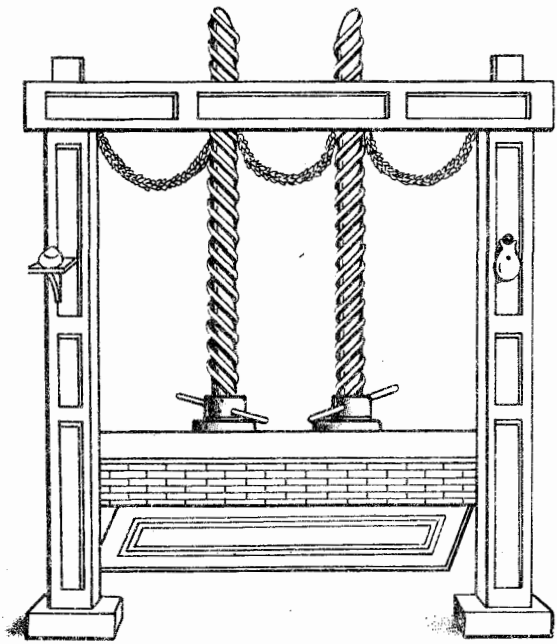
در این مرحله با افزودن چرخ و حذف قسمت‌های زائد، خیش را به ارّابه بدل کردند. این دستگاه‌ها که مرحله به مرحله در ضمن کار تکامل یافتند پیچیدگی خاصّی در آنها دیده نمی‌شود.

در تصویر ۱۶ مورد استفاده‌ی دیگری از چرخ دیده می‌شود. در این صحنه کاربرد طناب و قرقره را می‌بینید که یک دیوار، بخشی از آن را مخفی کرده است. این دستگاه برای کشیدن آب از چاه به کار می‌رفت و در تصویر می‌بینیم که یکی از محاصره‌کنندگان، با کارد طناب را می‌برد تا محاصره‌شدگان از آب محروم بمانند. امّا جنبه‌ی اساسی قرقره و چرخ، تبدیل نیروی مکانیکی است.

نخستین وسیله‌ی تبدیل نیروی مکانیکی، اهرم بود. پس از آن، نوبت به بهره‌گیری از چرخ و سپس استفاده از چند چرخ یا از چند قرقره فرا رسید. این وسایل در دنیای باستان عملاً به کار می‌رفت، و حتّیٰ آخرین وسیله‌ی تبدیل نیروی مکانیکی یعنی پیچ هم شناخته شده بود.

شکل ۱۷، نمونه‌ی نسبتاً تازه‌یی از این نوع دستگاه‌ها را که در قرن اوّل در پُمپی به کار می‌رفته است نشان می‌دهد. از این دستگاه منگنه (پرس) در تهیّه‌ی پارچه استفاده می‌شده است. همانطور که می‌بینید، پیچ‌ها، برای جلوگیری از تابیدن صفحه‌ی زیرین، به‌دو صورت راست‌گرد و چپ‌گرد

شکل ۱۶ ـ آشوریان، در یکی از شهرهای محاصره شده، از قرقره برای کشیدن آب استفاده می‌کنند.



شکل ۱۷ـ منگنه‌ی پارچه، از یک نقّاشی دیواری شهر پمپی.

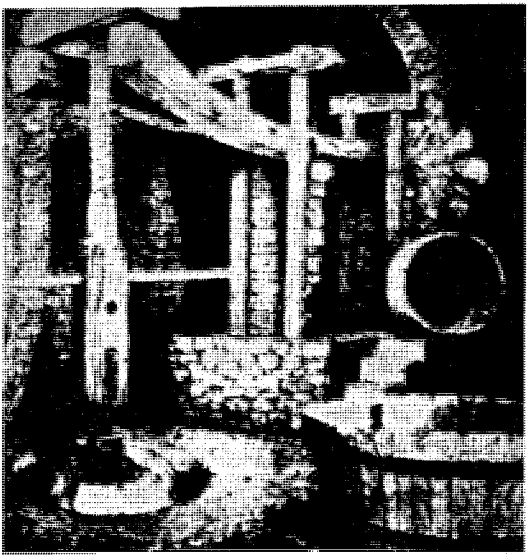
شیار داده شده‌اند.

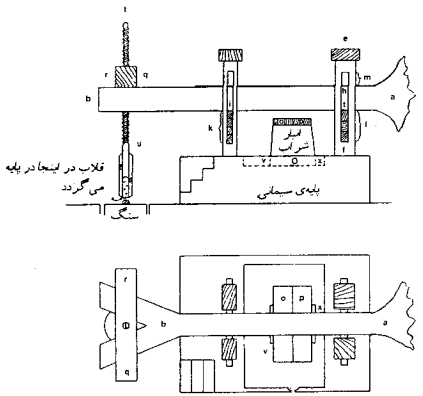
در شکل ۱۸ نمونه‌ی جالبی از چَرخُشت مکانیکی را می‌بینید که در آغاز

قرن حاضر در پمپی دیده شده است. البتّه خبر ندارم آیا هنوز هم این دستگاه در جای خود هست یا نه. این ماشین به همان شیوه‌ی باستانی ساخته شده است. شکّی نیست که چند پیچ دستگاه و وزنه‌ی بزرگ آن را عوض کرده‌اند؛ محور اصلی هم تعویض شده است، امّا ماشین روی هم رفته همان ماشین قدیمی است. طرح کلّی دستگاه دست‌نخورده و تنها تعمیر و وصله شده است. اجزایی از دستگاه که به راه‌اندازی و عصاره‌کشی مربوط می‌شود، در این طرح مشخّص نیست. امّا توجّه دارید که یک وزنه‌ی سنگین جزو اجزای دستگاه است. این سنگ را در وسط دستگاه، یعنی جایی که توده‌ی تفاله‌های انگور جمع شده و آن را به تدریج می‌چلانند و شراب را از آن بیرون می‌کشند نصب کرده‌اند. در نخستین قسمت، شراب انگور را از طریق لگد کردن انگور سالم استخراج می‌کردند. با این روش مقداری از آب انگور گرفته می‌شد، امّا قسمت اعظم آب در انگور باقی می‌ماند و بیرون کشیدن آن به فشار زیادی احتیاج داشت؛ این کار به کمک سنگ بسیار بزرگی عملی می‌شد. وظیفه‌ی فشردن را یک پیچ انجام می‌داد که به کمک چند قلاویز می‌چرخید.

این دستگاه، نمونه‌یی از دستگاه‌های پیچیده‌ی مهندسی مکانیک است. این نوع دستگاه‌ها، هم برای شراب‌کشی و هم برای منظورهای دیگر به کار می‌رفت. مثلاً از مکانیسم پیچ، در جریان انتقال آب به زمین‌های مرتفع استفاده می‌شد، که در این باره بعداً صحبت خواهم کرد. حالا به یک جنبه‌ی بغرنج‌تر علم مکانیک این عصر می‌پردازیم.

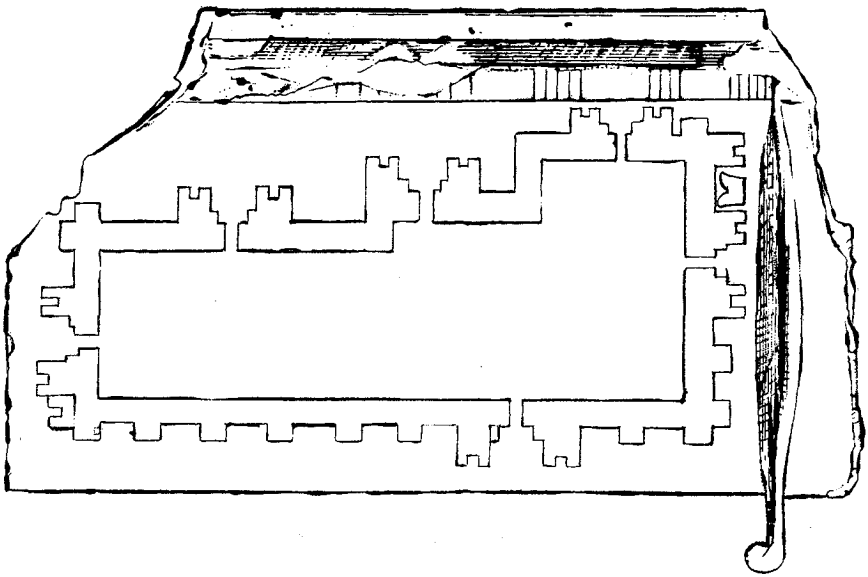
در شکل ۱۹ یک ترکیب نبوغ‌آمیز دیده می‌شود؛ ترکیبی از نقشه و تصویر قائم یک شهر که نمونه‌ی بسیاری از شهرهای آن روزگار است. در این شکل یک دژ را با برج‌ها و دروازه‌های متعدّد آن می‌بینید؛ امّا موضوع جالب آن است که در ردیف بالا، یک رشته مقیاس‌های متناسب نقش کرده‌اند و پیداست که کلّ تصویر با توجّه به مقیاس رسم شده است.





شکل ۱۸ـ (الف) چَرخشت شراب «بوسکو تره کاس»[1] در پمپی؛ ب) نمودار همان دستگاه.

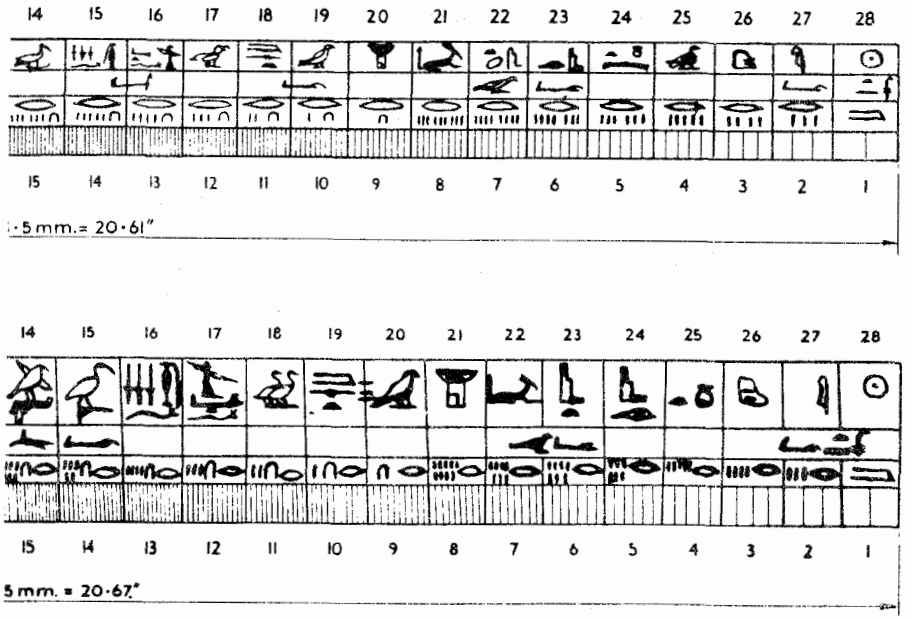
1- Bosco Tre Case



شکل ۱۹ـ نقشه‌ی یک دژ بابلی باستان، که از روی تندیس گوده *آ*، *حکمران لاگاش*، [1] گرفته شده است. بین‌النهرین، ۲۴۰۰ پیش از میلاد.

در شکل ۲۰، نقشه‌ی دیگری می‌بینید که با مقیاس استادانه‌تری ترسیم شده است. این مقیاس متنوّع به مصریان تعلّق دارد و تقسیمات و نظام اعداد کسری مصریان را نشان می‌دهد که در آن، عدد یک به عنوان صورت و سایر اعداد برای ایجاد کسرهای ۱/۲ و ۱/۳ و غیره به عنوان مخرج اختیار می‌شود. مصریان با این کسرها و ترکیب آنها با یکدیگر، در استفاده از مقیاس تبحّر یافته بودند. از اعداد کسری، در مقاصد مالی و نجومی هم استفاده می‌شد. «نام» اعداد، در قسمت بالای تصویر به صورت هیروگلیف نوشته شده است. این مقیاس‌ها را به‌خوبی می‌شناسیم؛ تعداد زیادی از آنها را در موزه‌های مختلف می‌توان یافت.

1- Gudea, rulerof Lagash

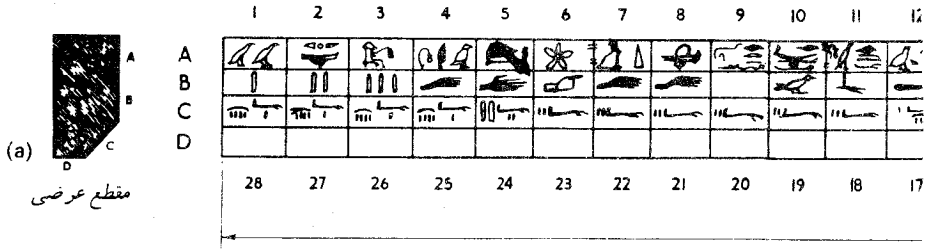


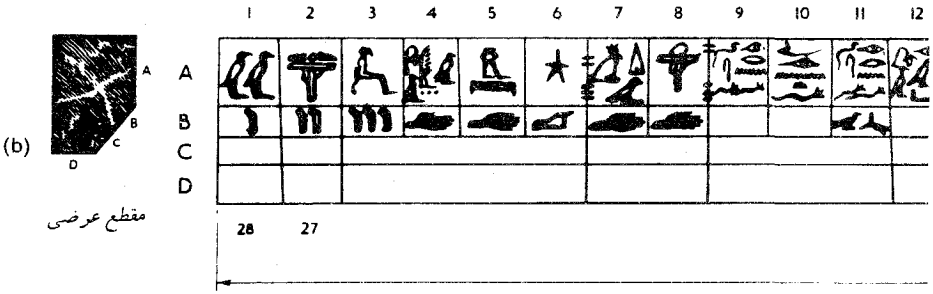
شکل ۲۰ـ معیارهای مصری طول. یکای اصلی طول در مصر باستان «کوبیت» بود، که با طول ساعد آدمی معادل می‌شد. بنابراین برای کوبیت علامت هیروگلیفی ساعد و برای اجزای آن، علامت انگشت، کف دست، وجب بزرگ و کوچک و پا انتخاب شده که در مقیاس سلطنتی متعلّق به *امن هوتپ اوّل* (الف) و وزیر او (ب) دیده می‌شود؛ ۱۵۰۰ پیش از میلاد.

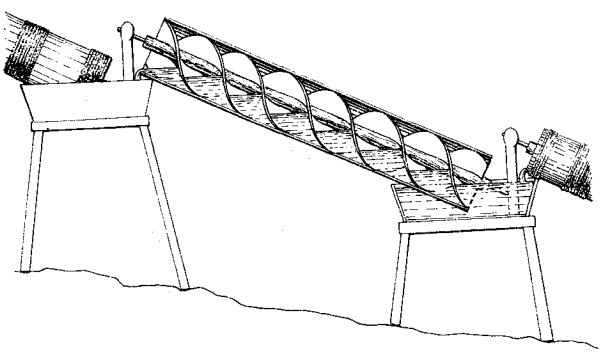
در شکل ۲۱، کاربرد جالبی از مکانیسم پیچ ارشمیدس، که پیشتر از آن یاد کردیم، دیده می‌شود. مورد اصلی کاربرد این دستگاه می‌بایست در معادن بوده باشد و نمونه‌هایی از آن را در معادن رومی‌ها در اسپانیا یافته‌اند. برای آبیاری زمین‌های مرتفع کنار رودخانه هم از همین مکانیسم استفاده می‌کردند. و میزان موادّ غذایی را افزایش می‌داده‌اند.

1.- cubit

2- Amenhotep I





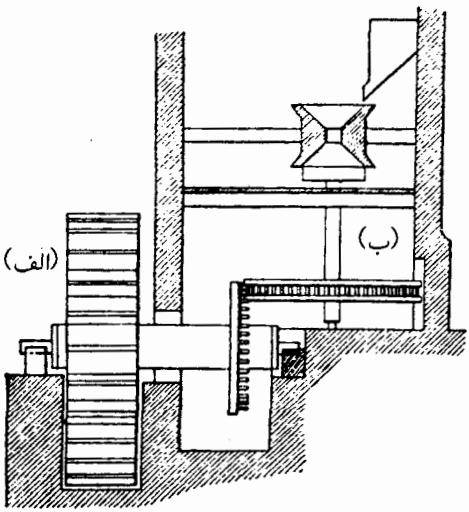


شکل ۲۱ـ پیچ ارشمیدس برای بردن آب به سطحی مرتفع. با به‌هم بستن یک رشته از این پیچ‌های توخالی، می‌توان آب را تا ارتفاع زیادی بالا برد.

آسیاب آبی

در شکل ۲۲، فرایند وارونه را مشاهده می‌کنید. جای تعجب است که هیچ تصویری از آسیاب آبی در اختیار نداریم، امّا با استناد به شواهد مکتوب ـ نظیر توصیف بسیار دقیقی که ویتروویوس در درسنامه‌ی شهرسازی خود ارائه می‌کند ـ اطمینان داریم که از این دستگاه استفاده می‌کردند. نکته‌ی جالبی که در این تصویر به چشم می‌خورد، کاربرد دنده در ایّام باستان است. در شکل، چرخ آبگرد محور افقی با حرف (الف) و چرخ آسیاب محور قائم با حرف (ب) مشخص شده است. البتّه در آغاز طرز کار معکوس بود، یعنی چرخ محور قائم به کمک الاغ یا شتر می‌چرخید و برای آسیاب تأمین نیرو می‌کرد؛ و چرخ آبگرد به جای آنکه به وسیله‌ی آب به چرخش درآید، با چرخش خود آب را بالا می‌کشید. چندین سطل متّصل به این چرخ آب را بالا می‌برد. در فرایند معکوس، آب ضمن بازگشت آسیاب را به جریان می‌انداخت.

کار آسیاب‌ها باعث شد که برای اوّلین بار انرژی تازه‌یی جانشین انرژی انسانی شود. با توجّه به آثار بازمانده از مصر باستان، می‌توان دید که کار



شکل ۲۲ـ آسیاب آبی رومی، با دنده‌ها: اقتباس از درسنامه‌ی ویتروویوس

آسیاب کردن تا چه حدّ شاق و شکنجه‌آور بوده است. در کاخ‌های فرعون‌های مصر، همواره تعدادی از زنان در پای دستاس‌ها به زانو می‌نشستند و به خرد کردن غلّات مشغول بودند. گاهی تعداد این زنان به سی تا چهل تن می‌رسید. پیدایش آسیاب قاعدتاً باید به این امر بیگاری پایان می‌بخشید، امّا عملاً چنین اتفاقی نیفتاد. دلیل عملی این امر آن بود که در اکثر کشورهایی که مهد تمدّن بودند، آب وضع متغیّری داشت. رودخانه‌ها در تابستان کلاً خشک می‌شد و استفاده‌ی عملی از آنها نسبتاً محدود بود. امّا با همه‌ی این محدودیت‌ها، آسیاب حتی در مناطقی هم که جریان آب‌ها موقّتی بود به کار می‌رفت.

نخستین توصیف تفصیلی آسیاب در برخی از قوانین کشور ایرلند، که در قرن سوّم یا چهارم میلادی مدوّن شده است، دیده می‌شود. آسیاب مورد اشاره‌ی این قوانین، دستگاه بسیار ساده‌یی بود متشکّل از یک چرخ یا توربین قائم. آب از بالابر روی پره‌های مایل توربین که در عمق چاه نصب شده بود می‌ریخت و محور، بدون بهره‌گیری از سیستم دنده، مستقیماً روی این توربین سوار می‌شد. این نوع آسیاب‌ها، در هر شرایط قابلیّت کاربرد داشت و عملاً هم مورد استفاده بود. در *کتاب بر آورد*[1] تعداد آسیاب‌های انگلستان در سال ۱۰۸۶ حدود ۵۹۰۰ دستگاه تخمین زده شده است. آسیاب باعث ترقّی اوضاع مناطقی شد که در حاشیه‌ی رودخانه‌ها و شهرها واقع بودند؛ و بعدها با رویداد انقلاب علمی و انقلاب صنعتی، اهمیّت نقش آن روشن شد. ویلیام بلیک[2] در یکی از اشعار خود از «آسیاب‌های تاریک و شیطانی» یاد می‌کند که تعبیر درستی است؛ زیرا آسیاب‌ها ناچار در چنین محل‌هایی ساخته می‌شد، چون تنها در این‌گونه جاها امکان دستیابی به نیروی آب وجود داشت.

۱ـ Domesday Book عنوان فهرستی است که در عهد سلطنت ویلیام فاتح در سال ۱۰۸۶ از زمین‌داران انگلستان و ارزش املاک آنها تهیه شده بود. ـ م.

۲ـ هنرمند و شاعر عارف‌مسلک انگلستان (۱۸۲۷ـ۱۷۵۷) که در زمینه‌ی تهیّه‌ی گراور برای دیوان‌های اشعار خود و سایر شاعران دست داشت. ـ م.

پنوماتیک[1]

حالا به یکی از موارد بغرنج علم مکانیک یعنی پنوماتیک می‌پردازیم، که به بررسی همه‌ی خواص گازها یا بادها اختصاص دارد. باد را می‌توان قدیم‌ترین شکل نیرو دانست. البتّه این نیرو بـه‌درستی شناخته نشده بود، چون نخستین موارد کاربرد آن به هیچ وجه کاربرد مکانیکی پیچیده‌یی به حساب نمی‌آمد. این مورد عبارت بود از بهره‌گیری از باد در راندن و هدایت قایق‌های بادبانی. در آن ایّام تکنیک استفاده از باد در قایق‌رانی به سطح امروزی نرسیده بود، امّا مردم این واقعیّت را می‌دانستند که بدون آن، قایق‌رانی ممکن نیست. بنابراین ، قایق‌رانان به باد موافق متّکی بودند و همواره اندیشه‌ی کشف تدبیری برای ایجاد و انگیختن باد مطرح بود؛ و گاهی هم روش‌های خطیری به‌کار برده می‌شد. هنگامی که ناوگان یونان در ماه اُوت عازم «تروا» بود باد نمی‌وزید؛ و چون مدت فقدان باد طولانی شد، لازم آمد چاره‌یی برای کار اندیشیده شود. *آگاممنون* فرمانده کل سپاه، دختر خود *ایفی‌ژنی* را در راه به دست آوردن باد موافق قربانی کرد. باد موافق حاصل شد، امّا آگاممنون جان خود را در این ماجرا از دست داد. داستان دیگر به *اودیسه* مربوط می‌شود که تمام بادهای اندوخته‌شده را در مشک‌های بزرگ از خدای باد گرفت و این مشک‌ها را در ته کشتی نصب کرد و در صورت لزوم، سر این مشک‌ها را باز می‌کرد و باد آن را رها می‌ساخت. امّا سرنشینان کشتی که به حق نسبت به وی ظنین بودند، فکر کردند وی در مشک‌ها گنجی پنهان کرده است. با این تصوّر، سر مشک‌ها را گشودند و از باد خالی کردند. در این اثنا توفان سهمگینی برخاست و کشتی‌های اودیسه همگی غرق شدند.

البتّه نباید از این‌گونه روایات توقّع نظریه داشت. امّا بایـد توجّـه کرد کـه به‌غیر از بادهای طبیعی، نوع دیگری از باد هم هست که به کمک نفس آدمی ایجاد می‌شود. تنفس کاری بسیار حیاتی است و اهمیت آن به موارد مکانیکی

1- pneumatics

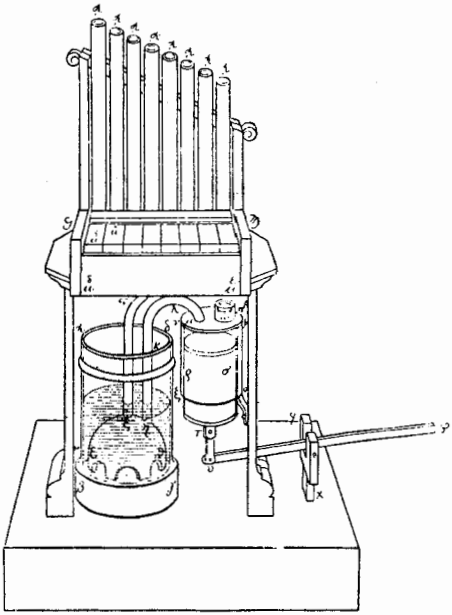
محدود نمی‌شود، بلکه به حیات آدمی ارتباط می‌یابد. با تنفس، زندگی به درون بدن جاری می‌شود و آدمی تا هنگامی که نفس می‌کشد زنده می‌ماند. بسیاری از مردم به این فکر افتادند که عکس این جریان هم امکان‌پذیر است، یعنی می‌توان با نفس، زندگی را «در» چیزهای دیگر دمید. هنوز هم این فکر اعتبار دارد و کسانی که به نجات غریق می‌پردازند، با تنفّس مصنوعی دهان به دهان، زندگی را به وی باز می‌گردانند.

این اندیشه با یک کاربرد دیگر باد، یعنی دمیدن «بر» چیزهایی نظیر آتش، ارتباط می‌یابد. پس از مدتی دَم اختراع شد و پیدایش آن اساس صنعت ذوب فلزّات را تشکیل داد. تلاش برای ذوب فلزّات به کمک آتش معمولی که به آرامی می‌سوزد، تلاشی بی‌ثمر است. امّا با دم، آتش داغ‌تری به دست می‌آید که فلز را ذوب می‌کند. در ابتدای کار، دم را از جنس پوست می‌ساختند و به‌کمک دست آن‌را فشار می‌دادند و با یک قطعه نخ آن را بلند می‌کردندتا مجدداً از هوا پر شود. این شیوه، منشأ انقلابی بزرگ در کار فلزگدازی شد.

یک شیوه‌ی دیگرِ دمیدن هم هست که در دو مورد به کار می‌رود. مورد اوّل عبارت است از دمیدن در وسایلی مانند نی که حتی در عصر کهن‌سنگی هم معمول بوده است؛ چون براساس شواهد، بشر اوّلیّه با استخوان توخالی جانوران نی می‌ساخته است. در یکی از غارهای *لز ازی*[1] در فرانسه، تصویر زنی را در حال دمیدن در یک بوق شاخی دیدم. هنگامی که از این غار صعب‌العبور خارج شدم، در کنار کلبه‌ی دهقانی که در آن حدود زندگی می‌کرد زنی را دیدم که با دمیدن در بوق شاخی، شوهرش را به صرف ناهار می‌خواند. اوضاع تغییر نکرده بود!

استفاده از این آلت‌های بادی، به پیدایش موسیقی انجامید و بعدها موضوع نظریه‌ی صوت را پیش آورد. نظریه‌ی موسیقی، در غرب اساساً بر

1- Les Ezies



شکل ۲۳ـ ارگ آبی یونانی

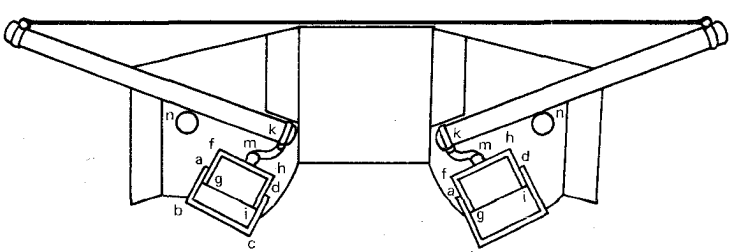
آلت‌های زهی و در چین بر سازهای سنگی و بادی متّکی است.

آخرین کاربردی که در زمینه‌ی پنوماتیک از آن یاد می‌کنیم و مهم‌ترین کاربرد آن به شمار می‌آید، استفاده از باد در «پیشرانش» اجسام است. فوتک که اساساً سلاحی جنگی است، هنوز هم کاربرد دارد. اگر یادتان باشد، بولاس را سلاحی متعلّق به جلگه‌های هموار دانستیم. فوتک، مانند تفنگ بادی، دارای لوله‌یی است که یک تیر معمولاً زهرآگین در دهانه‌ی آن قرار می‌گیرد. در زبان یونانی، برای تیر،لغت توکسون (toxon) را به‌کار می‌برند که به معنای زهر است. یونانیان تیرهای خود را تلف نمی‌کردند و اگر برایشان میسّر بود آنها را به زهر می‌آلودند. طبق داستان *فیلوک‌تتس*[1] در هر موردی از جمله در

1- Philoctetes

جنگ این کار را انجام می‌دادند. استفاده از فوتک، منجر به پیدایش اندیشه‌ی حرکت دادن اجسام در لوله‌های استوانه‌یی شد. مفهوم پنوماتیکی استفاده از لوله، به نوبه‌ی خود به پیدایش تلمبه‌ی هوا انجامید. تلمبه‌ی هوا دستگاهی است که یا هوا را با فشار بیرون می‌راند و یا هوا را به درون می‌مکد.

در شکل ۲۳، نمونه‌ی پیچیده‌یی از ارگ یا ارغنون آبی یونانی را می‌بینید. من نمونه‌یی از آن را در حفاری‌هایی که در مجاستان صورت گرفته بود دیده‌ام. قسمت مربوط به آب دستگاه، در اینجا چندان اهمیّتی برای ما ندارد. پیش از هر چیز، این دستگاه یک تلمبه‌ی واقعی و کامل است و با تلمبه‌های امروزی که برای مته‌های جاده‌سازی هوای فشرده تهیّه می‌کند، تفاوتی ندارد. طرز کار ارگ بدین ترتیب بود که آب به طور ثابت در یکی از لوله‌ها می‌ماند و از لوله‌ی دیگر، هوا برای به کار انداختن دستگاه بالا می‌آمد. در تصویر به کلیدها توجّه کنید؛ این کلیدها احتمالاً در قرن هشتم یاهفتم پیش از میلاد مورد استفاده بودند. این ارگ یک ساز کلیددار بود و هنگامی که پیانو ساخته شد، برای آنکه نوازندگان ارگ بتوانند آن را بنوازند، عین همین کلیدها رابرای آن درنظر گرفتند. این یکی از آن دو موردی بود که ذکر شد. مورد دیگر، استفاده‌ی نظامی از این مفهوم است.شکل ۲٤ طرح یک منجنیق بادی را نشان می‌دهد. طناب و میله‌ها و سیلندرهای دستگاه را دراین شکل می‌بینید. سیلندرها را که با نوعی تلمبه از باد پر می‌شوند، میله‌ها را به کار می‌اندازند و آنها را رها کنند.



شکل ۲٤ـ منجنیق بادی که باهوای فشرده کار می‌کند، منتسب به کته‌سیبوس ، قرن اوّل پیش از میلاد.

من به هیچ‌وجه، مطمئن نیستم که این دستگاه کاربرد عملی داشته است، ولی تصویرها و توصیف‌های بسیاری از آنها در دست داریم و اطمینان دارم که کاربرد تلمبه‌های فشاری و مکشی و حتّی تلمبه‌های فشاری دوکاره، کاملاً معمول بوده است. مسئله‌یی که فکر آدم را به خود جلب می‌کند و ما بعداً در مورد آن بحث خواهیم کرد،این است که چرا یونانیان با این همه دانش و تبحّر، چیزهای پیشرفته‌تری نساختند. در فصل بعد به توضیح این مسئله خواهیم پرداخت.

۳

سرچشمه‌های علم باستان

در این فصل سعی می‌کنم منشأ و چگونگی رشد آن دسته از تدابیر عملی را توضیح دهم که در فصل گذشته مورد بررسی قرار گرفت.

ابتدا درباره‌ی موضوعی صحبت می‌کنم که می‌توان آن را دورنمای وضع جهان در دوران تولّد علم خواند. در آن هنگام، که به علّت قدمت چهار هزار ساله یا پنج هزار ساله، تعیین تاریخ دقیق آن میسّر نیست، در سه مرکز کم و بیش مجزای تمدّن، وسایلی که از آنها یاد کردیم مورد استفاده بود. یکی *منطقه‌ی مدیترانه* و شرق آن یعنی *خاور* نزدیک که حدودش به خلیج فارس می‌رسید و مصر، سوریه و *بین‌النّهرین* و قسمتی از سرزمین‌های *اطراف* آنها را شامل می‌شد؛ دیگری *هندوستان* به خصوص درّه‌ی سند که امروز عمدتاً در کشور پاکستان واقع است؛ و بالاخره چین، که از دو مرکز دیگر بسیار دور بود. در نقشه‌ی ۱ دو مرکز اصلی می‌بینیم، یکی خاور نزدیک که باریکه‌ی

حاصل‌خیز یا به اصطلاح مشهور *هلال خضیب* نامیده می‌شود و از مصر تا خلیج فارس گسترده است. دیگری منطقه‌یی کاملاً جدا و دور از آن، که صحراها و دریاهای وسیع آن را از هلال جدا می‌کند و هندوستان خوانده می‌شود. بقیّه‌ی مناطقی که با سایه‌زنی مخصوص آبیاری مشخص شده‌اند، همه کم و بیش مشخّصات واحدی دارند و نمایانگر مرحله‌ی دوم کشاورزی‌اند، یعنی مرحله‌ی آبیاری به کمک آب رودخانه‌هایی که از کوه‌ها به دشت‌ها سرازیر می‌شوند و خوارزم و ارمنستان نمونه‌هایی از این نواحی به شمار می‌روند. این نوع تمدّن‌ها با شهرهای نسبتاً بزرگ اوّلیّه مشخّص می‌شدند که اداره‌ی آنها به تدابیر پیچیده‌یی نیاز داشت. بدین ترتیب ناگزیر کاربرد ریاضیّات و شهرسازی گسترده که قبلاً به آن اشاره کردیم، ضرورت می‌یافت و به موازات آن، مصالحی که سرچشمه‌های علم را تشکیل می‌دادند، تأمین می‌شد.

اوضاع در چین هم به همین منوال بود، و در آنجا هم تمدّن عمدتاً در اطراف حوضه‌ی رود زرد در منطقه شمال که در آنجا آبیاری رواج داشت شکل می‌گرفت. پس از مدّتی به‌تدریج تمدّن به مناطق جنگلی و نواحی مرطوب‌تر جنوب در ساحل *یانک‌تسه* و *کوانگ‌دونگ* گسترش یافت. در این دوران ابتدایی که چینی‌ها آن را *عهد شانگ* می‌خوانند، تمدّن‌های نمونه‌ی شهری وجود داشت. در واقع تمدّن[1] یعنی شهرنشینی ومدینه[2] یعنی شهر.

تقویم

جایگاه علم در جامعه‌ی مدنی کجاست؟ علم هنگامی به این مرحله رسید که به تمشیت امور و عملکرد روزمره‌ی زندگی شهری پرداخت. علمی‌ترین بخش این عملکردها، آیین‌های مربوط به تولید کشاورزی، به ویژه برداشت محصول‌های کشاورزی بود، و در همه‌ی این موارد، تقویم ضرورت داشت. در واقع در آن

1- civilization
2- civis

دوره‌های اوّلیه تاریخ علم همان تاریخ پیدایش تقویم است. ایجاد تقویم، مستلزم احاطه بر حرکات اجرام سماوی بود و این دانش، فوق‌العاده مهم محسوب می‌شد. اهمیّت بعضی از این حرکات، بدیهی بود. مصریان بیش از دیگران به این امر توجّه داشتند، چون طغیان نیل یک رویداد منظّم همه ساله بود. جریان آب سایر رودخانه‌ها بـه‌شدّت غیـرقابل پیش‌بینی بود، کسی نمی‌دانست چه روی خواهد داد و گاه رودخانه با طغیان خود همه چیز را درهم می‌ریخت. حتماً توجّه دارید که نقشه‌ی ۱ با نقشه‌ی امروزی منطقه یکی نیست. اکنون آب دریا حدود ۲۴۰ کیلومتر از شهر *اور* عقب‌نشینی کرده است، در حالی که این شهر در اصل بندر بوده است. در بین‌النهرین هم چنان سیلاب‌هایی راه می‌افتاد و همه چیز را در خود غرق می‌کرد. داستان توفان نوح در کتب مقدّس چه بسا توصیف نسبتاً دقیق یکی از این طغیان‌ها باشد. این طغیان‌ها گل و شن فراوانی بر جای نهاده‌اند که هنوز باقی است.

در مصر یک جریان مداوم آب حاصل از باران‌های استوایی مناطق جنگلی و یک طغیان ادواری حاصل از باران‌های موسمی حبشه وجود داشت. بنابراین تعیین تاریخ طغیان رودخانه ضرورت اساسی داشت و به زودی *نیل‌سنج* هایی ساخته شد که هنوز هم یکی از آنها باقی‌مانده است. این نیل‌سنج‌ها ارتفاع آب رودخانه را مشخّص می‌کردند. کسانی که مسؤول محاسبه‌ی ارتفاع آب بودند، وظیفه داشتند وقوع سیل را اعلام کنند و کلّ حیات کشاورزی مصر بر اساس این رویداد سازمان می‌یافت.

این نکته یکی از هدف‌های احاطه بر تقویم بود. هدف دیگر، در آن روزهای اوّلیه‌ی کشاورزی، عبارت بود از تعیین تاریخ کاشت و برداشت محصول، و مهم‌تر از همه، کسب اطمینان از مساعد بودن وضع آب و هوا. البتّه موضوع فقط به شناختن وضع آب و هوا ختم نمی‌شد، بلکه هدف، تأثیر نهادن بر اوضاع جوی بود! مردم اعتقاد داشتند که با تمسّک به تدابیری مناسب، با ذکر دعا و ورد مناسب در زمان مناسب، می‌توان باران به دست آورد یا از طغیان آب رودخانه جلوگیری کرد یا برای مقابله با آن آماده شد و همه‌ی این امور با

نظامی که در اصل از شاه و کاهنان ترکیب می‌یافت پیوند داشت. حیات کلّ جامعه در گرو وضع شاه بود و انجام آیین‌های مناسب و شایسته توسّط شاه، سرنوشت حوزه‌ی سلطنت را رقم می‌زد.

این نکته در چین روشن‌تر دیده می‌شود. مثلاً می‌دانیم که امپراتور بیچاره‌ی چین مجبور بوده است هر روز صبح سر ساعت چهار از خواب برخیزد چون اگر برنمی‌خاست، احتمالاً خورشید هم طلوع نمی‌کرد. خورشیدگرفتگی و ماه‌گرفتگی هم به شاه مربوط می‌شد. دو تن از منجّمین باستانی دربار چین به نام هی و هو که نتوانسته بودند وقوع خورشیدگرفتگی را پیش‌بینی کنند، به همین گناه اعدام شدند. پیش‌بینی این رویداد بسیار دشوار بود و این دو تن شانسی در این خصوص نداشتند، امّا نکته‌ی بسیار مهم آن است که توجّه مداوم به آسمان‌ها و تلاش برای شناخت پدیده‌های آسمانی، اهمیّتی یافت که تا آن هنگام سابقه نداشت. می‌بینید که کوشش برای تدوین تقویم تا چه حد به پیشرفت علم فیزیک کمک کرد. تقویم، خود محصول مشاهده‌ی آسمان‌ها بود که قبلاً به آن اشاره کردم.

نکته‌ی دیگری که در علم فیزیک اهمیّت داشت، پژوهش درباره‌ی تاریخ کائنات بود. جالب آن است که در زبان یونانی به این علم physis می‌گویند، که به معنای هستی یافتن و تکوین موجودات است و در زبان لاتین کلمه‌ی *nature* برای آن برگزیده شده، به معنی تولّد اشیا. تمام افکار اوّلیّه در مصر و بابل و سرزمین‌های جدیدی که بحث بعدی درباره‌ی آنهاست، در یونان، معطوف به تعبیرهای گوناگون *nature* بود. البتّه طبیعت در درجه‌ی نخست باید براساس تصوّر وجود خدایان و معمولاً خدایان محلّی تعبیر شود. افسانه‌های متعدّدی که در مورد منشأ پیدایش جهان پرداخته شد، مبنای آیین‌های مذهبی قرار گرفت. این امر سال‌ها دوام یافت چون اجرام سماوی با سرنوشت مردم پیوندی جدایی‌ناپذیر داشتند و هرگونه اظهار نظری در مورد منشأ پیدایش آنها، با اعتقادات مردم تداخل می‌کرد و واکنش‌های نامطلوبی برمی‌انگیخت. حتی در زمان‌های نسبتاً جدید، یعنی در سال ۴۳۰ پیش از میلاد، *آناکساگوراس*

فیزیکدان به جرم آنکه بزرگی خورشید را در حد وسعت منطقه‌ی *پلوپونز* در یونان جنوبی دانسته بود، از آتن تبعید شد و کم مانده بود که به این گناه سر از تنش جدا شود. همه می‌دانند که در آن روزگار، خورشید خدایی بود سوار بر ارابه و اظهار نظر آناکساگوراس آن را در فاصله‌یی بعید قرار می‌داد. امّا به تدریج این برداشت‌ها دگرگون شد و این دگرگونی در ساحت‌های جدیدی که در غرب ظاهر شد تجلی یافت. امپراتوری‌های شرق به نحوی فوق‌العاده جاافتاده و پایدار بودند؛ البتّه گاه‌گاهی دچار دردسرهای موضعی و انقلاب می‌شدند اما روی‌هم‌رفته حیاتشان جا افتاده بود. در چین این شیوه‌ی زندگی حتّی تا سال ۱۹۱۱ دوام یافت. سقوط امپراتور که امری نادر بود روی می‌داد، سلسله‌ها عوض می‌شدند، حتّی فاتحان خارجی بر کشور تسلّط می‌یافتند، امّا اندیشه‌ی امپراتوری و اندیشه‌ی شیوه‌ی کامل و غیرقابل تغییر زندگی و رفتار، پا برجا می‌ماند.

در حدود ۱۶۰۰ سال پیش از میلاد به دلایلی که ذکر آنها در اینجا موجبی ندارد، تلاطم‌ها و اغتشاش‌های فراوانی روی داد. بیگانگانی سوار بر ارابه و اسب دررسیدند. این بیگانگان از مرغزارهایی که احتمالاً در حال خشکیدن بود می‌آمدند (نقشه‌ی ۱). این گروه سررسیدند و تأثیری بسیار زیانبار بر تمدن کهن نهادند، البتّه این تمدن را یکسره نابود نکردند. در واقع، تمدّن بابلی قرن‌ها بعد در سده‌ی سیزدهم توسّط تاتارها نابود شد و تمدّن مصری هم به علّت پراکندگی تاتارها در سرزمین‌های فتح شده از نابودی مصون ماند. اما نتیجه‌ی مهم این یورش‌ها، رسیدن قبایل دشت‌های دور به ساحل و دریا و اختلاط با ساکنین دیارهای ساحلی بود که تنها بخشی از آن بسیار متمدّن شده بود. در نقشه‌ی ۱ با توجّه به موقعیت اماکن مسکونی عصر آهن می‌بینید که مردم این مناطق به جای تمرکز در درّه‌ی رودها، در امتداد سواحل و جزایر پراکنده بودند.

یونانیان

یونانیان از آنجا که خود بخشی از دنیای متمدّن به حساب می‌آمدند، تمدّن را

خوب می‌شناختند. اشعار اوّلیّه‌ی یونانی هنوز در حال و هوای ایّام باستان است. پس از آن عصر مفرغ فرا رسید، و شیوه‌ی زندگی دگرگون شد. بعد نوبت به عصر دشوار و دهشت‌زای آهن رسید که در آن نخستین اشعار و تواریخ نوشته شد. در عصر آهن، مهم‌ترین فراورده‌های کار، سلاح‌های آهنین و لوازم آهنین کشاورزی بود که انجام کارهای دشوار را آسان کرد. دیگر کشت و کار در سرزمین خشک سنگلاخ بدون آبیاری نیز ممکن بود. این سرزمین، حاصل‌خیز نبود و برای جبران این نقص باید به اموری پرداخت که انجام آن به یاری کاربرد آهن میسّر می‌شد. در آن روزگار شرق مدیترانه وضعی دیگر داشت و پوشیده از جنگل‌های انبوه بود. امروز درخت در این ناحیه کمیاب است امّا روزی مهم‌ترین و زرخیزترین منطقه‌ی جهان بود. هنوز هم نام سدر لبنان مشهور است هر چند از خود آن درخت، کم‌تر نشانی هست. سدر لبنان سرتاسر شرق مدیترانه تا دمشق را پوشانده بود و منبع پربهای چوب برای صنعت کشتی‌سازی به شمار می‌آمد.

یونان هم پر از جنگل‌هایی بود که چوب لازم برای کشتی‌سازی را تأمین می‌کرد، و یونانیان بی‌شک تعداد بی‌شماری کشتی داشته‌اند. این مردم به یاری این کشتی‌ها سرتاسر منطقه‌ی مدیترانه‌یی را درمی‌نوردیدند؛ امّا هرگز از ساحل دریا زیاد دور نمی‌شدند و در سواحل جنوبی روسیه و سواحل ایتالیا، سیسیل و افریقای شمالی هر جا که باریکه‌ی آبی بود سکنی می‌گزیدند. آنچه در این زمینه برای ما اهمیّت دارد، این است که بدانیم در این اوضاع و احوال، علم چگونه رشد می‌کرد؟ علم، رشد خود را مدیون کسانی است که به صورت بازرگان به اکناف جهان آن روز سفر می‌کردند. این مردم در آغاز، صاحب دانشی نبودند و به همان شیوه که چوب جمع می‌کردند به جمع‌آوری دانش از اینجا و آنجا می‌پرداختند. از خرمن دانش مصری و بابلی و حتی هندی خوشه‌هایی چیدند، امّا گمان ندارم به چین رسیده باشند. البتّه میزان شناخت آنها نسبت به مصریان و بابلیان بسیار اندک بود و این نکته با توجّه به اهمیت حیاتی علم نجوم در کار آنها، نکته‌ی باریکی بود. علّت ضعف این بازرگانان

در علم نجوم این بود که احاطه بر آن مستلزم مشاهدات درازمدت بود که خود به زندگی و شرایط کم و بیش ثابت و ساکن نیاز داشت.

گرفتگی خورشید و ماه (کسوف و خسوف)

به یاد دارید که درباره‌ی پیش‌بینی گرفتگی خورشید و ماه در چین مطلبی گفتیم، امّا تاریخ پیش‌بینی این رویدادها به زمان‌های قدیم‌تری باز می‌گردد. پیش‌بینی این رخدادها در حدود ۵۶۰ سال پیش از میلاد توسّط فیلسوف متقدّم یعنی *طالس مَلطی* صورت گرفت و خود او در این جریان بی‌شک از جدول‌های قدیم‌تر گرفتگی خورشید و ماه بهره گرفته است. وی یک گرفتگی را پیش‌بینی کرد که در تاریخ فوق‌العاده اهمیّت یافت، چون از جنگ میان مادها و لیدیایی‌ها جلوگیری کرد و سرانجام به نابودی سلطنت لیدی منجر شد، چون هنگامی که طالس به لیدی بازگشت، پادشاه به سپاهیان خود فرمان راحت‌باش داده بود اما پادشاه ماد، آمادگی خود را حفظ کرد و بر پادشاه لیدی پیروزی یافت. نکته‌ی مهم این داستان آن است که طالس در پیش‌بینی خود بر جدول‌هایی اتکا داشت که دویست سال قبل از آن تدوین شده بود، و مطمئناً متعلّق به خود او نبود. احتمالاً این جدول‌ها از آنِ بابلیان بوده است. در واقع مشاهدات نجومی بابلیان تا ظهور حضرت محمّد (ص) ادامه یافت و، بنابر روایات، اهالی شهر حرّان یا مدینةالقمر به هنگام مبارزه‌ی سپاهیان مسلمان با مشرکین، جزو اهل کتاب منظور شدند و از تعرّض به دور ماندند[1] و به رصد ونیز ستایش ستارگان و ماه و خورشید ادامه دادند. از این رو حرّان مرکز انجام رصدهابود.

محاسبه

در آن ایام تمام روش‌های محاسبه‌ی عددی با دقّتی فوق‌العاده صورت می‌گرفت.

۱ـ از ساکنین شهر حرّان در قرآن به عنوان صابئین یاد شده است و نام آنها در کنار اهل کتاب به چشم می‌خورد. صابئین در نجوم و ستاره‌شناسی شهره بودند. ـ م.

این نکته در سال‌های اخیر به یمن زحمات نوگه‌باوئر[1] که به ترجمه‌ی مجدّد الواح سفالین همّت گماشت روشن شد. براساس اطّلاعاتی که از این الواح به دست آمد معلوم شد که این محاسبات فوق‌العاده دقیق تنها با شمارش دفعات ظهور سیّارات و ماه و سایر اجرام آسمانی، و کاربرد نمادگذاریی شبیه به اعداد دستگاه دهدهی عملی می‌شد که مبنای آن به جای ده، شصت بود. هنوز هم این دستگاه معتبر است و ما ۱:۶۰ ساعت را دقیقه و ۱:۶۰ دقیقه را ثانیه می‌خوانیم ولی عملاً از ثالثه یعنی ۱:۶۰ ثانیه دیگر استفاده نمی‌کنیم. در واقع امروز به جای ثالثه و رابعه و ... میلی ثانیه و میکرو ثانیه به کار می‌بریم.

همین ریاضیات بابلی پایه‌ی محکمی شد برای حساب و به همان اندازه، پایه‌یی محکم برای هندسه که آثار آن در کارهای مصریان مشهود است. یونانیان چه وضعی داشتند؟ مردم یونان در علم محاسبه از بابلیان پیش‌تر نبودند و در این زمینه وضع اسفناکی داشتند. در یونان نظام مناسب عددی وجود نداشت و به جای عدد از حرف استفاده می‌شد و برای انجام یک عمل ساده‌ی ضرب و تقسیم که برای کودکان امروزی به سادگی آب خوردن است، جان آنها به لب می‌رسید. ارشمیدس که فردی هوشمند بود برای نوشتن اعداد بزرگ علائمی اختراع کرد و مفتخر بود که کتابی در این خصوص نوشته بود. بابلیان دو هزار سال پیش از وی، برای نوشتن این گونه اعداد نمادهایی به کار می‌بردند. وضع یونانیان در محاسبه و در هندسه‌ی عملی هم زار بود و در این زمینه از مصریان، بسیار واپس‌مانده بودند. روی‌هم‌رفته می‌توان گفت که قوم یونانی هیچ خصلت ایجابی نداشت، امّا صاحب یک خصلت سلبی خیلی قوی، یعنی فقدان سنت و فقدان عبودیت در برابر خدایان، بود. می‌توان علّت بروز این خصلت را، تحرّک و سفر دانست. اگر کسی تمام عمر خود را در شهر هلیوپولیس[2]، یعنی شهر خورشید، سپری می‌کرد، طبعاً دچار اعتقاد

1- O. Neugebauer, *The Exact Sciences in Antiquity*, 2nd ed., Providence R. I., 1957.

2- Heliopolis

تحجرآمیزی نسبت به‌رَع[1] یعنی خدای محلّی خورشید می‌شد؛ امّا اگر سفر می‌کرد و آفاق دیگر را می‌دید، در ذهن او تصویر جهانی شکل می‌گرفت که خدایان در آن جای رفیعی نداشتند. در غیاب خدایان و سنت‌های وابسته به آنها، آدمی مجبور بود خودش به تفکر و چاره‌اندیشی در مورد زندگی بپردازد و یونانیان بر این منوال عمل می‌کردند.

با پیگیری تاریخ فیزیک یونان (آنچه یونانیان فیزیک نامیدند، همه‌ی آن چیزی نیست که امروز فیزیک می‌نامیم) می‌بینیم که این علم حاصل بریدن تدریجی از سنّت‌های قدیمی و بنیاد کردن سنّت‌های جدید است. این جریان عمدتاً در سواحل غربی آسیای صغیر، در حوالی *افسوس*[2] و *ملطیه*[3] متعلّق به ناحیه‌ی ایونی روی داد (نقشه‌ی ۱). نخستین مرد میدان علم، یعنی طالس، اهل ملطیه بود. این ناحیه، فرهنگی التقاطی داشت که آمیزه‌یی از فرهنگ یونانی و بابلی و هیتی بود، که این آخری از شرق، یعنی مهد دانش یونانی می‌آمد. در قرن پنجم پیش از میلاد، ایرانیان یونان را فتح کردند و این حادثه باعث شد که بسیاری از مردم یونان به سرزمین‌های دیگری چون ایتالیا و سیسیل کوچ کنند و در آنجا شهرهای تازه‌یی بنیاد کنند. بدین ترتیب ایونی،وطن اوّل علم،و سرزمینی که یونان بزرگ خوانده می‌شد وطن دوّم آن شد. یونان بزرگ شامل پادشاهی ناپل و سیسیل بود و تا هنگام تأسیس کشور ایتالیا به همین نام خوانده می‌شد و حضور یونانیان در آن باعث ایجاد نوعی وحدت فرهنگی بود.

علم یونانی

با این مقدّمه، می‌پردازیم به بیان ماهیّت واقعی علم یونانی و چگونگی رشد آن. علم یونانی بسیار سریع رشد کرد؛ اندیشه‌های اساسی آن کم و بیش در عرض مدّت ۱۵۰ سال شکل گرفت. در تمام ناحیه‌یی که علم یونان گسترش می‌یافت،

1- Ra
2- Ephesus
3- Miletus

اندیشه‌های مشترکی رواج می‌یافت. این امر نشانه‌ی آن بود که شهرهای یونانی با هم در تماس بودند، و دانشمندان آن شهر به نقل آثار هم می‌پرداختند. یونانی‌ها این فرهنگ مشترک را *پان‌هلنیک*[1] می‌خواندند، چون تمام این شهرها به یونانی حرف می‌زدند، با هم روابط تجاری داشتند، با هم مبادله‌ی رساله می‌کردند، و با هم مباحثه و مجادله می‌کردند. می‌دانیم که تصویر جهان در آن روزگار بسیار خام بود. جهان شامل زمین بود که آسمان بر فراز آن جای داشت و آسمان برحسب اطّلاعات و فنون مردم توصیف و توجیه می‌شد. صحرانشینان، زمین را خیمه‌یی می‌دانستند و کوه‌نشینان آن را غاری یا خانه‌یی با سقف سنگی می‌شمردند. پس از کمی پیشرفت آسمان به جامی واژگون بر فراز زمین تعبیر شد. زمین در زیر بود و آسمان در بالا و جهان موجودات در میان این دو، جای داشت.

یکی از مشکلات، توصیف خورشید بود که مصریان، ابهام چندانی در مورد آن نداشتند. می‌دیدند که خورشید هر روز متولد می‌شود، شامگاه می‌میرد و فردا صبح باز خورشیدِ تازه‌یی پدید می‌آید. امّا اکثر مردم پس از مسافرت‌های متعدّد، دیگر این نظر را نمی‌پسندیدند و معتقد بودند که خورشید از پشت کوه‌های مشرق بالا می‌آید و به پشت کوه‌های مغرب فرو می‌رود و از زیرزمین دوباره به پشت کوه‌های مشرق می‌رود. این نظریه از آنِ مصریان بود و به صورتی زیبا در تابوت‌های سنگی محتوی اجساد مومیایی، نقّاشی شده است. به اعتقاد مصریان اگر خورشید می‌توانست بمیرد و باز زنده شود، فرعون هم می‌توانست چنین کند. به عقیده‌ی آنها هر فرعون پس از مرگ به صورت فرعونی دیگر تجدید حیات می‌کرد و بعدها با دموکراتیک شدن مذهب، همه‌ی مردم به شرطی که پس از مرگ مومیایی شوند و کتاب‌ها و نقشه‌های مناسب مربوط به جهان زیرین را در اختیار داشته باشند و بتوانند راه خروج از آن را بیابند، دارای این قدرت به حساب می‌آمدند.

1- Panhellenic

اینها نقشه‌های زیبایی بودند که در روی هر یک از آنها نقاط خطرناک مشخّص شده و فهرستی از نکات و پاسخ‌هایی را که باید به دروازه‌بان‌های آن جهان داد و اجازه‌ی خروج گرفت در آن ثبت شده بود. طبعاً در جای دیگری از این روندِ بازگشت به حیات، اشکال کوچکی وجود دارد، آن هم وجود داوری است که باید اعمال مشخّص را بسنجد و در ترازوی داوری وزن کند. این اشکال هم با ذکر یک کلمه رفع می‌شد.

این اندیشه در مورد گردش خورشید و ماه، نخستین اندیشه‌یی بود که در تصویر کهنه و متحجر جهان در ذهن مردم باید درهم می‌شکست. ستاره‌شناسان در این راه گام پیش نهادند. به نظر ستاره‌شناسان، خورشید و ماه چیزی جز وسایل تعیین وقت نبودند و در آسمان ظاهر می‌شدند تا به یاری آنها بتوان ساعت و روز و ماه را تعیین کرد. در نخستین فصل از *سفر پیدایش*، تعریف دقیقی از این پدیده می‌خوانیم: «و خدا گفت نیّرها در فلک آسمان باشند تا روز را از شب جدا کنند و برای آیات و زمان‌ها و روزها و سال‌ها باشند».[1] اما یونانیان از این مکاشفه‌ها به دور بودند و می‌خواستند آسمان را بشناسند. درباره‌ی پیدایش زمین و آسمان، افسانه‌ی قدیم‌تری وجود داشت. براساس این افسانه‌ی قدیمی روزگاری یک هیولای غول‌پیکر وجود داشت که نهنگی بسیار بزرگ بود، و مردوخ خدای خورشید با آن جنگید و بدنش را از هم درید. از فک بالایی هیولا، آسمان و از فک پایینی آن، زمین و دریا به وجود آمد. در دوّمین روایت آفرینش، در فصل دوّم سفر آفرینش، صورت پالایش‌یافته‌یی از این افسانه آمده است. بدیهی است نخستین روایت را یک دانشمند نوشته است و روایت دوّم، مربوط به فن ریخت‌آفرینی[2] است و در آن نشانه‌یی از هفت روز و مسایلی نظیر آن دیده نمی‌شود وکلاً در مورد خلق انسان از گِل صحبت می‌کند. یونانیان، از همین جا شروع کردند. طالس آب معمولی را منشأ همه چیز

۱ـ کتاب مقدّس، عهد عتیق، *سفر پیدایش*، ۱۴، انجمن کتاب مقدّس ایران، ص ۱.

2- technomorphic

می‌دانست. آب به دو پاره بخش می‌شد. بخش پایینی زمین، و بخش بالای آن هوا بود. آب عنصر اوّلیّه و بنیان تمام موجودات زنده به شمار می‌آمد. این نظریه روشن‌کننده‌ی واقعیت نبود اما دست کم یک تصویر طبیعی ارائه می‌کرد که با پیدایش آن، هیولای جهانی و خدای خورشید محو می‌شد. آنچه بر جای می‌ماند تنها طبیعت بود و شیوه‌ی هستی موجودات. نظریه‌ی طالس میان همشهریان او که بعضی از آنها شاگرد وی بودند و بعضی از آنها با وی به مباحثه می‌نشستند منتشر شد. برخی از مردم با اندیشه‌ی او موافق نبودند. مثلاً، *اناکسیماندر*[1] معتقد بود در بالا به جای آب مه وجود دارد و نوعی مه همیشگی زمین را احاطه کرده است. در بعضی از قسمت‌های این پرده‌ی مه، روزنه‌هایی ایجاد شده و از آن روزنه‌ها منطقه‌ی ماورای مه جلوه می‌کند که منطقه‌ی نور و آتش است. درخشش نور و آتش این منطقه از میان آن روزنه‌ها به صورت ماه و خورشید و ستارگان جلوه می‌کند. همان طور که می‌بینید، این فرضیه‌یی پالایش‌یافته‌تر است. کسانی پیدا شدند که از این مرحله هم فراتر رفتند و گفتند که زمین همه جا را فرا نگرفته است، آنان می‌دانستند که این بستر خاکی به جایی ختم می‌شود که سراسر آب است، به نظر آنها زمین مانند یک بشقاب یا سینی چوبی بر روی آب شناور بود. به نظر من شکل زمین را از آن رو گرد می‌دانستند که نمی‌توانستند شکل دیگری برای آن تصوّر کنند. مردم این زمان بر اساس داستان‌هایی که مسافران نقل می‌کردند، مساحت و عمق و ضخامت زمین را هم مشخص می‌کردند. در اطراف این جهان کهن و این زمین کهن، رود اقیانوس جاری بود. این آب عظیم را از آن نظر رودخانه می‌نامیدند که بنابر اظهارات مسافران، مانند آب دریا آرام نبود و در بعضی نقاط بالا می‌آمد و در بعضی از نقاط پایین می‌رفت. همگان می‌دانستند که دریای کامل دریای مدیترانه است، که روی زمین جای دارد، امّا در سایر نقاط، زمین روی دریایی بود که همان اقیانوس محیط باشد.

1- Anaximander

فیلسوفان

تصویرهایی که تا اینجا ارائه شد ابتدایی بودند و پیوسته به تعبیر و توجیه نیاز داشتند. با این تصویرها، میزان محدودی اندازه‌گیری همراه بود، مخصوصاً نوعی اندازه‌گیری که می‌شد آن را به یاری شاخص، یا عقربه‌های ساعت آفتابی انجام داد و روز و ماه و سال را براساس تقویم بابلی تعیین کرد. نخستین رخنه‌ی کامل در این کار از سوی مکتب سیسیلی یا ایتالیایی به وجود آمد. در یکی از شهرهای ایتالیا فیلسوفی یونانی به نام *فیثاغورث* می‌زیست که موضوع ارتباط ریاضیّات با طبیعت را پیش کشید. پیش از او کمتر کسی بدین ارتباط می‌اندیشید. در آن روزگار سحر و شعبده رایج بود و کسانی که به این مسائل می‌پرداختند فیلسوف نامیده می‌شدند. فیلسوف کیست؟ علاوه بر کسانی که در یونان با این عنوان شناخته می‌شدند، در هندوستان و چین هم کسانی را فیلسوف می‌خواندند. فیلسوف، در جامعه منزلتی خاص داشت، مقام او تا حدودی شبیه مشاوران علمی امروزی بود. وی معاش خود را با حضور در یک دربار یا یک شهر و رایزنی با حاکم و دولت و تعیین اوقات سعد و نحس برای انجام امور در شرایط گوناگون، تأمین می‌کرد. در بسیاری از موارد، و مخصوصاً در چین، این آداب بر عهده‌ی فیلسوفان بود. یک بار در یک فرصت خطیر، شورشیان پیروز شدند و سلسله‌ی *هان*[1] پس از جنگ‌ها و زد و خوردهای بسیار بنیاد گرفت. امپراتور هان ادعا کرد که «من این امپراتوری را پشت بر زین به دست آورده‌ام و پشت بر زین هم آن‌را حفظ می‌کنم». پس از این ادعا، فیلسوفان را اخراج کرد اما یکی از آنها به نحوی در دربار ماند و گفت: «خواهیم دید». امپراتور به مناسبت پیروزی، جشنی بزرگ برپا ساخت و همه‌ی سپاه‌سالاران را به جشن فرا خواند. فرماندهان سپاه بر سر اشغال صدر مجلس به مشاجره و درگیری پرداختند و جشن برهم خورد. در این هنگام فیلسوف به آرامی گفت: «اگر به حرف من گوش می‌دادید و برای نشستن و تشریفات، قاعده و نظمی

1- Han

برپا می‌داشتید و محل جلوس هر سردار را مشخص می‌ساختید، این معرکه برپا نمی‌شد». بالاخره به این ترتیب نظم مجدداً برقرار شد.

فیلسوف، پول مورد نیاز خود را به خاطر همین نظراتی که درباره‌ی نظم و رفتار شایسته ارائه می‌کرد به دست می‌آورد. وظایف دیگر او پیشگویی آینده، معالجه‌ی بیماری‌ها و انجام اموری بود که مردم عادی از عهده‌ی انجام آن بر نمی‌آمدند. در شرایط بغرنج‌تر شهرهای بزرگ، فیلسوف وظیفه داشت سیاست تدبیر شهر را تعیین کند؛ مثلاً *سولون*[1] که از بزرگ‌ترین فیلسوفان یونان بود، برای آتن یک قانون اساسی تازه وضع کرد که در آن بخش‌های مختلف شهر تعیین و نوع رأی‌گیری در هر بخش، انواع مجالس و شوراهای شهر، چگونگی انتظام امور دولت و نظایر آن مشخص شده بود. اداره‌ی کشور و تدبیر امور عالم دو عمل مشابه بود و فیثاغورث در چنین موقعیتی به تأمل درباره‌ی امور می‌پرداخت؛ در آن ایّام هرگاه کشور یا شهری سقوط می‌کرد، فیلسوف هم یا باید با آن می‌مرد یا به انقیاد اربابی دیگر گردن می‌نهاد و فیثاغورث در شهر کروتون[2] در جنوب ایتالیا، به این سرنوشت دچار شد. وی در آن شهر بود که نخستین مکتب فلسفی را بنیاد نهاد.

فیثاغورث

تا اینجا تنها درباره‌ی افراد حرف زده‌یم و درباره‌ی پیروان فیلسوفانی نظیر طالس چیزی نگفتیم. اما فیثاغورث دارای پیروانی بود. وی مکتبی تأسیس کرد که مقررات سختی داشت، بعضی از این مقررات ریاضی بود و برخی از این مطالب امروز به نظر ما نامربوط می‌آید؛ مثلاً، خوردن لوبیا در این مکتب به‌شدّت ممنوع بود. چرا لوبیا؟ کسی نمی‌داند. شاید علّت، آن بوده است که لوبیا باعث نفخ می‌شود. به هر جهت فیثاغوریان مجاز به خوردن لوبیا نبودند.

1- Solon

2- Croton

فیثاغورث مطالب ریاضی زیادی به پیروان خود می‌آموخت که یکی از این مطالب را شما خوب می‌شناسید، و همین یکی اتفاقاً متعلّق به او نیست! قضیه‌ی فیثاغورث هزاران سال پیش از فیثاغورث معروف بود. در قرص‌های گِلی بابلی، فهرست کاملی از مثلث‌های قائم‌الزّاویه و اندازه‌ی اضلاع آنها می‌بینیم که در مواردی اعداد غیـرصحیح هم در میان این اندازه‌ها ذکر شده است. فهرست کاملی از اندازه‌های غیـرکسری و جدول‌های جذر و کعب اعداد هم به دست آمده است. بابلی‌ها نظام ریاضی پیشرفته‌یی داشتند.

اثبات قضیّه‌ی فیثاغورث هم سال‌ها بعد انجام گرفت. فیثاغورث فقط *اعلام کننده‌ی* این قضیّه بوده است. تساوی مربع وتر با مجموع مربعات دو ضلع دیگر در مثلث قائم‌الزاویه واقعیّتی طبیعی بود که به هیچ شخصی بستگی نداشت. این قضیه نخستین سند و نشانه‌یی است که از ماهیّت علم یونانی به دست آورده‌ییم و نشان می‌دهد که این علم با علومی که پیش از آن رایج بود تفاوت داشته است. البتّه پیداست که اسناد برجای مانده از علوم بابلی و مصری بهترین آثار آنها نیست و به همین دلیل نمی‌توانیم ادعا کنیم که آنها به اثبات قضایا دست نزده‌اند، اما در عین حال هیچ سندی هم در دست نداریم که تأیید کند آنها به بحث یا اثبات این قضایا دست یازیده‌اند. اسناد برجای مانده صرفاً شامل قواعد است : مثلاً برای محاسبه‌ی حجم نیم‌هرم، فلان چیز را در بهمان چیز ضرب کنید و از حاصل‌ضرب، ریشه‌ی دوم بگیرید. دلایل این کار گفته نمی‌شد.

امّا یونانیان ایده‌ی اثبات قضایا را پیش کشیدند، چگونه؟ کسی نمی‌داند. نظریه‌ی من این است که یونانیان در علم حقوق و اثبات دعاوی، زبردستی یافته بودند واثبات قضایای علمی بسیار شبیه به اثبات ادعاهای حقوقی است، که در نهایت به صدور یک حکم منجر می‌شود. جریان از یک سلسله حکم مورد موافقت قبلی شروع می‌شود که بـه‌عنوان اصل موضوع پذیرفته می‌شوند، و صغریٰ و کبریٰ‌های بعدی روی آنها پایه‌گذاری می‌شود.

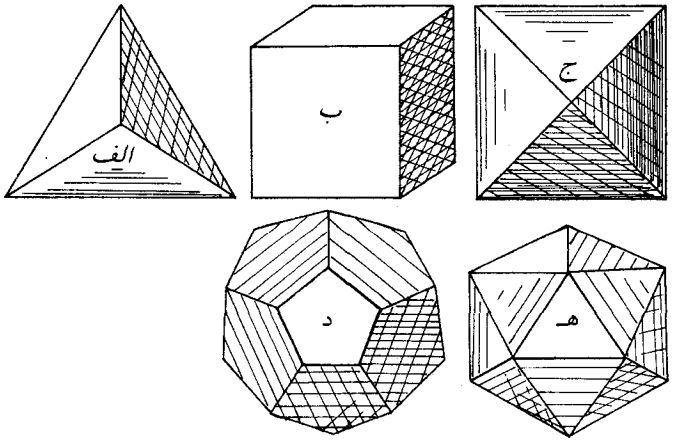
امّا فیثاغورث کار دیگر می‌کرده که بسی مهم‌تر است. فیزیک به صورت

امروزی را نخستین بار او معرفی کرد. وی به مطالعه‌ی هارمونی پرداخت و بنابر روایات، نخستین کسی است که موفّق شد رابطه‌ی میان صوت و طول تار را نشان دهد. البتّه سازهای زهی روزگاری دراز پیش از آنکه کسی چیزی درباره‌ی هارمونی بداند وجود داشت، کوک می‌شد، و دارای پرده‌های مختلف بود. امّا این پرده‌ها که روی تمام سازهای برجای‌مانده در سرتاسر جهان دیده می‌شود، به طور غریزی براساس معیاری انتخاب می‌شد که می‌توان آن را هارمونی طبیعی خواند. آدمی از این گونه صداها خوشش می‌آمد. فیثاغورث این پرده‌ها را به اعداد تبدیل کرد. وی در مورد گام‌ها وسایر فواصل هارمونیک هم نظراتی داشت. به عقیده‌ی وی این هارمونی بسیار مهم بود. این امر آدمی را به تصاعد توافقی هدایت می‌کرد و ریاضیّات نخستین بار با فیزیک درهم می‌آمیخت. آیین فیثاغورث، فیزیک ریاضی است.

موضوع دیگری که فیثاغورث بدان توجّه کرد، خواصّ اشکال هندسی بود. ما از مثلث قائم‌الزاویه نام بردیم ولی علاقه‌ی یونانیان به مثلث محدود نمی‌شد و چندضلعی‌ها و انواع دیگر اشکال منظّم همگن را در بر می‌گرفت. بعداً، هنگامی که به بحث درباره‌ی افلاطون می‌رسیم، خواهید دید که علامتی شامل پنج جسم همگن به عنوان اجسام مقدّس در نظر گرفته می‌شد. شاید این اشکال مقدّس بودند، امّا مفید هم بودند. در آن عصر، یونانیان سخت مشغول چیزی بودند که به آن غیب‌گویی می‌گفتند و تلاش می‌کردند خواست خدایان را دریابند و براساس آن سعد یا نحس بودن روزها را برای کشت درختان میوه و انجام مسافرت تعیین کنند. این تمایل هم گام دیگری در جهت مردمی‌کردن علم بود. پیش از آن تنها فرعون‌ها و شاهان، آن‌قدر استطاعت داشتند که با نگه داشتن چند دانشمند در بارگاه خود به این گونه اطّلاعات دست پیدا کنند؛ اما با تأسیس مدارس، مردم عادی هم به کسب آگاهی پرداختند و دامنه‌ی کار پیشگویی امور روز به روز گسترده‌تر شد و هنوز هم در موارد متعدّدی ادامه دارد. نخستین نشانه‌هایی که توجّه مردم را به خود جلب کرد شکل لکّه‌هایی بود که روی بدن جانوران و پرندگان دیده می‌شد. شاید این توجّه ابتدایی را بتوان اوّلین

گام‌های انسان در زمینه‌ی زیست‌شناسی به شمار آورد. هنگامی که جانوران را می‌کشتند و چیزی غیرعادی در بدن آنها می‌یافتند، منتظر روی‌دادن یک حادثه‌ی شوم می‌شدند. این جریان، تفأل (یا پیش‌آگاهی) خوانده می‌شود. بعضی از مردم، پرندگان را به دقّت زیر نظر داشتند و با توجّه به راستا و جهت پرواز آنها، حوادث بعدی را پیش بینی می‌کردند. رد این موضوع هنوز در بعضی از زبان‌ها، مثلاً زبان فرانسوی، دیده می‌شود. برای بخت خوش در این زبان، لغت *bonheur* به کار می‌رود که از کلمه‌ی *bonum augurium* به معنای فال نیک گرفته شده است، و برای کج شانسی واژه‌ی *malheur* به کار می‌رود که آن‌را از *malum augurium*، به معنای فال بد گرفته‌اند. علاوه بر این مشخصات زیست‌شناختی، تاس و ریختن اشیایی شبیه به آن هم برای فالگیری معمول بود. در آغاز از چهار شیء طبیعی برای این منظور استفاده می‌شد که معمولاً جزو بلورهای ریز بودند و معمول‌ترین آنها بلورهای مکعب‌شکل پیریت بود که برای ایجاد جرقه‌ی نورانی هم از آن بهره می‌گرفتند. برای تفأل، یک قطعه بلور مکعب‌شکل پیریت را پرتاب می‌کردند تا ببینند روی چه وجهی به زمین می‌آید. این‌کار در آغاز صرفاً جنبه‌ی مذهبی داشت، اما آدمی به اقتضای طبع شروع به شرطبندی با این مکعب‌ها کرد، و تاس بازی رایج شد. البتّه، امروزه آن‌قدر وسیله برای شرطبندی هست که دیگر کسی به تاس نیاز ندارد. در آن ایّام با ایجاد چند نقطه‌ی گرد بر هر وجه یک مکعب چوبی، یا چیزی نظیر آن، تاس می‌ساختند. امّا اشکال دیگری هم در کار بود؛ یکی از آنها، مخصوصاً از پیریت، به شکل دوازده‌وجهی پنج ضلعی درمی‌آمد (شکل ۲۵). این تاس، نوع کامل و اسرارآمیزی بود که روی آن ۱۲ علامت حک می‌شد. از نوعی بلور دیگر هم استفاده می‌شد که بیست وجه داشت.

این اشکال پیچیده، طبیعتاً دارای خواص سحرآمیزی تصوّر می‌شدند. روی هم رفته پنج شکل بلور منظّم وجود داشت و کسی نمی‌توانست شکل دیگری پیدا کند. این پنج شکل عبارت بود از: *چهار وجهی* منظّم که همان هرم باشد؛ مکعب، هشت وجهی که از دو هرم متصّل به هم تشکیل می‌شود؛ و دو شکل



شکل ۲۵ ـ پنج حجم هندسی منتظم: الف) چهار وجهی؛ ب) مکعب، شش وجهی؛ ج) هشت وجهی؛ د) دوازده وجهی؛ هـ) بیست وجهی. در هر یک از این حجم‌ها مساحت و شکل وجوه یکسان است.

دیگر که پیشتر از آن یاد کردیم. توجّه زیادی که به این اشکال می‌شد، منجر به پیدایش شیوه‌ی تفکری شد که در چین و یونان رشد بسیار کرد و در یک کلام می‌توان آن را موهوم خواند. این نوع فعّالیّت فکری را می‌توان «بازشناسی از طریق طبقه‌بندی» نامگذاری کرد که همین الان مثال‌هایی از آن می‌آوریم.

عناصر

بار دیگر به تصویر جهان بازگردیم. این تصویر به‌تدریج پالایش می‌یافت. زمین در زیر و آب در رو بود، و بر فراز آب چیزی کشف شد که مدّت‌های طولانی نه چینی‌ها نامی برای آن درنظر گرفتند و نه یونانی‌ها، و امروز هوا خوانده می‌شود. هوا بسیار اهمیّت داشت امّا به انقیاد درآوردن آن مشکل بود. تنها باد را می‌شد به خوبی شناخت، چون آدمی آن را احساس می‌کرد و می‌توانست با دمیدن، آن را ایجاد کند. امّا در عین حال تصوّر وجود مادّه‌یی که به هنگام دمیدن از دهان خارج، و به هنگام مکیدن به دهان وارد می‌شد، بسیار دشوار بود.

همان طور که قبلاً گفتم این مفهوم نه در چین، بلکه در یونان شکل گرفت. در آغاز، پدیده‌یی به نام آتش وجود داشت که *امپدوکلس سیسیلی*[1] آن را مهم‌ترین عنصر می‌دانست و از همان ایّام قدیم بسیار مقدّس شمرده می‌شد، و تا قرن‌ها بعد برای مردمی که در ایران می‌زیستند، به ویژه پارسیان، مقدّس ماند. آتش خاصیّتی داشت که آن را از سایر عناصر متمایز می‌کرد. همه‌ی عناصر دیگر یا در جای خود می‌ماندند یا به پایین می‌رفتند، امّا آتش هم به بالا می‌رفت و هم در اصل به صورت آتش خورشید و آتش ستارگان در بالا قرار داشت. آتش برترین و باشکوه‌ترین و پرقدرت‌ترین عناصر بود. در عصر مفرغ، وجود آتش برای ساختن این فلز و برای تدبیرهای دیگر اهمیت بسیار یافت. یکی از مشخّصه‌های عصر مفرغ، تغییر شیوه‌ی تدفین جسد بود. تا پیش از این عصر، جسدها را یا در زیر زمین دفن می‌کردند یا آنها را لای درختان قرار می‌دادند. امّا در روزگاری که استخراج و گداختن فلز معمول شد، آدمی دید که از حرارت دادن و گداختن سنگ معدن کثیف و شکننده، قطرات تمیز و زیبا و درخشان فلز جاری می‌شود. این شیوه‌ی تبدیل اجسام پلید به اجسام پاک از طریق گداختن، به منزله‌ی یک روند طبیعی شناخته شد و ابتدا جسد قهرمانان و سپس جسد مردم معمولی به شعله‌های آتش سپرده شد. جسدها می‌سوخت و خاکستر آنها بـــرجای می‌ماند. این بقایا حاوی اصیل‌ترین عناصر تشکیل‌دهنده‌ی جسد و در برابر آتش مقاوم بود.

این نوع برخورد با عناصر، باعث پیدایش تصویری قراردادی از جهان شد که در آن، چهار لایـه‌ی خاک، آب، هوا و آتش، سنگ بنای هستـی به حساب می‌آمدند. اینها چهار عنصرند و کلمه‌ی *اسطقس* (stoicheion) برای نامیدن آنها به کار می‌رفت و همزمان با آغاز کتابت، یعنی در حدود قرن هفتم یا هشتم پیش از میلاد، به تاریخ وارد شدند. در آن روزگاران جهان را تنها با این چهار

۱ـ Empedocles of Sicily در مآخذ اسلامی، *انباذقلس اهل صقلیه* هم خوانده می‌شود.

حرف هجی می‌کردند. همه‌ی عناصری را که امروز می‌شناسیم از عناصر قدیمی، به معنای لغوی کلمه، به دست آورده‌ییم. امّا البته امروز هیچ‌یک از عناصر باستانی را عنصر نمی‌دانیم. خاک مرکّب از عناصر بی‌شمار است، آب یک جسم مرکّب است، هوا هم مخلوط است و آتش ممکن است چیزی باشد، که من آن را نه مادّه بلکه حالت می‌دانم. آنچه برای یونانیان اهمیّت داشت این بود که بدانند با در دست داشتن این عناصر در چه موقعیّتی قرار می‌گیرند. می‌توانستند فراتر بروند و مدّعی شوند که می‌توانند عناصر را دگرگون کنند. می‌توانستند قطعه چوبی را در آتش فرو برند و پس از مدتی شنیدن صدای جز و وز، ببینند که مقداری آب از آن خارج می‌شود. پس از آن بخار و شعله و سرانجام کمی خاک بر جای می‌ماند، که همان خاکستر باشد. پس تمام موجودات، از جمله انسان از ترکیب عناصر به وجود آمده‌اند و قابل تجزیه هستند؛ و این تجزیه عمدتاً به‌وسیله‌ی آتش صورت می‌گیرد. این نکته، کلّی‌ترین رفتارعناصر یعنی حرکت آنها را هم تبیین می‌کرد. به نظر مردم آن زمان، تمام جامدات از خاک ساخته شده بود و هر جسم خاکی خالص، در آب فرو می‌رفت و اگر جسمی در آب فرو نمی‌رفت، شامل چیزهای دیگری بود (که نظر درستی هم بوده است). مثلاً چوب از آن‌رو در آب فرو نمی‌رود که مقداری هوا درون خود دارد. خاک در آب فرو می‌رود، اما هوا در آب بالا می‌آید. آب در هوا فرو می‌ریزد، و آتش بالا می‌رود چون میل طبیعی، آن را به سوی جای اصلی خود، یعنی به سوی آتش الهی در آسمان می‌کشد؛ این شیوه‌ی تعبیر را تمثیل می‌خوانیم.

حالا به اشیای مورد نظر فیثاغورث و ، بعداً اَفلاطون بپردازیم. ابتدا تنها چهار شکل هندسی در کار بود، و شکل پنجم یعنی بیست وجهی بعداً کشف شد. این چهار شکل را نماینده‌ی چهار عنصر خاک، آب، باد، و آتش درنظر می‌گرفتند. البتّه این ترادف‌ها نمادین بود و آدمی عملاً هیچ‌یک از این چهار عنصر را با اشکال افلاطونی برابر نمی‌گرفت، و گزینش این اجسام به عنوان نشانه‌هایی برای عناصر را فقط قراردادهایی برای مشخّص‌کردن آنها می‌دانست.

هنگامی که پنجمین شکل منظّم هندسی کشف شد، ناچار باید به دنبال عنصر پنجم گشت، چون اگر قرار باشد هر شکل منظّم هندسی به یکی از عناصر مربوط باشد، برای شکل پنجم هم باید حتماً عنصر پنجمی در کار باشد. براساس این ضرورت، عنصر پنجم کشف شد. این عنصر، حیات متغیری داشت و امروز نمی‌دانم کجا رفته است، نامش هم اَثیر (اِتر) است. اثیر را از آتش هم برتر فرض می‌کردند، و با هیچ وسیله‌ی شناخته‌شده‌یی هم قابل آشکارسازی نبود. اثیر را نمی‌شد به دام انداخت، نمی‌شد آن را تعریف کرد، یا کاری با آن صورت داد. خلاصه، این بود تصویرِ عنصریِ عالم، تصویر حرکت طبیعی، و تصویر مرکب خود عالم.

تا مدت‌های مدید، زمین به نحوی بسیار طبیعی، مرکز همه چیز تصوّر می‌شد. امّا اجرام دیگر شامل خورشید و ماه و سیاره‌های مریخ و زهره و مشتری و زحل و عطارد ـ را می‌شد با پنج عنصر مناسب مرتبط دانست. پس از اینها نوبت به فلزات می‌رسید؛ پنج فلز با پنج سیّاره‌ی فوق و دو فلز را هم با ماه و خورشید متناظر می‌دانستند. خورشید که برترین جرم‌های آسمانی بود به طلا منسوب شد؛ ماه نقره بود؛ مشتری با قلع، مریخ به دلیل قرمزبودنش با آهن. زهره شاید بدان دلیل که مظهر الهه‌ی قبرسی بود (که از جزیره‌ی مس یعنی قبرس می‌آمد) با مس مترادف شد. زهره الهه‌ی عشق و ستاره‌ی صبح و ستاره‌ی شام هم به حساب می‌آمد. کشف همین نکته که ستاره صبح و ستاره‌ی شام یکی است، خود کشف مهمی بود که به مشاهدات طولانی نیاز داشت. انسان پس از نظاره‌های طولانی و مستمر متوجّه شد که ستاره‌ی صبح در روزهایی دیده می‌شود که در شامگاه قبل از آن ستاره‌ی شامگاهی دیده نشده بود؛ عکس این قضیه هم صادق بود. بنابراین، زمان درازی گذشت تا این ستاره شناخته شود. زحل را که کندروترین سیّاره بود، نشانه‌ی سرب، و عطارد را نشانه‌ی جیوه می‌شمردند.

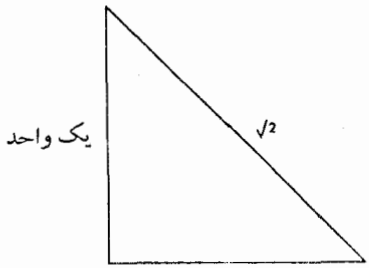
چینی‌ها که به پنج عنصر عملی‌تر از پنج عنصر یونانیان اعتقاد داشتند، به این تصاویر تمثیلی عمق بیشتری دادند. آب و آتش دو عنصر بود، و دو عنصر

دیگرعبارت بودند از چوب و فلز که کاربرد عملی داشتند؛ و پنجمین عنصر که به نظر چینی‌ها بسیار مهم به شمار می‌رفت خاک بود. چینی‌ها میان این عناصر و هر چیز دیگری که بتوان به تصوّر آورد، روابط بسیار پیچیده‌یی قائل می‌شدند. اما بدیهی‌ترین ارتباط را میان آنها و رنگ‌ها و جهت‌ها برقرار می‌کردند؛ مثلا قرمز را با آتش و جنوب؛ سبز را با چوب و مشرق، که ناحیه‌ی مرطوب و جنگلی کشور بود؛ سیاه را با آب و شمال؛ سفید را با آهن و غرب، که ناحیه‌ی معادن آهن بود؛ و زرد را با زمین یا مرکز، یعنی سرزمین چین، ارتباط می‌دادند.

٤

فیزیک یونانی

اینک برای یافتن سرچشمه‌های علم فیزیک باید به یونان باز گردیم. البتّه، *ما* می‌دانیم فیزیک چیست، اما یونانیان نمی‌دانستند. آنها اموری را که ما امروز فیزیکی می‌دانیم، با موضوعات زیست‌شناختی و مربوط به الهیات عوضی می‌گرفتند. امّا در آغاز قرن پنجم پیش از میلاد تفکیک این موضوع‌ها آغاز شد، و فیثاغورث در این جدایی نقشی عمده داشت، زیرا وی در زمینه‌های متفاوت فیزیکی و ریاضی صاحب نظر بود. در زمینه‌ی ریاضیات تنها به موضوع اعداد گنگ اشاره می‌کنم که فیثاغورث کاشف آن نبود، ولی شناخت آن مرهون کارهای او بود. اما مثلث ساده‌ی قائم‌الزّاویه، علم ریاضیّات را مستقیماً به قلب مشکلات هدایت کرد. در شکل ٢٦ مثلث قائم‌الزّاویه‌یی می‌بینید که طول ضلع آن به اندازه‌ی واحد است و فیثاغورث اندازه‌ی مساحت مربعی را که روی وتر این مثلث ترسیم می‌شد، برابر با ٢ واحد می‌دانست. بنابراین، وتر



شکل ۲۶ـ مثلث قائم‌الزّاویه با اضلاعی به‌طول واحد برای نمایش اصل فیثاغورث

همان چیزی است که ما جذر ۲ می‌نامیم. اما جذر عدد ۲ چیست؟ اندازه‌گیری جذر عدد ۲ میسّر است، اما آیا می‌توان آن‌را از راه محاسبه به دست آورد؟ جذر ۲ چه عددی می‌شود؟ یکی از پیروان فیثاغورث که نام او را به درستی نمی‌دانیم، اعلام کرد که هرگز نمی‌توان عدد دقیقی برای جذر ۲ پیدا کرد. یونانیان ارقام و علائم امروزی را نمی‌شناختند، و نمی‌توانستند $\sqrt{۲}$ را مساوی ۱٫۴۱۴ بگیرند. این وضع یونانیان را تکان داد، این رقم گنگ و غیر قابل فهم بود. این اعداد که باید منطقی‌ترین پدیده‌ی جهان باشند، اینک از تبدیل شدن به اعداد درست یا کسری سر باز می‌زدند و این نکته به صورت لکه‌یی بر دامان کلّ جهان جلوه می‌کرد. بحث در مورد اعداد گنگ در تمام ابعاد ریاضیِ تفکّر یونانی جریان داشت. این مبحث، حقاً مفهوم بسیار پیچده و عمیقی است. وجود اعداد دیگری چون اعداد گنگ، ریشه‌ها و سایر اعداد به اصطلاح متعالی (غیر جبری)، نظیر π، اندیشمندان یونانی را بسیار دل‌مشغول ساخته بود. راه حلّی که یونانیان برای گریز از این مخمصه می‌اندیشیدند، با راه حل‌های بابلی تفاوت داشت. یونانیان یک‌سره از پرداختن به اعداد پرهیز می‌کردند، و به اشکال هندسی که مسئله‌ی گنگ یا گویا بودن در مورد آنها پیش نمی‌آمد، می‌پرداختند. اقلیدس هم نشان داد که می‌توان به یاری خطهایی که طول نامشخص دارند، به استنتاج‌های منطقیِ دقیق منسجمی دست یافت.

من بیش از این به ریاضیّات یونانی نمی‌پردازم، و توجّه شما را به پیامدهای فیزیکی و فلسفی کارهای فیثاغورث جلب می‌کنم که به پیدایش دو خط پیشرفت متفاوت منجر شد. از هرچه بگذریم، اصل کار وی تأویل عالم به اعداد بود. این موضوع را به دو صورت می‌توان تعبیر کرد؛ می‌توان اعداد را تنها واقعیت موجود، و عالم را افسانه دانست، و می‌توان اعداد را متناظر با اشیای واقعی به حساب آورد. اما چه اشیایی؟ نخستین پاسخ از آنِ *پارمِنیدس* اهل الئا[1] در جنوب ایتالیاست، که اندیشمندی دقیق و محافظه‌کار بود و کلّ جهان را کره‌یی کامل می‌دانست و استدلالش آن بود که این شکل تنها شکلی است که فی‌نفسه وجود دارد، و بنابراین هر صورت دیگری جز آن تنها وهم و پندار است. با تمام تنوّعی که در جهان دیده می‌شود، تنها موضوعی که اعتبار دارد آن‌است که واحد، واحد است. ظاهراً این استدلال، پوچ به نظر می‌آید، امّا به پیدایش اندیشه‌هایی انجامید، که در ریاضیّات از توجّه عمیقی برخوردار است. زنون[2]، شاگرد پارمنیدس دو پارادوکس (باطلنما) ارائه کرد که هنوز هم حل نشده است. زنون در مورد تیری که از کمان رها می‌شود می‌گوید: تیر یا در اینجا هست یا در اینجا نیست، و اگر حرکت می‌کند، در فاصله‌ی میان اینجا و جای دیگر در کجاست؟ فاصلـــه چیست؟ همه‌ی مفاهیم ریاضی و همه‌ی اندیشه‌های تحلیلی، در پارادوکس‌های زنون نهفته‌اند. برخی از این نکات، مانند قضیه‌ی آشیل[3] و لاک‌پشت، مهم نبودند. لاک‌پشت همواره بیش‌تر از آشیل راه خواهد پیمود، چون هر وقت آشیل پیش می‌رود، لاک‌پشت هم پیش می‌رود و آشیل هرگز به لاک‌پشت نمی‌رسد. این برهان‌ها در آن ایّام به عنوان منطق ریاضی به کار گرفته نمی‌شد، بلکه از آن کمک می‌گرفتند تا نشان دهند که نباید دیده‌ها را باور کرد و بنابراین تمام ظواهر فریبنده‌اند.

1- Parmenides of Elea
2- Zeno
3- Achilles

امّا خط دیگری که از کارهای فیثاغورث آغاز شد، از نظرات *لئوکیپوس*[1] تا نظرات *دموکریتوس* (*ذیمقراطیس*)[2]، که اعداد را به‌اشیای واقعی نسبت می‌داد، امتداد یافت. اشیای واقعی، آن چیزهایی نیستند که هر کس می‌تواند آنها را ببیند. منظور از این گونه اشیا، اشیای بنیادی موجود در عالم است. پیش از این نظرات، ایده‌های متنوع دیگری رایج بود. *هراکلیتوس* (*هراقلیطوس*)[3] و *امپدوکلس* (*انباذقلس*) و دیگر متفکّران آن عصر تصوّر می‌کردند جهان سرشار از دانه‌های ریزی است که می‌توانند به هر چیزی تبدیل شوند. امّا ذیمقراطیس نقطه‌نظر قاطعی ارائه کرد و جهان را متشکل از چیزهایی سخت، ناشکستنی و *برش‌ناپذیر* دانست، که با دادن آرایش‌های مختلف هندسی به آنها می‌توان تمام صور گوناگونی را که به چشم می‌آیند، تولید کرد. این صورت‌ها واقعی بودند، چون از اتم به وجود می‌آمدند. درباره‌ی بقیه‌ی جهان چه می‌شد گفت؟ ذیمقراطیس پاسخ می‌داد که بقیه‌یی در کار نیست. بقیّه جهان چیزی نیست، خلاء است. پس جهان از اتم و خلاء ساخته شده است. البتّه، اتم ساکن بر جا نمی‌ماند، بلکه حرکت می‌کرد و ترکیب‌های تازه‌یی به وجود می‌آورد. این نظرها بسیار کلّی است؛ و اگر در تعقیب آنها خیلی پیش برویم با دشواری‌هایی روبرو خواهیم شد که یونانیان باستان با آنها روبرو شدند.

بدین ترتیب یک مکتب فلسفی نسبتاً خطرناک و بسیار مادّی ظهور کرد. *لوکرِتیوس*[4] و *اِپیکور*[5] (*اَبیقور*)، یعنی فیلسوفان عصر غلبه رومیان، مشهورترین اندیشمندان این مکتب بودند. اپیکور این جنبه‌ی اتمی‌گری را در مورد هدف‌های انسان‌گرایانه به کار بست، و اموری را که واقعاً دیده و احساس

1- Leucippus
2- Democritus
3- Heraclitus
4- Lucretius
5- Epicurus

می‌شد، کانون توجّه قرار داد. وی چیزهایی مانند اندیشه را هم که ما به هیچ روی نمی‌توانیم مادّی حساب کنیم، متشکّل از اتم می‌دانست. مثلاً، جهان از این اتم‌ها ساخته‌شده و آدمی در این جهان ساخته شده حیات می‌یافت، و هدف این زندگی لذت بود. البتّه، لذّت مورد نظر اپیکور نوعی لذّت منزه بود. وی را به اعتبار همین نقطه‌نظرها *فیلسوف بوستان* می‌خواندند. این فیلسوف تمام اوقات خود را به مباحثه به‌سر می‌برد، و زندگانی بسیار ساده‌یی داشت، و به همه‌ی قیود مربوط به وظیفه و خدایان و نظایر آنها پشت پا زد. این دیدگاه بعدها از سوی رواقیون، باطل اعلام شد. از این ایّام آثار مکتوب اندکی در دست داریم. اگر به کتابخانه‌ها سری بزنید و مثلاً اثری از طالس بخواهید، چیزی در اختیار شما نخواهند گذاشت؛ حتّی جمله‌یی هم در دست نداریم که با یقین بتوانیم آن‌را به طالس نسبت دهیم. تنها، روایت‌های دست دوّم و دست سوّم از وی بر جا مانده است. در مورد فیثاغورث هم وضع به همین منوال است. در حقیقت هیچ یک از شخصیت‌هایی که تا اینجا از آنها یاد کردیم، کتابی از خود بر جا نگذاشته‌اند. البتّه احتمالاً کتاب‌هایی نوشته‌اند امّا همه‌ی آنها از میان رفته است. آنچه از آنها به یادگار مانده است، نقل قول‌هایی است که در کتاب‌های دیگران آمده است.

امّا هنگامی که به عصر رومیان می‌رسیم، به تعدادی کتاب بر می‌خوریم که یکی از آنها کتابی بسیار روشنگر است. این کتاب اثر لوکرتیوس، فیلسوف متأخّر اپیکوری است که مطالب مفصّلی در مورد کلّ عالم نوشته است. این کتاب، شعری است به نام در *ماهیّت اشیا*[1] که جهان اتمی را به روشنی ترسیم می‌کند. چکیده‌یی از چند بخش این شعر را در زیر می‌آوریم:

«اشیای مادی دو گونه‌اند، اتم‌ها. و ترکیبی از اتم‌ها. هیچ نیرویی نمی تواند اتم‌ها را از هم بپراکند، چون با همبستگی مطلقی به گونه‌یی در کنار هم نگه داشته شده‌اند...

پس، نیک بنگر، که در چند سطر کوتاه نشان می‌دهم که اجسامی مطلقاً سخت و زوال‌ناپذیر به نام اتم وجود دارد که بر حسب تعالیم ما بذر واحدهای اوّلیّه‌ی اشیایی است که جهان از آنها تشکیل یافته است ...

1- De Rerum Natum

پس اجسام سختی وجود دارد... و این اجسام همان‌گونه که گفتم، نه با ضربه‌یی که از خارج وارد آید از هم می‌پاشند، و نه به اشغال در می‌آیند، و نه با نیرویی درونی می‌شکافند و نه هیچ مداخله‌ای می‌تواند آنها را نابود سازد... بدین ترتیب، اگر واحدهای ماده، جامد و بدون فضای خالی باشند، همان‌گونه که گفتم، ماده باید جاودانی باشد.»[1]

در اینجا لُوکرتیوس وارد تمثیل جالبی می‌شود که با ژنتیک پیوند می‌یابد:

«... هیچ نوعی تغییر نمی‌کند، بلکه هر کدام چنان ثابت می‌مانند که هر نوع پرنده، علامت‌های خاص خود را بر بدن نشان می‌دهد... چون اگر اتم‌ها در معرض تغییر قرار گیرند، معلوم نمی‌شود چه چیزی می‌تواند به وجود آید و چه چیزی نمی‌تواند... نسل‌های پی در پی هم با این تسلسل منظم، ماهیّت و رفتار و عادات و حرکات والدین را تکرار نمی‌کنند».[2]

می‌بینید که در این ملاحظات، نظریه‌ی ژنتیکی توارث با نظریه‌ی اتمی درهم آمیخته است. البتّه اساس کامل این اختلاط، تنها چند سالی است که با شناخت ماهیّت و کنش مولکول‌های DNA روشن شده است، ولی چون این نکته در حوزه‌ی فیزیک نیست، با آن چندان کاری نداریم.

لوکرتیوس می‌گوید اتم‌ها در حرکت‌اند و انواع اشیا از حرکت آنها پیدا می‌شود، اما این امر، اشکالی پیش می‌آورد. اتم‌ها بنابر اصلی که می‌توان آن‌را اصل حرکت دائم یا حتّی لختی نامید، در فضای تهی حرکت می‌کنند. در نگاه نخست، به نظر می‌رسد که این ذرّات باید همواره بر امتداد خط راست حرکت و در فضا سقوط کنند. به یاد داشته باشید که سقوط شیء به منزله‌ی خاصیّت ذاتی یا ضروری شیء محسوب می‌شد، و وضعی که در آن، اشیا همه به‌صورت معلّق وجود داشتند و به طور مساوی می‌توانستند در هر جهتی سقوط کنند، ابداً به تصوّر درنیامده بود. اتم‌ها نمی‌توانستند در فضا بمانند بلکه باید همواره در حال سقوط باشند. اگر اتم‌ها همواره در حال سقوط باشند چگونه می‌توانند به

1- The *Nature of the Universe*, Lucretius, Penguin Classic, London, 1951, pp. 42-43.

2- Ibid., p. 44.

یکدیگر برسند و ترکیب‌های مختلف ایجاد کنند؟ برای پاسخ به این پرسش، کمک ویژه‌یی لازم بود، و این بزرگترین نقطه‌ی ضعف کلّ بحث به حساب می‌آمد:

«اتم‌ها کمی منحرف می‌شوند، فقط کمی چون اگر جز این می‌بود، باید به سقوط در امتداد مایل معتقد شویم که این امر با واقعیّات در تناقض است... مجموعهٔ اشیا را نمی‌توان با هیچ نیرویی دگرگون ساخت، زیرا در خارج از عالم، جایی نیست که نوعی از انواع مادّه به آنجا بگریزد یا نیروی تازه تولّد یافته‌یی بتواند به عالم وارد شود و کلّ ماهیّت اشیا را مبدّل کند و حرکت آنها را معکوس کند.»[1]

آیا اندیشه‌های اساسی مستتر در این توضیح را دریافتید؟ نظریه‌ی اتمی به صورتی که بیان شد، تا عصر ما دوام پیدا می‌کند و حتّی در این شکل ابتدایی، نشانی از مشاهده‌ی خوب و فیزیک بنیادی در سطحی گسترده است. برهان بدین صورت است که اشیا تغییر نمی‌پذیرند، و خواص آنها همواره یکسان می‌مانند، پس اتم‌ها نمی‌توانند تغییر بپذیرند. این نظریه تا این قرن، و تا این هنگام که ما زنده‌ییم، هنوز اعتبار دارد. تنها نکاتی که در این نظریه از قلم افتاده است، یکی موضوع شکافت اتمی و پرتوزایی (رادیواکتیویته) است، و دیگری موضوع جهش. لوکرتیوس تصوّر می‌کرد که نشانه‌های روی پرِ هر نوع پرنده همواره یکسان خواهد ماند. هنوز کسی به این فکر نیفتاده بود که ممکن است نوع جدیدی از پرنده با نقش‌های متفاوتی بر روی بال و پر پیدا شود، یا مرغابی و قو و پرندگان مشابه همه از یک منشأ مشترک به وجود آمده باشند. در آن روزگار برای مشاهده و مطالعه، لمحه‌یی از حیات جهان را درنظر می‌گرفتند. در این مقطع کوتاه زمانی، هیچ چیز تغییر نمی‌کرد، همه‌ی امور به صورت چرخه‌یی واقع می‌شد، و چرخه دارای اوجی بود که، عملاً، فقط تجدید آرایش همان اشیای موجود بود. این مفهوم در سراسر تاریخ علم از باستان تا عهد داروین تداوم داشت.

البتّه بعداً خواهید دید که این نظریه در آن ایّام، خط اصلی تفکّر نبود. این

1- *Ibid.*, pp. 67, 69

نوع تبیین، به دلایل متعدّد که عمدتاً مذهبی و اجتماعی بود، فرضیّه‌یی بسیار خطرناک تلّقی می‌شد. با همه‌ی اینها، با نهایت شگفتی هرگز هم از یادها نرفت. این نظریه در کناری نهاده شده بود، و علم در امتداد همان خط قدیمی‌تر که ذات اشیا را به جای ذرّه‌یی بودن، پیوسته فرض می‌کرد، پیش می‌رفت. این نظر از آنِ بزرگترین دانشمند یونان یعنی ارسطو بود.

جَبّاران

در اینجا باید کمی به تاریخ یونان بپردازیم. نخستین فیلسوفان یونانی که ما از آنها یاد کردیم در شهرها و بندرهای کوچک مرزی قلمرو یونان می‌زیستند. در آغاز، حکمرانی بر این شهرهای کوچک را خاندان‌های برجسته و اشراف زمین‌دار بر عهده داشتند. بعداً، عدّه‌یی از بازرگانان در شهرها چنان ثروتی به هم زدند که می‌توانستند اشرافی را که به دلخواه آنان رفتار نمی‌کردند، کنار بزنند یا بکشند و خود به مقامی برسند، که یونانیان به آنها عنوان جبّار دادند. در ششمین سده‌ی پیش از میلاد، یونان در عهد جبّاران به سر می‌برد. در آتن *پیسیستراتوس*[1] جبّار حکمروایی داشت و همه‌ی فیلسوفان یونیایی[2] این روزگار در این شهر یا آن شهر از قلمرو جبّاران می‌زیستند. امّا در سرتاسر یونان، به ویژه در آتن، جنبشی علیه جبّاران به راه افتاد. این جنبش را خاندان‌های اشرافی برپا نکردند، بلکه پیشه‌وران خرده‌پا به راه انداختند؛ جنبش را کسانی آغاز کردند که در آن روز مردم نامیده می‌شدند. منظورم از مردم دقیقاً همان مفهوم امروزی این کلمه نیست، چون در آن ایّام در حدود نیم تا یک سوّم این جمعیّت را بردگان تشکیل می‌دادند. خرده‌مالکان محدوده‌ی شهرها و پیشه‌وران خرده‌پای شهری طغیان کردند، و جبّاران را بر کنار کردند یا کشتند، و حکومت مردم یعنی دموکراسی را برقرار کردند. گاهی، جبّاران به شاهان ایران متوسّل

1- Pisistratus

2- Ionian

می‌شدند. مثلاً، خاندان پیسیستراتوس به ایرانیان پناه بردند و از آنان خواستند تا به نابودی این دموکراسی برخیزند که مردم ایونی را به شورش تشویق می‌کرد، و خطری برای امپراتوری ایران به شمار می‌آمد. پیداست که ایرانیان وجود این شرایط را در آتن که به سواحل ایران نزدیک بود تحمل نمی‌کردند. خشایارشاه، سپاه عظیمی علیه آتن فراهم آورد و پیسیستر اتوس با نشان دادن راه‌ها، به یاری این سپاه برخاست. این لشکر آتن را به تصرّف ایرانیان درآورد و به آتش کشید؛ امّا پیشروی چندانی نداشت، چون ناوگان آنها را در *سالامیس*[1] غرق کردند. ایرانیان عقب‌نشینی کردند و با وجود شکست خوردن در یک نبرد دیگر، از یونان *رانده نشدند* بلکه خود، این سرزمین را ترک گفتند.

از این پس، نظامی شامل چند دموکراسی مستقر شد، که عمدتاً تحت نفوذ آتن بود و بنام امپراتوری آتنی خوانده می‌شد. جریان تشکیل این امپراتوری چنین بود: آتنی‌ها به علّت برخورداری از منابع نقره و تملّک ثروت‌های فراوان، عهده‌دار تأمین سلاح و کشتی برای دموکراسی‌ها بودند، و بدین سبب خود را رهبر این اتحادیّه‌ی بزرگ می‌شمردند. در این هنگام هنوز هم ایرانیان به رهبری پادشاهی که بر پارس سلطنت می‌کرد تهدیدی برای امپراتوری آتن به حساب می‌آمدند و بالاخره هم به آتش جنگی میان آتنی‌ها و اسپارتی‌ها دامن زدند. اسپارتی‌ها مردمی بدوی و عشیره‌یی بودند که زندگی آنها وقف جنگ شده بود. این مردم *یونکرهای*[2] واقعی بودند، یعنی زمین داشتند و کارهای زمین‌هایشان را نه بردگان بلکه توسّط رعایایی که *هلوت*[3] خوانده می‌شدند انجام می‌دادند. هلوت‌ها به زمین تعلّق داشتند و قابل خرید و فروش نبودند. سرانجام، پس از جنگی طولانی که طیّ آن بیشتر چیزهای مفید موجود در یونان نابود شد، اسپارت‌ها به پشتوانه‌ی طلای ایرانیان پیروز شدند.

1- Salamis

۲ـJonkers: طبقه‌ی نظامی ـ ملّاک کشور آلمان

3- Helot

آکادمی

این امور که مورد بحث ماست از آن رو به علم مربوط می‌شود که درست در همین ایّام در سرزمین اصلی یونان، فلسفه از علم طبیعی روی می‌گرداند و به سوی موضوعات اخلاقی و سیاسی گرایش می‌یافت. می‌دانیم که سقراط، بزرگ‌ترین فیلسوف یونان، هرگز به علوم طبیعی عنایت نداشت و معتقد بود کسانی که به مطالعه و تحقیق در امر علوم طبیعی می‌پردازند، وقت خود را در راهی هدر می‌دهند که برای روح فایده‌یی ندارد. به نظر او مردم باید به مطالعه‌ی علم اخلاق بپردازند. افلاطون که شاگرد برجسته‌ی سقراط بود، از این هم پا را فراتر نهاد. وی بعداً در صحنه‌ی علم نقش مهمّی بر عهده گرفت. البتّه منظورم علم تجربی نیست، بلکه به فیزیک نظری اشاره دارم. افلاطون از فیثاغورث پیروی می‌کرد و برای ریاضیّات اهمیّتی فوق‌العاده قائل بود. وی مدرسه‌یی بنیاد کرد که آکادمی خوانده می‌شد، و بر سر درِ آن جمله‌ی معروفی نوشته شده بود به این مضمون: «هر کس ریاضیّات نمی‌داند، وارد نشود.» به اعتقاد او هر کس بر ریاضیّات احاطه‌ی کافی داشته باشد، علاوه بر آن که عالم را به‌خوبی می‌شناسد، می‌داند چگونه رفتار می‌کند. افلاطون نثرنویس برجسته‌ی زبان یونانی هم به‌شمار می‌آمد و تأثیر بسیار عمیق و گسترده‌یی بر روشنفکران داشت. این تأثیر در ایّام ناخوشایندی که پس از سقوط امپراتوری روم پیش آمد، بارزتر بود. امّا وی جهان را به اموری که به طور ریاضی قابل تبیین بود محدود می‌کرد. وی برخی اندیشه‌های ریاضی نادرست هم داشت، ولی سهم وی در انگیزش مطالعه‌ی ریاضی انکارنکردنی است. *ائودوکسوس*[1] که در زمینه‌ی ریاضیّات از او پیروی می‌کرد، توانست طرح نوعی ماشین را ارائه کند که به یاری آن تبیین حرکات ظاهری خورشید و ستارگان به دور زمین، و طلوع و غروب آنها میسّر می‌شد.

1- Eudoxus

ارسطو

ارسطو یکی از مشهورترین شاگردان افلاطون بود. به روزگار زندگی این استاد و شاگرد، قدرت شهرهای یونان افول می‌کرد و قدرت تازه‌یی سر برمی‌داشت. این قدرت از آنِ بربرهای نیمه یونانی شمال، یعنی مقدونیان بود. مقدونیان هنوز در مرحله‌ی انقیاد نسبت به شاهان و نجیب‌زادگان به‌سر می‌بردند و از مرحله‌ی دموکراسی شهرهای یونان دور بودند. فیلیپ مقدونی، شهرهای یونان را به تصرّف درآورد و به اصطلاح سیاست «حُسن همجواری» را در مورد یونان اعمال کرد. وی شهرهای یونان را در اتحادیّه‌یی که فاقد هر نوع قدرت بود متّحد و تمام قدرت را در دست خود متمرکز کرد. اسکندر معروف، فرزند فیلیپ بود و نزد ارسطو تعلیم می‌گرفت. ظاهراً اسکندر شاگردی ساعی نبوده است؛ چون بنابر یک روایت، ارسطو خطاب به وی گفته است: « ریاضیّات جاده‌ی شاهی ندارد، برای رسیدن به آن باید زحمت کشید» (جاده شاهی راه اصلی در سرزمین ایران بود). هیچ شاهدی در دست نداریم که نشان دهد ارسطو در تعلیم ریاضیّات یا هر نوع علم دیگر به اسکندر توفیقی یافته باشد، اما این موقعیّت به ارسطو فرصت داد تا خود در یادگیری علم ریاضیّات پیشتر رود.

تأثیر ارسطو بر علوم رایج عصر خویش بسیار عمیق و دامنه‌دار بود، و می‌توان جنبش گسترده‌ی علمی در زمینه‌ی علوم جدید و انقلاب عظیم علمی قرن شانزدهم را عمدتاً حرکتی علیه تعالیم ارسطو در همه‌ی حیطه‌ها به حساب آورد. پس از گذشت قرن‌ها، در همین اواخر متوجّه شده‌ییم که ارسطوی دانشمند، عالم علم فیزیک نبوده است. او همان‌قدر فیزیکدان بوده است که شما هستید؛ او را می‌توان زیست‌شناس دانست. وی کلّ عالم را به نوعی موجود زنده می‌دانست و علم فیزیک مورد نظر وی که به بررسی علل سقوط و حرکت اجسام اختصاص داشت، بر مشاهده‌ی احوال جانوران مبتنی بود. با مشاهده‌ی رفتار جانوران می‌بینیم که هر یک از کارهای آنها برای یک منظور خاص انجام می‌یابد. حرکت آنها در پی دستیابی به غذا یا گریز از دست دشمنان صورت می‌گیرد. بدین سبب، ارسطو جهان مادّی را به صورت تصویر جهان جانوری تعبیر

می‌کرد. توضیحات عالی وی در مورد دنیای جانوران چندان دقیق بود که برخی از آنها تا همین سال‌های اخیر بهترین توصیف ممکن به شمار می‌آمد. امّا در عرصه‌ی فیزیک، نه تنها نظر تازه‌یی ارائه نکرد بلکه به نظرات بسیار ناپخته‌یی بازگشت که دانشمندان خبره‌تر سال‌ها بود آنها را به کناری گذاشته بودند. در مورد کاربرد ریاضیّات کمتر چیزی می‌دانست و تصویری که از منظومه‌ی شمسی عرضه می‌کرد بسیار ابتدایی و خام بود. اندیشه‌ی او درباره‌ی زمین همان اندیشه‌ی قدیمی بود که زمین را لایه‌های عناصر مختلف خاک و آب و غیره احاطه کرده است. به عقیده‌ی وی، اجرامی که در آسمان حرکت می‌کردند، در حقیقت میخ‌هایی بودند که بر سقف افلاک گردانِ نسبتاً پیچیده کوبیده شده بودند، و این مدل عالم چنان مکانیکی بود که روز به روز انعطاف‌ناپذیرتر و تنگ‌تر می‌شد. البتّه، ارسطو این افلاک را کاملاً صلب نمی‌دانست، اما در قرون وسطی عقیده بر این بود که همه‌ی اجرام آسمانی در افلاک بلورین فوق‌العاده شفّاف فرو رفته‌اند. حرکات این افلاک باید به یکدیگر منتقل می‌شد و چون تعداد آنها بسیار زیاد بود باید به صورتی بسیار دقیق درون یکدیگر قرار می‌گرفتند. فکر می‌کنم در این مدل در حدود پنجاه و سه فلک وجود داشت، که هر یک از آنها باید فلک درونی را به کار می‌انداخت و برای ادامه‌ی کار این دستگاه باید قدرت عظیمی بر خارجی‌ترین فلک اعمال می‌شد که گرداننده‌ی اصلی بود، و همه‌ی افلاک دیگر را به چرخیدن وامی‌داشت. این نوع علم نجوم به رشد علوم عملی و فنّی مددی نمی‌رساند، ولی اعتبار ریاضیّات را فوق‌العاده بالا می‌بُرد. ارسطو هم مدرسه‌یی بنیاد نهاد که *لیسه* یا *لوکئوم*[1] نام داشت، و با مدرسه‌ی افلاطون متفاوت بود. مدرسه‌ی افلاطون از آنِ یونانیان جوان و خوش‌آتیه‌یی بود که در آکادمی به بحث درباره‌ی اموری مانند حقیقت، عدالت سیاسی، کاربردِ قدرت می‌پرداختند؛ یعنی موضوعاتی که امروز در آکسفورد مورد بحث است. این مدرسه، «مدرسه‌ی بزرگان» بود. امّا لیسه‌ی ارسطو،

1- Lyceum

چیزی بود که می‌توان آن را مؤسّسه‌ی پژوهشی نامید. کسانی که در این مؤسّسه تحصیل می‌کردند، ناگزیر بودند کانی‌ها را بررسی کنند و به مشاهده‌ی بادها و پدیده‌های مشابه بپردازند، و در زمینه‌ی زیست‌شناسی و علوم اجتماعی هم مطالعاتی داشته باشند. این مکتب پژوهشی، برای انجام یک تحقیق تطبیقی، موفّق شد کار پر زحمت جمع آوری قانون اساسی ۱۵۸ شهر بزرگ را که شامل روش‌های رأی‌گیری و اموری نظیر آن بود، به انجام رساند.

این فعّالیّت‌ها، در مرحله‌ی بعدی تاریخ، به سطح بسیار بالاتری ارتقا یافتند. اسکندر در جنگ فوق‌العاده موفّق بود. وی آخرین روش‌های صناعت یونانی را به کار برد و قدم به امپراتوری ایران گذاشت و شاه ایران را به هزیمتی واداشت که به مرگ وی انجامید. امپراتوری ایران به تصرّف وی درآمد و پس از آن مصر به دست وی گشوده شد و تقریباً سراسر جهان شناخته شده‌ی آن روز به زیر نگین او درآمد. در نقشه‌ی ۲ الف وسعت امپراتوری اسکندر را می‌بینید.

از بخت بد، وی نتوانست آب و هوای بابل را تحمل کند و در سن ۳۳ سالگی، در حالی که ناخشنود بود که چرا کشور دیگری برای فتح کردن بر جای نمانده است، زندگی را بدرود گفت. وی تقریباً تمام دنیای متمدّن آن روز را تسخیر کرد، امّا امپراتوریش بیش از یک‌سال دوام نیاورد، چون سرداران سپاهش با یکدیگر به جدال برخاستند و پس از جنگی درازمدت این امپراتوری به چهار پادشاهی تقسیم شد (نقشه‌ی ۲ب). سلوکوس بساط سلطنت را در ناحیه‌یی گسترد که سلسله‌ی آنتیوخوس بر آن حکمرانی کرد و مدتی هم هند را زیر تسلّط خود داشت. هند نخستین سرزمینی بود که از سلطه‌ی یونانیان خارج شد و با تقلید از شیوه‌های یونانی، امپراتوری عظیم *آزوکا*[1] را بنیاد نهاد که در آن از نفوذ یونانیان اثری بر جای نماند. مهم‌ترین سردار اسکندر بطلمیوس بود که مصر را گرفت. بسیاری از مطالب علوم جدید از مصر به

1- Asoka

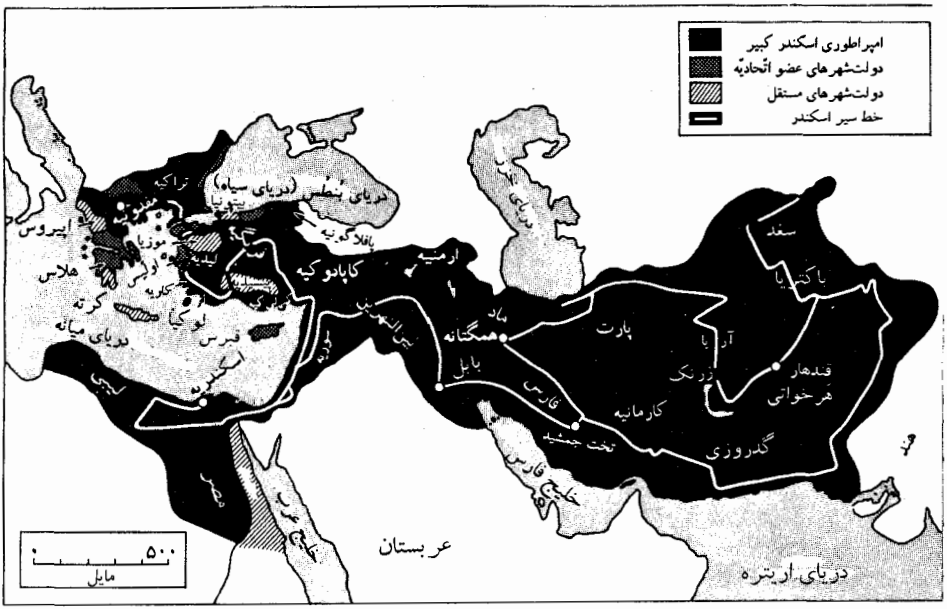
دست ما رسیده است، اما البتّه نه از مصر فرعون‌ها بلکه از مصر اسکندری.

موزئوم (موزه)[1]

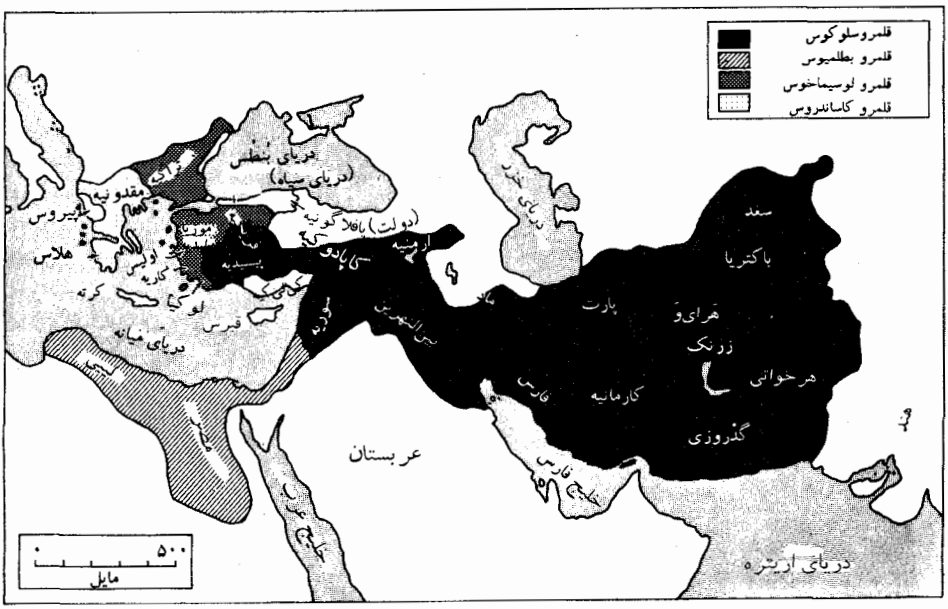
در شهر اسکندریّه‌ی مصر، شاگردان ارسطو به‌خصوص شاگرد محبوب وی تئوفراستوس[2] مؤسّسه‌ی تازه‌یی بنیاد کردند که مؤسّسه‌ی علمی بسیار معتبری بود و به افتخار موزها، الهه‌های نُه‌گانه‌ی شعر و هنرهای زیبا، آن را موزئوم خواندند. این مؤسّسه، یک مجتمع جامع و همه‌جانبه بود که نظیری نداشت. این مجتمع دارای دو جناح بود؛ در یک جناح آن منتقدین هنرهای نمایشی، شاعران، نقاشان و هنرمندان کار می‌کردند، و در جناح دیگرش، دانشمندان به آفرینش و تحقیق مشغول بودند. این دو جناح را کتابخانه‌یی به هم وصل می‌کرد، که شامل همه‌ی آثاری بود که تا آن هنگام در یونان نوشته شده بود. بعداً، در دوران قیصر و کلئوپاترا، بخشی از این کتابخانه در آتش سوخت و باقی در معرض پوسیدگی و نابودی قرار می‌گرفت. هنگام ورود مسلمانان به اسکندریّه، از این کتابخانه دیگر اثری بر جای نمانده بود؛ امّا در زمانی که بر سر پا بود، مانند یک بنیاد پژوهشی کامل مورد استفاده قرار گرفت. کارکنان این مجتمع، حقوق‌بگیر بودند؛ در حالی که فیلسوفانی که قبلاً از آنها یاد کردیم بر شهریّه و اعانه و الطاف حامیان مختلف اتّکا داشتند. کار در موزئوم نوعی شغل به حساب می‌آمد، و همین که کسی به آن وارد می‌شد دیگر تقریباً در تمام مدّت عمر خود در آنجا می‌ماند و بدین ترتیب علم واقعاً گسترش می‌یافت. اکثر چیزهای مکانیکی که در فصل پیش از آنها نام بردم، در اسکندریّه ایجاد شده بود. بطلمیوسیان (بطالسه) از این سرزمین به صورتی بهره گرفتند که پیش از آن سابقه نداشت. فراعنه، امور مختلف را به شیوه‌های کهنه انجام می‌دادند؛ و از آنچه رود نیل به آنها می‌داد استفاده

1- The Museum

2- Theophrastus



(الف)



(ب)

نقشه‌ی ۲ ب

می‌کردند، و توقّع بیشتری هم نداشتند. آب نیل تا ارتفاعات معیّنی بالا می‌آمد و جلگه‌های حاصل‌خیز و مسطّحی ایجاد می‌کرد که البتّه هنوز هم بر جای هستند. در این جلگه‌ها مزارعی به وجود می‌آمد و نهرهایی برای آبیاری در آنها حفر می‌شد و بیابان شنزار سبز می‌شد. تا آنجا که آب می‌رسید کشاورزی صورت می‌گرفت؛ و کار از این فراتر نمی‌رفت. امّا اسکندرانی‌ها انواع وسایل بالا کشیدن آب مانند شدوف[1]، چرخاب و پیچ ارشمیدس (پیچ بی‌انتها) را به خدمت گرفتند؛ و از چرخ دنده استفاده کردند و روی‌هم‌رفته یک نظام کلّی مهندسی را بنیاد نهادند. دانشمندان اسکندریّه ماشین بخار کوچکی هم اختراع کردند؛ هِرون[2] اسکندرانی در نخستین قرن میلادی درباره‌ی آن مطالبی نوشته است، امّا احتمالاً خود وی مخترع این ماشین نبوده است. اسکندرانی‌ها در ایجاد وسایلی برای بستن و گشودن خودکارِ درِ معابد و سایر تدبیرهای فنّی، از مهارت و صناعت برخوردار بودند. کاربرد ریاضیّات و فیزیک عملی هم بسیار رایج بود و *استراتوس (اسطراطس)*[3] در زمینه‌ی اکثر قوانین هیدرودینامیک کار کرد.

امّا، در این روزگار برجسته‌ترین حکمای طبیعی در سیراکوز می‌زیستند؛ این سرزمین از توابع اسکندریّه بود و تحت تسلّط یک دسته از جبّاران یونانی اداره می‌شد. همان طور که قبلاً گفتم، فلسفه‌ی اخلاق با فتوحات اسکندر به نقطه‌ی پایان رسید، یا به بیان بهتر، به صورت فلسفه‌ی دیگری درآمد که بیشتر به تدبیر نفس مربوط می‌شد و ما در اینجا به آن نمی‌پردازیم. به هر حال، مکتبی به نام مکتب رَواقی توسّط زِنون بنیاد نهاده شد که بنا بر آن، وظیفه مهم‌ترین اصل به شمار می‌آید و اگر آدمی به فضیلتی برسد که به انجام وظایف خود نائل شود، همان فضیلت، پاداش اوست و همه‌ی مردم در مورد کلّ عالم دارای

---

۱ ـ تیر چوبی که به یک سر آن دلوی آویخته است و با پایین و بالا بردن سر دیگر آن از چاه‌های کوتاه آب می‌کشند. ـ م.

2- Hero

3- Strato

مسؤولیّت هستند. تنها آدم‌های بسیار برجسته نظیر پیروان کُنفوسیوس در چین می‌توانستند رواقی باشند. رواقی گری، فلسفه یا مذهب شایسته‌ترین مردم بود. مردمی که در مرحله‌ی پایین‌تری از شایستگی قرار داشتند، پیرو آیین اپیکورشدند و اکثریّت مردم عادی به مذاهب رستگاری‌بخش دیگر روی آوردند.

آرَشمیدُس

امّا، دانشمندان از این جریان‌ها بر کنار ماندند. آنان به‌طور اخص به مطالعه‌ی هندسه و ریاضیّات پرداختند، که به بحث ما چندان ارتباطی نمی‌یابد، امّادر زمینه‌ی مورد علاقه‌ی ما، یعنی فیزیک هم به پیشرفت‌هایی نایل آمدند. به‌عنوان نمونه می‌توان از علم هوای فشرده (پنوماتیک) و هیدروستاتیک نام برد، که در سیراکوز، به‌خصوص از فعّالیّت‌های ارشمیدس به وجود آمد. آثار وی که به خوبی محفوظ مانده و دست به دست رسیده است و عمدتاً به مبحث مکانیک اختصاص دارد، توجیه معقولی برای پیشرفت‌های تکنولوژیکی مورد بحث ما به حساب می‌آید. اکثر مطالب مورد بحث ارشمیدس بر پایه‌ی مفهوم اهرم، و چگونگی ایجاد تعادل میان نیروهای وارد بر نقاط مختلف، استوار بود. چکیده‌ی مهارت‌های او در یک عبارت معروف بیان شده است: «اگر نقطه‌ی اتّکایی به من بدهید، جهان (یعنی زمین) را از جای خود بلند می‌کنم.» وی تعادل اجسام واقعی با شکل‌های مختلف را بررسی کرد و مفهوم گرانیگاه را به میان کشید. همه‌ی این موضوعات کاملاً نظری بودند، امّا براساس دست‌نوشته‌هایی که از او بر جای مانده است، می‌دانیم که ارشمیدس برای تحقیق در ارتباط نظریه‌ها با واقعیّات، به ساختن مدل‌های کاربردی پرداخته است. مهم‌ترین دستاورد وی ایجاد علم هیدروستاتیک بود که اندیشه‌ی درخشان نیروی ارشمیدس براساس قوانین این علم به ذهن او رسید. طبق این اصل نیرویی که از طرف آب بر جسم شناور وارد می‌آید، برابر است با وزن آب جابه‌جا شده، و این اصل مبنای روش عملی تعیین گرانی ویژه (چگالی نسبی) شد.

علم یونانی دوره‌ی هلنیستی (یونانی‌مآبی) در انحصار ارشمیدس نبود. در زمینه‌ی نجوم هم پیشرفت‌هایی به دست آمد. قبلاً از نجوم نسبتاً خام ارسطو یاد کردم. دانشمندان موزئوم اسکندریه، نظرات نجومی او را به کناری نهادند، اما کارهای آنها چندان ظریف بود که در میان مردم عادی رواج نیافت و هنگامی که در قرون وسطیٰ آثار ارسطو مورد مطالعه‌ی مجدّد قرار گرفت، تنها نظرات خود وی بر جا مانده بود و از نظرات منتقدین آثارش خبری نبود.

پیشرفت در نجوم، مخصوصاً نجوم محاسباتی عملی، به ویژه در مصر که دسترسی نزدیکی به منابع بابلی میّسر بود، ابعادی عظیم داشت. هیپارخوس (اَبَرخُس) به تهیه‌ی فهرست (کاتالوگ) ستارگان پرداخت، پژوهش‌هایی در مورد خورشیدگرفتگی و ماه‌گرفتگی انجام گرفت و نخستین مدل‌های منظومه‌ی شمسی عرضه شد که باعث بروز اشکال‌های فراوان گردید. ما بعداً به توصیف آن خواهیم پرداخت. در تصویر ساده‌ی نظام سماوی، زمین در مرکز قرار داشت و سایر اجرام آسمانی به دور آن می‌گردیدند. نزدیک‌تر از همه ماه بود، که ماهی یک‌بار زمین را دور می‌زد، پس از آن خورشید قرار داشت، که سالی یک‌بار به گرد زمین می‌گشت، و پس از آن ستارگان سرگردان و سیارات، دیده می‌شدند که رفتارشان عجیب بود. بعضی از آنها دارای دوره‌ی گردشی یک‌ساله و گاهی کمتر بودند، ظاهراً مسیر گردش عجیب و غریبی داشتند و از خورشید دور نمی‌شدند. در آن میان دو سیّاره‌ی عطارد و زهره همواره مجاور خورشید بودند. این دو سیّاره هم می‌گردیدند ولی گردش آنها با گردش خورشید همراه بود، ولی گاهی تندتر و گاهی کندتر از خورشید دور می‌زدند. مرّیخ مسیر گردش بسیار پیچیده‌یی داشت و حلقه‌یی را در پس حلقه‌یی دیگر می‌پیمود. مشتری هم حرکات حلقوی داشت، اما حلقه‌های مسیر حرکت آن کوچک‌تر بود و تعداد آنها به دوازده می‌رسید، و زحل که کندروترین سیّارات بود در ۳۲ حلقه حرکت می‌کرد که پیمودن هر حلقه دقیقاً یک سال به طول می‌انجامید، و بنابراین هر بار گردش آن به دور آسمان بیش از سی سال طول می‌کشید. همه‌ی این حرکات، مکمّل حرکات

روزانه‌ی افلاک بـه گرد زمین بودند، که بیست و چهار ساعت بـه‌طول می‌انجامید.

ساده‌ترین مدل‌ها، مدلی بود که براساس آن سیّارات در مدارهایی به شکل دوایر مختلف‌المرکز همراه با زمین گردش می‌کردند. سیّارات در مدارهای دایره‌یی کامل به دور نقطه‌یی که در مرکز زمین واقع نبود، بلکه جایی بر روی خط واصل بین مراکز زمین و خورشید قرار داشت، می‌گشتند. فرض برون‌مرکز بودن این دوایر با رصدهای فلکی تطابق داشت. اگر دوایر مختلف‌المرکز دیگری را به تعداد کافی به این مدل اضافه کنیم، کلّ جریان به یک فرایند ریاضی محض بدل می‌شود و هر مدار را می‌توان با تقریب به دست آورد. هر چقدر بر تعداد این دوایر افزوده شود، دقّت مدار بیشتر می‌شود و برای کسی که در علم نجوم دست دارد، این موضوع فقط چند عمل محاسباتی اضافی دربر خواهد داشت. با استفاده از این مدارها و فلک‌های خارج از مرکز که توسّط بَطلَمیوس منجّم (که از بطلمیوس‌های حاکم نبود ابداع شده بود، جدول‌هایی تنظیم شد که براساس آنها موقعیّت سیّارات تا سال‌های بعد قابل پیش‌بینی بود. البتّه پیدایش این جدول‌ها بی‌سابقه نبود، بابلیان قبلاً این کار را کرده بودند، امّا جدول‌های جدید با مقداری حک و اصلاح بـه‌صورت خطوط اصلی راهنمای حرکت ستارگان و سیّارات در سده‌های بعدی درآمدند که به اکتشافات عظیم دوره‌ی رنسانس منجر شد. اهمّیت این نوع مطالعات با پیدایش و شکل گرفتن این عقیده که موقعیّت سیّارات با سرنوشت مردم و ملّت‌ها بستگی دارد افزایش یافت، و علم احکام نجوم و طالع‌بینی، علم نجوم را در بطن خود پروراند.

زمینِ گِرد

یکی ازثمرات این پیشرفت‌ها تأیید نظریه‌ی قبلی فیثاغورث، مبنی بـرگرد بودن زمین بود. اثبات این نکته در مصر آسان‌تر از بقیه‌ی نقاط میسّر می‌شد چون مصـر در ۳۰ درجه‌ی عرض جغرافیایی قرار دارد در حالی که منطقه‌ی حارّه [۱] در

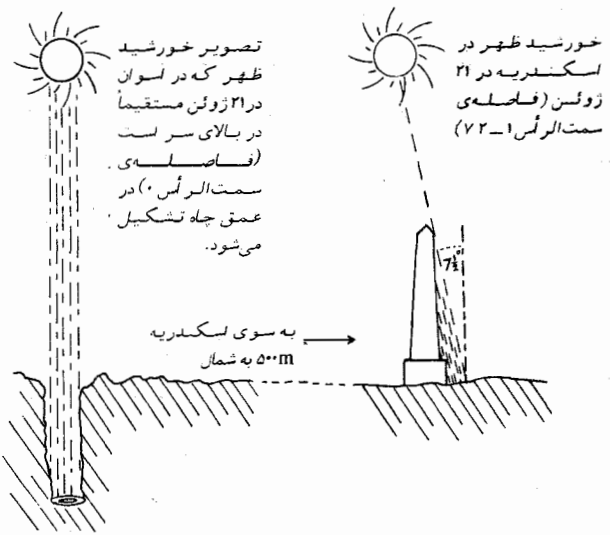
۱ـ منظور منطقه‌ی میان مدار رأس‌السرطان در ۲۳٫۵ درجه عرض شمالی است. ـ م.

عرض جغرافیایی ۲۳٫۵ درجه واقع شده است. مردم می‌دانستند که آفتاب به عمق چاه‌های منطقه‌ی *سوئنه* (*آسوان*)[1] می‌تابد؛ بسیار شگفت‌انگیز بود. امّا این امر تنها در یک یا دو روز در هنگام انقلاب تابستانی، هنگامی که آفتاب نیمروز به صورت قائم می‌تابد روی می‌دهد. در روزهای مورد بحث راستای پرتو خورشید در اسکندریّه زاویه‌یی به اندازه‌ی ۷٫۵ درجه با راستای قائم می‌سازد (شکل ۲۷). مصریان در توجیه این پدیده می‌گفتند شاید خورشید در این هنگام به زمین بسیار نزدیک باشد، اما محاسبات نشان داد که نمی‌توان براساس این فرض به نتیجه رسید. پیداست که اگر خورشید به زمین بسیار نزدیک باشد، حتّیٰ در روی فلاتی قرار گیرد، باز هم با زاویه می‌تابد. اگر بخواهید همین زوایه را اندازه بگیرید ـ که در واقع خیلی‌ها هم به این کار دست یازیدند ـ هیچ نتیجه‌یی حاصل نمی‌شود. پس خورشید باید در جایی بسیار دور از زمین واقع باشد و پرتوهایی که از آن به سوئنه و اسکندریه می‌رسید با هم موازی باشد.

بنابراین تنها توضیح ممکن در مورد این ۷٫۵ درجه اختلاف، همانا فرض کروی بودن زمین بود. با فرض کروی بودن زمین دانشمندان توانستند کره‌ی زمین را با مدارهای معیّنی، به مناطق مختلفی (مناطق عرضی) تقسیم کنند که پرتو خورشید در هر منطقه در یک موقع معیّن از سال به طور قائم بر آن بتابد. این مناطق توسّط مدارات از هم جدا می‌شوند. منطقه‌ی حارّه به علّت گرم بودنش مشهور نیست، بلکه منطقه‌یی است که آفتاب در آنجا به نقطه‌ی اوج حرکت خود یا نقطه‌ی بازگشت، یعنی «تروپوز»[2] می‌رسد. در نیمروز اول فصل تابستان، آفتاب در سوئنه دقیقاً به طور قائم می‌تابد اما پس از آن باز هم به صورت مایل درمی‌آید، یعنی در این نقطه آفتاب دور می‌زند و بازگشت می‌کند. منطقه‌ی حاره در پایین (جنوب) سوئنه واقع است.

به‌تدریج معلوم شد که در نیمکره‌ی شمالی می‌توان باحرکت به‌سوی

1- Syene
2- tropos



شکل ۲۷ـ روش *اِراتُستن*[1] برای تعیین اندازه‌ی زمین. وی دریافت که در نیمروز تحویل فصل بهار به تابستان آفتاب در سوئنه مستقیماً از بالای سر می‌تابد، در حالی که در اسکندریه، پرتو آفتاب زاویه‌یی به اندازه‌ی ۵ر۷ درجه با امتداد قائم می‌سازد. وی این زاویه را با اندازه‌گیری طول سایه‌ی ستونی به ارتفاع معین محاسبه کرد و با در دست داشتن اندازه‌ی این زاویه و فاصله‌ی میان دو ناحیه، محیط زمین را معادل با ۲۵۰۰۰۰ استاد (در حدود ۳۸۵۰۰۰ کیلومتر) به دست آورد.

شمال به‌منطقه‌یی رسید که در آنجا خورشید فاصله‌ی زیادی از افق نمی‌گیرد، طلوع نمی‌کند. این ناحیه در قلمرو *ستاره‌ی قطبی*، یعنی ستاره‌یی از صورت فلکی دبّ اصغر قرار دارد و شمالگان نامیده می‌شود. منطقه‌ی معتدل در میان این دوبخش یعنی گرمسیری و قطب واقع است. مردم فکر می‌کردند در منطقه‌ی گرمسیر و شمالگان نمی‌توان به طور معمول و مداوم زندگی کرد. نظر آنها این بود که هر قدر بیشتر به طرف جنوب بروند هوا گرم‌تر می‌شود، چون می‌دیدند

1- Eratosthenes

که هر چه از شمال به سوئنه نزدیک‌تر می‌شوند گرمای هوا افزایش می‌یابد. بنابراین، برای رسیدن به مناطق جنوبی تلاشی نمی‌کردند. هر چند افرادی که از نجوم و علم بی‌خبر بودند، به سیر و سفر پرداختند و کسانی چون *کارتاژی‌ها* ی دریانورد تا سواحل جنوبی افریقا پیش رفتند و این قاره را دور زدند.

نکته‌ی برجسته‌یی که در این کشفیّات روشن شد، موضوع گردبودن زمین بود، که سرانجام منجر به شناخت زمین به‌عنوان کره‌ی توپری شد که به دور خود می‌چرخد. با این همه، در دوران یونانیان و حتّیٰ چندین قرن پس از آن این عقیده را اندیشه‌یی گستاخانه و الحادی می‌شناختند.

در مورد این جریان، ارشمیدس مطالب کاملی نوشته است که به عنوان تنها سند به دست ما رسیده است. در آن ایّام خود ارشمیدس به کار دیگری مشغول بود. وی در خدمت هیرون[1] پادشاه سیراکوز و جانشین خودکامه‌ی نسبتاً بدشانس وی، درباره‌ی مفهوم اعداد بزرگ تحقیق می‌کرد. وی رساله‌ی کوتاهی به نام «ماسه‌شمار» نوشت که در آن روش تازه‌یی برای شمردن دانه‌های ماسه پیشنهاد کرده بود. در این رساله چنین می‌خوانیم:

کسانی هستند که ... می‌پندارند تعداد دانه‌های ماسه بی‌نهایت است؛ منظورم تنها ماسه‌های موجود در اطراف سیراکوز و سیسیل نیست، بلکه تمام ماسه‌های موجود در روی کره‌ی زمین در نقاط مسکون و نامسکون را در نظر دارم. کسانی هم تعداد دانه‌های ماسه را بی‌نهایت نمی‌دانند، امّا هیچ عددِ آن قدر بزرگی را نمی‌شناسند که بتواند نمایش‌دهنده‌ی تعداد دانه‌های ماسه باشد. به نظر گروه اخیر، اگر جسمی به اندازه‌ی کره‌ی زمین در نظر بگیریم که از ماسه ساخته شده و تمام گودی‌ها و حفره‌های آن تا ارتفاع بلندترین کوه‌ها از ماسه پر شده باشد، به طریق اولیٰ نمی‌توان عددی یافت که از این تعداد ذرات ماسه تجاوز کند. امّا من به کمک برهان‌های هندسی، که برای خواننده قابل درک است، ثابت می‌کنم که نه تنها می‌توان دانه‌های ماسه‌ی موجود در کره‌یی را که به ترتیب فوق از ماسه لبریز شده باشد اندازه گرفت، بلکه می‌توان دانه‌های ماسه را که در فضایی به اندازه‌ی عالم جای می‌گیرد، شمارش کرد.

می‌دانیم «عالم» نامی است که اکثر دانشمندان علم نجوم به کره‌یی اطلاق می‌کنند که مرکز آن کره‌ی زمین و شعاعش، خط واصل بین مرکز زمین و خورشید است.

1- Hieron

اریستارخوس ساموسی[1] کتابی شامل چندین فرضیه فراهم آورد. از مقدمات بحث‌های این کتاب چنین برداشت می‌شود که عالم از آنچه امروز تصوّر می‌شود چندین بار بزرگ‌تر است. طبق فرضیه‌های او ستارگان و خورشید بی‌حرکت می‌مانند، و زمین در مداری دایره‌شکل خورشید را دور می‌زند و خورشید در مرکز این مدار جای دارد، و فلک ثوابت که خورشید در مرکزش واقع شده چنان عظیم است که اندازه‌ی مدار گردش زمین نسبت به فاصله‌ی آن تا ثوابت، تنها با نسبت اندازه‌ی مرکز فلک به سطح جانبی آن قابل مقایسه است.»

تصوّر این موضوع برای هر ریاضی‌دانی ایجاد اشکال می‌کند!

«به‌آسانی می‌توان نشان داد که این امر ناممکن است؛ چون مرکز کره، اصولاً اندازه ندارد که بتوان نسبت اندازه‌ی آن را با سطح، یا هر کمیّت دیگر به دست آورد؛ اما چون زمین را مرکز عالم می‌دانیم، پی می‌بریم که به‌نظر اریستارخوس نسبت اندازه‌ی کره‌ی زمین به اندازه‌ی آنچه وی «عالم» می‌خواند، برابر است با نسبت اندازه‌ی کره‌یی که شامل مدار گردش زمین است، به اندازه‌ی فلک ثوابت.»

آن‌گاه ارشمیدس می‌گوید که اگر کره‌یی حتّیٰ به بزرگی فلک ثوابت مورد نظر اریستارخوس از ماسه ساخته شود، می‌توان عددی یافت که شماره‌ی آن دانه‌های ماسه را دربر بگیرد؛ به شرط آنکه از این معلومات استفاده شود: محیط زمین در حدود ۳۰۰۰۰۰۰ اِستاد (هر اِستاد = ۵۰۰ فوت) است، و از این عدد تجاوز نمی‌کند. قطر زمین از قطر ماه، و قطر خورشید از قطر زمین بزرگ‌تر است. خوب، می‌بینید که این نکات بسیار تکان‌دهنده‌اند چون تنها ۱۵۰ سال پیش از آن، *آناکساگوراس*[2] که خورشید را به بزرگی *پلوپونز*[3] می‌دانست، از آتن اخراج شده بود و حالا کسی پیدا شده بود که می‌گفت خورشید از زمین هم بزرگ‌تر است. البتّه عددی که ارشمیدس به‌دست می‌آورد کمی اشتباه بود، چون به‌گفته‌ی وی قطر خورشید تنها سی‌برابر قطر ماه بود. می‌دانید که

1- Aristarchus of Samos

2- Anaxagoras

۳ـ شبه جزیره‌ی جنوبی کشور یونان(Peloponnese).

اندازه‌گیری فواصل نجومی چقدر دشوار است!

منظور از این همه توضیحات این بود که نشان دهم اسکندرانی‌ها چه درک عمیق و پیچیده‌یی از جوهر جهان فیزیکی داشته‌اند. تا اینجا به مرحله‌یی رسیده‌ییم که می‌توانیم دو نظریه‌ی اساسی قدیمی را در مورد این جهان ارائه کنیم. براساس نظریه‌ی نخست، زمین به دور خورشید می‌گردید؛ و طبق نظریه‌ی دوّم، همه چیز از اتم ساخته شده بود. این دو نظریه بعدها مجدداً احیا شدند. اسکندرانی‌ها در محاسبه، از روش‌های متبحّرانه‌یی بهره می‌گرفتند که از لحاظ کاربرد و محاسبه‌ی مقادیر عددی ضعیف بود، اما در عوض از لحاظ هندسی محکم و قوی بود. در هندسه‌ی اسکندرانی، تمام اشکال هندسی به ویژه مقاطع مخروطی، صرفاً به عنوان منحنی مورد مطالعه قرار می‌گرفتند. ابتدا این مقاطع را از روی سایه‌های جسم بررسی می‌کردند. به عنوان مثال، جسمی را به شکل یک حلقه‌ی دایره‌یی می‌گرفتند و از زوایای مختلف نور بـــرآن می‌تاباندند و سایه‌هایی را بـــه‌شکل بیضی و سهمی و نظیر آنها بـــه‌دست می‌آوردند. *آپولونیوس*[1] در این مورد عمیقاً غور کرد، و بنیان کاملی برای مطالعه و درک هندسی عالم فراهم ساخت.

در سال ۲۱۲ پیش از میلاد، تمام این معرفت از حرکت باز ایستاد، و علّت توقف آنها به‌علم مربوط نبود،بلکه در امور سیاسی ریشه داشت که یکی از آنها حتّی ارشمیدس را هم از کار باز داشت.سیراکوز، در بخش شرقی سیسیل، به صورت مایه‌ی مجادله‌یی میان یونانیان ساکن بخش شرقی جزیره و کارتاژی‌های بخش غربی آن از یک سو، و رومیان از سوی دیگر، درآمده بود. رومیان، خشن و تعلیم‌نیافته بودند. آنان علیه کارتاژی‌ها می‌جنگیدند. این مردم، افکاری را از یونانیان به وام گرفته بودند، و عملاً هم به کار می‌بردند، امّا نسبت به این اندیشه‌ها عنایت واقعی نداشتند. یونان نسبتاً ضعیف بود و در جنگ، جانب کارتاژ را گرفت که البتّه سیاست نادرستی بود. سیراکوز، به محاصره درآمد و از ارشمیدس به عنوان مشاور علمی درخواست کمک شد، و او تلاش

1- Appollonius

کرد به کمک آینه، کشتی‌ها و سایر جنگ‌افزارهای مهاجمین را بسوزاند امّا کوشش‌های وی سودمند نیفتاد. رومیان شهر را گرفتند و ارشمیدس تصادفاً کشته شد. بنا به روایت *پلوتارخ*، داستان از این قرار بود که یکی از سربازان دشمن که پس از ورود به شهر، به جستجوی غنایم برآمده بود از او خواست از سر راه کنار برود. ارشمیدس که مشغول حل یک مسئله‌ی هندسی بود به وی گفت: «مزاحم من نشو چون دارم مسئله حل می‌کنم» و سرباز هم او را کشت. سردار فاتح رومی که آدمی بافرهنگ بود از این موضوع بسیار اندوهگین شد، امّا کار از کار گذشته بود و خلق نظریه‌های علمی توسّط ارشمیدس پایان گرفته بود.

امّا، اوضاع همیشه به این منوال نبود. در حوزه‌های دیگر علم، به ویژه رشته‌ی پزشکی، در ایّام سلطه‌ی رومیان کارهای ارزنده‌یی انجام شد. فیزیک نمی‌دانست که به کدامین سو می‌رود، ولی ریاضیّات تا مدّتی لنگان لنگان به راه ادامه داد. شگفت آنکه آخرین ریاضیدان یونانی، بانویی بود به نام *هی‌پاتیا*[1] که در سیاست وارد شد و در برابر مسیحیان، جانب مشرکان را گرفت و به دست جماعتی از مسیحیان که قصد ویرانی آخرین معابد اسکندرانی را داشتند، کشته شد. از آن پس تا مدّتی مدید از علم اصیل خبر تازه‌یی نشد.

میراث دنیای کلاسیک

حال کلامی در مورد آنچه از این دوران بر جای ماند و چگونگی کشف مجدّد آنها بشنوید. بدون شک از سال یکصد میلادی تا حدود سال ۱۲۰۰ و حتّیٰ به اعتقاد بعضی‌ها تا سال ۱۵۴۰، علوم از سطح علم یونانی بالاتر نرفت، و حتّیٰ به آن نرسید. در سال ۱۵۴۰، آثار معروف ارشمیدس برای نخستین بار به لاتینی ترجمه شد و ریاضیدان‌های برجسته به مطالعه‌ی آنها پرداختند. این امر، علاوه بر تأثیرات مختلف، به انقلاب عظیمی منجر شد که تولّد علم جدید را میسّر

1- Hypatia

ساخت. تمدّن یونان چندان نپایید که خود در برپایی این انقلاب شرکت داشته باشند، اما گنجینه‌ی عظیمی از معلومات برای ما به ارث گذاشتند که امروز معلومات ما را تشکیل می‌دهد و علم جدید از بطن آن میلاد یافته است.

از این پس نوبت به اموری رسید که می‌توان آنها را دستاوردهای ضمنی علم به حساب آورد. آنچه اساسی بود، مانند ماشین‌ها و روش‌های کشت و کار و نظایر آنها، یعنی هرچه ابعادش زیاد بزرگ نبود، بر جای ماند. همین امروز هم اگر به رم سری بزنید، در گوشه و کنار به آبُروهای عالی بر خواهید خورد، که یادگار عهد کلاسیک‌اند و امروز دیگر از ویرانه‌های آنها به عنوان آبُرو بهره نمی‌گیرند. منابع آب رم در روزگار قدیم غنی‌تر از امروز بوده است. در قرون وسطیٰ هم سازمان‌هایی در مقیاس کوچک، نظیر دوران کلاسیک کاربرد داشت. ظرافت فکری و هنری یونانیان چنان ما را فریفته است که نمی‌توانیم تصوّر کنیم علم و مهارت آنها، بیش از آنکه بر جنبه‌های مادی و عملی زندگی تأثیر گذاشته باشد، بر ظواهر زندگی اثر نهاده است. زیبایی شهرها، معابد، مجسمه‌ها و ظرف‌های یونانی، و پیراستگی منطق و ریاضیّات و فلسفه‌ی آنها، چشم ما را بر این واقعیّت می‌بندد که شیوه‌ی زندگی اکثر مردم کشورهای متمدّن در ایّام سقوط امپراتوری روم، همان شیوه‌ی مرسوم زندگی ۲۰۰۰ سال پیش از آن، یعنی دوران انقراض عهد مفرغ قدیم بود. کشاورزی، خوراک، لباس و مسکن مردم پیشرفت چشمگیری نکرد. تنها در زمینه‌ی آبیاری و راه‌سازی، به مختصر پیشرفتی نائل آمدند. علم یونانی در سبک‌های جدید معماری بناهای عظیم و طراحی شهرها، کاربرد چندانی نداشت.

در این نکته جای شگفتی نیست. اوّلاً، علم توسّط شهروندان مرفّه، و نه‌برای مقاصد اجتماعی، پدید می‌آمد. ثانیاً، حتّیٰ در مواردی هم که بهترین خواست‌های ممکن در کار بود، علم آن روزگار چنان محدود و غیر کَمّی بود که چندان به درد کارهای عملی نمی‌خورد. به‌علّت عدم دستیابی به فیزیک تجربی و مکانیک عملی، ریاضیّات یونانی با همه‌ی ظرافت و کمال خود تنها در موارد انگشت‌شماری برای منظورهای عملی به کار

می‌رفت. شاید هم این حرف چندان درست نباشد و بیش از آنچه تا همین اواخر تصوّر می‌شد، مکانیک پیشرفته‌یی در آن دوران وجود داشته، امّا دستاوردهای ظریف مربوط به این علم، نظیر ساعت و مانند آن، عمدتاً از میان رفته است. گهواره‌ی عظیم نجوم عملی، یعنی هنر دریانوردی، به علّت عدم دستیابی به کشتی‌های مناسب و فقدان انگیزه‌ی قوی برای شناورشدن در پهنه‌ی بیراه اقیانوس‌ها، جنبشی نداشت. در مدیترانه نیاز چندانی به فنّ دریانوردی حس نمی‌شد، چون آدمی هر مسیری را که برآب می‌پیمود، به‌هر حال به ساحلی می‌رسید. در این دریا کسی گم نمی‌شد. سایر شاخه‌های علوم طبیعی هم، روی‌هم‌رفته چیزی جز مشتی فهرست پراکنده نبودند.

تمام قابلیّت‌های فرهنگ کلاسیک در چارچوب تمدنی که آن را زاده بود، ناشناخته ماند. این قابلیّت‌ها از هر سو به موانع اجتماعی و اقتصادی برخورد می‌کرد که ذاتیِ نظامِ توانگرسالار[1] برده‌داری بود. سهم واقعی علم یونانی باید در آینده روشن می‌شد، آن هم تا آنجا که عنصر جنینی فرهنگ کلاسیک می‌توانست حفظ و منتقل شود. در حقیقت، ارجمندترین چیزی که از دوران کلاسیک نجات یافت و برجا ماند، اندیشه‌های مربوط به علوم طبیعی بود. اعتقاد به این نکته که مردم باستان از طریق مطالعات عمیق، به چنان معرفتی دست یافته بودند که می‌توانستند بر طبیعت مسلّط شوند، به کمک افسانه‌ها پایدار مانده است. به موجب یک افسانه، اسکندر به راهنمایی ارسطو، زیردریایی ساخت و به کمک ارابه‌یی که به پای چند عقاب بسته شده بود پرواز کرد و تصاویر بسیاری از این روایت‌ها هم در دست است.

در میان همه‌ی عناصر فرهنگ کلاسیک، علم، به ویژه علم نجوم پایدارتر از بقیه بود. سایر علوم در صفحات کتاب‌ها محبوس ماندند، اما نجوم، محض پیشگویی‌های طالع‌بینانه هم که شده به تعیین نقشه‌ی سیارات می‌پرداخت، سینه

1- plutocracy

به سینه می‌گشت و در عمل کاربرد می‌یافت. در کاربرد عملی نجوم هیچ وقفه‌یی پیش نیامد و این نکته بسیار مهم است. از ۲۰۰۰ سال پیش از میلاد تا به حال، مشاهدات نجومی به طور پیوسته صورت گرفته است. اگر در جایی توقّفی رخ می‌داد، و اگر رصدخانه‌یی ویران می‌شد، همواره کسانی دیگر و رصدخانه‌هایی دیگر وجود داشت، و هرگز همه‌ی این تأسیسات یکجا از میان نرفتند.

مردم خیلی زود به نجوم روی آوردند، چون برای طالع‌بینی بدان نیاز داشتند. تاتارها (مغول‌ها) در خشونت و سوزاندن هر چیزی که در سر راه می‌دیدند شُهره بودند، اما در پنجاه سال حکومت ایلخانان در آسیای مرکزی بهترین رصدخانه‌ها بنیاد نهاده شد و بهترین جداول نجومی روزگار استخراج شد.[۱]

پس حُسن کار در پیوستگی آن بود، امّا نکته‌ی دردآور قضیّه این است که چرا باید ۲۰۰۰ سال طول بکشد تا همه چیز از نو زاده شود؟ در فصل بعد به پاسخ این پرسش خواهم پرداخت.

۱ـ منظور رصدخانه‌های مراغه و سمرقند است. اداره‌ی رصدخانه‌ی مراغه بر عهده‌ی خواجه نصیرالدّین طوسی بود و زیج‌ایلخانی در این رصدخانه تألیف شد. رصدخانه‌ی سمرقند به دستور اُلُغ‌بیگ ساخته شد. ـ م.

۵

فیزیک در قرون وسطیٰ

دوره‌یی که حالا بدان می‌پردازیم دوره‌یی است دقیقاً میانی، و بعداً خواهیم دید که تأثیر آن بر چگونگی پیشرفت علوم و ایجاد زمینه‌ی انقلاب علمی تا چه حد حیاتی بوده است. در پایان عصر کلاسیک، یعنی هنگام فروپاشی امپراتوری روم و حتّیٰ پیش از آن، یک دستاورد مهم فرهنگی جامعه، موقّتاً متروک شد و به صورت ریشه‌های خرد و بذرهایی درآمد که بعدها از نو جوانه زدند و بالیدند. در این دوران، آموزش علوم متوقف شد، و در غرب تاریخ به مرحله‌یی رسید که آن را عصر تاریکی می‌خوانیم. البتّه، این داوری بردیدی یک‌جانبه متّکی است. اگر بپرسید که در قرن‌های پنجم، ششم یا هفتم، در جهان چه روی می‌داد، کم‌ترکسی در میان تاریخ‌دان‌های خبره‌ی غرب، می‌تواند پاسخ قانع کننده‌یی به شما بدهد. در این دوران، اروپا صحنه‌ی کوچ مداوم مردم از سویی

به سوی دیگر بود؛ فرانک‌ها به فرانسه می‌رفتند، آنگل‌ها به انگلستان وارد می‌شدند، و بورگوندی‌ها و لومباردها و سایر قبایل به اطراف و اکناف این قاره روان بودند. واندال‌ها عازم افریقا بودند و هون‌ها در سرتاسر اروپا پراکنده می‌شدند. طبیعتاً در معرکه‌ی این مهاجرت‌های انبوه، بسیاری از آموخته‌ها و تمدّن‌ها، به خصوص عملکردهای آنها در ابعاد وسیع، از میان رفت.

یکی دیگر از پیشامدهای ویژه‌ی این دوران، نابودی کامل بعضی از شهرها بود، که در انگلستان بارزتر از کشورهای دیگر به چشم می‌آمد. به‌عنوان مثال، سَنْت آلبِنز[1] پایتخت کشوریِ بریتانیا، که دارای تئاترها و حمام‌های متعدد و بسیاری از انواع امکانات تفریحی و رفاهی بود، به‌کلّی متروک شد. ویرانی این شهر بدان حد بود که در قرن‌های دهم و یازدهم شهر جدید را با آجرهای شهر ویران قدیمی بنا کردند. ساکسون‌ها شیوه‌ی ساختن آجر را نمی‌دانستند، و هر جا به بقایای آجرهای رومی دست می‌یافتند از آنها استفاده می‌کردند. البتّه نابودی شهرها فرایندی پیوسته و عام نبود. این امر در انگلستان و تا حدودی در شمال فرانسه به چشم می‌خورد، امّا در ایتالیا شهرها همچنان به حیات خود ادامه می‌دادند. در شهرهای ایتالیا هم بناهای بزرگ در حال نابودی بود، امّا باز هم چیزهایی بر جای می‌ماند، تا سال‌ها بعد مورد تحسین بینندگان باشد. میدان بازی و مسابقه‌ی معروف شهر رم به چراگاه بدل شد، و مجسمه‌های مرمری برای تولید آهک روانه‌ی کوره‌ها شدند، اما استمرار حکومت شهری تا حدودی برجای ماند.

همان طور که گفتم، این وقایع یک جانب از جوانب عصر تاریکی را نشان می‌دهند. تمدّن، طی قرن پنجم، در سایر نقاط جهان ابداً دستخوش انحطاط نشد. روم وضع خوبی نداشت، ولی در قسطنطنیه هیچ بنایی ویران نشد، بلکه بر عکس زیباترین بنای اروپا، و یکی از زیباترین بناهای جهان، در این عصر ساخته

1- Saint Albans

شد. این بنا، کلیسای *آیاصوفیه*[1] است که هنوز هم جسورانه‌ترین نمونه‌ی ساخت گنبد در جهان به حساب می‌آید. گنبد این کلیسا از گنبد کلیساهای سنت پل و سنت پتر بسیار بزرگ‌تر است. به همین ترتیب، در اسکندریه، انطاکیه و سایر نقاط شرق نزدیک و شرق دور مانند هندوستان و چین، شهرهای بزرگ بنا می‌شد. به عنوان مثال شهر مهم *سیان*[2] در چین در منطقه‌یی به وسعت لندن امروزی ولی با طرح و نقشه‌یی به مراتب بهتر، با خیابان‌ها و بازارها و باغ‌ها ساخته شده بود، که البتّه امروز عمدتاً ویران شده است. از این نوع شهرها فراوان ساخته می‌شد. پس می‌بینید که تداوم تمدّن به طورکلّی دچار توقّف نشد، بلکه تنها در بخشی از آن وقفه‌یی روی داد، ولی ما آن قدر به این بخش توجّه می‌کنیم که این وقفه را بسیار بزرگ‌تر از آنچه هست جلوه می‌دهیم.

گسترش هِلِنیسم (یونانی‌گری)

در اینجا، باید تأکید کنم که افکار یونانی توسّط اسکندر و جانشینان وی، در پهنه‌ی وسیعی گسترش یافت. تصویر هلنیستی جهان، که خود ملغمه‌یی از علوم یونانی، مصری، هندی و بابلی بود، در سرتاسر دنیای قدیم مورد استقبال قرار گرفت (نقشه‌ی ۳). این اندیشه در مرحله‌ی مورد بحث ما به امریکا نرسید، اما از پکن تا فاس[3]، مردم به یک شیوه مباحثه می‌کردند و در خصوص ریاضیّات و نجوم واحدی تأمّل می‌کردند. جغرافیای پیچیده‌یی هم که شامل عرض و طول جغرافیایی و مشخّصاتی از این قبیل می‌شد، بین آنها مشترک بود. شاید چنین تصوّر کنید که این دانش‌ها از مکان‌های آباد به سرزمین‌های ویران شده بازگشتند، اما دلیل این تصوّر آن است که ما فقط به رویدادهایی که در منطقه‌ی سکونت خودمان جریان دارد توجّه داریم، و از پرداختن به رویدادهای دیگر مناطق جهان غفلت می‌ورزیم. درک روندی که طیّ آن دنیای کلی علم قرون

1- Saint Sophia

2- Sian

۳ـ شهری در مغرب عربی (مراکش)ـ م.

چهارم و پنجم میلادی جان به در بُرد، و با شکل اندکی متفاوت به اروپای غربی انتقال و رشد یافت، در همین چند سالهٔ اخیر میسّر شده است.

اوّلین مرحلهٔ این فرایند اساساً در سوریه رخ داد. در این هنگام اروپای غربی و خاورمیانه به مسیحیّت گرویده بودند، اما هلنیسم یونانی را به طور کامل نپذیرفته بودند. در این ایّام، زبان امپراتوری مسیحی یونانی بود، چون با تغییر پایتخت از رم به قسطنطنیّه، که در اثر هجوم بربرهای غربی صورت گرفت، یونانیان بازگشته بودند. تغییر پایتخت، موقعیّت ممتازی نصیب یونانیان کرد، اما فرهنگ یونانی در سرزمین‌هایی چون بین‌النّهرین و سوریه که خود را دارای فرهنگی کهن‌تر و هم‌سنگ با تمدّن یونانی می‌دانستند، اقبالی نیافت.

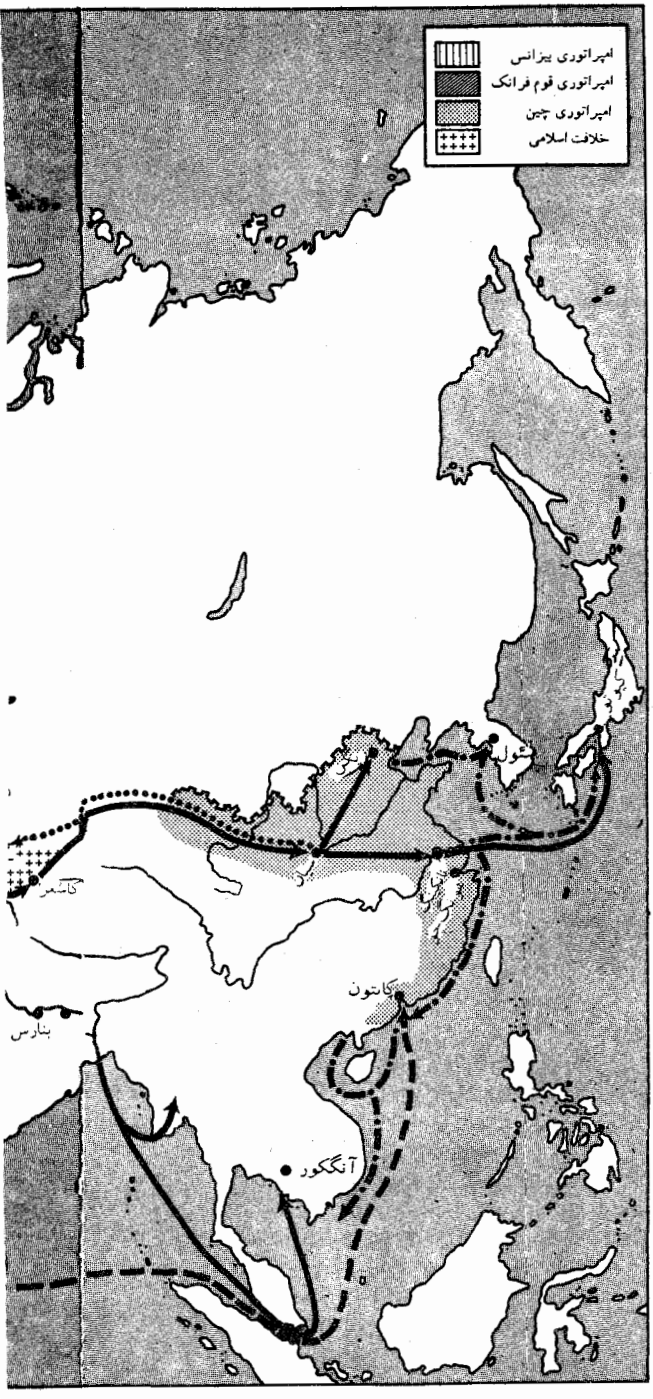
زبان، نخستین عرصهٔ تجلّی این مقاومت بود. در مرحلهٔ نخست تعدادی از مسیحیان از آیین اصلی مسیحیّت بریدند. در اینجا نمی‌خواهم به شرح بدعت گذاری‌های مذهبی بپردازم، اما یکی از این بدعت‌ها که به بنیان گذاری کلیسای نسطوری در سوریه منجر شد، در تاریخ علم فیزیک دارای اهمیّت است. نسطوریان، انجیل و رسایل انبیا و آثار اکثر فیلسوفان یونانی، مانند ارسطو و افلاطون و غیر آنها را به سُریانی ترجمه کردند. پیروان این آیین به سراسر جهان، به ویژه چین و شمال هند سفر کردند، و تا حدود قرن هجدهم در آن سرزمین‌ها ماندند. بدین ترتیب معارف سریانی نخستین نوع معارفی بود که انتشار یافت.

آنگاه در قرن هفتم، گروه دیگری پا به میدان نهاد. این گروه، اعرابی بودند که تا آن هنگام جز بازرگانی در مسیر دریای سرخ، که شاهراه ارتباطی میان روم و ساحل غربی هندوستان بود و از لحاظ حمل و نقل کالا اهمیّت داشت، نقش مهمّی در تاریخ نداشتند. امپراتوری‌های بزرگ رومی ـ یونانی و پارسی در آن دوران به جان هم افتادند و یکدیگر را متوقّف کردند؛ درست در همین فرصت *جهاد* اعراب مسلمان آغاز شد. این جهاد را نمی‌توان به جنگ صلیبی تشبیه کرد چون این جنگ مقدّس در آنِ واحد هم علیه امپراتوری رومی‌ـ

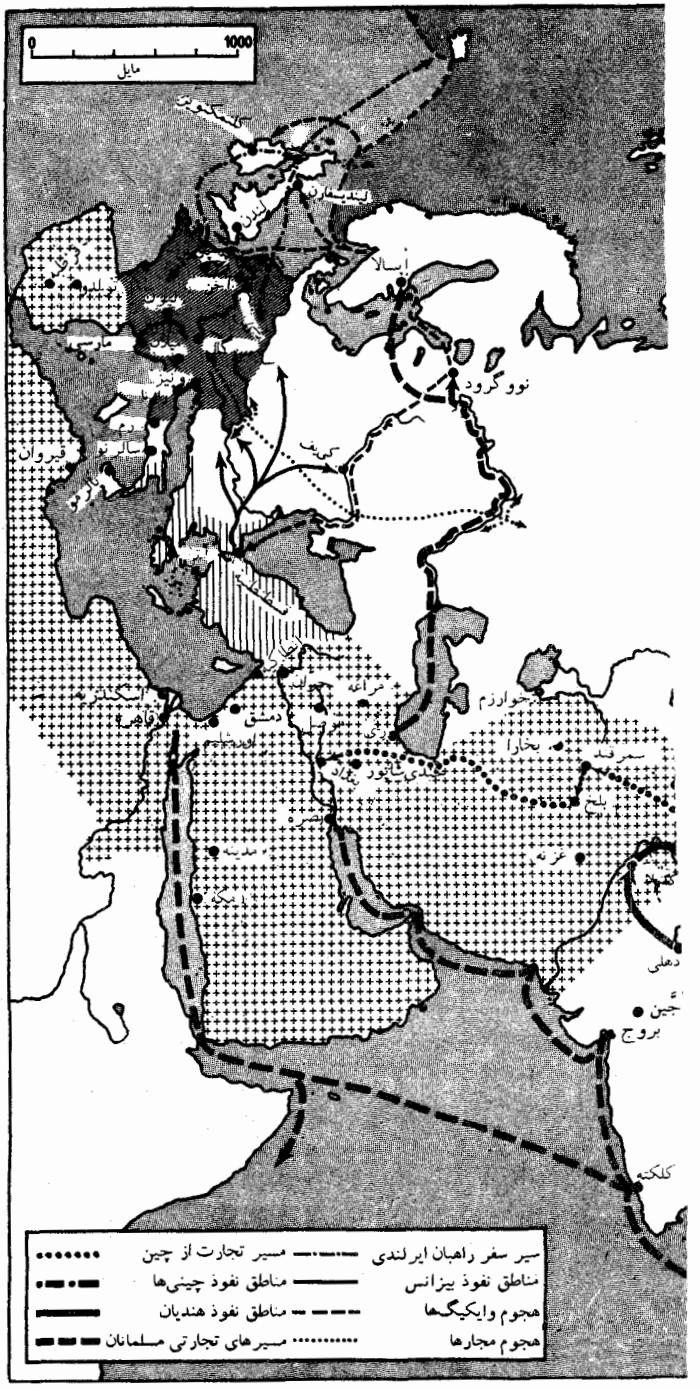
یونانی و هم علیه امپراتوری ایران برپا شده بود. این جهاد با سرعت به پیروزی رسید. توجّه به این نکته که سرزمین بسیار پهناوری، از اسپانیا تا مرزهای پاکستان، تنها در عرض پنجاه سال به سرزمین اسلامی تبدیل شد، نشان می‌دهد که در پشت این جریان باید رمزی نهفته باشد.

نکته‌ی مهم، و یکی از رازهای توفیق مسلمین آن بود که مردم از حکومت‌های رومی و یونانی و ساسانی به‌شدّت رویگردان و خسته شده بودند. این نظام‌های حکومتی با مردم سخت کج‌رفتار بودند، و مسؤولیت بسیاری از اعمال خشونت‌بار و وحشیانه را بر دوش داشتند، چون شیوه‌ی تحصیل مالیّات تحمیلی از سوی آنها چنان سخت‌گیرانه و بی‌ترحّم بود، که مردم را از شهرها به روستاها فراری می‌داد. مردم، حکومت محمّدی [ص] را از هر حیث بسیار ساده‌تر و عادلانه‌تر یافتند و مشتاقانه پذیرای آن شدند. اما فرهنگ عربی در سطح پیچیده و بالایی نبود، و حکّام عرب، سرزمین‌های تحت تصرّف خود را به شیوه‌ی قدیمی جوامع عربی اداره نمی‌کردند. کارهای دیوانی و اداری مصر و سوریه (شام) از آغاز حاکمیّت اعراب تا مدّت سیصد سال به روش یونانی انجام می‌گرفت. این امر باعث ظهور پدیده‌یی مشابه با پدیده‌ی آغاز دوران یونانی شد، بدین معنی که علاقه به علوم، جدا از پوسته‌ی مذهبی ملازم آن که در این مورد مذهب مسیح بود، رشد یافت. پیش از این رویداد، راهبان مسیحی که فلسفه را با دیگر مشخّصات ناپسند یونانی ملازم می‌دانستند، آن را به دور انداخته بودند. فیلسوفان سنگسار، و مدارس تعطیل شدند. در ۵۲۷ میلادی، ژوستینین[1] مدارس فلسفه‌ی آتن را، که از زمان افلاطون به جای مانده بودند بست. امّا، با بسته شدن این مدرسه‌ها، مدرّسین و دانشمندان برخلاف مرسوم، کشته و محبوس نشدند و دسته‌جمعی به دربار ایران کوچ کردند و شاهان ایرانی با تأسیس مدرسه‌یی جدید در جندی شاپور امکان ادامه‌ی کار را برای آنان فراهم آوردند. پس در استمرار علم وقفه‌یی پیش نیامد، بلکه اهل علم از

1- Justinian



نقشه‌ی ۳ـ جهان
در دوران گذار.


0
1000
مایل
نوو گرود
خوارزم
بخارا
سمرقند
بلخ
غزنه
دهلی
بروج
کلکته
دمشق
مدینه
قیروان
سیر سفر راهبان ایرلندی
مسیر تجارت از چین
مناطق نفوذ بیزانس
مناطق نفوذ چینی‌ها
هجوم وایکینگ‌ها
مناطق نفوذ هندیان
هجوم مجارها
مسیرهای تجارتی مسلمانان

محلّی به محلّ دیگر منتقل شدند. چیزی نگذشت که مرحله‌ی دوّم فرایند تکامل علم در جندی شاپور آغاز شد. ابتدا، آثار یونانی را از زبان سریانی به عربی ترجمه کردند، و چون در این زمان عده‌یی از اعراب زبان یونانی آموخته بودند، بعضی از آثار را مستقیماً از یونانی به عربی ترجمه کردند. بدین ترتیب میراث علمی یونان به مسلمانان رسید و آنها با غنی‌ترکردن آن گنجینه، فرصتی برای گسترش علوم فراهم آوردند که در عصر تعالی یونان فراهم آوردن آن ممکن نبود. مدرسین و فضلای اسلامی میان مغرب و چین در رفت و آمد بودند و افریقای مرکزی را درمی‌نوردیدند و به سوی شمال می‌رفتند؛ حتّی برخی از آنها از طریق روسیه به سرزمین‌های اسکاندیناوی عزیمت کردند. دلیل اقامه‌ی این ادّعا مقدار زیادی سکّه‌ی اسلامی، و توجّه به این نکته است که، نخستین توصیف دقیق سرزمین روسیه توسّط مسلمین ارائه شده است. پس در نتیجه‌ی فتوحات سپاهیان اسلام، علم در پهنه‌ی جغرافیایی گسترده‌یی پیشرفت کرد که وسعت آن به مراتب از وسعت متصرّفات اسکندر بیشتر بود.

علم در سرزمین‌های اسلامی

دوران رواج علم در قلمرو اسلامی از هنگام ظهور حضرت محمّد (ص) آغاز نمی‌شود، بلکه از قرن هشتم میلادی (قرن دوّم هجری قمری) شروع می‌شود و تا قرن دوازدهم ادامه می‌یابد. این علم در هرجا که بال گسترد، صرفاً «علم سازمان‌یافته» بود. آنچه این علم را سازمان می‌داد، بنیان‌گذاری چیزی بود که امروز برای ما بسیار عادّی و آشناست، اما در آن هنگام پدیده‌یی نو و بی‌سابقه به شمار می‌آمد. منظورم دانشگاه است. اگر بخواهیم دقیق داوری کنیم، باید بگوییم در یونان دانشگاه وجود نداشت. آنچه بود، مدرسه بود. فیلسوف یونانی مکتبی داشت که تنی چند از علاقه‌مندان در آن گرد می‌آمدند و به تقریرات وی گوش فرا می‌دادند، اما این جریان در نهایت به صورت امری خصوصی می‌ماند. از میان نهادهای یونانی، موزئوم از همه به دانشگاه نزدیک‌تر بود ولی موزئوم هم مؤسّسه‌ی آموزشی نبود؛ بلکه مؤسّسه‌یی پژوهشی به حساب می‌آمد. فکر

تأسیس دانشگاه، اصولاً از مدارس وابسته به مسجد یعنی مدارس علمیه نشأت گرفت که در آنها مدرسین به تدریس موضوعات درسی مختلف به طلاب علم می‌پرداختند.

داستان بسیار آموزنده‌یی در مورد یکی از متفکران اسلامی به نام غَزّالی، که در سده‌ی یازدهم (پنجم و ششم قمری) می‌زیسته، بر جای مانده که جالب توجّه است. وی طلبه‌ی نِظامیّه‌ی ری[1] بود و در آنجا به یادگیری فلسفه، کلام و حکمت، و ریاضیات پرداخت. هنگامی که به همراه یک کاروان سفر می‌کرد، طایفه‌ی دزدان بر کاروان تاختند. دزدان همه چیز، از جمله کولبار غزالی را که محتوی همه‌ی کتاب‌ها و یادداشت‌های او بود، ربودند. غزالی به سردسته‌ی دزدان گفت در این کولبار چیزی جز کتاب و دفتر نمی‌بینید و این کالاها به درد شما، که خواندن نمی‌دانید، نمی‌خورد، ولی ثمره‌ی چهار سال رنج و زحمت درس خواندن است، که برای من ضروری است. سردسته‌ی دزدان توبره‌ی کتاب را پیش پای او انداخت و گفت: «فکر می‌کردم در نظامیّه درس را یاد می‌گیرند، نه اینکه فقط می‌نویسند». این سخن بر غزالی بسیار گران آمد. و می‌گویند چهارسال دیگر در نظامیّه تحصیل کرد تا این بار فقط یاد بگیرد. غزالی از بزرگترین متفکّران دوره‌ی اسلامی به‌شمار می‌رود.

امروز که دیگر بنیاد دانشگاه برای ما امری عادی شده است، بد نیست بدانیم که بسیاری از مراسم دانشگاهی ما مأخوذ از آیین‌های نظامیّه‌های دوره‌ی اسلامی است؛ مثلاً همین ردا و کلاه فارغ‌التحصیلی، یادگاری از تشریفات نظامیّه‌های مسلمانان است. چهارصد سال پیش، هنگامی که اروپاییان به تقلید از مسلمانان دست به تأسیس دانشگاه زدند، این آیین را هم تقلید کردند. امروز این آیین در سراسر جهان معمول است.

در جوامع اسلامی علاوه بر نظامیّه‌ها و مدارس، مجامع علمی هم وجود

۱ـ ظاهراً منظور نویسنده نظامیّه‌ی نیشابور بوده است و در حین تدریس ری و نیشابور را با هم اشتباه کرده است، چه غزالی متولد طابران طوس بود و در نیشابور و جرجان تحصیل کرد.

داشت. نام این مجامع به نظر ما تا حدّی عجیب جلوه می‌کند. یکی از این مجامع «اِخْوان الصَّفا» نام داشت، که عمدتاً به کیمیاگری و جستجو برای دستیابی به اکسیر جوانی، و کیمیایی که سایر فلزات را به طلا تبدیل کند، اختصاص داشت. اما حتّیٰ تا امروز هم کسی به درستی نمی‌داند آیا این گروه واقعاً به کیمیاگری مشغول بوده‌اند یا آن را به مثابه‌ی تمثیلی از فضایل اخلاقی به شمار می‌آورده‌اند؛ این دو نکته به شیوه‌یی شگفت در آثار آنها در هم آمیخته است. علم فیزیک هرگز مانند شیمی این گونه با اخلاق درنیامیخت.[1]

اینک بر آنچه مسلمانان عملاً انجام دادند، نظری بیفکنیم. یکی از مسلمانان متأخر در این مورد چنین می‌نویسد: «بر ما فرض است که آثار باستانیان (یونانیان) را بیازماییم و هر جا نیازی به اصلاح دیدیم، آن کنیم». به عقیده‌ی این مردم، گنجینه‌ی عظیمی از معارف بر جا مانده بود که می‌بایست شناخته و به محک آزمون سنجیده، و در صورت ضرورت و امکان، تفسیر و آراسته و اصلاح شود. مسلمانان این وظیفه را به شایستگی انجام دادند.

مسلمانان پیش‌از هر چیز به نجوم پرداختند. رصدهای نجومی بسیار دقیقی انجام دادند و رصدخانه‌های عظیمی بنیاد کردند که برخی از آنها در دهلی، و بعدها در جیپور، هندوستان و نیز در بخش‌هایی از چین بر جای مانده است. رصدخانه‌های عظیم ویژه‌یی برای خسوف و کسوف و ساعت‌های آفتابی عظیمی ساخته شد، و هر روز بنایی عظیم‌تر به آنها افزوده می‌شد تا دقّت بیشتری حاصل آید. یک بار تصادفاً در روز تحویل فصل زمستان در شهر جیپور بودم، و توانستم به هنگام نیمروز با تجهیزاتی که در آنجا بود به مشاهداتی بپردازم. تصویر خورشید که از روزنه‌یی، در فاصله‌ی تقریباً سی متری، بیرون می‌آمد (البتّه در این ابزارها عدسی به کار نرفته) آن قدر بزرگ

۱ـ اِخْوان‌الصَّفا از طریق توجیه جدید دین، سیاست تازه‌یی در پیش گرفته بودند. دینشان فلسفی و اخلاقی بود و بر آن بودند که دین را به نیروی فلسفه و علوم طبیعی تفسیر کنند. هر چیزی را به طبیعت باز می‌گرداندند و هر امری از امور دین در نظر ایشان معنایی خاص داشت. (*تاریخ فلسفه اسلامی حنا الفاخوری*، خلیل الجر، ترجمه‌ی عبدالمحمّد آیتی.)

بود که می‌شد کمانی به اندازه‌ی ۱/۴ دقیقه‌ی قوس را اندازه گرفت (قطر ظاهری خورشید ۳۰ دقیقه‌ی قوس است). با همین وسایل رصدها و محاسبات دقیقی به عمل می‌آمد، و جدول‌های بسیار دقیقی تهیه می‌شد. مسلمانان تصویر کلّی عالم را تغییر ندادند. آنان نظریه‌ی زمین‌مرکزی بطلمیوس و موضوع فلک‌های تدویر را پذیرفتند، و در آنها اصلاحاتی پدید آوردند؛ علم نجوم را دگرگون نکردند: بلکه آن را نگه داشتند و صیقل دادند.

شیمی

امّا مسلمانان در سایر حوزه‌های علم، بر خلاف نجوم، دست به ابداع و تغییر زدند. مثلاً در رشته‌ی شیمی، که یونانیان از آن سررشته‌یی نداشتند و چیزی به یادگار ننهاده بودند، کار مسلمانان بسیار درخشان بود. در تاریخ علم از فیزیک یونانی بارها گفتگو شده است، امّا از شیمی یونانی نامی به میان نیامده است؛ چون چنین علمی اصولاً وجود نداشت. تنها اشاره‌یی که در این خصوص می‌بینیم، نکته‌یی است که در کتاب چهارم *علم جوّ*[1] ارسطو آمده است. این کتاب به عقیده‌ی بسیاری از صاحب نظران منتسب به ارسطوست؛ ولی این نکته بر موضوع مورد بحث ما چندان تأثیری نمی‌گذارد، چون حتّیٰ اگر جعلی بودن آن هم مسلّم شود باز سندی قدیمی به حساب می‌آید که به دوران پیش از سده‌ی دوم میلادی تعلّق دارد. عقیده بـه چهار مزاج گرمی، سردی، تری، و خشکی که تعیین کننده‌ی چهار عنصر آتش، هوا، آب و خاک‌اند، در این کتاب عرضه شده است. براساس این باورها، آتش =خشک و گرم؛ هوا = تر و گرم آب = سرد و تر؛ خاک= خشک و سرد. این کتاب به تشریح اثر گرم کردن، سرد کردن، مرطوب کردن، و خشک کردن بر مواد مختلف می‌پردازد، و تصویر خامی از علم شیمی ارائه می‌کند.

سرچشمه‌ی اصلی علم شیمی را باید در چین جست. من در این گفتارها

1- *Meteorologia*

چندان به علم شیمی نمی‌پردازم؛ ولی دست کم باید درباره‌ی منشأ آن مطالبی بگویم. علم شیمی در مفهومی ریشه دارد که به چینی‌ها تعلّق داشته است. در غرب، مردم دوران کهن‌سنگی با اکسید آهن (گِل اخرا)، مادّه‌یی رنگی می‌ساختند و آن‌را به‌جای خون برای رنگ کردن استخوان‌های مردگان خود به‌کار می‌بردند. امّا در چین مردم از نعمت دستیابی به منابع عظیمی از شنگرف، یعنی سولفید جیوه، برخوردار بودند که خون مصنوعی حاصل از آن به مراتب درخشان‌تر از مادّه‌یی بود که با اکسید آهن تولید می‌شد. چینی‌ها شنگرف را مورد مطالعه قرار دادند و دریافتند که بر اثر حرارت، از آن دو مادّه به دست می‌آید که یکی از آنها مادّه‌ی زرد رنگ قابل سوختن، و دیگری مادّه‌ی درخشنده‌ی فلزی سیّال است. چینی‌ها این سه مادّه را سه عنصر اساسی به حساب آوردند. شیء درخشنده‌ی فلزی، تبار مادّه به شمار آمد که یین (Yin) نام گرفت؛ مادّه‌ی زرد رنگ قابل سوختن تبار نر بود که یانگ (Yang) خوانده شد، و از ترکیب آنها تبار مرکّبی حاصل می‌شد که اکسیر حیات، یعنی خون، بود. این مطالب خیلی خام و ابتدایی جلوه می‌کند، ولی کلّ علم شیمی بر همین موضوع بنیاد شده است. اگر برای توضیح این نکته بار دیگر به حوزه‌ی علم فیزیک باز گردیم، با سیّال بودن فوق‌العاده‌ی الکترون‌ها در جیوه و نبود الکترون در گوگرد، و تعادل الکترون‌ها، یعنی تشکیل سولفید، سروکار خواهیم داشت. علم شیمی دقیقاً به معنای واقعی کلمه از همین مفهوم سه عنصر اوّلیّه زاده شد. شیمی از مفاهیم چینی به وجود آمد و یونانی‌ها در این حوزه میراثی به یادگار ننهادند. این علم تا عصر تاریکی به غرب نرسید، و بعداً توسّط مسلمانان به غرب انتقال یافت.

نور شناخت

علم در سرزمین‌های اسلامی، در حوزه‌ی نورشناخت هم از علم یونانی بسیار پیش‌تر رفت، و این امر یکی از ثمرات ضمنی علم پزشکی بود. البتّه مبحث نورشناخت در نجوم هم اهمیّت داشت که نمونه‌ی بارز آن را در کار ساعت‌های

آفتابی دیده‌ییم؛ اما در کار طب، به‌خصوص در سرزمین‌های گرمسیری و نیمه گرمسیری، که مرکز شیوع انواع بیماری‌های چشم بود، اهمیّت به مراتب بیشتری داشت. حتّی بابلیان هم در فاصله‌ی سالهای ۲۵۰۰ تا ۲۰۰۰ پیش از میلاد، به جرّاحی آب مروارید می‌پرداختند. مسلمانان ناگزیر بودند دقیقاً به مطالعه‌ی چشم بپردازند و وسیله‌ی مهمّی را به عرصه‌ی علم وارد کنند که یونانیان از آن بی‌خبر بودند. این وسیله چیزی جز عدسی نیست. یونانیان آینه را می‌شناختند، و می‌دانستند که می‌توان به کمک آن پرتوهای نور را متمرکز کرد. ارشمیدس در این مورد صاحب نظر بود، اما یونانیان هیچ عدسی نساختند.

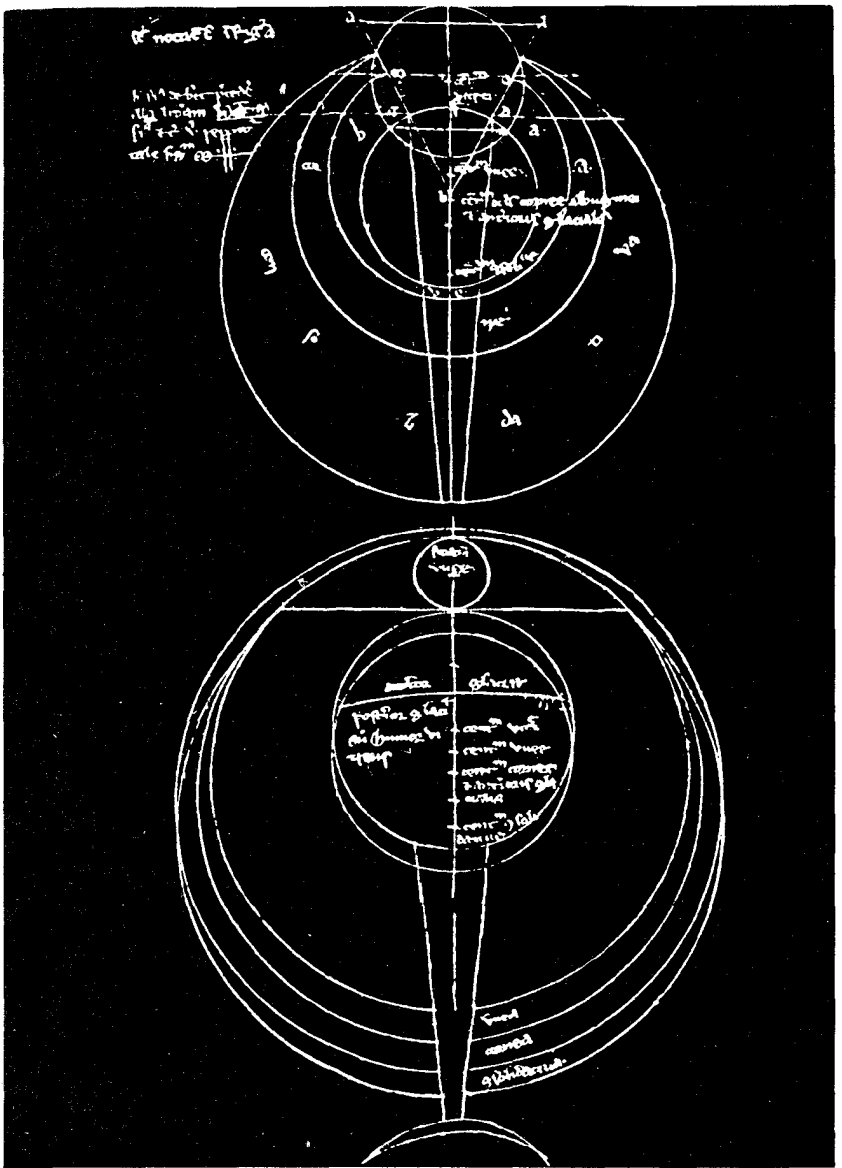
یکی از دلایل غفلت یونانی‌ها یک نقص فنی بود. برای تولید عدسی باید مادّه‌ی شفّافی در دسترس داشت، و کار با موادّ شفّاف نیز مهارت طلب می‌کرد. متداول‌ترین مادّه‌ی شفّافی که یونانیان اندکی بدان دسترسی داشتند، بلور سنگ‌های مختلف بود که بریلوس[1] یا کریستالوس[2] نام داشت، و تصویرهایی که بر روی چند وجه آنها نقش می‌شد، از طرف وجوه دیگر به صورت بزرگ‌تر جلوه می‌کرد. نمونه‌هایی از این سنگ‌ها را امروز در موزه‌ی بریتانیا می‌بینیم. کاربرد عدسی از دوران شکوفاییِ علوم در سرزمین‌های اسلامی آغاز شد، و از آن پس این وسیله بسیار مورد نظر بود. مردم عادّی از کاربرد وسیع و واقعی عدسی اطلاعی نداشتند، اما تا این حد می‌دانستند که می‌توان به کمک آن دامنه‌ی دید را گسترش داد. راجر بیکن[3] یکی از کسانی بود که می‌گفتند می‌تواند عدسی خود را به چشم بزند و از آکسفورد پاریس را ببیند. عجب وسیله‌ی دوربینی! شکل ۲۸ که از کتاب اکبر[4] اثر راجر بیکن گرفته شده است انحنای محیط شکننده‌ی نور در چشم را نشان می‌دهد. این

1- beryllos

2- krystallos

۳- Roger Bacon : فیلسوف و دانشمند انگلیسی که در زمینه‌های مختلف علم و فن دست داشت و به اتهام سحر و رفض مورد ایذا قرار گرفت (۱۲۹۴ـ۱۲۱۲)

4- *Opus Majus*



شکل ۲۸ـ نموداری متعلّق به سده‌ی سیزدهم، که انحنای محیط شکننده‌ی نور در چشم را نشان می‌دهد؛ اقتباس از *کتاب اکبر* راجر بیکن.

تصویر از روی تصاویری ترسیم شده است که استاد وی، *ابن هیثم* بنیان‌گذار واقعی علم نورشناخت ارائه کرده بود. این نمودار، مطابق شیوه‌ی معمول آن ایّام رسم شده است که در آن همه چیز باید به شکل دایره باشد. در آن هنگام کسی تلاش نمی‌کرد شکل واقعی این اجزا را کشف کند، و همه تنها به شکلی که این اجزا باید داشته باشند توجّه می‌کردند. دو بخش از چشم تا حدودی نشان دهنده‌ی تصویر مبهمی از عدسی است ، یکی پوشش چشم و دیگری شبکیّه‌ی آن.

مسلمانان بر نکته‌ی مهمی واقف شدند که به کمک آن بر مفهوم کلّی علم نورشناخت دست یافتند. آن نکته این بود که می‌توان با عدسی اشیا را بزرگ‌تر از اندازه‌ی حقیقی دید، و مهم‌تر از آن اینکه پیرمردی که دیگر قادر به خواندن کتاب نیست، می‌تواند به یاری عدسی بار دیگر کتاب بخواند. در آغاز تا مدّتی مدید، عدسی‌ها به صورت دستی به کار می‌رفت، تا آن که یک آدم مبتکر دست به ایجاد قاب‌هایی زد که عدسی در آنها جای می‌گرفت؛ پس از مدّتی با استفاده از دو عدسی، عینک ساخته شد. این وسیله، در قرن سیزدهم، به طور همزمان در چین و اروپا رایج شد. در آغاز در ساختن عینک از شیشه استفاده نمی‌شد، بلکه آن را از سنگ‌های شفاف گرانبهایی مانند *بریل (زُمُرّد نارس)* یاقوت می‌ساختند و به همین سبب آلمانی‌ها، عینک را Brillen می‌خوانند.

یکی از موضوعاتی که در زمینه‌ی نورشناخت توجّه را به خود جلب می‌کرد، پدیده‌ی رنگین کمان بود. راجر بیکن این اندیشه‌ی نو را عرضه کرد که علم از طریق تجربه و آزمایش قابل فراگیری است. وی در این مورد دو کتاب *کتاب اکبر* و *کتاب اصغر* را نوشت، و در آنها کیفیّت کاربرد تجربه و آزمایش را در اکتشاف جهان شناخته‌شده توضیح داد. این اندیشه، به نحوی توسّط یونانیان به کار گرفته شده بود، امّا اِعمال آن آگاهانه و مستمر نبود. در بسیاری از موارد، کسانی هستند که کارهای مختلف را به خوبی انجام می‌دهند، امّا از آنجا که بر نظریه‌های بنیادی آن کارها احاطه ندارند، همیشه هم دقیقاً

نمی‌دانند چه می‌کنند. مثلا، در رشته‌ی تخصّصی خود من، یعنی بلورشناسی با پرتو X، ما مدّت‌ها ساختار کانی‌ها را با شگردهای متعدّدی تشخیص می‌دادیم و هرگز چیزی در مورد آنها یادداشت نمی‌کردیم، و همین طوری هم به آنها عمل می‌کردیم. مدتی بعد *لینوس پائولینگ*[1] به آزمایشگاه ما آمد و با دیدن کارهای ما، سلسله‌ی قواعدی را تدوین کرد که اکنون، به نام *قواعد پائولینگ*، می‌خوانیم. ما سه چهار سال پیش از آنکه پائولینگ این قوانین را تدوین کند، از آنها استفاده می‌کردیم. یونانیان هم به همین ترتیب، به تجربه‌هایی دست می‌زدند ولی هرگز نظریه‌های زیربنایی این تجارب را تدوین نکردند. راجر بیکن به این نکته اشاره می‌کند، و در کتاب *نورشناخت* خود می‌نویسد: «اینک می‌خواهم آنچه را که به طور کلّی لمس کرده‌ام، با افشای اصول اساسی این علم زیبا به طور خاص و مشخّص نشان دهم. ممکن است بعضی از علوم دیگر بیش از این علم مفید باشند، ولی هیچ‌یک از آنها نمی‌تواند کاربردی چنین شیرین و زیبا داشته باشد. پس این علم گُل فلسفه است، و از طریق آن می‌توان سایر علوم را بازشناخت و بدون آن، احاطه بر دیگر معارف میسّر نمی‌شود. وی پس از آن به ارسطو اشاره می‌کند: «باید بگویم که نخستین بار ارسطو بدین علم پرداخت... پس از وی ابن هیثم در کتابی که بر جای مانده است، آن را دقیق‌تر بررسی کرده است. کِنْدی[2] هم بر غنای این علم افزوده است، و بالاخره مؤلّفین کتاب‌هایی که به موضوع *مناظر و مرایا* پرداخته‌اند، آن را بارورتر کرده‌اند.» جمله‌ی آخری به کاربرد نورشناخت در امور شعبده‌بازی نظر دارد، که طی آن کوشش می‌شد چیزهایی را که واقعیّت خارجی ندارند در برابر چشمان ناظران ظاهر سازند.

۱ـ Linus Pauling: شیمیدان امریکایی معاصر (۱۹۰۱ـ) به‌خصوص به‌خاطر کارهایش در زمینه‌ی ماهیّت پیوند شیمیایی و مخالفت‌هایش با آزمایش‌های هسته‌یی، پرآوازه است. برنده‌ی جایزه‌ی نوبل شیمی در سال ۱۹۵۴، و جایزه‌ی نوبل صلح در سال ۱۹۶۲. ـ م.

۲ـ ابویوسف یعقوب بن اسحاق کِنْدی (۱۸۵ر۸۰۱ـ ۲۶۰ر۸۷۳). نخستین فیلسوف ـ دانشمند جهان اسلام است. به «فیلسوف‌العرب» شهرت دارد ـ م.

بیکن درباره‌ی علم تجربی چنین می‌گوید:

«از آنجا که این علم تجربی برای خاص و عام دانشجویان ناشناخته است، من نمی‌توانم مردم را به کاربرد آن متقاعد کنم؛ مگر آنکه فضیلت و اهمیّت شایسته‌ی آن را روشن کنم. از این رو، این علم به تنهایی می‌تواند چگونگی آنچه را که به وسیله‌ی طبیعت، تلاش‌های هنری، شعبده‌بازی، جادوگری، افسون‌کاری، وردخوانی، لعن و قربانی‌های مربوط به جادوگری صورت می‌گیرد، به محک آزمون بزند و همه‌ی جعل و تزویرها را از هنر بزداید، و تنها حقیقت آن را بر جای نهد. این علم به تنهایی چگونگی درک سیاه‌کاری‌های ساحران را به ما می‌آموزد، و نشان می‌دهد که نباید آنها را تأیید کرد، بلکه باید همه‌ی آنها را از خود راند، همان گونه که منطق به طرد و رد سفسطه می‌پردازد.»

بیکن به‌جادوگری بی‌اعتقاد نبود، ولی آن را عملی شایسته نمی‌دانست:

«علم تجربی در مقایسه با سایر علوم، سه مشخّصه‌ی اصلی دارد. نخست آنکه از طریق تجربه، نتایج قابل توجّه علوم دیگر را مورد پژوهش قرار می‌دهد؛ چون دیگر علوم می‌دانند چگونه اصول خود را با تجربه کشف کنند، اما نتایج حاصل از آنها به وسیله‌ی استنتاج از اصول کشف‌شده به دست می‌آید. اما اگر بخواهند کاربرد خاص و کاملی از نتایج خود داشته باشند، باید از این علم شریف (یعنی علم تجربی) مدد بگیرند. درست است که ریاضیّات در ارقام و محاسبات خود، تجربه‌هایی در مورد نتایج خود دارد، که در سایر حوزه‌های علم، من‌جمله تجارب مورد بحث ما، هم می‌توان آن را به کار گرفت و هیچ علمی هم از ریاضیّات بی‌نیاز نیست، اما اگر بخواهیم توجّه خود را به آزمایش‌های ویژه و کاملی معطوف کنیم که با روش‌های مناسب مورد تأیید واقع شده‌اند، باید اصول این علم را که علم تجربی خوانده می‌شود به کار بندیم. مثلاً از پدیده‌ی رنگین‌کمان و پدیده‌یی که به آن مربوط است یاد می‌کنم. براساس این پدیده، طبیعت عبارت است از دوایری که دور خورشید یا یک ستاره را فرا گرفته‌اند و به چشم، مستقیم جلوه می‌کنند... این دایره‌ها را هاله می‌خوانیم و هاله‌ها گاهی شامل رنگ‌های رنگین‌کمان هم هستند. فیلسوف طبیعی به بحث در مورد این پدیده‌ها می‌پردازد، و نویسنده‌یی که به علم مناظر و مرایا توجّه دارد، کیفیّت دید لازم در این گونه موارد را مشخص می‌کند. امّا نه ارسطو و نه ابن سینا، هیچ‌یک در *تاریخ طبیعی* خود معلوماتی در مورد این نوع پدیده‌ها به ما نداده‌اند...».

پس در حقیقت، این نخستین گام در تعمّق و تأمّل در کار طبیعت و شناخت موجودات، از طریق تعمّق و تأمّل به کمک شیوه‌های ویژه است. مدرسین سده‌های میانه، بر نکات متعدّدی در مورد رنگین‌کمان دست یافتند، و

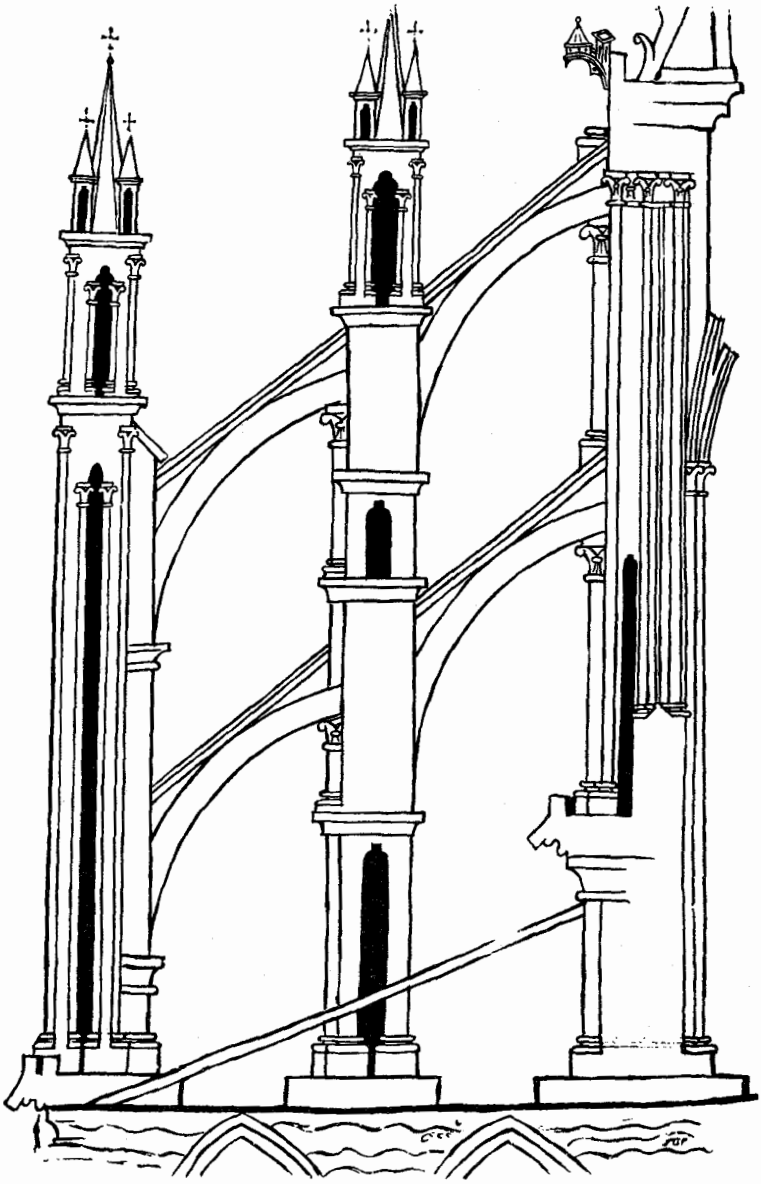
بعضی از آنها نظیر *رابرت گروسه‌تست*[1] اسقف ناحیه‌ی لینکلن ادعا می‌کردند که از کل جریان باخبرند.

صناعت در قرون وسطیٰ

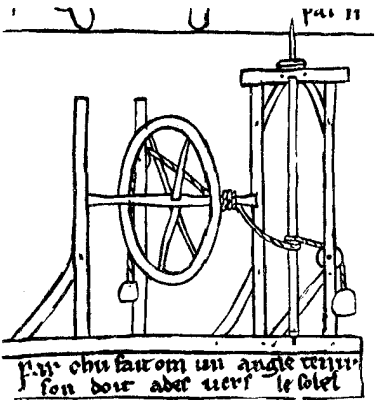
یکی از مشخّصه‌های زوال امپراتوری روم، از هم‌گسیختگی و تلاشیِ وسایل و دستاوردهای بزرگ مهندسی بود. به جبران از دست رفتن این وسایل، نمونه‌های کوچک‌تر امّا نبوغ آمیزتری از آن در سده‌های میانه ساخته شد. یکی از دستاوردهای مسلمانان و مسیحیان، هنر ایجاد ساختمان در فضاهای وسیع، و پوشاندن آنها با سنگ‌های کوچک یا کاشی بود. مصریان ستون‌های سنگی عظیمی را، که طول بعضی از آنها بالغ بر ۱۲ متر می‌شد، به جای ستون زیر سقف به کار می‌بردند، و با استفاده از نیروی تعداد زیادی از آدم‌ها، این تیرها را تا سقف بالا می‌بردند. معبد یونانی هم، معماری ستون و تیر سر در بود. رومی‌ها هم طاق‌ها و طاق‌های عظیم بنا می‌کردند، امّا مسلمانان ضمن بهره‌گیری از تجارب یونانیان، گنبدهای آجری ساختند. مسیحیان شمال، طاق‌های پیچیده‌یی از سنگ‌های کوچک بنا کردند، که طول سنگ‌های آن حداکثر از حدود ۶۰ سانتی‌متر در هر راستا تجاوز نمی‌کرد. همچنان با پیشرفت صناعت، سنگ‌های کوچک‌تری به کار بردند، و سرانجام طاق بادزنی را ابداع کردند. در شکل ۲۹ منظره‌ی کلیسای جامع را پس از اتمام بنا می‌بینید. این تصویر را ویلار دو اُنِکور[2] کشیده است، که معمولاً نقشه‌های عملی را ترسیم می‌کرد و دفتر بزرگی از تصویرهای پیشنهادی خود فراهم آورده بود. در شکل ۳۰ تصویر بسیار ساده‌یی از یک دستگاه جالب می‌بینید که آن‌را «دستگاهی که به‌وسیله‌ی آن فرشته‌یی همواره انگشت خود را به سوی خورشید می‌گیرد» خوانده‌اند. به عبارت دیگر این دستگاه ساعتی است که در آن یک فرشته در حال

1-Robert Grosseteste

2- Villard de Honnecourt



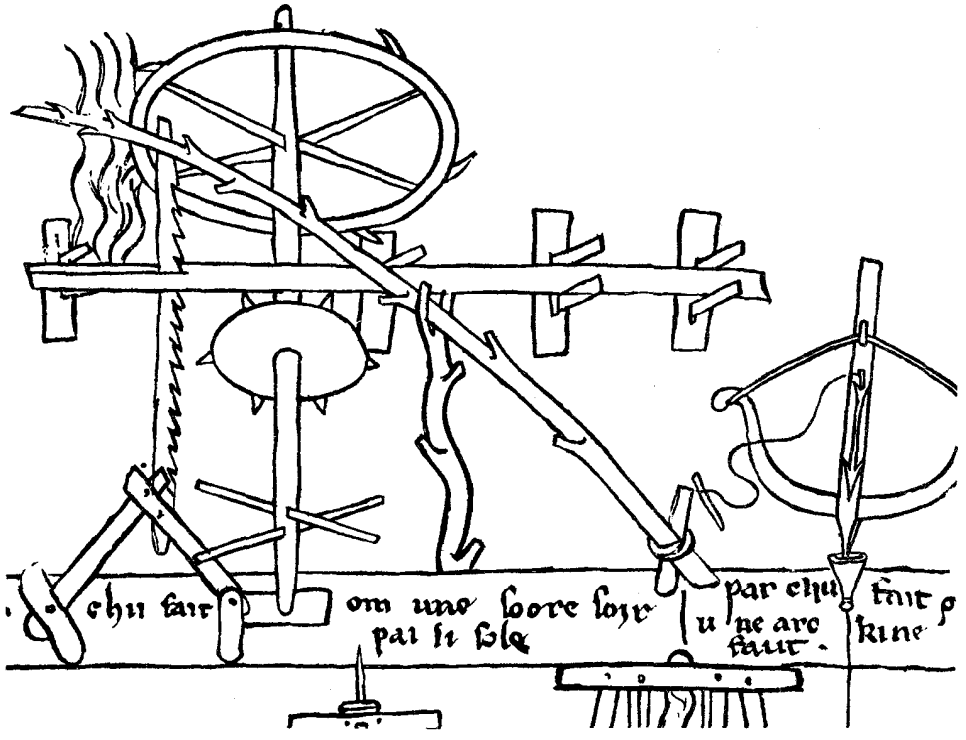
شکل ۲۹ـ پُشتبندِ سبک گوتیک، نقاشی از ویلار دو اُنکور.



شکل ۳۰ـ دَنگ طناب گیر، ویلار دو اُنکور، ۱۲۵۰.

چرخیدن است. البتّه ما کاری به فرشته‌ی این دستگاه نداریم، بلکه خود دستگاه برای ما مهم است. کلّ دستگاه، یک چرخ دنگ نه چندان پیچیده است که فرشته را در بالای آن نصب می‌کنند. سقوط وزنه و چرخش یکنواخت محور قائم دستگاه، به وسیله‌ی نوسان چرخ دنگ که طناب به دور محور افقی آن پیچیده شده است، کنترل می‌شود. این چرخ دنگ تماماً از چوب ساخته می‌شود.

شکل ۳۱ هم از آنِ ویلار دو اُنکور است که دستگاه بسیار جالبی را نشان می‌دهد، که در زمان خود دارای آتیه‌ی درخشانی بوده است. این دستگاه دارای تمام اجزای یک ماشین جدید خودکار است، و نوعی ماشین ارّه به شمار می‌رود. تا قرن پیش، و حتّیٰ در همین قرن کنونی، نحوه‌ی ارّه‌کشی چنین بود که چاله‌یی می‌کندند، تیرهایی را روی آن قرار می‌دادند و دو نفر ارّه‌کش در بالا و پایین آن به بریدن چوب مشغول می‌شدند. امّا حتّیٰ در قرن سیزدهم، مردم فکر می‌کردند که می‌توان این عمل را بدون استفاده از نیروی بدنی انسان به انجام رساند. این دستگاه که طرح بسیار ساده‌ی آن در شکل۳۱ دیده می‌شود، به وسیله‌ی یک چرخ آبگرد، که روی محور اصلی نصب می‌شد، به کار می‌افتد. در انتهای قسمت پایینی چرخ، دو میله دیده

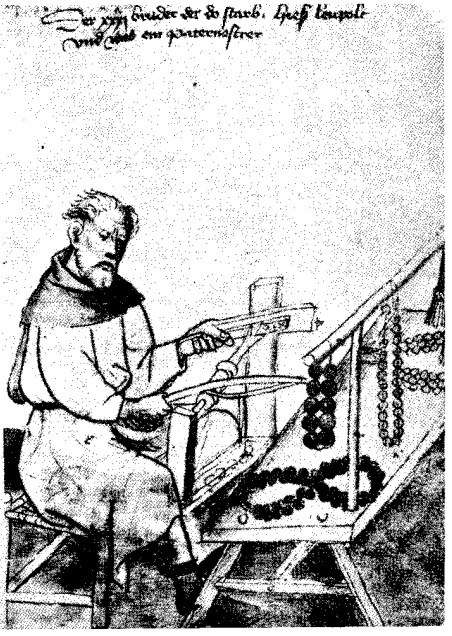


شکل ۳۱ـ طرح ماشین اره کشی آبی به وسیله‌ی ویلار دوانِکور، ۱۲۵۰.

می‌شود که نقش سگدست و یاتاقان را بازی می‌کنند، و حرکت دورانی را به حرکت رفت و برگشتی بدل می‌کنند، و سیستم یک اهرمی حرکت‌دهنده به ارّه نیرو وارد می‌آورد. پس از آن ارّه توسّط یک جزءِ بسیار آشنا، یعنی یک درخت خم شده، به بالا کشیده می‌شود! درخت ارّه را به بالا می‌کشد و دستگاه آن‌را به پایین می‌کشد. نکته‌ی جالب در مورد این دستگاه آن است که ضمن بریدن چوب، آن را به جلو می‌کشد. این کار با استفاده از چرخی که چند دندانه دارد، و روی محور اصلی نصب شده است، صورت می‌گیرد. دندانه‌های این چرخ چوب را می‌گیرند و به جلو می‌رانند. این دستگاه در میان ارّه‌کشان و اتّحادیه‌های آنان رواج نیافت و متروک شد. اندیشه‌ی کاربرد این ماشین

همچنان زنده ماند، اما عملاً تا عصر ما به تعویق افتاد. چندین وسیله‌ی مشابه ابداع شد که بعضی از آنها مشخّصات کلّی تمدّن آن روزگار را دگرگون کردند.

در شکل‌های ۳۲ و ۳۳ که مربوط به دوران جدیدتر، یعنی سده‌ی چهاردهم هستند، دو نوع چرخ خرّاطی دیده می‌شود. یکی چرخ خرّاطی محوردار، که در آن هم از یک قطعه چوب فنری خمیده برای ضربه‌ی



شکل ۳۲ـ چرخ خرّاطی پایی محوردار، مِندلشِن تزولف برودِربوخ[1]، ۱۳۹۵.

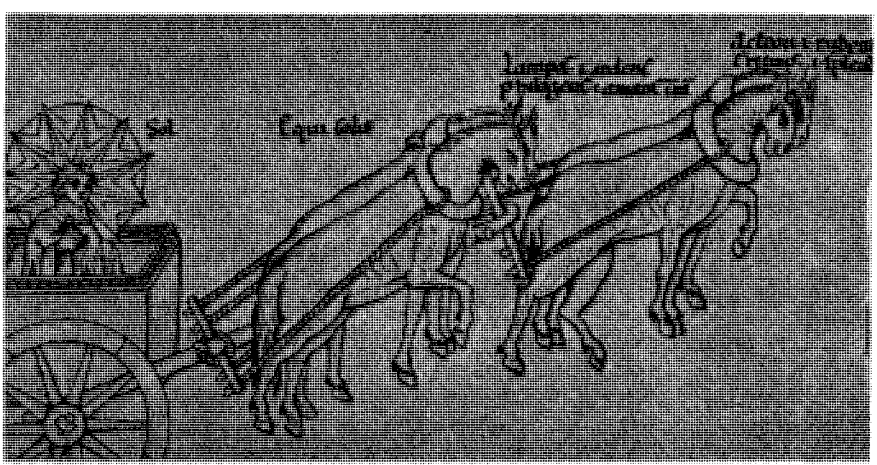
شکل ۳۳ـ چرخ خرّاطی کمان‌دار برای تراشیدن دانه‌های تسبیح. مِندلِ شِن تزولف برودِربوخ، ۱۳۹۰.

1- Mendelschen Zwolf Bruderbuch

بازگشتی استفاده می‌شود. در این دستگاه، قطعه چوبی که باید خرّاطی شود بین دو مرکز قرار دارد، و خرّاط باید با پای خود ماشین را در حال کار نگه دارد. دیگری نوع ساده‌تری از چرخ خرّاطی را نشان می‌دهد، که با کمان به کار می‌افتد و برای ساختن مهره‌های تسبیح از آن استفاده می‌شده است. راهب، کمان را در دست راست می‌گیرد و با حرکت آن دستگاه را می‌چرخاند. این نوع دستگاه مکانیکی در ایّام کلاسیک تقریباً پیشرفته بود.

یراق جدید اسب

در شکل ۳٤ موضوعی به تصویر کشیده شده است که در نگاه اوّل نشان دادن آن در یک تصویر، عجیب به نظر می‌رسد، اما در تفوّق تکنولوژیکی غرب نقش شایسته‌یی بازی کرده است. این وسیله در غرب ابداع نشد، بلکه از چین به



شکل ۳٤ـ تصویری از سده‌ی سیزدهم که در آن سازوبرگ اسب نشان داده شده است. اقتباس از *باغ دانایی* نوشته *هرادفن لندشیرگ*.[1]

1- Herrad von Landsperg, *Hortus deliciarum*

غرب رسید. منظور افسار و مال‌بند اسب است. درست است که اسب، پیش‌تر از این ایام، یعنی در حدود سال ۲۰۰۰ پیش از میلاد وارد تمدن بشر شد و در آن هنگام روش‌های یراق کردن ورزا با یوغ مرسوم بود؛ اما هنگامی که اسب وارد عرصه‌ی کاربرد شد، کسی به یراق کردن آن نمی‌اندیشید. اسب‌سواری رایج شد، اما از افسار و لگام خبری نبود، هنگامی هم که به فکر یراق کردن آن افتادند، عین ورزا، یوغ بر گرده‌ی آن نهادند؛ اما عملاً دیدند که این شیوه در مورد اسب مناسب نیست. به همین دلیل، سوارکاری و حمل و نقل رومیان کارآمد نبود. فرض کنید که اسبی بدون نعل و لگام و افسار، و در حالی که فقط طنابی به دور گردن آن پیچیده شده است، به کار گرفته شود. کسی که بر این اسب سوار می‌شود، تنها جُلی در زیر پا دارد و نمی‌تواند از رکاب استفاده کند. به همین علّت، سوارکار رومی هرگز نمی‌توانست به تهاجم بپردازد؛ چون به محض مواجهه با یک مقاومت از پشت اسب فرو می‌افتاد. وی هرگز نمی‌توانست در جهتی به جز جهت رو به رو تیراندازی کند؛ زیرا همین که در جهات دیگر تیراندازی می‌کرد، با نیروی عکس‌العمل تیر به زمین می‌افتاد. یکی از بزرگ‌ترین اختراعات که باز هم از آنِ چینی‌ها بود، رکاب است. راز کامیابی هون‌ها و سایر قبایل صحرانشین شرق در آن بود که می‌توانستند بر زین بنشینند و به راحتی به هر جانب تیراندازی کنند. بعدها هم سوارکاران نرماندی به‌علّت بهره‌گیری از رکاب که آنها را قادر کرد نیزه را بدون پرتاب کردن به کار برند و نگه‌دارند، پیشرفت کردند.

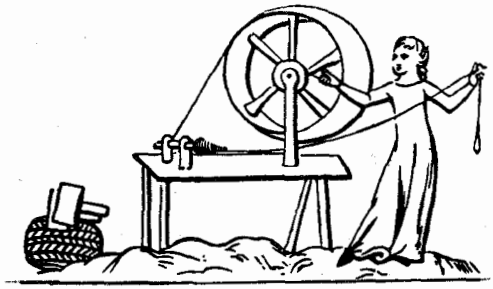
از اسب، در موردی که به مراتب از موارد نظامیِ صِرف مهم‌تر بود، یعنی در شخم زدن زمین، استفاده می‌شد. در عصر ویلیام فاتح، تراکتور استاندارد، عبارت بود از گاوآهن هشت گاو،و هر هاید[1] زمین، معادل مساحتی بود که در

۱ـ hide واحد اندازه‌گیری سطح زمین، که در انگلستان برای برآورد میزان مالیات رایج بود و بین ۸۰ تا ۱۲۰ جریب تغییر می‌پذیرفت. ـ م.

یک روز کار به‌وسیله‌ی خیش گاو شخم می‌شد. نگه‌داری این نوع گاو آهن بسیار پر خرج بود. مدّتی بعد معلوم شد که می‌توان همین میزان شخم را به کمک چهار و حتّیٰ دو اسب زد. بدین ترتیب در اکثر مناطق، اسب جای گاو را در خیش زدن و کشیدن گاری گرفت.

در شکل ۳۴ مال‌بند و افسار اسب‌های ارابه‌ی خورشید را می‌بینید. یراق جدید امکان خیش‌زدن زمین‌های کوهستانی را میسّر کرد. خیش‌های گاوی زمین‌های هموار را به راحتی شخم می‌زدند، امّا با استفاده از خیش‌های اسبی، زمین سربالایی و مرتفع هم شخم می‌شد، و بدین ترتیب مساحت زیر کشت تقریباً دو برابر شد و در سرزمین‌هایی چون انگلستان و فرانسه محصول غلّه به حدود دو برابر رسید. همان طور که گفتم، این وسیله هم یکی از اختراعات چینی بود که اوضاع اروپای غربی را دگرگون کرد. البتّه این ابتکار در خود چین و آسیا که مسائل آبیاری زمین در آنجا با مسائل اروپایی متفاوت بود، به این میزان تأثیر نداشت.

در شکل ۳۵ یک ابتکار کلیدی دیگر دیده می‌شود. در سرتاسر ایّام باستان، نخ‌ریسی به کمک دوک صورت می‌گرفت. با توجّه به این نکته که یکی از اقلام بسیار مهمّ بازرگانی آن دوران پارچه و لباس بود می‌توان دریافت که فکر درست کردنِ دستگاه نخ‌ریسیِ سریع تا چه حد اوضاع را دگرگون کرد. با تولید پارچه، یعنی رشتن نخ و پس از آن بر پا کردن دار بافندگی،



شکل ۳۵ ـ اختراع ماشین سریع نخ تابی، ۱۳۰۰.

کلّ اقتصاد تغییر چهره می‌داد. انقلاب عظیم صنعتی اساساً برروش‌های نخ‌تابی تکیه داشت و همین دستگاه ساده‌ی قرون وسطایی، بعداً به ماشین عظیمی تبدیل شد که دوک‌های متعدّد داشت امّا اساس کار آن با دستگاه اولیه یکی بود.

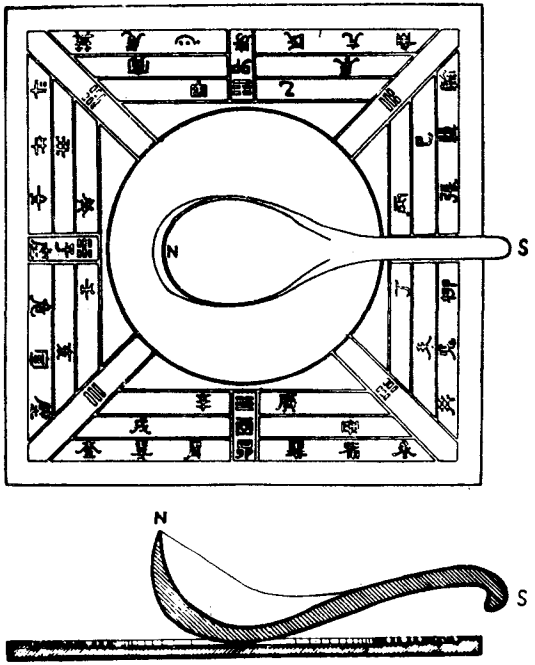
مغناطیس

حالا بار دیگر به رشته‌ی دیگری از علوم باز می‌گردم که در این دوران میانی پدید آمد، و نشان داد که آینده‌ی بسیار درخشان و گسترده‌یی دارد. این رشته از علم، *مغناطیس* خوانده می‌شود. یونانی‌ها از آهنربا استفاده می‌کردند، و چون معمولاً سنگ‌های آهنربایی را از *ماگنسیا* در آسیای صغیر می‌آوردند، آن را *ماگنت* می‌خواندند. این مردم می‌دانستند که مغناطیس می‌تواند قطعات آهن را برباید، و آن قطعات آهن هم به نوبه‌ی خود قطعات دیگر آهنی را جذب کنند. در واقع اصول القای مغناطیسی برای آنها شناخته شده بود، امّا موضوع ارتباط میان مغناطیس و جهات جغرافیایی بر آنها روشن نبود. این نکته یکی از بزرگترین کشف‌ها، و حتّیٰ با توجّه به دشواری دستیابی به آن، می‌توانم ادّعا کنم که بی‌شک بزرگترین کشف تاریخ فیزیک است. علّت آن است که این نکته یکی از اموری است که قابل پیش‌بینی نیست. هیچ کس در موقعیّتی نبود که بتواند بگوید: اگر آهنربا را آزادانه آویزان کنیم، در راستای شمال و جنوب می‌ایستد. اوّلاً چرا باید آهنربا را آزادانه آویزان کرد؟ دلیلی برای این کار وجود نداشت. ثانیاً، چرا آهنربا باید در راستای شمال و جنوب بایستد؟ در شمال و جنوب چه چیزی هست که به آهنربا مربوط می‌شود؟ میان اینها هیچ ارتباط پیشینی وجود ندارد. چگونگی کشف این خاصیّت یکی دیگر از شوخی‌های تاریخ است، که نمونه‌یی از آن را در هنگام بحث در مورد برخورد یونانی‌ها با مسئله‌ی چند وجهی‌ها ذکر کردم. چینی‌ها هم به انواع اموری که روی هم‌رفته *علوم غریبه* خوانده می‌شود، علاقه داشتند و با مشاهده‌ی رفتار موجودات مختلف سعی داشتند آینده را پیشگویی کنند. یکی از روش‌های

پیشگویی آینده این بود که جسمی را بچرخانند و ببینند هنگامی که می‌ایستد به کدام جهت اشاره دارد. چینی‌ها همواره در مورد مدفن خود وسواس داشتند، زیرا بر این عقیده بودند که چون آدمی تنها مدّت کوتاهی زندگی می‌کند، و مدّت درازی در گور به سر می‌برد، چگونگی گور وی مهم‌تر از کیفیّت خانه است. در چین فال‌گیرهایی بودند که معیشت آنها با مسافرت به اطراف و تعیین محل مناسب گور اشخاص می‌گذشت، و میزان حق‌الزّحمه‌ی آنها به ثروت و اهمیّت آن اشخاص بستگی داشت. یکی از روش‌های تعیین محل گور عبارت بود از چرخاندن یک شیء بر روی صفحه‌یی که در وسط آن یک دایره وجود داشت که به هشت قطعه تقسیم می‌شد و در هر قطعه، خطوط و نقطه‌هایی به ترتیب خاص قرار گرفته بود. این خطوط و نقطه‌ها شبیه به علائم مورس بود، و ترکیب‌ها و ترتیب‌هایی که شامل سه علامت کوتاه و سه علامت بلند می‌شد، هشت جهت مقدّس را نشان می‌داد. بر روی این صفحه باید چیزی چرخانده شود (شکل ۳۶).

این شیء ممکن بود قاشقی نظیر هزاران قاشق چینی دیگر باشد، که امروز هم در رستوران‌های چینی با آن غذا می‌خورند. این قاشق دسته‌ی کوتاهی دارد و اگر آن را در وسط صفحه بگذارند و بچرخانند، به راحتی به چرخش درمی‌آید. البتّه نمی‌خواهم بگویم همه‌ی انواع قاشق‌های چینی به راحتی به دور قاعده‌ی کفه‌ی خود می‌چرخند، ولی بعضی از انواع آن مطمئناً راحت به چرخش درمی‌آیند و بر اساس بعضی از اسناد موجود، چینی‌ها از همین وسیله برای تعیین جهت استفاده می‌کرده‌اند. کاربرد قاشق یک دلیل کاملاً اخترشناختی داشت. شما صورت فلکی دُبِّ اکبر را می‌شناسید، و می‌دانید که لبه‌ی آن ستاره‌ی قطبی را نشان می‌دهد. امریکایی‌ها این مجموعه را ملاقه می‌خوانند، و ما انگلیسی‌ها آن‌را «ارّابه‌ی چارلز» و خرس بزرگ (دُبِّ اکبر) می‌نامیم. این مجموعه آن قدر که به ملاقه شبیه است به خرس شبیه نیست، و قاشق را می‌توان به عنوان جایگزین ملاقه به کار برد.

با پیشرفت فنون، معلوم شد که اگر قاشق را از جنس مواد گرانبهاتری



شکل ۳۶ـ شکل اولیه‌ی قطب‌نما که توسّط *وانگ‌چن‌ـتو*[1] بازسازی شده است. قاشقی که به حالت تعادل ایستاده است از جنس اکسید مغناطیسی آهن (مگنتیت) ساخته شده است. صفحه‌ی رمل نموده شده، مربوط به دوران هان، در حدود سال ۱۰۰ بعد از میلاد است

بسازند نتایج بهتری به دست خواهد آمد. بنابراین قاشق‌هایی از جنس یشم و سایر سنگ‌های مقدّس، سنگ‌های بلورین و مگنتیت ساخته شد. قاشق‌ها در جهت‌های مختلفی می‌ایستادند و تنها قاشقی که از جنس سنگ مغناطیس بود، همواره رو به سوی جنوب می‌ایستاد. بدین ترتیب قطب‌نما تولد یافت. دلیلی که برای اثبات این ادّعا داریم، شباهت جدول‌های مغناطیسی با جدول‌های صفحات

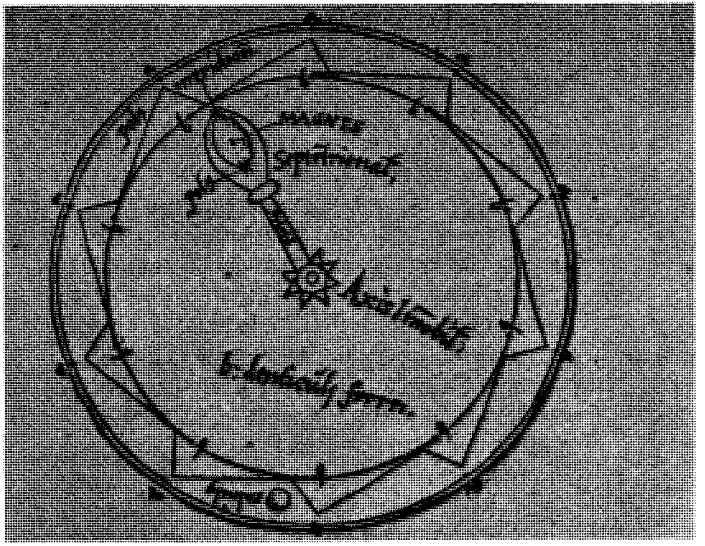
1- Wang-Chen-To

قدیمی رمّالی است.

قطب‌نما در حدود سده‌ی ششم میلادی کشف شد و به‌تدریج و به کندی به غرب رسید. تاریخ رسیدن این وسیله به غرب را از آن نظر می‌دانیم که پیش از آن روش دیگری برای دریانوردی معمول بود. در آن ایّام به جای قطب‌نما از وسیله‌ی دیگری استفاده می‌شد که در کتاب مقدّس در داستان کشتی حضرت نوح به آن اشاره شده است. اسناد قدیم‌تری هم در دست داریم؛ مثلاً در روی مهرهایی که در منطقه‌ی *هرپا*[1] در پاکستان از ۳۰۰۰ سال پیش از میلاد بر جای مانده است، تصویر یک کشتی را می‌بینیم که مُرغی بر فراز آن پرواز می‌کند. نمی‌دانم کشتی‌ران‌های آن روزگار چگونه به فکر جانورشناسی کاربردی افتاده‌اند، اما آنچه می‌دانم این است که این اسناد بسیار قدیمی‌اند. سرنشینان کشتی‌ها پرندگان را با خود به پهنه‌ی دریا می‌بردند و هنگامی که خشکی از چشم ناپدید می‌شد، این پرندگان را آزاد می‌کردند. پرندگان که از ما باهوش‌ترند، خیلی زود جهت خشکی را تشخیص می‌دادند و به آن سو پرواز می‌کردند و سرنشینان کشتی هم به تعقیب آنها می‌پرداختند. وایکینگی به نام *فلوکی*[2] با همین روش، در سال ۹۰۰ میلادی، سرزمین ایسلند را پیدا کرد. در دستنوشته‌یی که سیصد سال بعد از این اکتشاف درباره‌ی آن نوشته شده است، توضیحاتی در مورد چگونگی کار دیده می‌شود. براساس این توضیحات، در آن روزگاران چون سنگ مغناطیس طبیعی را نمی‌شناختند، دریانوردان از کـــلاغ استفاده می‌کردند. بدین ترتیب معلوم می‌شود که در حدود سال ۱۲۰۰ میلادی سنگ مغناطیس طبیعی کاملاً شناخته شده بود و مطمئناً در سال ۹۵۰ کسی از وجود آن اطّلاع نداشته است. بنابراین برای تاریخ دقیق باید زمانی بین این دو تاریخ را برگزید. کشف قطب‌نما راه کشف‌های بزرگی را چون عبور از اقیانوس‌ها، کشف طول جغرافیایی، و کلّ علم دریانوردی نوین، و انقلابی که

1- Harrapa

2- Floki



شکل ۳۷ـ استفاده از آهنربا برای ساختن ماشین حرکت دائم؛ اقتباس از *درباره‌ی آهنربا*[1] تألیف پترس اهل مری کور، ۱۲۶۹.

علم دریانوردی در نجوم و فیزیک به پا کرد، گشود، که در فصل بعد بدانها خواهم پرداخت.

در حدود سال ۱۲۶۰ مرد برجسته‌یی به نام *پِترُس زائر* (اهل مری کور)[2] نخستین رساله‌ی علمی را درباره‌ی آهنربا نوشت. وی نمی‌دانست که مغناطیس در راستای شمال و جنوب می‌ایستد، اما نکات بسیار دیگری در مورد مغناطیس می‌دانست. مثلاً، می‌دانست که آهنربا دارای قطب است و اگر آن را به دو قسمت تقسیم کنند به دو آهنربا تبدیل می‌شود که هریک از آنها هم دو قطب دارند. چیزی نگذشت که مردم به فکر استفاده از آهنربا افتادند. در شکل ۳۷ یکی از راه‌های پیشنهادی برای ساختن ماشین با حرکت دائم دیده می‌شود. در اطراف دستگاه یک آرماتور آهنی، و در وسط آن یک قطعه سنگ مغناطیس طبیعی قرار داده شده است. سنگ مغناطیس، یکی از قطعات آهنی آرماتور را جذب می‌کند و تمام دستگاه را به چرخش در

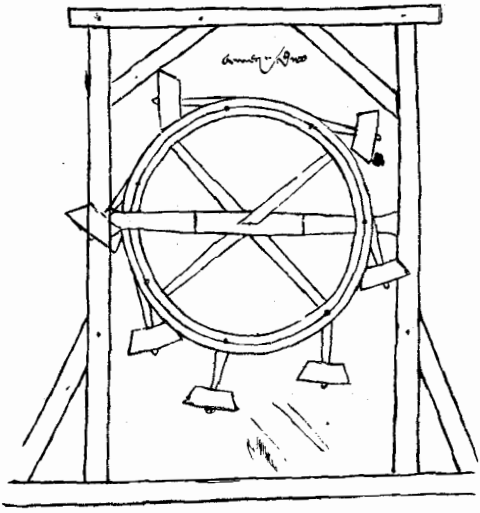
1- Pierre de Mericourt, *De Magnete*, 1269.

2- Peter the Pilgrim (de Mericourt)

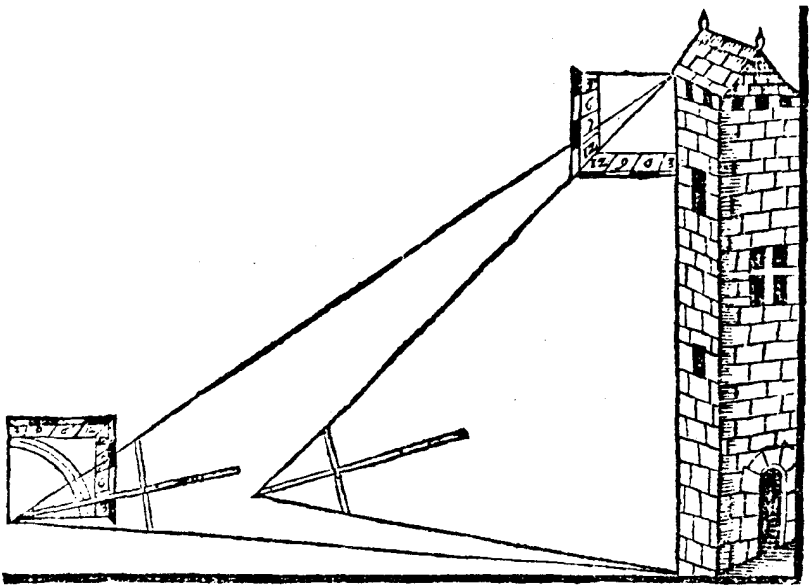
می‌آورد، و این عمل همواره ادامه می‌یابد. کسی تلاش نکرد عملاً این دستگاه را به کار بیندازد، و ثابت کند که ادامه‌ی کار آن ممکن نیست؛ بنابراین بهانه‌های دیگری برای توجیه عدم کارآیی آن می‌آوردند.

در شکل ۳۸ نوع ابتدایی‌تری از ماشین با حرکت دائم را می‌بینید که هنوز هم خیلی‌ها تصوّر می‌کنند می‌توان آن را ساخت و به کار انداخت. در این دستگاه جرم وزنه‌هایی که از یک طرف چرخ آویزان است، از جرم وزنه‌های آویخته بر طرف دیگر آن بیشتر است، و این امر چرخ را به گردش مدام وا می‌دارد. طرّاحی این دستگاه هم از ویلار دو اُنِکور است.

فکر تولید نیرو همواره در ذهن مردم زنده بوده است، اما این خیال در آنها قوّت گرفته بود که می‌توان از طریق برخی حیله‌ها و کلک‌ها به تولید آن پرداخت.



شکل ۳۸ـ حرکت دائم. با بهره‌گیری چند وزنه، چرخ ماشین به حرکت در می‌آید. ویلار دو اُنِکور، ۱۲۳۵.



شکل ۳۹ـ چگونگی یافتن ارتفاع برج از راه دور.

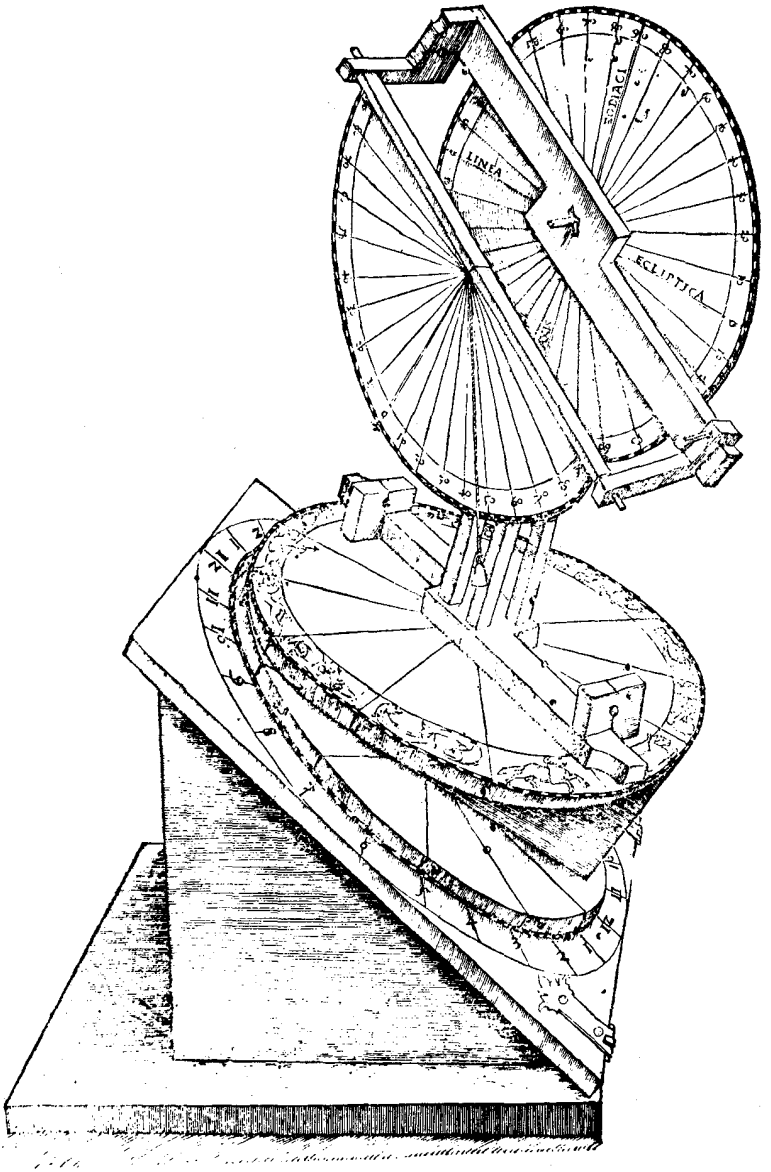
در شکل ۳۹ به جوانب نظری قضیه اندک توجهی مبذول شده است. در آن دوران برای اندازه‌گیری ارتفاع رُبع‌هایی مدرّج وجود داشت، امّا در سده‌ی یازدهم دستگاه ساده‌یی ابداع شد که آن را زاویه‌یاب می‌خواندند. شکل ۳۹ از کتابی گرفته شده است تحت عنوان *چگونه ارتفاع یک برج را از فاصله‌ی دور اندازه بگیریم*. در آن نمونه‌یی از زاویه‌یاب دیده می‌شود. برای کار با این وسیله، آن را آن قدر به عقب و جلو حرکت می‌دادند تا زاویه‌ی دلخواه به دست آید. بدین ترتیب دو نوع مشاهده با این وسیله صورت می‌گرفت، و درجات آن هم بر این مبنا تعیین شده بود. این زاویه‌یاب در قرن دوازدهم، تنها وسیله‌ی نوین دریانوردی بود. دریانوردان درباره‌ی آن شوخی و متلک جور می‌کردند. هنگامی که سکّاندار در حال اندازه‌گیری زاویه بود، و در لوله‌ی دستگاه به خورشید نگاه می‌کرد، می‌گفتند: «چکار می‌کنی؟ خورشید را هدف می‌گیری؟» و تا عصر ما که امواج رادیویی به صحنه وارد شده‌اند هنوز هم

شکل ۴۰ـ اسطرلاب چاسر

اندازه‌گیری زاویه را هدف‌گیری خورشید می‌نامند، زیرا زاویه‌یاب خیلی شبیه به کمان پولادی به نظر می‌آید.

در شکل ۴۰ مهم‌ترین ابزار کار منجّمین در فضای باز دیده می‌شود. این نمونه را از یکی از دستنوشته‌های چاسر[1] آورده‌ییم، که علاقه‌ی زیادی به این نوع وسایل داشت. این وسیله اُسطرلاب خوانده می‌شود، و در واقع نوعی ماشین حساب است که به یاری یکی دو رصد با آن می‌توان در هر نقطه‌ی مشخص از کره‌ی زمین، ساعات شبانه‌روز را مشخص کرد و در صورت آگاهی بر ساعات

۱ـ (شاعر انگلیسی، ۱۴۰۰ـ۱۳۴۲) Geoffrey Chaucer



شکل ۴۱ـ استفاده از دوایر مدّرج در مشاهدات نجومی.

شبانه‌روز، محل و موقعیّت یک نقطه را تعیین کرد. این تصویر یک روی اسطرلاب را نشان می‌دهد. اسطرلاب یک دستگاه اندازه‌گیری عمومی بود و چون اندازه‌ی آن از ۶۰ سانت بیشتر تجاوز نمی‌کرد، دقّت چندانی نداشت.

شکل ۴۱ ابزار پیچیده‌تری را که به سده‌های میانه تعلّق دارد، نشان می‌دهد. در این وسیله تلاش شده است که انواع دوایر مدرّج با هم ترکیب شوند. با همین دستگاه، انجام رصدهای مختلف به راحتی میسّر بود، در حالی که با اسطرلاب تنها اندازه‌گیری ارتفاع و سمت ممکن بود.

در این فصل تصویر شتابزده‌یی از اوضاع قرون وسطی را ارائه کردم و برای جمع‌بندی کلّ مطالب باید بگویم که مردم این دوران بسیاری از دستاوردهای یونانیان در زمینه‌ی علم فیزیک را از نابودی رهانیدند. در رشته‌های دیگر، علومی که دارای اهمیّت بودند، اصلاح شدند که از آن میان می‌توان به شیمی و تا حدّ زیادی به طب اشاره کرد. بهترین مطالبی که به دانش فیزیک افزوده شد، نورشناخت و مغناطیس بود. در فصل بعد به انقلابی خواهم پرداخت که به دنبال این کشفیّات روی داد، و شالوده‌ی آنچه را که امروز علم نوین می‌خوانیم، بنا نهاد.

۶

فیزیک خورشید مرکزی

در این فصل به بخشی ازتاریخ می‌پردازیم که به یک معنی مهم‌ترین بخشی است که به فیزیک امروزی مربوط می‌شود. امروز ما در عصر انقلاب علمی دوّم زندگی می‌کنیم، و درک وسعت و دامنه‌ی نخستین انقلاب علمی امری ضروری است. این دگرگونیِ علمی را از آن رو نخستین انقلابِ علمی می‌خوانیم که، با وجود سوابق درخشان یونانیان در کار ریاضیّات، آنچه که علم نوین خوانده می‌شود، در عهد یونانیان پا نگرفت. نخستین انقلاب علمی با رویدادهای عظیمی چون کشف ماهیّت منظومه‌ی شمسی، کشف جاذبه (گرانش) عمومی، خواص نور، خلأ و گازها رقم خورد؛ یعنی کشف اموری که تمام جوانب علم فیزیک امروزی را دربر می‌گیرد. از سوی دیگر بروز این انقلاب سخت به رویدادهای آن روزگار گره خورده است. این جنبش در اصل اروپایی بود، امّا در سرتاسر

جهان گسترش یافت. یکی از بزرگترین معضلات تاریخی که حل نشد، و احتمالاً امروز هم دسترسی به حل آن چشم‌انداز روشنی ندارد، آن است که پی ببریم چرا این انقلاب در فلان مکان و فلان زمان صورت گرفت. دلایل سلبی فراوانی برای این امر می‌توان ارائه کرد، می‌توان گفت چرا این انقلاب امکان نداشت در اوضاع و احوال دیگری روی دهد، امّا این دلایل را که البته لازمند نمی‌توان کافی دانست.

می‌دانیم که در نبود عوامل مشخّصی نظیر علاقه، پول، امکانات فنّی (مثلاً در زمینه‌ی ریاضیات)، نخستین انقلاب علمی تحقّق نمی‌یافت؛ امّا نمی‌دانیم چرا در دوران کلاسیک، در مناطقی چون چین و هند که ثروت آنها به اندازه‌ی اروپا بود، این اتفاق نیفتاد. در این سرزمین‌ها افراد بسیار باهوش و نابغه فراوان بودند، امّا این گام خاص را بر نداشتند. این واقعه، در اروپا با دو پدیده‌ی دیگر که در کتاب‌های تاریخ به آنها اشاره می‌شود، و پدیده‌ی سوّمی که معلوم نیست در تاریخ از آن یاد شده باشد، ارتباط داشت. این پدیده‌ها عبارتند از رنسانس و اصلاحات، که منجر به ایجاد موقعیّتی شد که بهتر از خود اصلاحات، زمینه‌ی انتقال را فراهم آورد. منظور از این موقعیّت، ظهور کاپیتالیسم (سرمایه‌داری) در اروپاست.

یکی از بزرگترین دستاوردهای انقلاب علمی، امری بود که می‌توان آن‌را انقلاب هنری خواند، و معمولاً با نام رنسانس از آن یاد می‌کنیم. هنگامی که به رنسانس فکر می‌کنیم، انقلاب در هنر، نقاشی، معماری، شیوه و آداب زندگی و شعر و نظایر آنها در ذهنمان تجسّم می‌یابند. مجموعه‌ی این تغییرات نشان‌دهنده‌ی تغییر در اقتصاد، صناعت و جهان‌بینی بود، که به نوبه‌ی خود، به صورت تغییراتی در مذهب و شناخت فیزیکی جهان جلوه کرد.

خوب، همه‌ی اینها با هم معنای خاصی پیدا می‌کنند. من نمی‌توانم در این مورد تحلیلی تاریخی ارائه کنم، و اصولا چنین کاری را صواب نمی‌دانم. امّا در عین حال لازم می‌بینم برای روشن کردن مقام هر جزء، زمینه‌ی کافی فراهم آورم. انقلاب علمی اساساً مرحله به مرحله صورت گرفت. به طور کلّی سه

مرحله‌ی عمده در این انقلاب قابل ذکر است: مرحله‌ی آمادگی که به طور قراردادی از سال ۱۴۵۳، یعنی سال سقوط قسطنطنیه و پایان استمرار فرهنگ یونانی، آغاز می‌شود؛ و در سال ۱۵۴۳، یعنی هنگامی که کپرنیک تصویر کهنه‌ی جهان را به خاک سپرد و زمین را از مقام مرکزیّت جهان خلع کرد، پایان می‌گیرد. این مرحله، اهمیّت حیاتی دارد، چون طی آن نظام کهن آزموده و نادرستیش روشن شد و خطوط اصلی نظام نو باز شناخته شد.

مرحله‌ی بعدی، یعنی مرحله‌ی اوج دگرگونی، رنسانسی بود که به دنبال آن دوران اصلاحات آغاز شد و تا سال ۱۶۲۰ ادامه یافت. *تیکو براهه* و *کپلر* در این مرحله، تصویر منظومه‌ی شمسی را تکمیل کردند. همین مرحله ابداع تلسکوپ و کشفیّات دینامیکی و نورشناختی گالیله را دربر می‌گیرد. قرن هفدهم که در میانه‌ی این دوران قرار می‌گیرد، در سال ۱۶۸۷ با انتشار کتاب *اصول*[1] اثر نیوتون شاخص می‌شود. این اثر ظاهراً همه چیز را به هم پیوند می‌داد، و به هیأت علامت‌ها و روابط درمی‌آورد و چنان سرنوشت‌ساز بود که در مسیر پیشرفت، نقطه‌ی توقّفی رقم زد؛ چون در آغاز انتشار کسی باور نمی‌کرد که بتوان چیزی بدان افزود، و در نتیجه تا حدود صد سال بعد کسی بر روی حرف نیوتون حرفی نزد. این‌ها ماجراهایی بودند که روی‌هم‌رفته نخستین انقلاب علمی را شکل دادند. در اینجا به جنبه‌های دیگر این انقلاب نمی‌پردازم، مثلاً جنبه‌های زیست‌شناسی آن، اگر چه رویدادهای مهمی چون کشف گردش خون توسّط *هاروی* را شامل می‌شود.

گام‌های اساسی در این دوران، گام‌هایی بود که جهان‌بینی یونانی را از میان برداشت. این امر نخست با پیشرفت کالبدشناسی و شناخت کار بدن آدمی، و سپس با مشاهدات و تجربیّاتی که چگونگی کار منظومه‌ی شمسی را روشن کرد، تحقّق یافت. تا پیش از این تاریخ، در مورد صور فلکی و اجرام

۱ـ منظور *اصول ریاضی فلسفه‌ی طبیعی* است.
Mathematical Principles of Natural Philosophy.

آسمانی تنها به مشاهده بسنده می‌شد، و کسی به فکر درک مکانیسم حرکت این اجسام مقدّس نمی‌افتاد. تنها توضیحی که در این باره ارائه می‌شد این بود که فرشتگان این اجرام را حرکت می‌دهند یا نوعی مکانیسم حرکت آسمانی در کار است که نمونه‌ی آن را در روی زمین نداریم.

با پیشرفت‌هایی که در این دوران روی داد، به ویژه با کارهای کپلر، تصویر مکانیک زمان به آسمان انتقال یافت و توسّط نیوتون تکمیل شد. این نکته دایره‌ی ناتمام بحث در مورد فیزیک را تمام کرد؛ چون چگونگی کار عالم موضوع اصلی علم فیزیک به حساب می‌آید. علّت این توجّه آن بود که حرکات آسمانی در آغاز مهم‌ترین رویداد عالم به شمار می‌رفت. سرنوشت کلّ حیات و وجود همه‌ی اشیا با حرکات آسمانی در پیوند بود، چون آسمان حاکم بر زمین بود. بنابراین، هر کس که دریابد کار آسمان چگونه است، همه‌ی امور مربوط به زمین را در خواهد یافت.

با درک آثار نیوتون معلوم شد که آسمان بر زمین فرمان نمی‌راند و مسئله آنقدرها هم که مشکل می‌نمود، مشکل نیست، و حلّ آن هم آنقدرها اهمیّت ندارد. آنچه اهمیّت داشت، شیوه‌ها و وسایل ورود به مسئله بود. علم جدید وسیله‌یی برای حرکت به سوی حل این مسئله بود، و این علم را نیوتون یا بهتر بگوییم نیوتون و گالیله، با هم کشف کردند. گالیله فیزیک را دو علم جدید می‌دانست: یکی دینامیک و دیگری استاتیک. این دو دانشمند ریاضیّات لازم، یعنی معادلات دیفرانسیل را هم کشف کردند که از آن روزگار تاکنون پایه‌ی اصلی و کلی فیزیک نظری را تشکیل می‌دهد. این شاخه‌ی علم، موضوع اصلی کشف نیوتون و گالیله نبود، بلکه وسیله‌یی برای حل مسئله‌ی ساختار عالم به شمار می‌رفت، امّا البتّه در عمل کاربردهای دیگری هم یافت.

رویش نخستین جوانه‌های انقلاب صنعتی با پیدایش ماشین بخار و مطالعه‌ی خلأ در همین مرحله‌ی دوم آغاز شد. در جدول ۱ (صفحه‌ی ۳۶)، صورت کشفیات کپرنیک، گالیله، کپلر، و نیوتون را آورده‌ییم؛ امّا در اینجا باید از یک شخصیّت دیگر یاد کنیم که خالق جزیی از تصویر کلّی، و درست‌تر

بگوییم، آغاز گر تصویر کلی بود؛ نام وی *کلمب* و سال آغاز نقش وی ۱۴۹۲ است.

دگرگونی در اروپا

اینک کمی به عقب باز گردیم، و به وضع و حال اروپا در این دوران بیندیشیم. عبارت «به وضع و حال اروپا بیندیشیم» را از آن رو به کار می‌برم که دگرگونی‌های اروپا در این مقطع، به دلایل کاملاً تاریخی و محتاج کاوش و بررسی، در هیچ جای دیگر اتفاق نیفتاد. جهان اسلام مقهور استیلای مغولان شد؛ چون مغولستان به سرزمین آنها بسیار نزدیک‌تر از جهان مسیحیّت بود. هنگامی که مغولان به جهان مسیحیت رسیدند، شور و اشتیاقشان به جهانگشایی فرو نشسته بود و در سال ۱۲۸۰ تقریباً به همان جاهایی که آرزو داشتند، رسیده بودند. این قوم تنها توانست روزنه‌یی در دیوار امپراتوری ژرمن باز کند، و نه بیشتر؛ در حالی که مردم بغداد را قتل عام و مشرق زمین را «با خاک یکسان» کرده بود. هندوستان و چین و آسیای مرکزی پایمال شد. دنیای شرق، جز مصر که خارج از دسترس بود، چنان درنوردیده شد که دیگر امید هیچ گونه پیشرفت بزرگ علمی از آنجا نمی‌رفت. مغول‌ها جای خود را به ترک‌ها دادند و ترک‌ها نتوانستند در آنچه به ارث بردند اصلاح چندانی صورت دهند، چون ایجاد بهبود، منحصر به خلاصی از جنگ نبود. برداشت کلّی مردم از زندگی دگرگون شده بود و این دگرگونی پیش از آنکه در قرن دوازدهم ترک‌های عثمانی در خاور نزدیک سر بردارند، روی داده بود. اندیشه‌ی ترقی، و اندیشه‌ی کاوش چیزهای نو، به نحوی فعّال سر کوب و فضا برای تاخت و تاز تحجّر مذهبی گشوده شد.

در این اثنا، غرب شاهد رویدادهای عظیمی بود. غرب، سرزمینی عقب‌افتاده و توسعه‌نیافته بود، امّا در این هنگام، دست اندرکار بود که تمدّنی از آن خود بنیاد گذارد. بریتانیا عقب‌مانده‌ترین جزء دنیای غرب به‌شمار می‌آمد، و هرگز تمدّن قابل توجهی در آن شکل نگرفته بود. این ناحیه، در حاشیه‌ی امپراتوری

روم قرار داشت و کمتر از نقاط دیگر از تمدّن رومی بهره‌مند شد. امّا در عوض، مانند پاره‌یی از سرزمین‌های کم ارتفاع[1]، یعنی هلند و فلاندر از مزیّت دستیابی به دریا برخوردار بود.

حال به فرایندی می‌پردازم که به استفاده از دریا برای بازرگانی و تغذیه از ماهی ارتباط می‌یابد. یک رویداد کوچک باعث انقلابی بزرگ شد: تغییر شوری آب دریای بالتیک باعث مهاجرت شاه ماهی‌های موجود در این دریا، به دریای شمال شد و برای مردم بریتانیا و سرزمین‌های کم‌ارتفاع فرصت بهره‌جویی از این نعمت فراهم آمد. این امر، دریانوردی را در این ناحیه رونق داد. اگر به یاد داشته باشید، در فصل قبل دریانوردی را حوزه‌یی دانستم که علم مستقیماً در آن به کار گرفته می‌شد، و در این بیان بیشتر دریانوردی در پهنه‌ی اقیانوس‌ها را مد نظر داشتم، تا کشتی‌رانی در دریاهای مسدودی چون بالتیک و شمال و مدیترانه. بنابراین دریانوردی، کلید یا سوراخ کلید کاربرد علم بود.

در این میان، مشخّصه‌ی نوع اقتصاد موجود در دریای شمال در این دوران، اقتصاد معیشتی بود. نظام تیول‌داری از مزارعی تشکیل می‌شد که همه‌ی نیازها، به استثنای آهن و نمک، را برآورده می‌کرد. در سده‌های سیزدهم و چهاردهم این املاک به علل مختلف از جمله مرگ سیاه[2]، دچار کمبود نیروی انسانی شد. مساحت زمین قابل کشت به نسبت کشتکاران زیاد بود، و بیچارگی و گرفتاری چندان فراوان بود که نیروی انسانی موجود از پس انجام آنها برنمی‌آمد. این اوضاع و احوال درست عکس اوضاع و احوالی بود که در دوران کلاسیک حکمفرما بود. بدین ترتیب تمایلی در جهت انجام کارها به طور مکانیکی ایجاد شد. قبلاً گفتم که به روایت *کتاب ثبت اسناد انگلیس* در حدود ۵۹۰۰ آسیاب در انگلستان کار می‌کرد، که علاوه بر تولید آرد

---

۱ ـ منظور سرزمین‌هایی است که امروز هلند، بلژیک، و لوگزامبورگ را در بر می‌گیرد ـ م.

۲ ـ شیوع طاعون در نیمه‌ی قرن پانزدهم در اروپا، بین یک سوّم تا نیمی از جمعیّت را از بین برد. ـ م.

به‌کار عمل آوردن پارچه هم می‌پرداختند.

عنصر دیگری که اهمیّت داشت، بازرگانی بود. در مراحل نخست، تجارت موادّ خام به سبب کمی سود حاصل از مبادله‌ی آن رواجی نداشت. ابتدا تنها کمی غلّه معامله می‌شد، ولی در زمینه‌ی دادوستد پارچه، بازرگانی پررونق و پیشرفته‌یی رواج یافت. مبادله‌ی پارچه که از ایتالیا آغاز شد، به تدریج در سرزمین‌های کم ارتفاع، و پس از آن در بریتانیا گسترش یافت. در بریتانیا تا سال ۱۳۵۰ کسی بر فن بافندگی ظریف احاطه نداشت، و اهالی بریتانیا نیروی انسانی لازم برای بافتن و عمل آوردن پارچه و انجام دیگر کارها را از فلاندر وارد می‌کردند. در انگلستان پارچه‌های زمختی تولید می‌شد. پارچه‌های ظریف، همراهِ شکوه آخرین سال‌های سده‌های میانه، از زادگاه علم جدید، یعنی فلورانس، به انگلستان صادر می‌شد. فلورانس، از لحاظ عمل آوردنِ پشم، نظیر شهر لیدز بود. خاندان‌های بزرگ فلورانسی، نظیر خاندان مدیچی، با تجارت پشم به ثروت و قدرت رسیدند. این خاندان‌ها پشم خام را از انگلستان وارد می‌کردند و با حلّاجی و رنگ آمیزی و جلا دادن، آن را به پشم ظریف و پرورده تبدیل می‌کردند، و باز به انگلیسی‌ها می‌فروختند. درست همانطور که بعدها ما پنبه‌ی خام هندوستان را پس از به عمل آوردن، بار دیگر به هندی‌ها می‌فروختیم. نکته‌ی قابل ذکر آن است که سرمایه‌ی کافی برای تحقّق انقلاب صنعتی در کشورهایی انباشته می‌شد که در کار مبادله‌ی منسوجات دست داشتند.

انقلاب کشاورزی

یکی دیگر از جنبه‌های این دوران، که کمتر مورد توجّه واقع شده و شناخت آن تازه آغاز شده است، فرآیندی است که انقلاب کشاورزی خوانده می‌شود. این دگرگونی، بزرگترین جنبش آن عصر بود و جزو جنبش‌هایی به‌شمار می‌رود که به چشم نمی‌آیند، ولی بسیار عظیم هستند. انقلاب کشاورزی اساساً بر پایه‌ی نگهداری حیوانات زنده در فصل زمستان و استفاده از مدفوع آنها به عنوان کود مبتنی بود. معمولاً ساکنین کشورهای

شکل ۴۲ـ چکش‌کاری ورقه‌های برنج: *دربارهٔ فلزگدازی* اثر بیرینگوتچو،[1] ونیز، ۱۵۴۰.

شمالی به اندازه‌ی مصرف غذایی خود در فصل زمستان، دام می‌کُشتند و تا آن مقدار که نمک در دسترس داشتند، نمک سود می‌کردند و با رسیدن فصل بهار که کیسه‌ها ته می‌کشید، یک روزه‌گیری تمام و کمال و مذهبی آغاز می‌شد. شروع انقلاب کشاورزی از شرق بود. شیوه‌ی آبیاری از سوری‌ها، و استفاده از یونجه، به عنوان علیق، از ایتالیایی‌ها آموخته شد. انقلاب کشاورزی اروپا در حدود سال ۱۴۷۰ در لُمباردی آغاز شد. درآمد ملّی لُمباردی، یا دقیق‌تر بگوییم درآمد ملّی ولایت میلان، در آن ایّام به تنهایی برابر با مجموع درآمدهای ملّی انگلستان و فرانسه بود. ثروت این ناحیّه حاصل ترکیبی بود از توالی مداوم موادّ غذایی، کثرت نیروی انسانی، و توفیق در مبادله‌ی پشم و فلز که صناعت آن در ابعاد وسیع مجدّداً شروع شده بود.

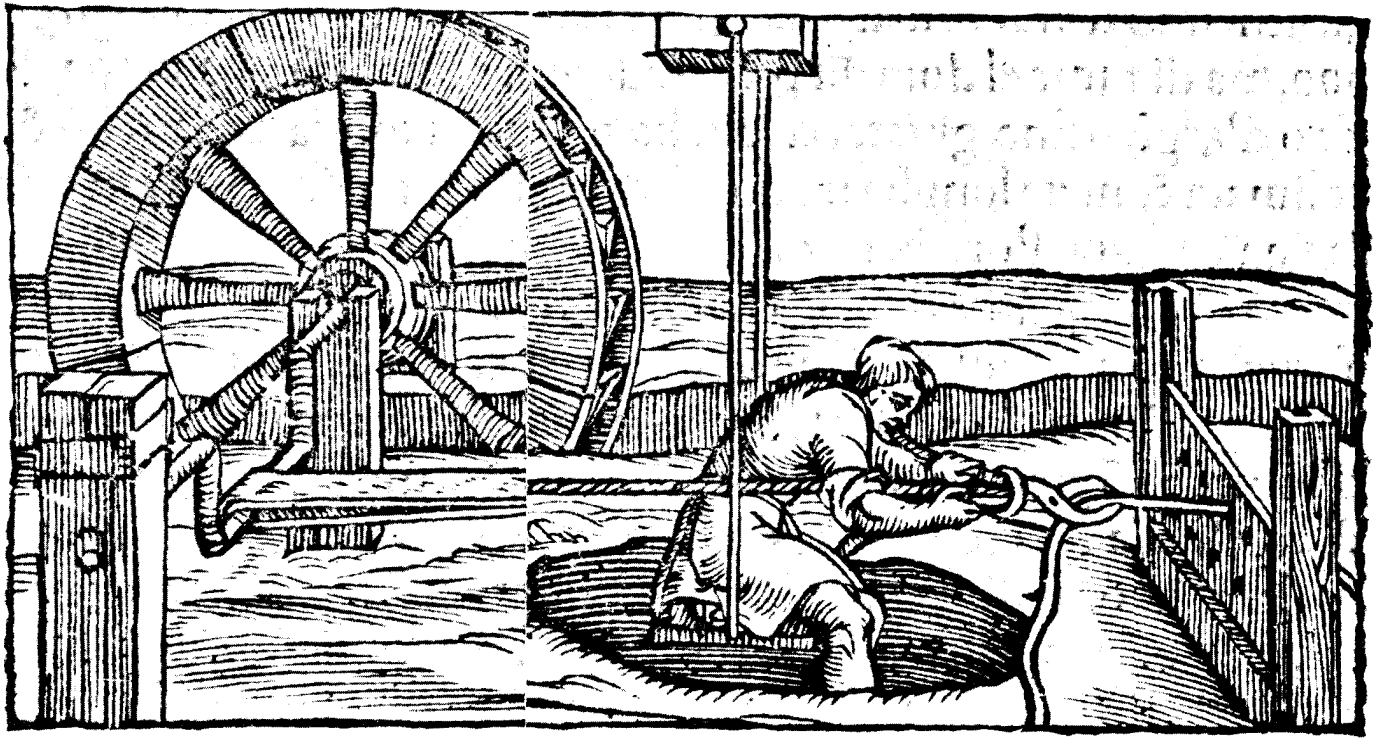
1- Biringuccio, *De la Pirotechnia.*

نکته‌ی مهم در مورد فلز آن است که نمی‌توان آن را در همه جا به‌دست آورد، و نقطه‌ی ضعف ایتالیا که نمی‌گذاشت این سرزمین به قدرت غالب اروپا تبدیل شود، فقدان معادن فلز بود. غالباً در معادن فلز، بریتانیا، اتریش، استیریا[1]، وتا حدی هم اسپانیا واقع بود. در این مراحل آغازین، آلمان و اسپانیا به‌علّت برخورداری از نعمت معادن فلز به قدرت غالب تبدیل شدند؛ و بعدها این نقش به سوئد و روسیه رسید. فلزکاری، مهارت مکانیکی را تا حدّ والایی ارتقا بخشیدو این نکته‌ی اساسی در آن دوران بر همگان روشن شده بود. در سال ۱۵۵۶، کتابی به قلم *گئورگ آگری کولا*[2] منتشر شد. این کتاب نخستین دستورالعمل علمی ـ فنی در رشته‌ی معدن بود، که علاوه بر فصل‌هایی که در آن به شیوه‌ی کندن و آماده کردن معدن، استخراج سنگ معدن، و کار بسیار دشوار کشیدن آب معدن اختصاص یافته بود، فصولی هم برای توضیح چگونگی کار بر روی فلزات و تبدیل آنها به اشیای مفید در آن گنجانیده شده بود. این رساله‌ی جامع بر پیشرفت و تکامل دستگاه‌های مکانیکی تأثیر دامنه‌داری گذاشت. در نگاه اوّل، شکل ۴۲ چندان پیچیده به نظر نمی‌رسد، ولی چکّش کاری و ساختن ورقه‌های برنجی را نشان می‌دهد. این صنعت در نورنبرگ رونق داشت، امّا تا حدود سال ۱۵۸۵ که ملکه الیزابت اجازه‌ی تأسیس نخستین مؤسّسه‌ی تولید ورق برنجی را صادر کرد، در انگلستان از تولید آن خبری نبود. در نورنبرگ پس از تولید ورقه‌های برنجی به ساختن ابزار علمی و نقشه‌های مختلف جغرافیایی با آنها می‌پرداختند، و این شهر به سبب مهارت در ساختن نقشه‌های جغرافیایی مرغوب با صفحات برنجی، به صورت مرکز جغرافیایی جهان در آمده بود. در آن دوران ورق آهن را تنها در ساختن زره به کار می‌بردند.

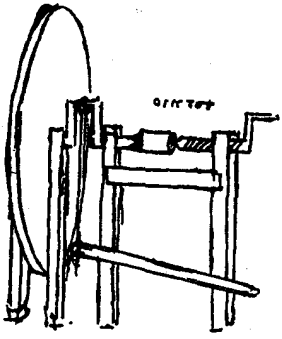
شکل ۴۳ بسیار جالب است. در این دستگاه از نیروی آب برای تولید

1- Styria

2- George Agricola



شکل ۴۳ـ دستگاه مفتول سازی. چرخ آبی یک میل‌لنگ را می‌چرخاند و در هر نیم دور یک بار مفتول را از سوراخ صفحه‌ی بخصوص بیرون می‌کشد.
درباره‌ی فلز گدازی ، از بیرینگوچو، ۱۵۴۰.

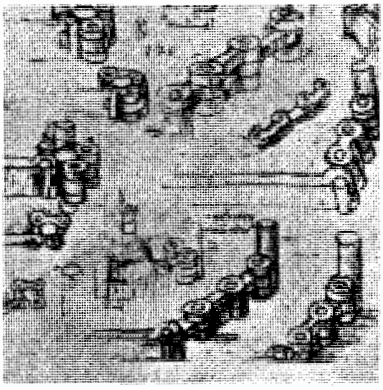


شکل ٤٤ـ ماشین با چرخ طیار و دسته‌ی هندلی از: *الواح آتلانتیکی*، لئوناردو داوینچی[1]

مفتول و سیم استفاده می‌شود و تنها به یک کارگر نیاز دارد. نیروی لازم به‌وسیله‌ی چرخ آبی بزرگ تأمین می‌شود و کارگر با گاز انبری که در دست دارد، در حالی که نوک سیم یا مفتول را با آن گرفته است، روی سکویی نشسته است. کارگر منتظر می‌نشیند تا بازوی میل‌لنگ متّصل به محور چرخ به سمت جلو (راست) حرکت کند. وی در پایان این حرکت، مفتول یا سیم را با گازانبر محکم می‌گیرد. گازانبر با طناب به بازوی میل‌لنگ متصل است و هنگامی که این بازو به عقب (چپ) حرکت می‌کند، مفتول را از میان سوراخ‌هایی که در یک صفحه ایجاد شده است به بیرون می‌کشد. این روش قدیمی هنوز هم مورد استفاده است. مفتول وسیله‌ی کمکی گرانبهایی است که به ویژه در کار شانه‌زدن پشم بسیار مفید است. در شکل ٤٣ به دو قسمت توجّه کنید: یکی چرخ آبی و دیگری دسته‌ی هندلی که برای انجام کار لازم و ساختن چنین دسته‌یی مستلزم مهارت آهنگری است.

در شکل ٤٤ هم دسته‌ی هندلی را می‌بینید؛ و این یکی توسّط یک استاد بزرگ طراحی شده است. لئوناردو داوینچی در این تصویر، اجزای یک دستگاه خَرّاطی ماشین را که چرخ طیّار و دسته‌ی هندلی دارد نشان داده است. این دستگاه با یک رکاب پایی به کار می‌افتد. خود من برخی از کارهای اولیه‌ی علمی خود را به کمک چرخی انجام می‌دادم که به خوبی این دستگاه کار

1- Leonardo da Vinci, *Codice Atlantico*



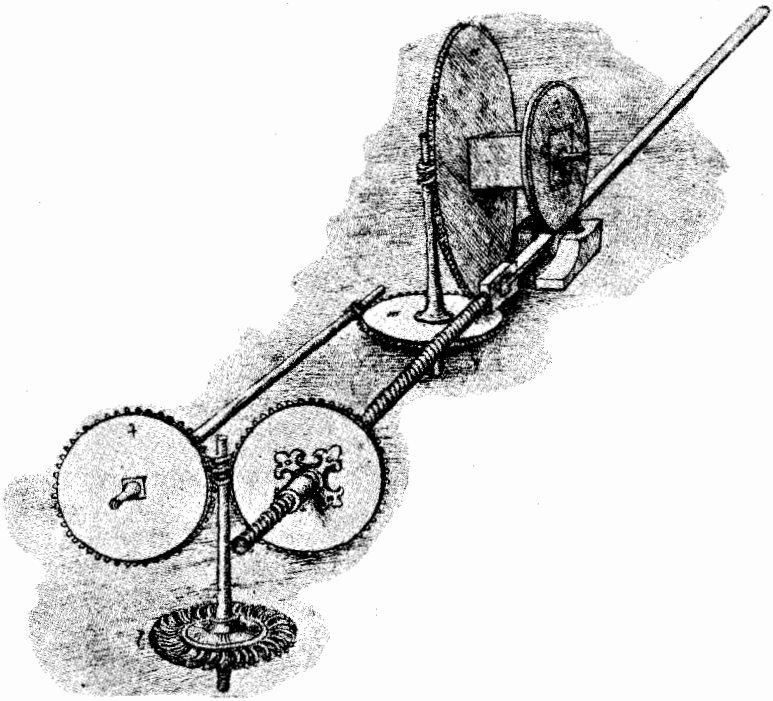
شکل ۴۵ـ زنجیر نقاله‌ی دوبل؛ از *الواح آتلانتیکی*، لئوناردو داوینچی

نمی‌کرد، چون فاقد چرخ طیار بود.

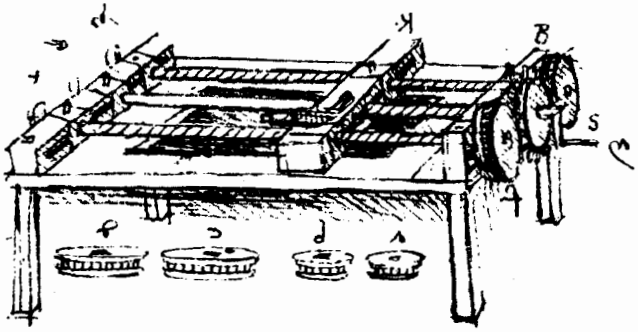
حالا دیگر به سرآغاز عصر دستگاه‌های مکانیکی رسیده‌ییم، و لئوناردو داوینچی تصاویر فراوانی از این عصر برای ما به یادگار نهاده است. در شکل ۴۵ وسیله‌ی آشنایی به چشم می‌خورد. این وسیله زنجیر نقّاله است که البته برای نخستین بار عرضه نشده است. *نیدهام*[1] نشان داده است که چینی‌ها در حدود ۴۰۰ سال پیش‌تر از لئوناردو، ساعت زیبایی ساخته بودند که با زنجیری مشابه زنجیر شکل ۴۵ کار می‌کرده است. بنابراین نباید تصوّر کرد که تمام دستگاه‌هایی که تصویر آنها در آثار لئوناردو دیده می‌شود، اختراع خود وی بوده است. این استاد علم و هنر، هر چه را که عیناً می‌دید یا به تصوّر در می‌آورد، بر کاغذ نقش می‌زد.

در شکل ۴۶ چرخ دنده‌های نسبتاً پیچیده‌تری را می‌بینید که با توربین آبی کار می‌کنند. در اینجا، به جای چرخ آبی سنّتی که محور افقی داشت، توربین آبی را با محور قائم می‌بینید. در این دستگاه دو جزءِ اساسی دیده می‌شود؛ یکی غلتک که جزءِ چرخاننده به حساب می‌آید، و دیگری جزءِ پیش‌برنده که شامل

1- J. Needham *et al.*, *Heavenly Clockwork: The Great Astronomical Clocks of Medieval China*, Cambridge, 1960



شکل ٤٦ـ غلتک برای فلز کاری؛ *الواح آتلانتیکی*، لئوناردو داوینچی.



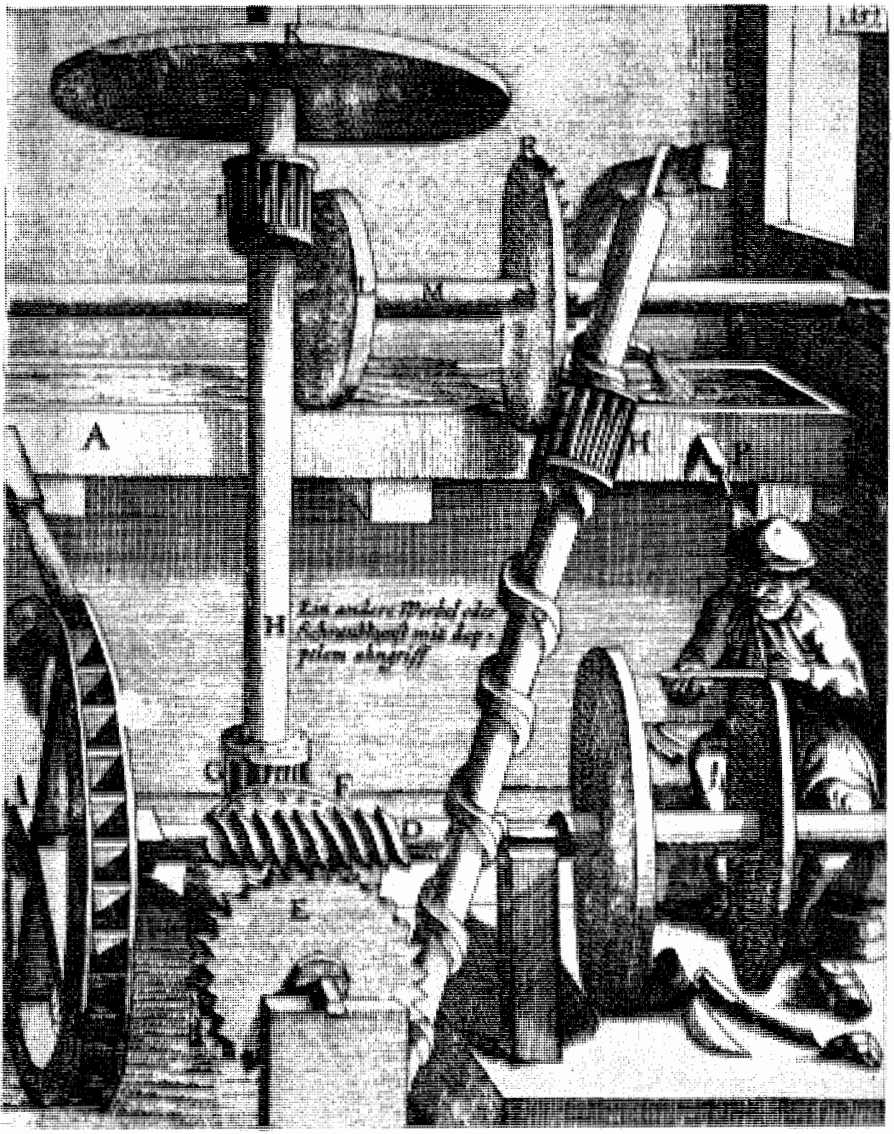
شکل ٤٧ـ طرح یک پیچ تراش؛ *الواح آتلانتیکی*، لئوناردو داوینچی.

یک چرخ و یک میله‌ی پیچ‌دار دراز است و کار را در هر چرخش یک گام جلوتر می‌برد. برای تولید چنین دستگاهی، باید مهارت زیادی در کاربرد و ساخت ماشین‌های دقیق داشت.

در شکل ۴۷ که طرحی ابتدایی است، یک ماشین پیچ‌تراش کامل با رزوه‌های مختلف دیده می‌شود. با تغییر نسبت رزوه‌ها، اندازه‌ی گام رزوه‌ها تغییر می‌کند. تیغه‌ی برش دستگاه با حرف I مشخص شده است. دو پیچ مادر که کار را به جلو می‌کشند در دو طرف، و میله‌یی که باید به صورت پیچ بریده شود، در وسط دیده می‌شود.

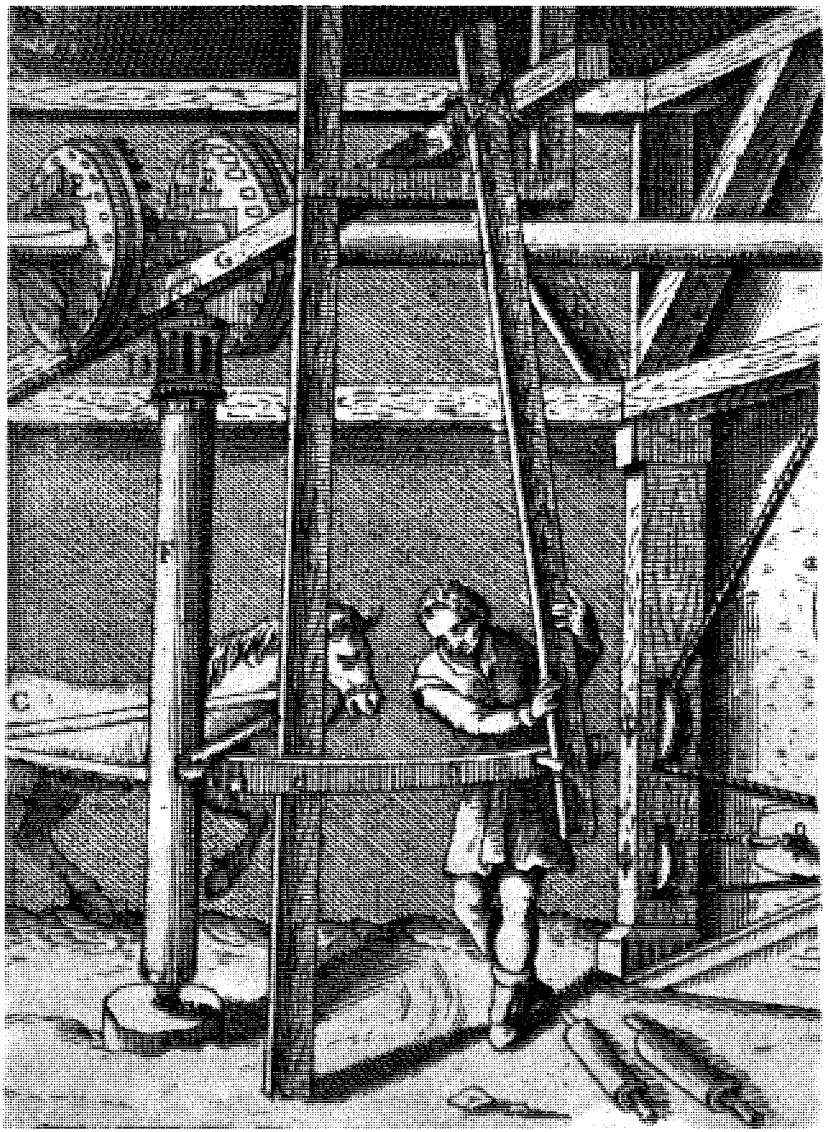
شکل ۴۸ هم جالب توجه است، چون براساس یک ادّعای واهی ترسیم شده است. در آن روزها بازار طراحی ماشین‌های با حرکت دائم داغ بود. دستگاهی که در شکل ۴۸ دیده می‌شود، ماشینی است که برای تیز کردن کارد و سلاح پیش‌بینی شده است. یک چرخ آبی، هم نیروی محرّکه‌ی دستگاه را تأمین می‌کند و هم یک پیچ ارشمیدس را به کار می‌اندازد؛ این پیچ نیز به نوبه‌ی خود آب را بالا می‌برد و در منبع می‌ریزد و این آب هنگام سرازیر شدن، چرخ را می‌چرخاند. طرح، بسیار زیبا و استادانه است امّا هیچ کس نتوانسته است عملاً چنین دستگاهی را به کار اندازد! نکته‌ی مهم این است که در این تصویر چرخ دنده‌های متعدّدی می‌بینیم که تولید آنها مستلزم گداختن و شکل دادن فلزات است. کاربرد این نوع چرخ‌دنده تازگی ندارد، چون در یونان باستان هم به کار می‌رفت و بعدها مورد استفاده‌ی سازندگان آسیاب واقع شد. آسیاب‌سازها به اطراف و اکناف مملکت سفر می‌کردند، و علاوه بر ساختن آسیاب به ساختن سد و تنوره و راه آب می‌پرداختند.

در شکل ۴۹، نمونه جالبی از دستگاه‌نورد نیمه مکانیزه را می‌بینیم که دارای محور قائم است، و با نیروی اسب به کار می‌افتد. بر روی قطعه کار بار سنگینی گذاشته‌اند، ورقه‌ی واقعی فلز در زیر غلتک‌ها قرار گرفته است. جعبه دنده‌یی، که به‌وسیله‌ی کارگر سمت چپ به کار



شکل ۴۸ـ چرخِ آب، پیچ ارشمیدس را می‌گرداند و پیچ، آبی را بالا می‌برد که باز، چرخ را می‌چرخاند. از کتاب Machinarum Novum Theatrum، نوشته‌ی گئورگ آندره آس‌بوکلر Georg Andreas Böcker, نورنبرگ، ۱۶۷۳.

شکل ۴۹ـ دستگاه‌نورد نیمه‌مکانیزه از کتاب Machine et Edificii



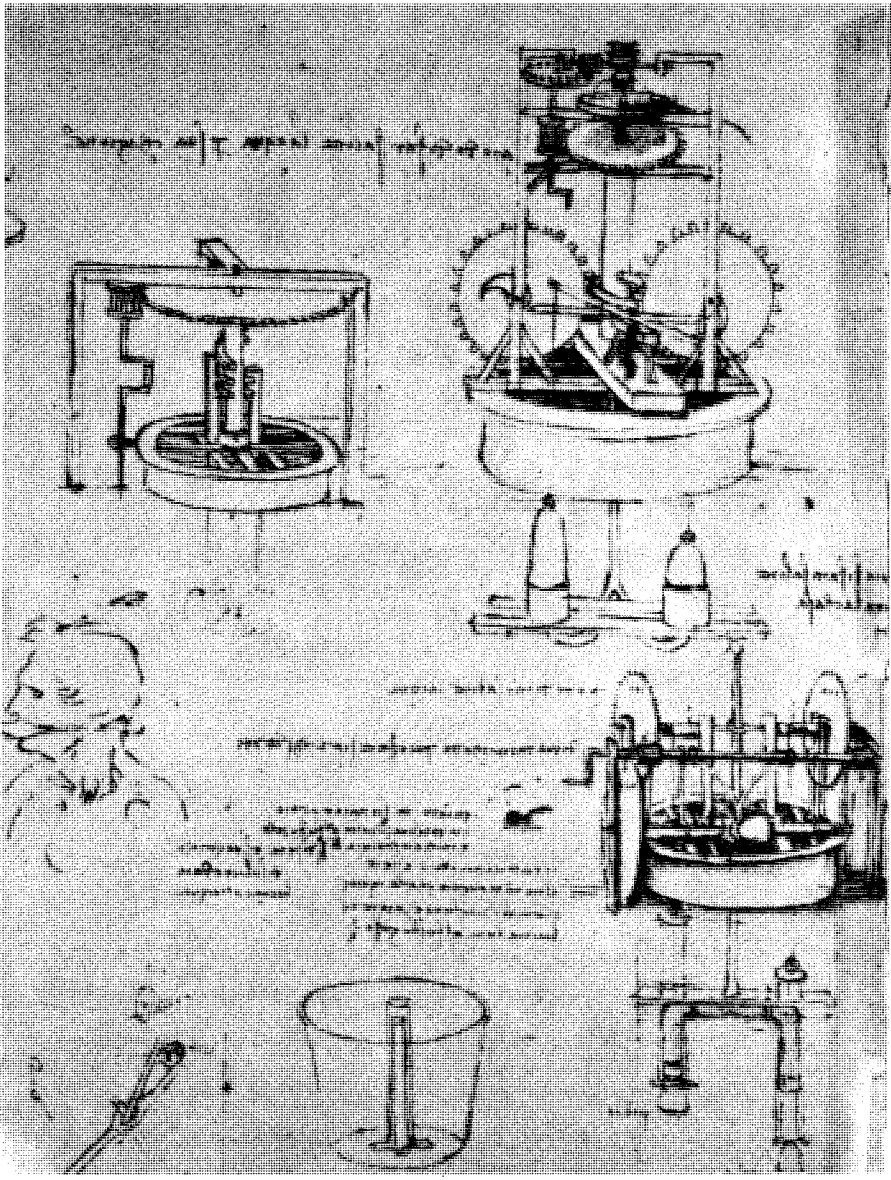
Nuova Teafro d نوشته‌ی زونکا zonca، پادوآ، ۱۱۶۰۷

می‌افتد، در بالای سر او دیده می‌شود. به‌وسیله‌ی محور نیمه قائم، برحسب نیاز یک سری از دنده‌ها را با هم درگیر می‌کند. این سازوکار برگردان حرکت، برای دستگاه‌های نسبتاً ساده بسیار رایج بود و حتّی دردستگاه‌هایی که تنها با یک اسب به کار می‌افتاد، قدرت بسیار داشت.

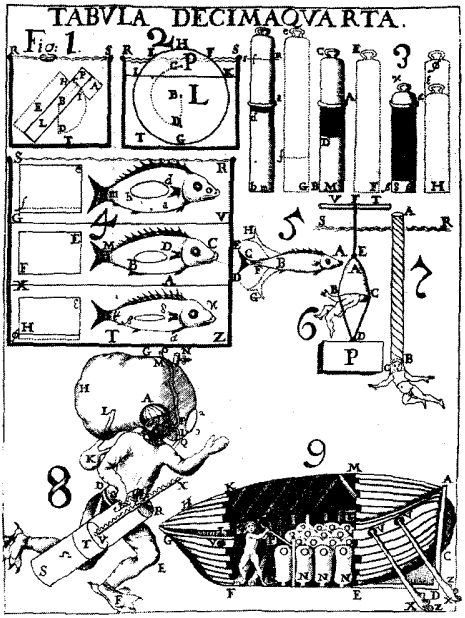
در شکل ۵۰ با سازوکار دیگری آشنا می‌شویم که در آن روزگار بسیار رایج بود. از این سازوکار در بالا کشیدن آب استفاده می‌شد. یونانیان و رومیان تلمبه‌های نسبتاً پیچیده‌یی داشتند؛ اما پیچیدگی آنها به پای تلمبه‌هایی که در این طرح‌ها دیده می‌شوند، نمی‌رسید. این طرح‌ها را لئوناردو داوینچی کشیده است و چند نوع تلمبه را نشان می‌دهند که تلمبه‌های دو بهره‌یی مضاعف‌اند. بیشتر این وسایل، به ویژه در نواحی اطراف مدیترانه برای تفریح و تزیین ساخته می‌شد، و با استفاده از آنها فواره‌های زیبا و ظریفی برای کاخ‌های شاهزادگان ایجاد می‌کردند. پیداست که در این مورد هزینه‌ی دستگاه‌ها دارای اهمیّت نیست. البتّه، بعداً خواهیم دید که کاربرد این دستگاه‌ها به تفریح و تزیین منحصر نماند. توجّه داشته باشید که در دستگاه‌های طرح شده شکل ۵۰ از مجموعه‌ی چرخ دنده و دسته‌ی هندلی استفاده شده است. اما خلاصه بگوییم این دو، سازوکار خیلی کارآمد نداشتند، و با دست کار می‌کردند.

شکل ۵۱، برای علاقه‌مندان امروزی بسیار جالب است. در این طرح‌ها می‌بینیم که چگونه می‌توان در زیر آب راه رفت و نفس کشید. در این طرح، لوله‌ی هوا دقیقاً به شکل امروزی آن وجود ندارد، بلکه نوع ساده‌تر آن است که حتّیٰ ما نیز در کودکی از آن استفاده می‌کردیم. البته وسیله‌ی ناجوری بود، چون در حین غواصی، بچه‌های دیگر، سرِ لوله را زیر آب می‌کردند. این نحوه‌ی غواصی، هرچه که بود، با کشتیرانی آن زمان جفت و جور بود.

شکل ۵۲ عملی‌تر است: این طرح از کتاب آگری‌کولا اقتباس شده است. در این تصویر، چرخ و زنجیری با دنده‌های معکوس‌ساز دیده می‌شود که برای بیرون کشیدن آب از معادن به کار می‌رفته است. معمولاً در معادن به اندازه‌ی ده برابر موادّ معدنی، آب جمع می‌شود؛ بیرون کشیدن این همه آب

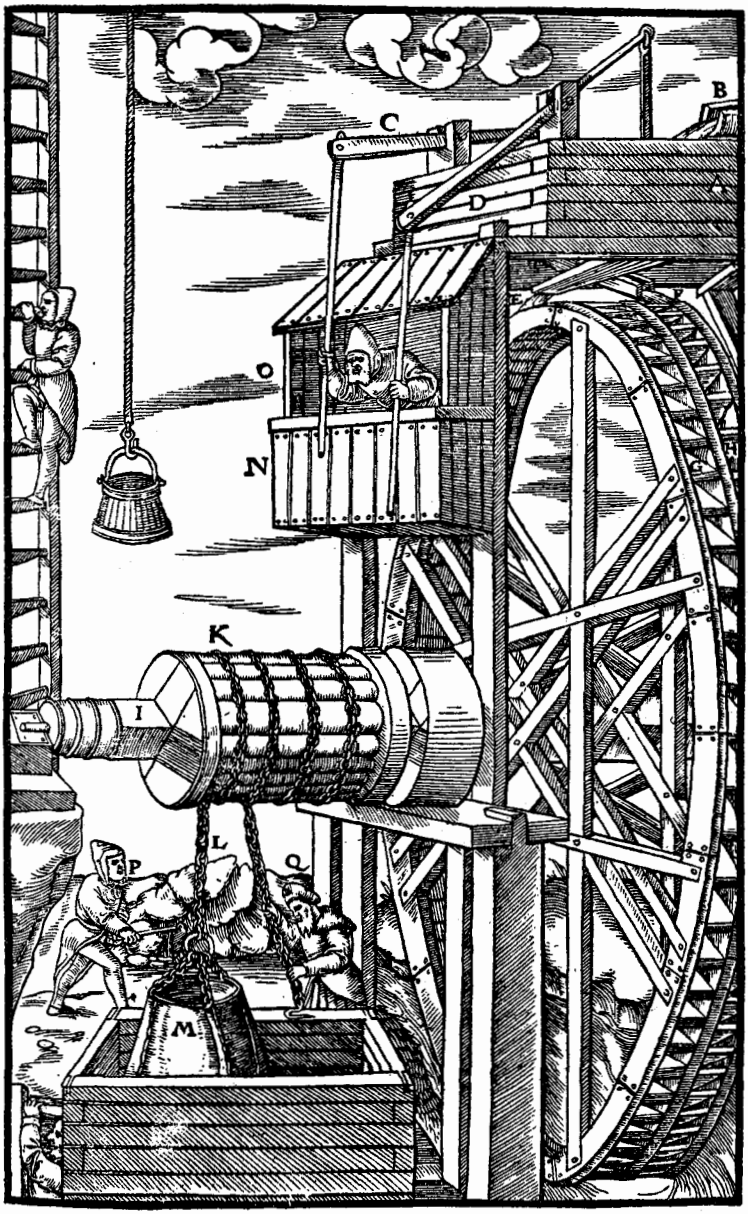


شکل ۵۰ـ طرح‌هایی که لئوناردو داوینچی از تلمبه‌های مضاعف یا دوبهره‌یی کشیده است.



شکل ۵۱ـ چگونه می‌توان در زیر آب حرکت کرد و نفس کشید؛ از ج. ا. بورلی، *در باب حرکت جاندلران*.

با همین دستگاه‌های ساده میسّر بود. آب را یک چرخ و زنجیر به بالا می‌آورد؛ این چرخ و زنجیر با عمل مستقیم یک چرخابِ رو آبی کار می‌کرد. این چرخاب به دو قسمت تقسیم می‌شد. به فراخور حرکاتی که کارگر ایستاده در اطاقک بالایی به دسته‌ی جرثقال می‌داد، می‌شد هریک از نیمه‌های چرخاب را در جهت مخالف به چرخش در آورد.فرمان استفاده از هر دسته را مرد دیگری صادر می‌کرد. یک چرخ و زنجیر دیگر هم مواد معدنی را بالا می‌کشید. همان طور که می‌بینید دستگاه‌هایی که امروز ما برای این منظورها به‌کار می‌بریم چیز تازه‌یی دربر ندارد، و در عصر آگری‌کولا از همه‌ی آنها استفاده می‌شده است.



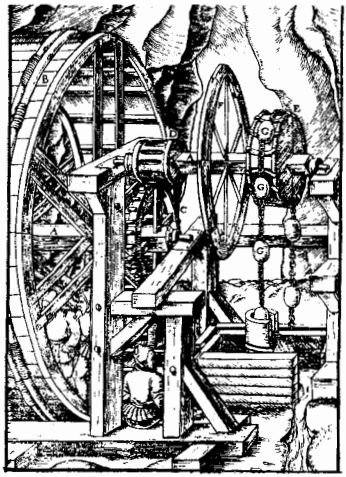
شکل ۵۲ـ چرخ آبکش. از آگری کولا، درباره‌ی فلز، بال، ۱۵۵۶ ۲.

تصادفاً نواحی معدنی آلمان برای استفاده از این گونه دستگاه‌ها مناسب بود، چون زمین آن مناطق سخت، و آب و چوب هم فراوان بود. یکی از مشکلات مردم دوران باستان وجود مناطقی بود که به علّت فقدان آب‌های جاری دائم، خشک بود. رومی‌ها در اسپانیا بهترین معادن را ایجاد کردند و در آن توربین‌های پیچیده با انحناهای بسیار ظریف به کار بردند. رومی‌ها بر همه‌ی دقایق ساختمان دستگاه‌ها اِشراف داشتند، اما باز هم با اشکالات زیادی روبه‌رو می‌شدند. خالی کردن آب معدن به کمک بیست پیچ ارشمیدس که هر کدام از آنها به‌یاری توربینی به گردش در می‌آمد که در جای دیگر کار می‌کرد، بسیار دشوارتر از روش‌های معمول امروزی بوده است.

در شکل ۵۳ شیوه‌ی دیگری برای انجام همین عمل دیده می‌شود. در اینجا با چرخ و طنابی سر و کار داریم که معدنچیان آن را به کار می‌اندازند. در آن دوران معدنچیان دیگر برده نبودند. بلکه آدم‌های آزادی بودند که دستمزدهای کلانی می‌گرفتند و کسی نمی‌توانست از پرداخت دستمزد کافی به آنها خودداری ورزد؛ چون هر یک از آنها می‌توانست به آسانی یک معدن خاص برای خود ایجاد کند. در *کورن‌وال*[1] هر کس که به عنوان «معدنچی آزاد» شناخته می‌شد، می‌توانست کلنگ بردارد و هر جا را که دلش خواست در جستجوی قلع بِکَنَد و قلع استخراج‌شده را برای خود نگه دارد، به شرط آنکه سهم شاه را بپردازد.

تا اینجا، به زمینه‌های مکانیکی و صنعتی آن ایّام نگاهی گذرا انداختیم، حالا به بخش‌های علمی‌تر این عصر بپردازیم. امکانات و تجهیزات این عصر در اساس با آنچه مردم باستان داشتند تفاوتی نداشت. ابداعاتی هم که ارائه می‌شد، نیازمند کشفیّات اساسی نبود. در تلمبه و چرخ دنده، نکته‌ی تازه‌یی وجود نداشت؛ نکته‌ی اساسی آن بود که عدّه‌ی بیشتری از مردم بر چگونگی کاربرد آنها احاطه یافته بودند. برای دستگاه‌های کوچکی نظیر ساعت هم، چرخ و دنده

1- Cornwall



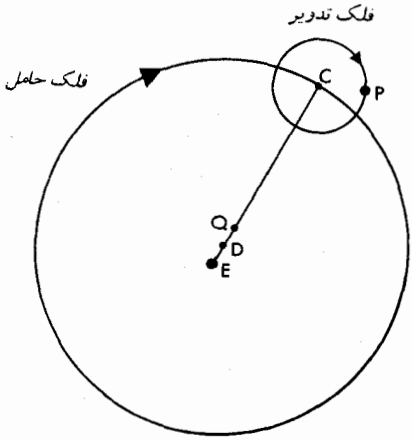
شکل ۵۳ـ تلمبه‌ی زنجیری و چرخ و طناب، از آگری کولا، *دربارهٔ‌ی فلز*، بال، ۱۵۵۶.

به کار می‌رفت. در این ساعت‌ها از سیستم ساده‌یی استفاده می‌شد که در آن وسیله‌یی که *فولیو*[1] خوانده می‌شد، عمل همزمانی را صورت می‌داد. این دستگاه‌ها برای آن ایّام به حدّ کافی دقیق بودند، چون در آن روزها کسی نگران لحظه‌های کوتاهتر از یک‌ساعت نبود، و هر وقت هم نیازی پیدا می‌شد با بهره‌گیری از ساعت شنی، نیاز خود را رفع می‌کردند.

انقلاب در نجوم

به‌غیر از اینها در چه عرصه‌های دیگری اندیشه‌های نوین ظهور کرد؟ از این حیث، نجوم در صف مقدّم است، چون همین اندیشه‌ها در شناخت ما از آسمان انقلابی به‌وجود آورد. در مورد تصویری که یونانیان از افلاک داشتند قبلاً صحبت کردیم و دیدیم که این تصویر، تا عصر رنسانس دوام آورد. در مدل بطلمیوس، که جمع‌بندی نظرات بسیاری از منجمین یونانی بود، تحلیل دقیقی از حرکات سیارات که پنداشته می‌شد همگی به‌دور زمین در گردشند، ارائه شده

1- folliot



شکل ٥٤ـ نمایش حرکت سیاره‌ی P، به کمک فلک تدویر. مرکز فلکِ حامل نقطه‌ی D است که بر زمین، E، منطبق نیست. مرکز فلک تدویر، C، به طور یکنواخت به دور D نمی‌چرخد، ولی به نحوی حرکت می‌کند که خط CQ در زمان‌های مساوی زوایای مساوی بپیماید.

است. من قبلاً به یکی از تدابیر، یعنی فلک خروج از مرکز، اشاره کردم که برای توضیح این حرکت‌ها به کار می‌بردند. تدبیر دیگری که برای توجیه چگونگی این حرکات در دایره‌یی چرخان اندیشیده بودند، در نظر گرفتن دایره‌یی بود، که فلک تدویر خوانده می‌شد، و خود بر یک مدار دایره شکل به دور زمین گردش می‌کرد (شکل ٥٤). این تدبیر از لحاظ هندسی معادل خروج از مرکز بود. دوره‌ی تمام فلک‌های تدویر، یک سال بود و این امر به نظر برخی از منجّمین غریب می‌آمد؛ اما نکته‌ی اساسی آن بود که این مدل حرکت سیّارات را به خوبی توضیح می‌داد. همان طور که گفتیم، مسلمانان جدول‌های نجومی دقیقی تنظیم کردند و پس از فتح اسپانیا، دامنه‌ی نجوم اسلامی را به این سرزمین کشاندند. پس از استیلای مسیحیان، اعم از صلیبی یا

غیر صلیبی، مسلمانان از اسپانیا عقب‌نشینی کردند، اما دستاوردهایشان در زمینه‌ی نجوم بر جا ماند. نخستین جدول‌های نجومی، مشهور بـه زیج آلفونسی[1] در شهر *تولدو*[2] از روی جدول‌های اسلامی، که خود مأخوذ از جدول‌های سریانی بود، تنظیم شد؛ این جدول‌ها هم به نوبه‌ی خود از روی جدول‌های یونانی تهیه شده بود. مشاهدات نجومی ادامه یافت، تا این جدول‌ها با بهره‌گیری از نتایج آنها چنان اصلاح شوند که از واقعیت به دور نیفتند. با این همه، به تدریج جدول‌ها از همراهی با واقعیت بازماندند. تا اینکه تحت نظر *الغ بیگ* زیج جدیدی به نام زیج‌ایلخانی نوشته شد. امّا دیری نپایید که آن هم محتاج اصلاحات شد.

این جدول‌ها به چه درد می‌خورد؟ این دوران از لحاظ سیاسی بسیار پرتلاطم بود، و عصر حکومت فرمانروایان و شاهزادگان تازه‌یی بود که دیگر تنها به اتکای نیروی بازو حکمرانی نمی‌کردند، و به سیاست‌های پیچیده‌یی نیاز داشتند. این حکمران‌ها ثروت بسیار داشتند، مالیات می‌گرفتند و فرهیخته بودند، و طبعاً برای اداره‌ی امور به دانش نیز نیاز داشتند، و بهترین و برترین دانش، تنجیم و محاسبات مربوط به آن بود که آن هم معمولاً نادرست از آب در می‌آمد. مشاهدات نجومی عاری از دقت کافی بود. نخست بدان سبب که رصدها دقیق نبود، و دیگر آنکه محاسبات به خوبی صورت نمی‌گرفت.

تا سال ۱۶۱۰ اوضاع و احوال بر همین منوال بود. در این هنگام کپلر، ریاضی‌دان دربار *رودلف دوم*[3]، امپراتور آلمان بود و وظیفه‌ی او تهیه‌ی زایچه‌ی خوب بود. *والنشتاین*[4]، قهرمان کبیر عالم مسیحیت، که تا پایان جنگ‌های سی ساله در سال ۱۶۴۸ سردار بزرگ جنگ بود، همواره زایچه‌یی با خود داشت که آن را کپلر برایش ترسیم کرده بود. کپلر خودش به زایچه‌ها اعتقادی نداشت و

1- Alfonsine Tables
2- Toledo (طلیطله)
3- Rudolph II
4- Wallenstein

می‌گفت: «خداوند برای هر جانوری وسیله‌ی معاشی قرار داده است و وسیله‌ی معاش منجّم، ستاره بینی است». در عصر ما اگر کسی بخواهد از طریق علم به پول دست یابد، باید به حوزه‌ی علوم هسته‌یی، یا موشک‌سازی وارد شود، و خود را یکسره از غم پول فارغ کند. اما در آن روزگاران، راه بی‌دردسرتر و راحت‌تری برای پول درآوردن وجود داشت، و آن هم تهیّه‌ی زایچه بود. به همین سبب، کار تهیّه‌ی جداول پیش می‌رفت.

نکته‌ی دیگری که به بحث ما مربوط می‌شود، آن است که بطلمیوس گزارش کارهای خود را ثبت کرده است. این گزارش‌ها، به سریانی و از این زبان به عربی و از عربی به لاتینی ترجمه شد، که مانند همه‌ی رسالات دیگری که ترجمه شده‌اند، پر از غلط و تحریف است. در بسیاری از موارد، مترجمی که مهارت چندانی نداشت یا مزد خوبی دریافت نمی‌کرد، هنگامی که به لغات و اصطلاحات مشکل می‌رسید، آنها را براساس حدس و گمان ترجمه می‌کرد، یا به همان صورت عربی نقل می‌کرد. پس از فتح قسطنطنیّه به دست ترکان، بسیاری از پناهندگان یونانی از آن شهر مهاجرت کردند و در سرتاسر اروپا پراکنده شدند. از آنجا که اکثراً باسواد و فرهیخته بودند، بدون زحمت زیاد مشاغل مناسبی به دست آوردند. مثلاً، با آنکه زبان یونانی در آکسفورد نامقبول و حتّی بی‌اعتبار شمرده می‌شد، گروهی از آنها کرسی آموزش زبان یونانی را در این دانشگاه به دست آوردند. یونانی، زبانی بسیار مضر به‌حساب می‌آمد، و دانشجویانی که می‌خواستند این زبان را فرا گیرند برای ایمن ماندن از طعن دیگران، در زیر لحاف به مطالعه‌ی آن می‌پرداختند. اما زیبایی زبان یونانی، و تناسب آن با روحیه‌ی رنسانس، باعث دوام و بقای آن شد. بدین‌ترتیب، خواندن متون یونانی به زبان اصلی امکان‌پذیر شد و با مطالعه‌ی نسخه‌های دقیق و اصلی رساله‌ها و آثار ارشمیدس، بطلمیوس، اقلیدس و سایر دانشمندان یونان، حرکت تازه‌یی در حوزه‌ی نجوم آغاز شد، که با حرکات پیشین تفاوتی نداشت اما بسیار دقیق‌تر بود.

در آلمان، بسیاری از منجّمین با مشاهدات نجومی به تصحیح جدول‌ها

پرداختند. در اینجا با ذکر نام این دانشمندان شما را خسته نمی‌کنم؛ فقط بگویم که مشهورترین آنها رِگیو مونتانوس بود. در این دوره، نجوم به حرفه‌یی ظریف و آبرومند تبدیل شد. کُپرنیک هم در این عصر علاوه بر مطالعه و تحقیق در ماهیّت منظومه‌ی شمسی، به کار ترجمه‌ی اشعار یک شاعر متوسّط لاتین مشغول بود، و علّت این کار هم آن بود که تصور می‌شد دانشمند عهد رنسانس باید همه چیز بداند.

دریانوردی

امّا این فعّالیّت‌های منجّمان جنبه‌ی دیگری هم داشت، و آن بهره‌گیری از نجوم در دریانوردی بود. در ۱۴۵۰، شاهزاده *هانری دریانورد*[1]، مدرسه‌یی دایر کرد و تمام کتاب‌های نجوم و دریانوردی را در آنجا گرد آورد، تا بتواند بر امکانات سفر به سرزمین مورد نظر خود، یعنی سرزمینی که در آنجا پول به دست می‌آمد، دست یابد. سرزمین مورد نظر وی در آن‌سوی جهان قرار داشت که امروز اندونزی خوانده می‌شود، در حالی که در آن هنگام به جزایر ادویه شهرت داشت. اروپا به ادویه نیاز داشت، و چگونگی رسیدن به سرزمین‌های ادویه‌خیز مسئله‌ی مهمی به حساب می‌آمد. اگر کسی مستقیماً به این سفر دست می‌زد، چندان هزینه‌ی حمل و نقل و مالیّات به وی تعلّق می‌گرفت که سودی عایدش نمی‌شد. تجارت ادویه مدّت‌ها رواج داشت، امّا تنها مصریان و برخی از ساکنان کشورهای سر راه، منفعت قابل ملاحظه‌یی از آن می‌بردند.

بدین سبب بخش بسیار فقیر و بینوای اروپا، یعنی پرتغال، جستجوی راهی برای دور زدن قاره‌ی افریقا را جزء سیاست خود قرار داد. در این اثنا اتفاق‌هایی افتاد. در آغاز، دریانوردی به صورت حمل کالا در طول ساحل جریان یافت. راه سریع دور زدن افریقا، عملاً، حرکت در طول سواحل یا کشتی‌رانی تا دماغه‌ی سبز نبود. برای این کار باید به اقیانوس زد و به برزاویل رسید، و پس از

1- Prince Henry the Navigator

آن با طیّ مسیرهای بازرگانی در افریقای جنوبی لنگر انداخت. تا مدّت‌ها کسی باور نمی‌کرد بتوان به قلب اقیانوس سفر کرد، و افریقا را دور زد. دریانوردان پرتغالی در سال ۱۴۸۷ دماغه را دور زدند و در آنجا به دریانوردان عرب برخوردند، که آنها را تا هندوستان مشایعت کردند. مهارت دریانوردان عرب در فنّ دریانوردی دست کمی از آنِ اروپاییان نداشت، و چینی‌ها هم دریانوردان خبره‌یی بودند. یک دریاسالار چینی، به نام چِنگ هو[1]، با ناوگان خود به سوی انگلستان عزیمت کرد، و اگر امپراتور چین او را باز نمی‌خواند در آنجا یک امپراتوری چینی تأسیس می‌کرد. ناوگانِ وی اندک زمانی پیش از آنکه کریستف کُلمب دریانوردی آغاز کند، شامل ۴۰۰۰ دریانورد بود (فکر می‌کنم در ناوگان کریستف کلمب، تنها ۹۰ دریانورد حضور داشته‌اند). ناوگان چنگ‌هو، هندوستان را دور زد، سیلان را تسخیر کرد و به ساحل افریقا رسید، و از آنجا زرافه‌یی را با خود به پکن برد که امپراتور با دیدن آن فرمان داد: «چنین جانوری حق حیات ندارد». احتمالاً منظور وی ممنوعیّت این نوع سفرها بوده است، چون به تصور وی اگر دریاسالاری آنقدر قدرتمند باشد که بتواند یک امپراتوری را براندازد، بعید نیست که خود دست به تأسیس یک امپراتوری جدید بزند. به این علّت چنگ‌هو به چین فراخوانده شد، و در چین اعلامیه‌یی صادر شد که براساس آن انجام سفرهای دریایی را به دیگر آفاق منع کردند. می‌بینید که دریانوردی در آغاز یک مهارت کاملاً اروپایی نبود، اما بعداً چنین شد.

کریستف کلمب، در واقع عالم فیزیک نظری بود، و با فنّ دریانوردی ارتباطی ثانوی داشت. در آن هنگام همه‌ی آدم‌های درس‌خوانده می‌دانستند که زمین گِرد است، امّا در خصوص اندازه‌ی قطر آن آرای مختلفی داشتند، و کریستف کلمب هنگامی که به دنبال پشتیبانی برای تأمین هزینه‌ی سفر دریایی خود می‌گشت، کمترین مقدار ممکن را برای قطر زمین قایل شد، چون اگر

1- Chêng Ho

مقدار واقعی قطر زمین روشن می‌شد، کسی حاضر نبود هزینه‌ی سفر را تقبّل کند. کسی نمی‌دانست و نمی‌توانست بداند که امریکا بر سر راه واقع شده است. کلمب ناچار بود برای به دست آوردن پول به انواع حیله‌ها متشبّث شود. وی برای جمع آوری پول سال‌ها این در و آن در زد، تا سرانجام برای لجبازی با پرتغالی‌ها هم که شده، توانست هزینه‌ی سفر هیأت کوچکی را از *ایزابلا*[1] ملکه‌ی اسپانیا دریافت کند. پرتغالی‌ها بازرگانی با شرق را در انحصار داشتند، و اسپانیایی‌ها امیدوار بودند به یاری این دریانورد ماجراجو، با فراهم آوردن امکانات دریانوردی به دور جهان، و با عزیمت مستقیم به غرب به جای شرق، برای رسیدن به چین بتوانند این انحصار را در هم بشکنند.

بدین ترتیب *کلمب* عازم سفر شد، و با آنکه، به نظر من، عالِم فیزیک نظری بود و بر فنّ دریانوردی هم احاطه داشت، تا سر حد امکان تقلّب می‌کرد. در شرح سفر روزانه‌ی کشتی ارقامی را یادداشت می‌کرد که هیچ ربطی با مشاهدات واقعی نداشت، و بدین ترتیب طول مسافت پیموده‌شده را از سرنشینان کشتی مخفی می‌داشت. اعضای هیأت اکتشافی، این سفر را خطرناک می‌دانستند و فکر می‌کردند بازگشتی در کار نخواهد بود. اگر می‌فهمیدند چقدر راه در پیش دارند از همان اوایل شورش می‌کردند و هنگام مشاهده‌ی خشکی، دیگر در آستانه‌ی طغیان بودند. این توفیق، تاریخ و علم را به یک‌باره دگرگون کرد.

کلمب در خلال عبور از اقیانوس اطلس مشاهدات علمی جالبی انجام داد. وی متوجّه شد که زاویه‌ی انحراف عقربه‌ی قطب‌نما از شمال حقیقی (یعنی میل قطب‌نما) به شدّت تغییر می‌کند، و این امر امید فراوانی در دل‌ها به وجود آورد که بتوان طول جغرافیایی مکان را به کمک زاویه‌ی انحراف به دست آورد. بعداً، اعضای هیأت با آنکه پی بردند بهره‌گیری از این تغییرات در تعیین طول جغرافیایی، چندان مؤثر نیست، همچنان به این پدیده توجّه داشتند. دستاورد

1- Isabella

اصلی سفر کلمب، گشودن باب اعتقاد به گرد بودن زمین بود. در اینجا قول کوتاهی از یکی از دانشمندان آن روزگار، به‌نام *ژان‌فِرْنِل* [1]، نقل می‌کنم. وی پزشک بود و دو علمی را که امروز فیزیولوژی و آسیب‌شناسی می‌دانیم، نام‌گذاری کرد. امّا در عین حال به دریانوردی بسیار علاقه‌مند بود و در سال ۱۵۴۰ توفیق یافت در فرانسه قوس یک نصف‌النّهار را اندازه‌گیری کند. وی در سال ۱۵۳۰ چنین نوشته است:

«چه می‌شد اگر گذشتگان ما و پیشینیانشان به همان راهی بروند که اجدادشان رفته بودند؟... نه، برعکس، شایسته است فیلسوفان به راه‌های تازه‌یی گام بگذارند و نظام‌های جدیدی را بیازمایند. شایسته است که از ستم نیروهای ضد پیشرفت و سنگینی فرهنگ کهنه و اعمال اقتدار مطلق در حقّ کسانی که عقاید خاص خود را ابراز می‌دارند، جلوگیری کنند. بدین ترتیب هر دوره، نویسندگان و هنر خاص خود را خلق خواهد کرد. عصر ما، پس از دوازده قرن رکود، شاهد اعتلای مجَدّد و شکوهمند هنر است. علم و هنر امروز بار دیگر همان شکوه و جلال پیشین را بازیافته، و حتّی از این مرتبه هم فراتر رفته‌اند. این عصر به هیچ روی نیازمند آن نیست که خود را دست کم بگیرد، و در آرزوی علم و معرفت باستانی آه بکشد... عصر ما امروز به انجام اموری توفیق یافته است که مردم عهد باستان خواب آن را هم نمی‌دیدند... اقیانوس‌ها به نیروی تهوّر دریانوردان پیموده، و جزایر تازه‌یی کشف شده است. زوایای دورافتاده‌ی هندوستان را بازشناخته‌اند. قاره‌ی غرب، یا به قول مشهور دنیای جدید، که بر پدران ما مجهول بود، اینک شناسایی شده است. گرچه افلاطون و ارسطو و سایر فیلسوفان در این زمینه‌ها، و دیگر زمینه‌های مربوط به نجوم پیشرفت‌های بسیار کردند، و بطلمیوس در گسترش آنها بسیار کوشید، امّا اگر هر یک از آنها بار دیگر زنده شود، جغرافیای امروزی را خارج از حوزه‌ی شناخت خویش خواهد یافت. دریانوردان این روزگار، کره‌ی جدیدی به ما عرضه داشته‌اند.»

البتّه امروز که سال‌ها از پیش آمدن این امور می‌گذرد، بسیاری از مردم

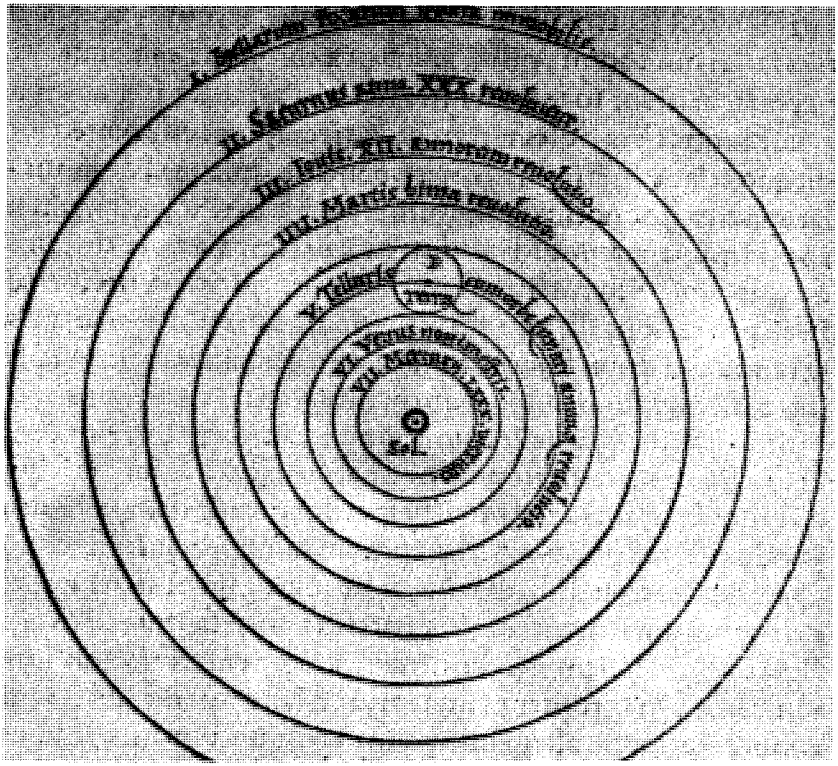
1- Jean Fernel

قدر رنسانس و انقلاب علمی را می‌دانند، اما همان طور که نقل قول بالا نشان می‌دهد، مردم آن روزگاران هم اهمیّت این فتح باب، و به ویژه همبستگی میان دریانوردی و نجوم، را دریافته بودند.

انقلاب کُپرنیکی

مرحله‌ی بعدیِ پیشرفت همان بود که کپرنیک بانیِ آن بود. کپرنیک شخصیّت عجیبی داشت. وی در لهستان، که تا حدودی خود را از سلطه‌ی شوالیه‌های توتونی[1] رهانیده بود، متولد شد. عمویش اسقفی بود که در ایتالیا فرصت تعلیم و تربیت طولانی و کاملی را به وی عرضه کرد. او به یادگیری طب، حقوق، فلسفه، و علوم انسانی پرداخت و ضمناً تا حدودی هم بر نجوم احاطه یافت. کپرنیک مانند دیگر آدم‌های نادر آن روزگار، به دریانوردی علاقه‌ی بسیار داشت؛ امّا با آنکه بخش اعظم زندگی خود را در فاصله‌ی سی کیلومتری دریا سپری کرد، کمتر پای به دریا نهاد و «دریانورد خشکی» باقی ماند. با همه‌ی این احوال، مطالب بسیاری در خصوص دریانوردی نوشت. وی نظام بَطلمیوسی را بررسی و اصلاح کرد، و کارش مانند کار کُلُمب انتقادهای فراوان برانگیخت. درباره‌ی کلمب می‌گفتند: نباید به این کار اقدام می‌کرد، دانش کافی نداشت، دریانورد بدی بود، نظراتش کاملاً غلط بود و فقط شانس در موفقیّت او نقش داشت. درباره‌ی نظرات کپرنیک پیرامون دریانوردی نیز همین داوری‌ها تکرار می‌شد. او منجّم بسیار درخشانی نبود، و مشاهدات و رصدهای دقیقی صورت نمی‌داد. برخی از رصدهای وی که به دست ما رسیده است، پر از اشتباه است و جدول‌های نجومی وی هم تعریفی ندارند. اما او اندیشه‌یی داشت که مشخصه‌ی هر متفکّر انقلابی عصر رنسانس بود. به نظر او، نظام قدیمی افلاک در واقع جز یک نظام سرهمبندی‌شده و آشفته نیست.

۱ـ Teutonic . توتونی‌ها یا سلت‌ها، قبیله‌یی باستانی بودند که در شمال آلپ در ژوتلند می‌زیستند، و کلاً به اقوام ساکن اروپای شمالی مانند ژرمن‌ها و اسکاندیناوی‌ها و انگلیسی‌ها و هلندی‌ها اطلاق می‌شود.



شکل ۵۵ـ عالم به شیوه‌یی که کپرنیک در کتاب *درباره‌ی دوران افلاک آسمانی* تصویر کرده است. ۱۵۴۳: I ـ کره ستارگان ثابت؛ II ـ مدار زحل؛ III ـ مدار مشتری؛ IV ـ مدار مریخ؛ V ـ مدار زمین و ماه؛ VI ـ مدار زهره؛ VII ـ مدار عطارد؛ خورشید در مرکز.

کسی که نوشته‌های بطلمیوس را بخواند و آن تدویرها و دوایر خارج مرکز را از نظر بگذراند، پی می‌بَرَد که طبیعت نمی‌تواند چنین بساط درهم و برهمی پهن کند؛ و این آشفته بازار تنها مخلوق تفکّر آدمی است. کُپرنیک می‌خواست موضوع را روشن کند. شکل ۵۵ از کتاب کپرنیک گرفته شده

است، و چیزی را نشان می‌دهد که امروز برای ما شناخته شده است. دوایری که در این تصویر دیده می‌شود، برای آن است که دایره در آن ایّام، شکل مورد تحسین بود. در مراحل بعدی شناخت افلاک بیضی مقبولیّت یافت. خورشید در مرکز دیده می‌شود، و عطارد و زهره و زمین و قمر آن، و زحل و مشتری و ستارگان ثابتی که فلک ثوابت را تشکیل می‌دهند، در اطراف آن واقعند.

به خاطر داشته باشید که در نجوم زمین مرکزی، افلاک می‌بایست هر بیست و چهار ساعت یک بار در آن فاصله‌ی عظیم بچرخد، و این امر به سازوکار سماوی گسترده‌یی نیاز داشت. امّا در این نظام جدید، کافی بود که چند سیّاره پیرامون یک مرکز حرکت کنند. خود کپرنیک هم ناگزیر درباره‌ی آن چنین گفته است:

«پیشینیان ما... مخصوصاً به این دلیل تعداد زیادی کره‌ی سماوی فرض کردند، که حرکت ظاهری سیارات را به کمک اصل نظم توضیح دهند. زیرا این نظر که یک کره‌ی کامل، همواره به‌طور یکنواخت حرکت نکند، در نزد ایشان فکری مهمل بود. در اندیشه‌ی آنها با ترکیب و ربط حرکات منظم به شیوه‌های مختلف، حرکت هر جسم در هر مکان میسر می‌شد...»

می‌بینید که این امر یک نکته‌ی صرفاً ریاضی است، و اصطلاحاً باید گفت که نوعی «نجات مشهود» است.

«پس بهتر است از دوایر خارج مرکزی و فلک‌های تدویر که بالاخره مورد پذیرش اکثریّت فضلا واقع شده است، استفاده کنیم. نظریه‌ی سیاره‌یی بطلمیوس و اکثر منجّمین دیگر با اطّلاعات عددی مطابقت می‌کند، امّا اشکالات وارد بر آنها هم چشم پوشیدنی نیست. این نظریّه‌ها دچار نارسایی بودند، مگر آنکه فلک‌های معدّل‌المسیر هم در نظر گرفته می‌شد. پیدا بود که سیاره نه در فلک تدویر با حرکت یکنواخت حرکت می‌کند و نه پیرامون مرکز فلک تدویر خود. پس این نظام نه به حدّ کافی مطلق بود نه به حدّ کافی مایه‌ی نشاط ذهن می‌شد.

«با آگاهی از این نارسایی‌ها، غالباً در این اندیشه بودم که شاید بتوان آرایش منطقی‌تری برای دوایر یافت، که نایکنواختی هر یک از آنها قابل استخراج باشد، و همه‌ی آنها طبق ضرورت‌های قانون حرکت مطلق، به طور یکنواخت به دور مرکز اصلی خود حرکت کنند. پس از آنکه به حلّ این مسئله‌ی بسیار دشوار و حل‌ناشدنی پرداختم، به این نتیجه رسیدم که می‌توان این مشکل را با ارائه‌ی نظامی که تعداد جرم‌های موجود در آن بسیار کمتر، و ساختار

آن بسیار ساده‌تر از نظام‌های پیشین باشد، حل کرد؛ به شرط آنکه مجاز باشم چند فرض را صحیح بدانم (که آنها را اصول موضوعه می‌خوانم). ترتیب این فرض‌ها در این نظام چنین است: ۱. همه دوایر فلکی به دور یک مرکز نمی‌چرخند؛ ۲. مرکز زمین، مرکز عالم نیست، بلکه تنها مرکز ثقل و مرکز فلک قمری است؛ ۳. تمام کرات به دور خورشید می‌چرخند، و بنابراین خورشید مرکز عالم است؛ ٤. نسبت فاصله‌ی زمین تا خورشید به ارتفاع فلک ثوابت آنقدر از نسبت شعاع زمین به فاصله‌ی آن تا خورشید کوچک‌تر است، که می‌توان این فاصله را در مقایسه با ارتفاع فلک ثوابت قابل اغماض دانست.»

این نکته بر *الهیّات* و فلسفه تأثیری حیاتی گذاشت، چون حدود عالم را بسیار بزرگ‌تر از مقادیری که پیش‌تر برای آن در نظر گرفته شده بود، نشان می‌داد. البته همان طور که قبلاً اشاره شد، در این نظام نکته‌ی مطلقاً تازه‌یی وجود نداشت؛ چون به روایت ارشمیدس چندین قرن پیش از آن اریستارخوس عین همین نظریّه را ابراز کرده بود. در این روزگار آثار ارشمیدس ترجمه شده بود، و دانشمندی چون کپرنیک به مطالعه‌ی آنها پرداخته بود. کپرنیک پس از تذکّر این نکات بیان می‌کند که زمین سه نوع حرکت دارد: یکی گردش سالانه بر محیط یک دایره‌ی بزرگ به دور خورشید، دیگری چرخش به دور محور خود، و سوّمی حرکتی که معلول تغییر زاویه‌ی میل آن نسبت به خط واصل بین مرکز آن و خورشید است. خورشید به علّت فاصله‌یی که تا مرکز دایره دارد، نمی‌تواند حرکت ظاهری یکنواخت داشته باشد. تبیین این فقدان یکنواختی، بزرگترین مشکل به شمار می‌آمد و ای کاش فرصت کافی داشتم تا به تفصیل به توضیح آن بپردازم. اکثریّت مردم به این امر توجّهی ندارند، اما منجّمین باید به شدّت در مورد آن نگران باشند. چرا طول فصل‌های تابستان و زمستان یکسان نیست، چرا اعتدالین درست در نیمه‌ی سال روی نمی‌دهند، و چرا اعتدالین درست میانه‌ی انقلابین نیست؟ توضیح این مسائل این است که به زعم ما زمین، و به عقیده‌ی آنها خورشید در بخشی از سال کندتر حرکت می‌کند. برای دریافت این نکته، وقت زیادی صرف شد و کپلر از این طریق توانست پاسخی برای این پرسش‌ها بیابد؛ اما توضیح حیاتی واقعی را کپرنیک ارائه کرد و آن را حجّتی برای تبیین مدار سیّارات قرار داد:

«خورشید در میان آن همه کرسی بر تخت نشسته است. در این معبد بسیار زیبا، آیا می‌توان نیّر اعظم را در مکانی بهتر از این قرار داد تا کلّ عالم را به‌یک‌باره مُنَوّر کند؟ حق است اگر آن را عقل کُل و حاکم عالم بخوانیم. هرمس مثلث[1]، او را «خدای آشکار» و الکترای سوفوکل[2] او را رؤیت محض می‌نامند. پس، خورشید بر تخت شاهی نشسته و بر کودکان خود یعنی سیاراتی که به دور او می‌چرخند حکم می‌راند. زمین، ماه را در خدمت خود دارد. به قول ارسطو در *کتاب‌الحیوان*[3]، ماه نزدیک‌ترین رابطه را با زمین دارد، اما خورشید با زمین هم‌آغوشی می‌کند، و زمین آبستن می‌شود و هر سال می‌زاید.»

عجب نظامی! سرتاسر آن تمثیل و جادوگری است، و در عین حال واقعی است. اما همان طور که می‌بینید، دلیلی که باعث پیدایش یک نظریه می‌شود، لزوماً همان دلایلی نیست که برای اثبات درستی آن کافی باشد. کپرنیک تمام این نکات را در کتاب *درباره‌ی دوران افلاک آسمانی*[4] که معمولاً با عنوان *درباره‌ی دوران*[5] خوانده می‌شود، ذکر کرده است. افلاک، در این نظام همان افلاک نظام‌های پیشین بود و کپرنیک هنوز هم تصور می‌کرد که سیّارات بر سطح یک سلسله گوی‌های بلورین توخالی ثابت شده‌اند؛ امّا ماشین‌های سماوی پیشنهادی وی بسیار ساده‌تر و از آنها بسیار بزرگ‌تر بود، و این بزرگی بعداً منشأ دردسر شد. وی در انجام کار بزرگ خویش کامیاب شد. کتابی نوشت و آن را به پاپ تقدیم کرد؛ پاپ آن را تأیید کرد و کتاب در اختیار صاحب نظران قرار گرفت، و به چاپ رسید. با آنکه آن روزگار، عصر ظهور مرتدین و بدعت گذاران بود، و این کتاب هم توسّط یک چاپخانه‌دار پروتستان

۱ـ Hermes Trismegistus : هرمس مثلث یا هِرمس‌الهَرامسه نام دیگر حضرت ادریس نبی، مظهر و پیر حکمت و علم در مسلک اخوان الصفاـ م.

2- Sophocles' Electra

3- Animalibus

4- *On the Revolutions of the Celestial Orbs*

5- *De Revolutionibus*

به چاپ رسید، پاپ آن را رد نکرد و این اثر تا سال ۱۶۱۵، یعنی تقریباً به مدت یکصد سال، معتبر ماند و کسی بر آن ایرادی نگرفت.

پس می‌بینید که هرگاه کسی به پاسخ درست یک مسئله برسد، باید برای اثبات صحّت پاسخ خود، دلایلی بیابد و پس از آن بر انتقاداتی که معمولاً زیاد هم هست غلبه کند. در فصل بعد به این موضوع خواهیم پرداخت.

۷

علم و دین

در فصل پیش از نخستین مرحله‌ی انقلاب علمی یاد کردیم؛ یعنی مرحله‌یی که طی آن افکار قدیمی در خصوص حرکت افلاک مورد حمله واقع شد. در این مرحله اندیشه‌ی کاملاً متفاوتی از جانب کپرنیک ارائه شد، که شاید هم نتوان آن را اندیشه‌ی کاملاً جدید دانست. این رویداد به اواسط سده‌ی شانزدهم، یعنی حدود سال ۱۵۴۰ مربوط می‌شود. این اندیشه را برخی از ستاره‌شناسان دیگر نیز پذیرفتند و براساس تصویر کپرنیکی، یک سلسله جدول‌های نجومی تنظیم شد. جدول‌های مشهور به پروسی نشان می‌داد که مرکز علم به کجا حرکت می‌کند. در آن روزگار، پروس بیش از این ایّام به سمت شرق گسترده بود، و محل کار کپرنیک گاهی جزو پروس بود و گاهی جزو لهستان به حساب می‌آمد.

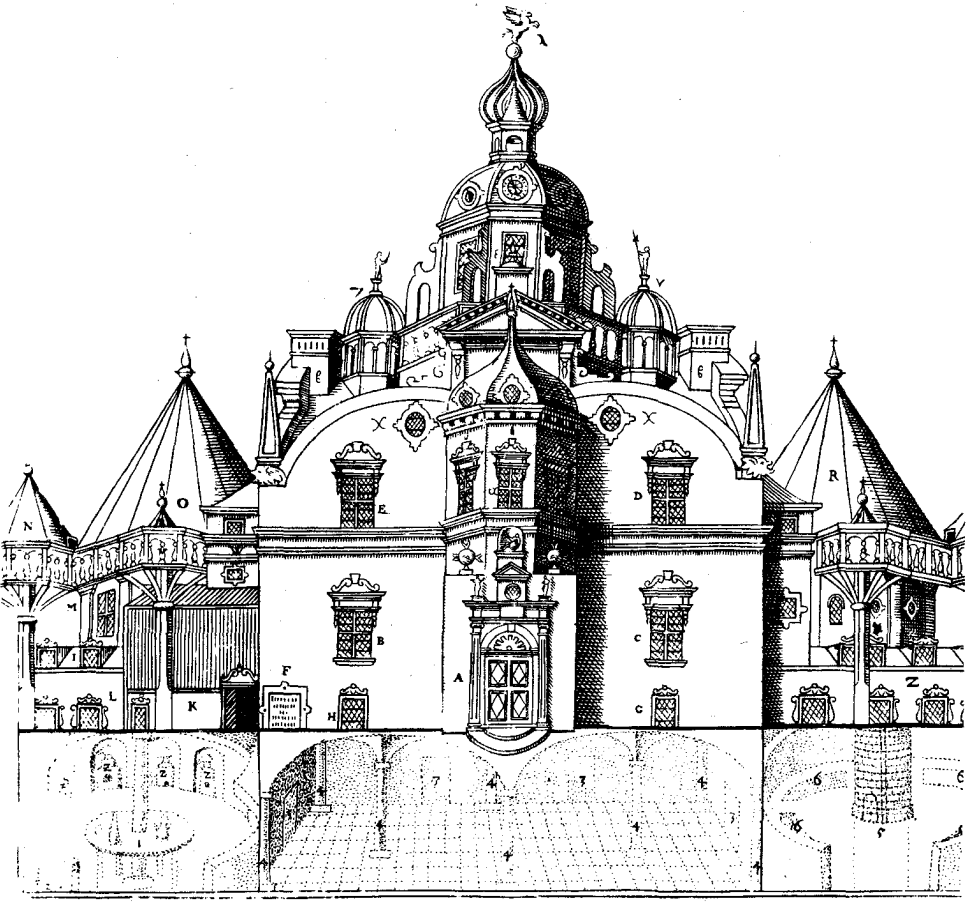
منجّمان همچنین هنوز هم از روش‌های کهنه استفاده می‌کردند؛ اما برای آنکه کارشان عملا در دریانوردی مورد استفاده قرار می‌گرفت، ناگزیر بودند بسیار دقیق باشند.

تیکو براهه[1]

رصدهای قدیمی به‌علّت کوچکی ابعاد و مقیاس ابزارهای موجود و عدم دقّت خود رصدکنندگان، ناگزیر دارای محدودیّت بود. یکی از ملّت‌های حاشیه‌ی دریا، یعنی دانمارک، که بر سر یک راه دریایی مهم واقع بود، دوران خوشی را می‌گذراند. ثروت فراوان این ملّت حاصل از اخذ عوارض از کشتی‌هایی بود که از طریق تنگه‌ی *ساند*[2] به دریای بالتیک رفت و آمد می‌کردند. پادشاه دانمارک، فردریک دوّم[3] بود و یکی از نجبای دربار وی به نام تیکوبراهه به دریافت بخشی از این عوارض مفتخر شده و یکی از جزایر ساند هم به وی اعطا شده بود، تا در آنجا نخستین مؤسّسه‌ی عصر جدید را، که *اورانی‌بورگ*[4] یا دژ *آسمان* خوانده می‌شد، بنیاد کند (شکل ۵۶).

متأسّفانه تیکوبراهه مردی تندخو بود. وی دانشمند خوبی به حساب می‌آمد، امّا به شدّت ستیزه‌جو بود. در یک نزاع تن به تن،بینی خود را از دست داد و در تمام عمر با یک بینی نقره‌یی، محلّ بینی بریده‌شده را می‌پوشاند. آن قدر با رعایای خود بدرفتاری می‌کرد که پس از خروج وی از اورانی بورگ، دهقانان محلّی همه‌ی اموال آن را به تاراج بردند و برای تاریخ‌نگاران چیزی بر جای ننهادند. تنها اثری که از این رصدخانه در دست داریم، همین تصویر است که یک رصدخانه‌ی آن روزی را نشان می‌دهد. این مؤسسه در حقیقت یک خانه‌ی اعیانی بود که مقداری وسایل علمی در آن کار گذاشته بودند. در

1- Tycho Brahe
2- Sound
3- Frederick II
4- Uraniborg



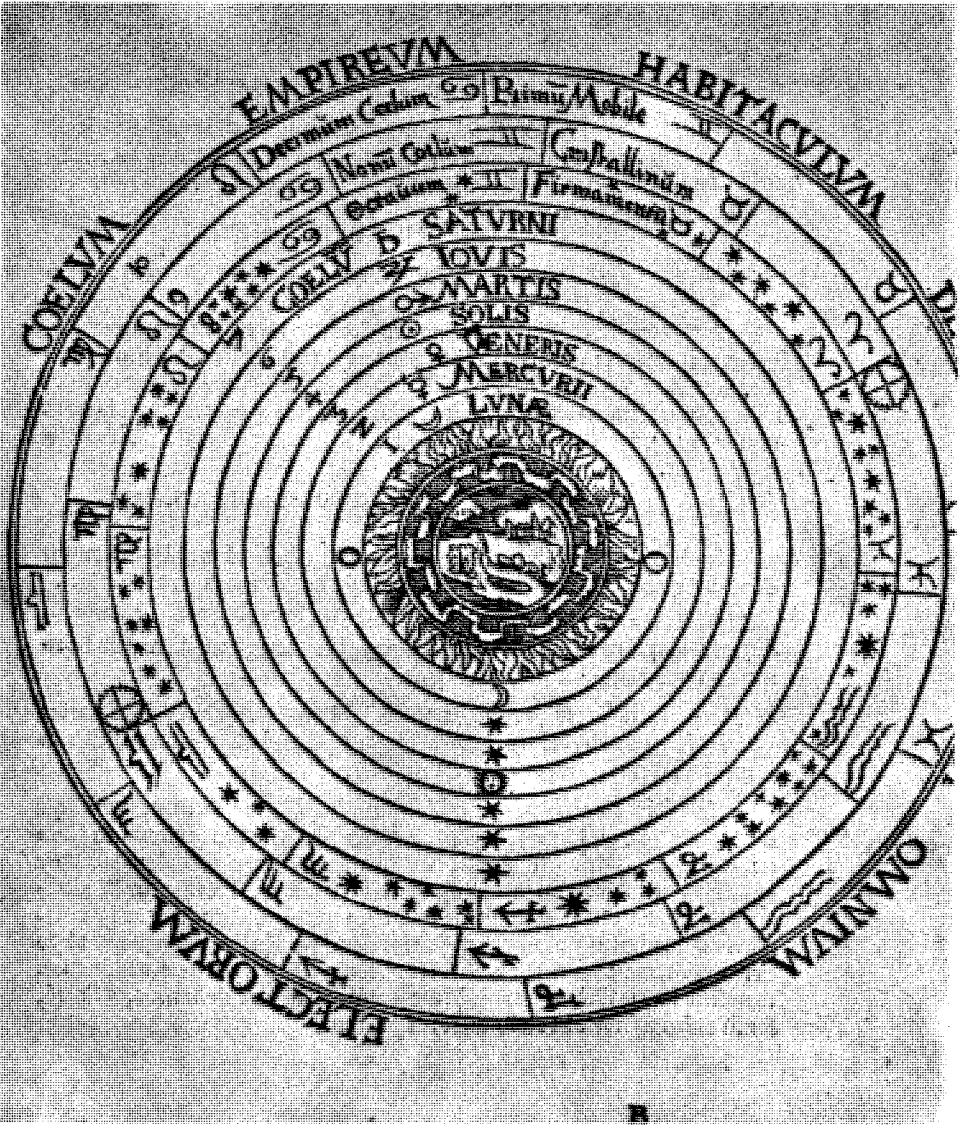
شکل ۵۶ـ رصدخانه‌ی تیکو براهه در اورانی بورگ.

قسمت ویژه‌ی رصد، چهار محل وجود داشت که از آنجا ستارگان را رصد می‌کردند، و اندکی بالاتر از آنها هم دو محلّ دیگر در نظر گرفته شده بود. بقیّه‌ی عمارت را اتاق‌های مسکونی تیکوبراهه تشکیل می‌داد؛ جز زیرزمین که در آنجا نیز یک آزمایشگاه دایر بود. آزمایشگاه‌های شیمی در تصویر مشخّصند. در این محل به تمام علوم زمان پرداخته می‌شد، و ثروت کلان تیکوبراهه او را بر دستیابی به تمام این علوم توانا می‌ساخت. پس از رفع اشکالات جزیی، وی موفق به دریافت کمک‌های بسیار مفیدی شد.

اینک به توضیح انقلابی می‌پردازم که در شناخت جهان روی می‌داد. شکل ۵۷، نمایش‌دهنده‌ی کیهان‌شناسی قدیم است. در مرکز تصویر، کره‌ی زمین را با گیاهان و جانوران و عناصر چهارگانه‌ی آب، خاک، هوا، و آتش می‌بینید. پس از آن نوبت به کرات دیگر و ماه و خورشید می‌رسد، و در خارج منطقةالبروج، عرش یا آسمان هفتم که مکان خداوند و برگزیدگان اوست، دیده می‌شود. این مجموعه، جهان بسته‌ی زیبایی است. شکل ۵۷ شبیه به شکل ۵۵ است، و تنها مرکز آنها با هم تفاوت دارند.

تیکو براهه از کار کپرنیک باخبر بود، امّا در همه‌ی موارد از او پیروی نمی‌کرد. وی همچنان زمین را در مرکز قرار داد ولی بقیّه‌ی نظرات کپرنیک را پذیرفت. ماه و خورشید به دور زمین، و بقیّه‌ی سیّارات به دور خورشید می‌گردیدند. این ترتیب از لحاظ هندسی درست بود، امّا از لحاظ فیزیکی اشکال داشت چون لازم بود که کلّ نظام روزی یک‌بار زمین را دور بزند.

امّا، تیکوبراهه بیشتر به سنجش و اندازه‌گیری‌های بسیار دقیق توجه داشت و برای دستیابی به این دقّت، ابزاری در اختیار داشت که علی‌الاصول با وسیله‌های قدیمی تفاوتی نداشت، و تنها از آنها بزرگتر بود. رصدهایی که به یاری این ابزار صورت می‌گرفت، مدام تکرار می‌شد و زمان طولانی‌تری صرف انجام آنها می‌شد و نتایج کار بسیار مفصل و جامع بود. وی در یافتن یک دستیار مناسب برای کار اختصاصی خود با دشواری روبه‌رو بود، ولی سرانجام به



شکل ۵۷ـ کیهان‌شناسیِ قدیمِ ارسطویی، آن‌گونه که در کتاب Cosmographia تألیف فریزیوس Gemma Phrysius's، ۱۵۳۹ آمده است؛ که خود تجدیدنظری است در کتاب Cosmographius Liber از پتر آپیان Peter Apian، ۱۵۲۴.

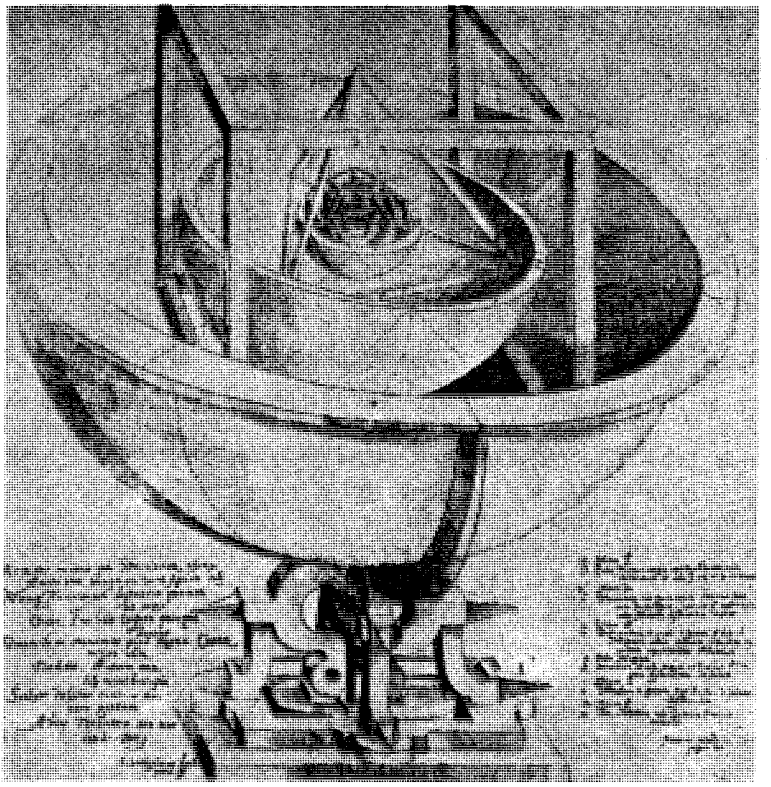
مددکاری یک جوان عجیب و غریب آلمانی، به نام *یوهان کپلر*[1]، رضایت داد. در سال ۱۵۸۸ شاه فردریک مُرد و چون کریستیان چهارم[2] صغیر بود، شورای سلطنت عهده‌دار انجام امور پادشاهی شد. تیکوبراهه که همواره منفور اشراف هم‌طبقه‌ی خود بود، کم کم از چشم دربار، که هرگز علاقه‌یی به کار او نداشت، افتاد. در سال ۱۵۹۶ حمایت مالی شاه کریستیان از تیکوبراهه قطع شد، و او سال بعد اورانی بورگ را ترک گفت. وی ابزار رصدخانه را به محل دیگری انتقال داد، و اورانی بورگ را به طور کلّی از کار انداخت. تیکوبراهه در سال ۱۵۹۹ به مقام ریاضی‌دان ارشد دربار رودلف دوّم، امپراتور اتریش، منصوب شد. رودلف پادشاه آرامی بود که هرگز به وین نمی‌رفت و در پراگ روزگار می‌گذرانید، و به تأسیس رصدخانه و آزمایشگاه‌های کیمیاگری همّت گماشت که هنوز پابرجا هستند. وی ریاضی‌دان دربار خود را تحت فشار گذاشته بود تا جدول‌های طالع‌بینی لازم را برای وی تهیّه کند.

تیکوبراهه تمام رصدها و نتایج ثبت‌شده‌ی آنها را به دستیار خود کپلر واگذاشت، که این امر سرچشمه‌ی گرفتاری‌های بسیار شد. کپلر برای دریافت این اطّلاعات از خانواده‌ی تیکوبراهه دردسر بسیار کشید، چون در آن هنگام عقیده بر این بود که میراث‌خوار آثار علمی هر منجّم، طبعاً پسر اوست، و آثار منجّم باید در خانواده نگهداری شود. امّا پسر تیکوبراهه از ریاضیّات و نجوم سررشته‌یی نداشت، بنابراین به ملاحظاتی، با واگذاری ارثیه‌ی علمی تیکوبراهه به کپلر موافقت شد. معمولاً چنین کاری صورت نمی‌گرفت. مثلاً در فرانسه کاسینی[3] دوّم و سوّم و چهارم به ترتیب جانشین کاسینی منجّم شدند، و به مدّت ۱۲۰ سال سمّت منجّم موروثی دربار شاهان فرانسه را بر عهده داشتند و منجّمین برجسته‌یی هم به حساب می‌آمدند.

1-Johann Kepler
2- Christian IV
3- Cassini

یوهان کپلر

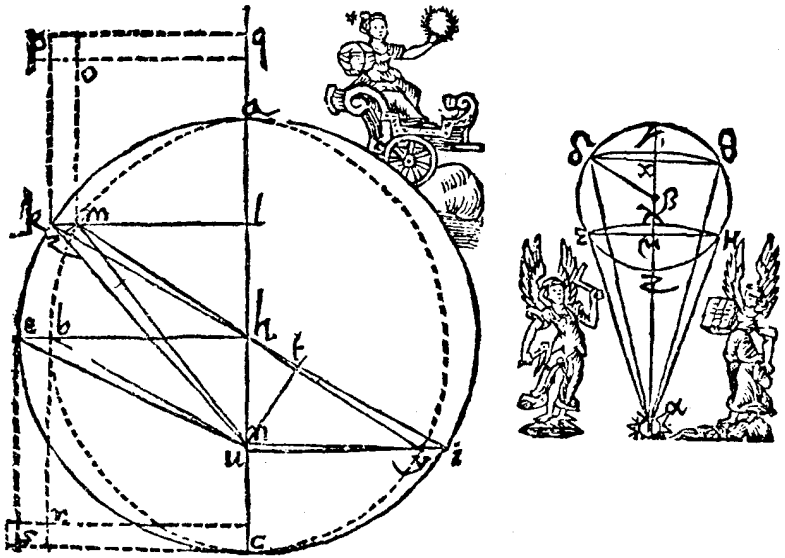
امّا، تغییر اساسی در نظام عالم توسّط تیکوبراهه ایجاد نشد، بلکه وی با رصدهای خود شالوده‌ی اساسی این دگرگونی را فراهم آورد، و کپلر با تعبیر اطّلاعاتی که از وی باز مانده بود، بانی تغییر شد. هدف کپلر آن بود که تصویری منطقی به‌دست دهد. وی توانست گردش سیّارات را دریابد، و حتّی به‌اندازه‌گیری براساس نظام کپرنیکی اقدام، کاری که پیش از آن ناممکن بود. بدین ترتیب فواصل اندازه‌گیری امکان‌پذیر شد، و ستاره‌شناسان می‌توانستند دقیقاً روشن کنند که سیّارات چگونه در مدارهای خود گردش می‌کنند. کپلر می‌فهمید که کلّ موضوع باید در نوعی نظام جا بگیرد، و دارای نوعی هماهنگی باشد. نخستین تلاش وی در این مورد در همان خط تفکّر یونانی بود (شکل ۵۸). به عقیده‌ی او، مدارهای متوالی سیّارات چنان آرایشی پذیرفته بودند که در یک مجموعه‌ی چند وجهی محاط در یکدیگر جای می‌گرفتند. برای پنج سیّاره، پنج حجم منتظم در نظر گرفته شده بود. بدیهی بود که این پنج سیّاره باید به پنج حجم مربوط شوند؛ درست همان طور که یونانیان به پنج عنصر اصلی،پنج حجم منتظم نسبت می‌دادند. در اینجا نوعی تمثیل یا مقارنه‌ی منطقی به کار رفته بود. در مرکز این نظام یک بیست وجهی قرار داشت، در اطراف بیست وجهی یک دوازده وجهی پنج ضلعی، و محیط بر آن یک چهار وجهی، و محیط بر چهار وجهی یک مکعب، که خود درون یک کره واقع بود. این نظام چندان غلط به نظر نمی‌رسید. امّا موضوع عجیب و غریب در خصوص سیستم کپلر این بود که علی‌رغم اینها، اشتباه و خطایش تا درجه‌یی بود که آزمایش‌ها و رصدها نمی‌توانستند خطا بودن آن را برملا کنند. کپلر هم پدر فیزیک تجربی شد، و هم پدر فیزیک نظری جدید؛ چون متوجّه شد که دانشمند برای نظریّه‌پردازی دارای آزادی کامل است، امّا باید مواظب باشد که این نظریّات با مشاهده جور در بیایند. افلاطون و دانشمندان پیرو او به خلق نظریه می‌پرداختند، ولی وقتی که نظریاتشان بر واقعیّت منطبق نمی‌شد می‌گفتند بدا به حال واقعیّت! در واقع این دانشمندان معتقد بودند



شکل ۵۸ـ نخستین تلاش کپلر برای تفسیر حرکت سیاره‌یی، از *هماهنگی جهان*، لینتس، ۱۶۱۹.

«یک جهان آرمانی وجود دارد، و اگر جهان واقعی بد است، پس باید انتظار داشت که همه چیز آن بد باشد، بنابراین باید به نجوم آرمانی چسبید».

امّا کپلر این نگرش را قبول نداشت، و رنج زیادی برد و وقت زیادی صرف کرد، و در سال ۱۶۱۹ کتابی در این باره با عنوان *هماهنگی*



شکل ۵۹ـ مرّیخ سوار بر ارابه‌ی خود، در مداری بیضوی خورشید را دور می‌زند. اقتباس از نجوم نوین... درباره‌ی حرکت سیّاره‌ی مرّیخ اثر کپلر. پراگ ۱۶۰۹.[1]

جهان نوشت.[2] وی در انطباق نظریه‌ی خود با مشاهدات و رصدها درماند، و همه چیز را به کناری نهاد؛ امّا پس از مدّتی به کار بازگشت و دوّمین کتاب را در این زمینه نوشت و دستخوش دردسرهای بیشتری شد. در این کتاب توضیح داده می‌شد که چرا مدار سیّارات کاملاً گرد نیست، و چرا سرعت گردش آنها گاهی بیشتر و گاهی کمتر می‌شود. این نکته در نظام قدیم با بهره گیری از دوایر خارج مرکز، دوایر حامل، و سایر تمهیدات ریاضی تبیین می‌شد، که برای حفظ ظواهر مربوط به نظریه ابداع شده بودند. هر وقت ظواهر فرضیّات و

1- *Astronomica Nova... de Motibus Stellae Martis*, Prague, 1609.

2- *The Harmony of the World.*

نظریات شما به خطر بیفتد، لابد آن قدر عدد ثابت هست که به یاری آنها بتوان آن ظواهر را حفظ کرد. هر دوران انقلابی، مجموعه‌ی چند دوره‌ی کوتاه مشخص است.

کپلر در جستجوی یک مدل ساده بود، و بالاخره هم این مدل را یافت؛ امّا برای رسیدن به آن از راه‌های دراز و پر پیچ و خمی گذشت. شکل ۵۹ از کتاب تفسیر حرکت مریخ نوشته‌ی کپلر (سال ۱۶۰۹)، اقتباس شده است. وی توجّه خود را بر مرّیخ متمرکز کرد که مناسب‌ترین سیّاره است؛ چون اوّلاً نزدیک‌ترین سیاره‌ی بیرونی است، ثانیاً در همه‌ی اوقات می‌توان آن را رصد کرد. نسبت زمان تناوب گردش این سیّاره، به زمان تناوب گردش زمین برابر است با ۲:۳. کپلر منحنی‌های بسیاری برای مدار مریخ ترسیم کرد، امّا هیچ کدام مفید نیفتاد. فلک‌های تدویر قراردادی، حرکت مرّیخ را توضیح می‌داد، ولی این دوایر خود دارای خطایی برابر با هشت دقیقه‌ی قوس بودند. در زمان‌های پیشین، هشت دقیقه انحراف چندان مسئله‌یی نبود، چون در آن هنگام دقّت اندازه‌گیری‌ها به این حد نمی‌رسید. در مقایسه، پهنای قرص خورشید ۳۰ دقیقه‌ی قوس است. امّا اندازه‌گیری‌های کپلر، یا بهتر بگوییم اندازه‌گیری‌های براهه چنان دقیق بود که راه یافتن خطایی به اندازه‌ی هشت دقیقه مجاز نبود. اگر کپلر ظهور نمی‌کرد، کار اندازه‌گیری ادامه می‌یافت، و بدون نیاز به نظریه، نتایج بسیار دقیقی به دست می‌آمد و دلیلی بر ضرورت حتمی نظریه حس نمی‌شد؛ هرچند وجود آن به نحوی کار را ساده‌تر می‌کرد. به هر حال، بدون نظریّه‌پردازی هم امکان داشت که اندازه‌گیری‌ها را روز به روز دقیق‌تر کنند. اما اگر کپلر بدون توجّه به نظریه، به دقیق‌تر کردن محاسبات و رصدهای خود می‌پرداخت چندان توفیقی به دست نمی‌آورد؛ چون تنها مدار بیضوی، با دقّت محاسبات و مشاهدات وی جور درمی‌آمد.

سرانجام وی به این نتیجه رسید که مرّیخ سوار بر یک ارابه در مداری بیضوی،خورشید را دور می‌زند. در شکل ۵۹ یک بیضی را مشاهده می‌کنید که کپلر آن را به تناسب دایره‌یی که پیش‌تر به عنوان مدار در نظر گرفته می‌شد،

رسم کرد، و خورشید در یکی از کانون‌های آن واقع بود. وی قانون اوّل خود را از روی همین تصویر تدوین کرد. این قانون، مستقیماً از مشاهده به دست آمده است. کپلر از تطابق این قانون با قوانین دینامیک خبری نداشت، چون در آن هنگام هنوز قوانین دینامیک تدوین نشده بود. از لحاظ مشاهده، شکل بیضی، منحنی ساده‌یی به حساب می‌آمد که قبلاً هم یونانی‌ها به مطالعه‌ی آن پرداخته بودند، و پس از دایره ساده‌ترین شکل بود. بدین ترتیب وی اظهار داشت که تمام سیّارات باید در مداری بیضوی که خورشید در یک کانون آن واقع است، به دور آن بگردند و دامنه‌ی این آرایش را تا آنجا گسترد که نشان داد ماه هم در یک مدار بیضوی زمین را دور می‌زند. این قانون اوّل کپلر است که مدت‌ها مایهٔ رضایت و خشنودی کپلر بود، امّا وی باز هم پیش‌تر رفت.

مسئله‌ی گردش سیّارات بر محیط بیضی‌هایی که خورشید در یکی از کانون‌های آن قرار دارد، باعث شد که موضوع سرعت حرکت در این گونه مدارها هم مطرح شود. کپلر نشان داد که سرعت حرکت سیاره بر مدارهای بیضوی یکنواخت نیست، بلکه به هنگام نزدیک شدن آن به خورشید زیاد می‌شود و در فواصل دور از خورشید کاهش می‌یابد. از این مقدّمات چنین نتیجه گرفت که تغییر سرعت عملاً به نحوی صورت می‌گیرد که سیّاره در زمان‌های مساوی، مساحت‌های مساوی را طی می‌کند. بدین ترتیب مسئله‌ی عدم تساوی‌هایی نظیر دراز و کوتاه بودن فصل‌های زمستان و تابستان حل شد. به هنگام تابستان زمین از خورشید دور است و این فصل از حیث زمان طولانی می‌شود، و در مورد زمستان عکس این موضوع صادق است. در آن ایّام این نکته عجیب می‌نمود که در تابستان که هوا گرم‌تر است، فاصله‌ی زمین از خورشید بیشتر باشد و علّت گرما برخلاف تصوّر، آن نیست که زمین به خورشید نزدیک‌تر می‌شود، بلکه آن است که خورشید در این فصل مدّت بیشتری بر عرض‌های جغرافیایی بالاتر می‌تابد. در واقع قانون دوّم کپلر چیزی

جز این نمی‌گفت که اندازه‌حرکت (مُمنتوم) زمین در مدار حرکت آن ثابت می‌ماند. به کلام دیگر، حاصل‌ضرب سرعت و بردار شعاعی همواره مقداری ثابت خواهد بود.

تا اینجا، کپلر با مشاهده‌ی صرف، قانون حرکت یک تک‌سیّاره را به دست آورده بود، ولی برای تعیین یک قانون کلّی درمورد تمام سیّارات، لازم بود رابطه‌ی میان زمان تناوب گردش و فاصله‌ی آنها را از خورشید بداند. وی پس از سال‌ها زحمت پی برد که این رابطه به صورت نسبت مجذور به مکعب است. بدین ترتیب تبیین کمّی حرکت سیّارات تکمیل شد. راه حل‌های پیشنهادی وی شامل تمام مصالح ضروری برای بنیاد قوانین نیرو در نظام سیّارات بود و به دریافت‌های شهودی کپرنیک معنا می‌بخشید. برای پذیرش این قوانین لازم بود ابتدا امکان‌پذیر بودن نظام با مشاهده‌ی مستقیم، تحقیق واثبات شود. این وظیفه را گالیلئو گالیله[1] به شایستگی به انجام رساند.

گالیلئو گالیله

گالیله در آغاز، استاد ریاضیات و مهندسی نظامی در شهر پیزا بود. پیزا شهر دانشگاهی فلورانس است. درست مانند کمبریج که شهر دانشگاهی لندن بود. وی پس از چندی به پادوا، یعنی شهر دانشگاهی ونیز، منتقل شد. وی در برقرار کردن ارتباط بسیار قدرتمند بود. با شاهزادگان و پاپ‌ها مراوده داشت و مدرسی خوب و محبوب محسوب می‌شد. در زمینه‌های مختلف علمی دست داشت. باید بدانید که در آن روزها دانشمندان به اندازه‌ی امروز دچار محدودیت نبودند. گالیله منجم نبود. سهم وی در این رشته از علم عبارت بود از یک رشته رصد، که کاملاً سرنوشت‌ساز بود و طی آنها اقمار سیاراتی

1- Galileo Galilei

مانند مشتری مشاهده شد، و اندیشه‌ی دور از دسترس انقلاب در علم دینامیک پای گرفت. فعلاً به نخستین کار وی می‌پردازیم. خود وی در مقدّمه‌ی کتابی که در سال ۱۶۱۰ با عنوان *پیام آور ستارگان*[1] انتشار یافت، در این مورد چنین می‌نویسد: «... گالیلئو گالیله، نجیب زاده‌ی فلورانسی و استاد ریاضیّات دانشگاه پادوا، اعلام می‌کند که مناظر شکوهمندی را اخیراً با کاربرد تلسکوپ اختراعی خود دیده است، و مشاهدات خود را در معرض توجّه همگان قرار می‌دهد... وی با این دستگاه، سطح کره‌ی ماه و تعداد بی‌شماری از ثوابت، راه کاهکشان، ستارگان ابری، و به خصوص چهار سیاره‌یی را که در فواصل مختلف با زمان‌های تناوب متفاوت و با سرعت‌های شگفت‌آور به دور مشتری می‌چرخند، رصد کرده است. این چهار سیّاره تاکنون بر همگان ناشناخته مانده بودند، و اخیراً مؤلّف این کتاب آنها را کشف کرده و ستارگان مدیچی خوانده است.»

بیان این نکات، تبلیغ علمی خوبی است. سرعت انتشار آن در آن زمان از سرعت انتشار یک رساله در عصر ما بیشتر بوده است. فکر می‌کنم تاریخ انتشار آن حتّی به یک ماه پس از کشف مورد نظر نرسد. در آن عصر، کافی بود که آدم دستنوشته‌ی اثر را به یک چاپخانه تحویل دهد و همان جا بایستد تا مطلب حروفچینی و غلط‌گیری شود و کار به اتمام برسد. کتاب در میان جوامع درس‌خوانده توزیع می‌شد و در مدّت یک‌سال جای شایسته‌ی خود را می‌یافت. *دان*[2] شاعر انگلیسی از این موضوع سخت به هیجان

1- Siederius Nuntius
2- Donne (John)

آمد، و در این مورد رساله‌یی با عنوان مجمع *ایگناتیوس*[1] در مورد جهان تازه بر روی کره‌ی ماه به رشته‌ی تحریر در آورد.

باری، گالیله در آغاز کتابش چنین می‌آورد: «در حدود ده ماه پیش گزارش‌هایی به گوش من رسید، مبنی بر اینکه یک نفر هلندی موفق شده است تلسکوپ بسازد.» منظور از «یک نفر هلندی»، *یوهان لیپرشی*[2] عینک‌ساز بود که کسی او را نمی‌شناخت. البتّه این تلسکوپ جزو تجهیزات سری نظامی بود، چون در آن هنگام هلند طی جنگ با اسپانیایی‌ها اشغال شده بود و دوک *موریس اهل ناسائو*[3]، احتمالاً از این وسیله استفاده می‌کرده است. قضیه‌ی تلسکوپ دهن به دهن گشت و صحت آن در نامه‌یی که گالیله از پاریس دریافت کرد، تأیید شد. چون بعداً در فصل نورشناخت در خصوص تلسکوپ صحبت خواهم کرد، فعلاً به بحث در این مورد نمی‌پردازم. گالیله مطلب خود را چنین ادامه می‌دهد: «پس از مدّتی تعمق درمورد شکست نور، موفق شدم چنین وسیله‌یی را بسازم.» در آن هنگام از قوانین اسنل در مورد شکست نور خبری نبود، و گالیله باید واقعاً تعمق بسیار در این زمینه کرده باشد. به هرحال مهم‌ترین نکته آن بود که دستگاه کار می‌کرد:

«همین که چشمم را به عدسی همگرا نزدیک کردم، اشیا را به نحو رضایت‌بخشی بزرگ‌تر و نزدیک‌تر دیدم. ذکر فهرست و اهمیّت منافع و مزایای این دستگاه در خشکی و دریا جز ملال و تصدیع حاصلی ندارد. من بدون توجّه به موارد کاربرد این دستگاه در مورد اشیای زمینی، به مشاهده‌ی اجسام فلکی پرداختم.»

البتّه این گفته نشانه‌ی مقداری کم‌لطفی است، چون وی با تلسکوپ به

1- Ignatius his Conclave
2- Johann Lippershey
3- Duke Maurice of Nassau

مشاهده‌ی بسیاری از اشیای زمینی پرداخته ونتایج بدی هم به دست نیاورده بود. گالیله این وسیله را به عنوان یک ابزار جنگی فوق‌العاده مهم، به سنای ونیز هدیه کرد؛ تلسکوپ امکان دیدن و شمردن کشتی‌های ناوگان دشمن را، پیش از آنکه دشمن موفق به انجام چنین اقدامی شود، فراهم می‌آورد. به گفته‌ی وی این پیشدستی در شمارش و برآورد تجهیزات دشمن فرصت گرانبهایی برای جنگیدن یا فرار کردن به غنیمت می‌آورد. وی این دستگاه را به رسم پیشکش به سنا هدیه کرده بود، اما سنا پاداشی معادل با پانصد سکه‌ی نقره به او پرداخت. این پیشامد نشانه‌ی بخت بلند گالیله بود، چون همان طور که در نمایشنامه‌ی گالیلئو گالیله اثر برتولت برشت می‌بینیم سال بعد تلسکوپ‌های هلندی به بهای چند سکه در کوچه و بازار برای فروش عرضه شد. موضوع مهم آن بود که وی زود جنبید، و در مورد نجوم هم به همین منوال کار کرد. وی به مشاهده‌ی ماه پرداخت و پستی و بلندی‌های سطح آن را دید، و مهم‌تر از آن متوجه شد که تعداد ستارگان به مراتب بیش از ۲۰۰۰ ستاره‌یی است که با چشم غیر مسلح دیده می‌شود. البته اگر شب‌هنگام به آسمان بنگرید، تصور می‌کنید بیش از این تعداد ستاره می‌بینید ولی واقع امر این است که این تعداد کثیر در حدود همان ۲۰۰۰ است.

گالیله نقشه‌یی از ستارگان جدید ترسیم کرد و در ۷ ژانویه‌ی سال بعد، یعنی سال ۱۶۱۰، چنین نوشت:

«آنچه می‌ماند، و به نظر من شایسته‌ی آن است که مهم‌ترین جنبه‌ی کار به حساب بیاید، این است که باید جهان را در جریان کشف و مشاهده‌ی چهار سیاره قرار دهم، که از آغاز جهان تاکنون کسی آنها را ندیده است. رصد آنها بر پایه‌ی مطالعه‌ی دو ماهه‌ی اخیر حرکت و تغییر قدر آنها صورت گرفته است. من همه‌ی منجمین را به آزمون این چهار سیاره و تعیین زمان تناوب آنها دعوت می‌کنم؛ چرا که خود، به علت ضیق وقت، موفق به تعیین آن نشده‌ام.»

همان‌طور که می‌بینید، گالیله خیلی سریع کار می‌کرد و در عین حال خیلی هم به شهرت و تبلیغ علاقه داشت: «ولی به این دانشمندان سفارش می‌کنم

که بدون هدف به این کار نپردازند، و بدانند که حتماً به یک تلسکوپ دقیق نیاز دارند.» به عقیده‌ی استادان نجوم دانشگاه ایتالیا، چون این ستارگان به شیوه‌ی معمول قابل مشاهده نبودند، و ارسطو به آنها توجهی نکرده بود، اینها اطّلاعات مفیدی در اختیار ما نمی‌نهند و منجمین نیاز به تلسکوپ ندارند. (باید بگویم که همین چند سال پیش در یکی از دانشکده‌های ما سخنان مشابهی در مورد فایده و ضرورت میکروسکوپ الکترونی اظهار می‌شد، و استادان معتقد بودند که یک زیست‌شناس خوب بدون استفاده از میکروسکوپ الکترونی می‌تواند اطّلاعات لازم را به دست آورد.) به هر تقدیر، کسی حاضر نشد نگاهی از طریق تلسکوپ به آسمان بیندازد، و بدین ترتیب در آغاز کار، رقیبی برای گالیله پیدا نشد. برای توجّه به این موضوع اساسی، بار دیگر به نوشته‌ی گالیله باز می‌گردیم:

«در هفتم ژانویه‌ی سال جاری، در نخستین ساعات شب، هنگامی که با کمک تلسکوپ به نظاره‌ی افلاک مشغول بودم، سیّاره‌ی مشتری در دید من واقع شد. اوضاع و احوالی به چشم من آمد که هرگز پیش از آن نظیرش را ندیده بودم. سه ستاره‌ی خرد را که با همه‌ی کوچکی بسیار درخشان بودند، در جوار این سیاره دیدم. ابتدا تصوّر من این بود که اینها به مجموعه‌یی از ستارگان ثابت تعلّق دارند، امّا قرار گرفتن آنها بر یک خط مستقیم، به موازات دایرةالبروج، و درخشان‌تر بودن آنها از ستارگان مشابه، مرا به شگفتی آورد. درباره‌ی موقعیت آنها نسبت به یکدیگر، می‌توان گفت که دوتا از آنها در یک‌سو و سومی در سوی دیگر قرار دارند. دیگر مانند آن زمان که فکر می‌کردم این ستارگان به مجموعه‌یی از ثوابت تعلق دارند، از مشاهده‌ی فاصله‌ی آنها با مشتری دچار حیرت نمی‌شدم؛ امّا هنگامی که در هشتم ژانویه، بر حسب تقدیر، بار دیگر به همان نقطه از افلاک نگریستم، اوضاع و احوال را دگرگون دیدم. در این نوبت هر سه ستاره در غرب مشتری، و در فاصله‌یی دیده می‌شدند نزدیک‌تر از فاصله‌یی که شب پیش با آن بودند، و در فواصل مساوی از یکدیگر قرار داشتند. در این حالت با آنکه تردیدی در مورد نزدیکی این ستارگان به یکدیگر نداشتم، از اینکه یک روز مشتری در شرق این سه ستاره و روز دیگر در غرب دو تا از آنها دیده می‌شد، حیران بودم. ناگهان ترسیدم مبادا حرکت این سیاره با محاسباتی که منجّمین ارائه کرده بودند، سازگار نباشد.»

علّت این برداشت، این بود که، طبعاً، وی هنوز هم آنها را ستاره

می‌دانست.

«پس این سیّاره با حرکت مناسب و درست از کنار ستارگان نمی‌گذرد. با اشتیاق به انتظار رسیدن شب ماندم؛ اما انتظارم بی‌ثمر ماند، چون آن شب آسمان از ابر پوشیده بود. ولی شب دهم ژانویه، باز هم ستارگان را دیدم و موقعیّت آنها به ترتیبی بود که دوتا از آنها در کناره‌ی سیّاره دیده می‌شدند، و سوّمی اصلاً پیدا نبود، و من حدس زدم که در پشت سیّاره مخفی مانده است. با مشاهده‌ی این پدیده‌ها دانستم که تغییرات موضع، به هیچ وجه مربوط به مشتری نیست. در یازدهم ژانویه بار دیگر دو ستاره را در سمت شرق دیدم. پس نتیجه گرفتم که بدون تردید این سه ستاره در افلاک به گِرد مشتری می‌گردند، و زهره و عطارد به دور خورشید در گردشند که این نکته با رصدهای متعدّد به روشنی روز واضح شده است.»

همچنان که می‌بینید، این شیوه‌ی استدلال را می‌توان اثبات براساس مشاهدات عملی دانست که به ریاضیات نیازی ندارد؛ امّا بر مشاهده متکّی است. این همان منظومه‌ی شمسی کپرنیکی است که سرانجام مردم را واقعاً متقاعد کرد. این کار از محاسبات منجّمین و قوانین کپلر برنمی‌آمد؛ امّا مشاهدات مستقیم و روزمره به خوبی از عهده‌ی آن بر آمد. البتّه گالیله از اهمیّت این کشف باخبر بود و پی برد که این ستارگان نوعی ساعت سماوی به شمار می‌آیند، که زمان مطلق را مشخص می‌کنند و به یاری زمان مطلق می‌توان طول جغرافیایی را، که آن همه مورد نیاز دریانوردان است، به دست آورد. کافی بود که جدول مرتّبی از اقمار مشتری تهیّه و زمان‌های مربوطِ به آنها را برحسب زمان مطلق محاسبه کرد، و با توجّه به زمان محلّی، طول جغرافیایی را اندازه گرفت. جدول اقمار مشتری بعداً در سالنامه‌های دریایی ارائه شد. گالیله این روش را بسیار مفید می‌دانست، و در زمینه‌ی قبولاندن آن تلاش می‌کرد.

گالیله دو دختر داشت که در شوهر دادن آنها با اشکال‌های فراوانی روبه‌رو شد. بدین‌سبب سخت محتاج پول بود، و آخر هم مجبور شد یکی از دخترها را به صومعه بفرستد. با حقوق ناچیزی که به وی می‌دادند در تنگدستی روزگار می‌گذراند. وی نامه‌یی به پادشاه اسپانیا نوشت و ضمن عرضه‌ی راه تعیین طول جغرافیایی، اشاره کرد که تعیین طول جغرافیایی به درد یک فرد

ستاره‌شناس نمی‌خورد، ولی برای سلطانی که آن همه ملک دارد امری ضروری و مفید است. در این نامه اظهار امیدواری شده است که پادشاه اسپانیا، که سلطان مطلق است و می‌تواند در امور مختلف اراده‌ی خود را جاری کند، از پیشنهاد وی سود جوید. وی قبلاً ستاره‌ها را به افتخار حامیان خود «ستارگان مدیچی» نامیده بود؛ امّا از آنجا که این خاندان لئامت به خرج داد و از پرداخت پاداشی به وی خودداری کرد نام مدیچی را از روی آنها برداشت و نام‌های کاملاً کلاسیکی برای آنها درنظر گرفت.

ارائه‌ی پیشنهاد به پادشاه اسپانیا یک راه حل بسیار عملی بود. پادشاه به‌نحوی غیر منصفانه موضوع را به یک کمیته ارجاع کرد. این کمیته سه سال به بررسی پرداخت، و سرانجام پیشنهاد گالیله را راه حلی غیر عملی خواند؛ چون به عقیده‌ی آنها، دریانوردان نمی‌توانستند بر روی کشتی به مشاهده و رصد قمرهای مشتری بپردازند. بدین ترتیب پیشنهاد رد شد. اما گالیله از پای ننشست و چند سال بعد نامه‌یی به «شورای دولتی» هلند نوشت و اظهار امیدواری کرد که آن مردان عمل که از روحیه‌یی دموکرات برخوردارند، و در تاروپود حاکمیت استبدادی فردی نیفتاده‌اند، بتوانند بدون فوت وقت، مزایای این روش را دریابند. این شورا پیشنهاد را رد نکرد، بلکه آن را پذیرفت، ولی متأسّفانه دیناری در مقابل آن به گالیله نپرداخت. به هرحال این روش به کار نیامد، چون در واقع اصلاً هم عملی نبود. علت امر به چگونگی سرعت نور مربوط می‌شود، و به هرحال این روش در دریانوردی هرگز مقبول نیفتاد.

بنیان‌گذاری دینامیک

بدین ترتیب منظومه‌ی شمسی شناخته شد، اما یک جنبه‌ی دیگر نظریه که پیش‌تر هم از آن یاد کردم، بنیان‌گذاری دینامیک بود. کمی به عقب باز گردیم. شالوده‌ی اصلی دینامیک بر کار و مطالعه در زمینه‌ی گلوله‌ی توپ بنا شد. ارسطو درمورد دینامیک نظرات جالبی داشت: همه‌ی اشیا به حیّز طبیعی خود سقوط می‌کنند، حیّز طبیعی هر شیء براساس عنصر آن مشخص می‌شود. اگر

شیء خاکی و جامد باشد، به سوی زمین یا اعماق دریا سقوط می‌کند؛ اگر آتش باشد، به بالا می‌رود. امّا «حرکت قَسْری» چگونه حرکتی است؟ پرتاب سنگ و رها کردن تیر چگونه صورت می‌گیرد؟ توضیح این رفتارها براساس معرفت ارسطویی بسیار دشوار جلوه می‌کرد و مبتنی بر این تفسیر بود که حرکت طبیعی، درست همان طور که شایسته است، صورت می‌گیرد. سنگ فرو می‌افتد و هر چقدر سنگین‌تر باشد سریع‌تر سقوط می‌کند. امّا توضیح حرکت قَسْری بسیار دشوار است. ارسطو این‌طور استدلال می‌کرد: هنگامی که نیزه‌یی پرتاب می‌شود، در هوا نفوذ می‌کند و هوایی که در قسمت جلو نیزه بوده است، به سوی انتهای آن می‌آید و آن را به جلو حرکت می‌دهد. این جریان نمی‌تواند مدّت زیادی طول بکشد، چون نیروی محرّکه‌اش ته می‌کشد و بالاخره نیزه به زمین سقوط می‌کند. این توضیح با وجود شکّی که در برخی از دل‌ها نسبت به آن وجود داشت، به مدّت ۲۰۰۰ سال مورد پذیرش اکثریّت مردم بود.

یکی از نخستین کسانی که در این نکته تردید کرد، *جان فیلیپونوس*[1] فیلسوف مسیحی قرن ششم میلادی بود. یکی از نخستین اصول مسیحیّت در آن ایّام، به دلایل بسیار روشن، اعتقاد به این نکته بود که تمام گفته‌های ارسطو از پایه غلط است. دست بر قضا ۶۰۰ سال بعد، مسیحیّت نظرات ارسطو را پذیرفت و تأکید کرد که همه‌ی گفته‌های او حتماً صحیح است. امّا یک بار دیگر در دوران نهضت اصلاح دین تصویب شد که هر چه ارسطو گفته است یکسره باطل است. *راموس*[2] که بعداً در قتل عام سن بارتُلمی[3] کشته شد، رساله‌یی با عنوان *همه‌ی گفته‌های ارسطو باطل است* به دانشگاه پاریس ارائه کرد. به هر حال جان فیلیپونوس معتقد بود که نظریّه‌ی ارسطو درمورد پرتاب نیزه ابداً بیانگر

1- John Philiponos

2- Ramus

۳ـ قتل عام پروتستان‌ها به‌دست کاتولیک‌ها در شب ۲۴ اوت ۱۵۷۲ در فرانسه ـ م.

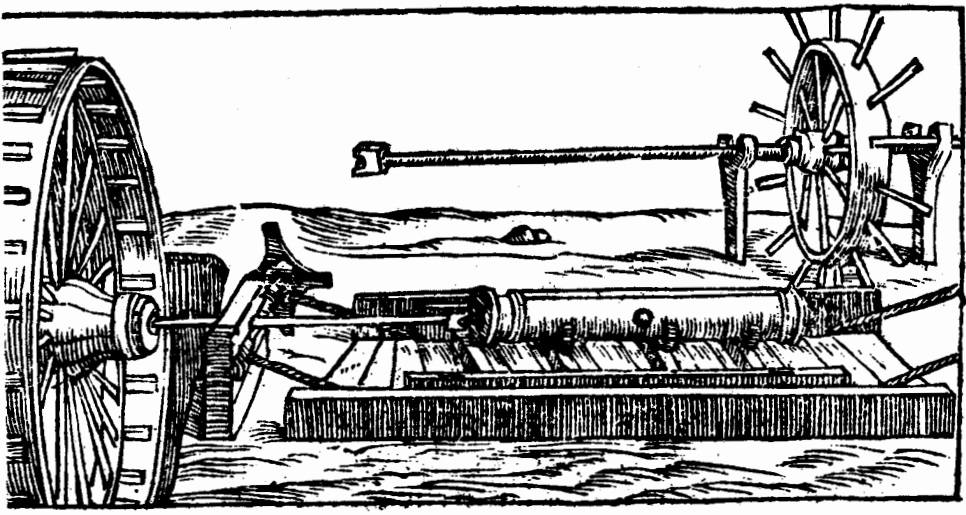
واقعیّت امر نیست. سنگی که پرتاب می‌شود، دارای قوه‌ی محرکه‌هایی می‌شود که آن را به جلو حمل می‌کند، و تا هنگامی که این قوه وجود دارد سنگ به پیش می‌رود و به محض از دست دادن قوه‌ی محرکه به زمین می‌افتد. بنابراین، نیروی محرکه‌ی پرتابه چیزی است که در هوا حرکت می‌کند و سپس پایین می‌آید و این امر درست نظیر رویدادی است که در هنگام شلیک گلوله‌ی توپ اتفاق می‌افتد.

گلوله‌های توپ‌هایی که در هنگام محاصره‌ی دژها شلیک می‌شوند، از بالای دیوار می‌گذرند و به آن سوی دیوار می‌افتند، یا به‌طور مستقیم به دیوار برخورد می‌کنند و در آن فرو می‌روند. توپ‌های اوّلیّه هنرشان در همین نکته خلاصه می‌شد، البتّه علاوه بر این محسّنات به درد ترساندن و رم دادن اسب‌ها هم می‌خوردند! طبق نوشته‌ی *فرواسار*[1]، مورّخ فرانسوی، شلیک این نوع توپ‌ها در جنگ کرِسی[2] باعث پراکندگی سواره نظام فرانسه شد. این مورّخ پس از پیروزی انگلیسی‌ها، خود را در خدمت آنها قرار داد و در بازنویسی تاریخ جنگ، قسمت مربوط به شلیک توپ‌ها را به‌علّت ناجوانمردانه شمردن آنها به‌کلّی حذف کرد. بنابراین، کسی که نسخه‌ی انگلیسی این تاریخ را می‌خوانَد اثری از داستان کاربرد توپ‌ها در آن نمی‌بیند.

در شکل ۶۰ چگونگی تولید توپ را به یاری یک مته‌ی مخصوص می‌بینید. این دستگاه‌ها دقّتی نداشتند. اندازه‌ی گلوله‌های توپ هم دقیق نبود؛ این گلوله‌ها در لوله‌ی توپ به این طرف و آن طرف می‌چرخیدند و وقتی که از لوله بیرون می‌آمدند باد بر حرکتشان اثر می‌گذاشت. به‌همین دلیل، نظریه چندان به کار نمی‌آمد. در واقع تا هنگام ساختن سلاح‌های ضد هوایی در جنگ جهانی دوم، این نظریات ثمری دربر نداشتند. فکر می‌کنم این جمله ازبویل باشد که: «توپ در فلسفه بیشتر سر و صدا بر پا کرده است تا در عملیّات جنگی.»

1- Froissart

2- Crécy



شکل ۶۰ـ مته‌کاری توپ؛ اقتباس از بیرینگوتچو، *درباره‌ی فلز گدازی*.

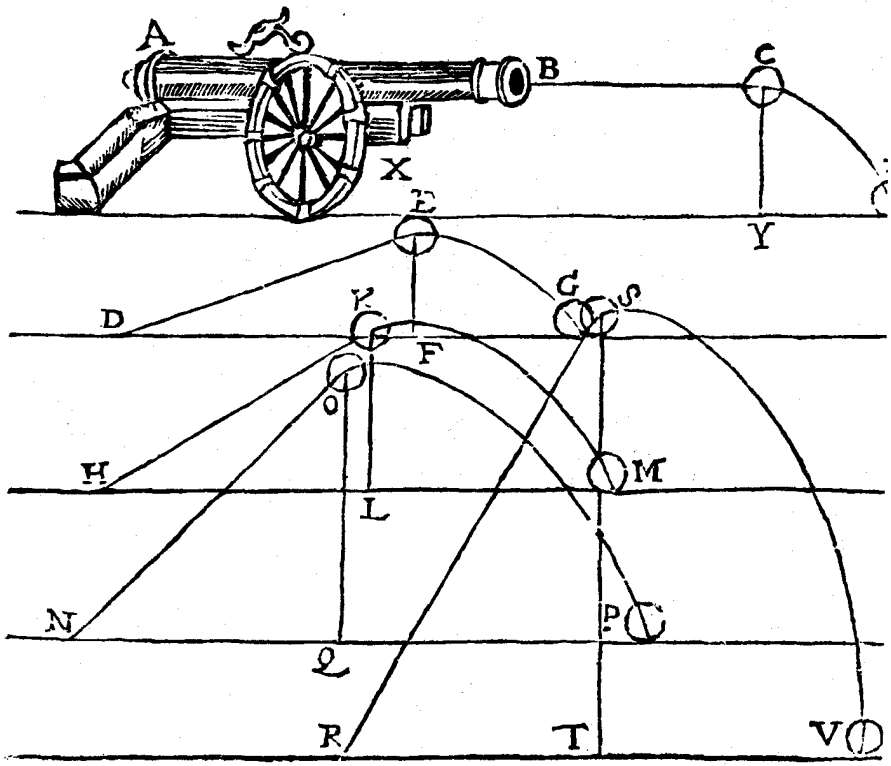
در شکل ۶۱ یکی از فنون توپچی‌گری نشان داده شده است. توپچی در این تصویر مشغول نشانه‌روی است، و می‌تواند با گوه‌های مختلف، لوله‌ی توپ را بالا و پایین ببرد و به سمت هدف نشانه بگیرد. ربع را در دهانه‌ی لوله‌ی توپ قرار می‌دادند و به کمک یک شاقول،زاویه‌ی ارتفاع را اندازه‌گیری می‌کردند.

در شکل ۶۲ که از یک کتاب اسپانیایی جدیدتر گرفته شده است، نمودارهای پرتابه‌ی مربوط به آن زمان دیده می‌شود. این پرتابه‌ها دقیقاً براساس نظریه‌ی قوّه‌ی محرّکه استوار نشده‌اند. مردم متوجّه شده بودند که گلوله مستقیماً به سوی زمین باز نمی‌گردد، بلکه برحسب زاویه‌ی پرتاب مقداری از مسیر را به یاری قوّه‌ی محرّکه به طور مستقیم طی می‌کند، و پس از آن مسیرش منحنی می‌شود و به پایین باز می‌گردد. همان طور که می‌بینید،قسمت آخر پرتابه تقریب بسیار نزدیکی از یک سهمی است. البتّه مسیر در سرعت‌های پایین، سهمی نیست؛امّا این تصویر نشان می‌دهد که در آن دوران اصول این حرکت را می‌فهمیدند. توپ در شلیک به‌طور افقی یا در راستای مستقیم

شکل ۶۱ـ فن توپچی گری: نشانه گیری. اقتباس از و. روف، *گزارش عملیات فنون مکانیکی و ریاضی*، نورنبرگ، ۱۵۴۷.[1]

به‌طرف هدف بُرد ناچیزی پیدا می کند. هنگامی که زاویه‌ی پرتاب به ۴۵° می‌رسد، بُرد طولانی می‌شود و اگر این زاویه از ۴۵° بیشتر باشد، بُرد مجدداً کاستی می‌پذیرد. کشف این نکته آغازگر علم بالیستیک جدید شد.

1- W. Ruff, *Der... mathematischen und mechanischen Kunst eygentlicher bericht*, Nuremberg, 1547.



شکل ۶۲ـ تحقیق در علم بالیستیک؛ اقتباس از *ابزارهای نوین مهندسی*، نوشته‌ی پدس، ۱۶۰۶.[1]

در شکل ۶۳ مفهوم بسیار دقیقی به نمایش درآمده است که کل علم را دربر می‌گیرد. این تصویر را ریاضی‌دان برجسته‌یی به نام *تارتاگلیا* کشیده است، و در آن راه یادگیری را نشان داده است. باید از دری وارد شد که عنوان ریاضیّات بر روی آن دیده می‌شود و *اقلیدس* به نگاهبانی آن ایستاده است. در

1- Cespedes, *Instrumentos Nuevos de Giometria*, 1606.

شکل ۶۳ـ مفهوم علم جدید؛ اقتباس از کتاب علم جدید *Nova Scientia*، اثر نیکولو تارتاگلیا ,Nicolo Tartaglia، ونیز ۱۵۳۷.

درون، علاوه بر صف خداوندان علم، ریاضیّات، موسیقی، و نجوم که در انتظار ایستاده‌اند، دو پدیده‌ی جالب دیگر دیده می‌شود. یک قبضه توپ در سطح پایین، و یک خمپاره که رو به بالا شلیک شده است. تارتاگلیا درباره‌ی علم بالیستیک چنین می‌نویسد: «ناظر مشاجره‌یی بودم که میان توپچی‌ها درمورد زاویه‌ی پرتاب برای حدّاکثر برد گلوله درگرفته و به شرط‌بندی منجر شده بود. پس از محاسبات دقیق به این نتیجه رسیدم که زاویه‌ی حدّاکثر برد باید ۴۵° باشد». این پاسخ از لحاظ ریاضی بسیار خوب است، و به شرط چشم‌پوشی از مقاومت هوا، از صحّت برخوردار است؛ امّا روش وی برای دستیابی به این نتیجه قابل توجّه است. اگر توپ را به طور افقی شلیک کنیم، طبق اصول، برد گلوله باید صفر باشد؛ و اگر آن را به طور قائم شلیک کنیم روی سر خودمان فرود خواهد آمد. پس اگر زاویه‌یی در میان این دو حال انتخاب کنیم، برد مقدار حداکثر خود را خواهد داشت. تارتاگلیا در مورد علم بالیستیک مطالب بسیار نوشت، امّا آنها را فوراً منتشر نکرد. وی گرفتار عذاب وجدان و تردید بود؛ چون این نکته برای نخستین بار در علم مطرح می‌شد. وی راه‌هایی برای تکامل سلاح‌هایی یافت که «مسیحیان ممکن بود در جنگ علیه یکدیگر از آنها استفاده کنند». آیا می‌توان با وجدانی آسوده به انتشار این گونه مطالب پرداخت؟ پاسخ وی منفی بود. وی همه‌ی یادداشت‌های خود را به آتش سپرد و از انتشار آنها خودداری کرد. امّا متأسّفانه ایتالیا در تهدید اشغال توسّط ترکان قرار گرفت، و چون به نظر تارتاگلیا ترکان اصول مسیحیّت را مراعات نمی‌کردند، وی بار دیگر به محاسبه پرداخت و نتایج محاسبات خود را انتشار داد. تارتاگلیا نتوانست در کار خود چندان پیش رود و دنباله‌ی کار او را بعدها گالیله گرفت.

قوانین سقوط اجسام

بحث در خصوص حرکت اجسام، جنبه‌ی دیگری از فعالیت‌های گالیله است. از مواردی که در آن روزگار مورد بحث بود، می توان از گلوله‌های توپ،

اجسام در حال سقوط، و حرکات طبیعی و مصنوعی نام برد. گالیله برای کشف قوانین واقعی سقوط اجسام به یک سلسله آزمایش دست زد. نقل شده است که وی دو وزنه‌ی نامساوی را از برج پیزا به زیر افکند، و متوجه شد که به طور همزمان به زمین می‌رسند. این آزمایش داستان جالبی دارد، و در آن یک چیز کاملاً مسلّم است و آن این که این آزمایش هرگز به دست گالیله انجام نگرفته است. این آزمایش را طلبه‌یی مدت‌ها پس از مرگ گالیله انجام داد، تا صحّت آنچه را که گالیله به طور نظری ادّعا کرده بود، عملاً اثبات کند. و جالب آنکه هنوز هم در آزمایشگاه ملّی فیزیک برای تعیین شتاب ثقل، یا گرانی (g) همین روش به کار گرفته می‌شود. با پرتاب یک گلوله‌ی کوچک کوارتز در راستای قائم رو به بالا، و اندازه گیری زمان رفت و برگشت، می‌توان g را محاسبه کرد. این روش از روش اندازه‌گیری g به وسیله‌ی آونگ دقیق‌تر است؛ ولی به تدبیرهای زیاد و متنوعی نیاز دارد. تا به حال نتوانسته‌اند با این روش به محاسبه‌ی دقیق g برسند، چون گلوله‌ی بازیگوش همیشه به طور مستقیم بالا نمی‌رود، و همیشه هم به نقطه‌ی پرتاب باز نمی‌گردد. آزمایشگاه ملی فیزیک هنوز نتوانسته است این اشکال را برطرف کند. گالیله به طور خلاق به آزمایش‌های ذهنی دیگری دست زد؛ مثلاً، وی چنین اندیشید که اگر دو جزء جسمی را به طور جداگانه به پایین رها و بعد آنها را به هم متصّل کنیم و به حالت سقوط در آوریم، سرعت و زمان سقوط در هر دو حالت مساوی خواهد بود. بنابراین، در فقدان مقاومت هوا تمام اجسام با یک سرعت سقوط می‌کنند. وی از وجود مقاومت هوا اطلاع داشت و آگاهانه از مقاومت آن چشم می‌پوشید. وی تلاش می‌کرد در ذهن خود رفتار اجسام را در فضای آزاد یا خلأ به تصوّر در آورد، و این تلاش نمونه‌یی از ایده‌آلیسم و شهود در فیزیک نظری است.

در صحبت قبلی‌ام راجع به ارسطو، یک نکته‌ی بسیار مهم را از قلم انداختم. نظریه‌ی ارسطویی حرکت، تنها در صورت وجود هوا امکان تحقّق دارد، چون همان طور که گفتم باید هوایی باشد که از جلو نیزه به عقب آن منتقل شود و

آن را به جلو براند. در صورتی که هوا در کار نباشد، حرکتی هم واقع نخواهد شد. ارسطو از این امر نتیجه می‌گرفت که خلأ ناممکن است. البتّه دلایل وی دقیق‌تر از این بود. به گفته‌ی وی اگر خلأ ممکن باشد، جسم در آن، به حرکت یکنواخت بر روی خط مستقیم ادامه می‌دهد، که امری محال است. بنابراین، خلأ نمی‌تواند وجود داشته باشد. می‌بینید که ارسطو، قانون اول نیوتون را بیان کرده و آن را برای اثبات عدم امکان وجود خلأ به کار برده است. این نکته نشان می‌دهد که باید در بی‌معنا شمردن امور و رویدادها جانب احتیاط را نگاه داشت. بعضی از کارها را نمی‌توان در یک اتاق انجام داد، و در نتیجه بی‌معنا به نظر می‌رسند. مثلاً، اگر کتابی را روی یک میز هُل بدهیم، برای ابد به حرکت در روی خط مستقیم ادامه نمی‌دهد، حتّی بر روی یک سطح کاملاً صاف و افقی هم برای حرکت دادن درشکه، به اسب نیاز داریم. دینامیک ارسطویی با زندگی واقعی پیوندی تنگاتنگ داشت، ولی باید در کاربرد تصوّراتی که معمول و بدیهی به نظر می‌رسند، دقّت کرد و به شناخت حوزه‌ی کاربرد آنها پرداخت.

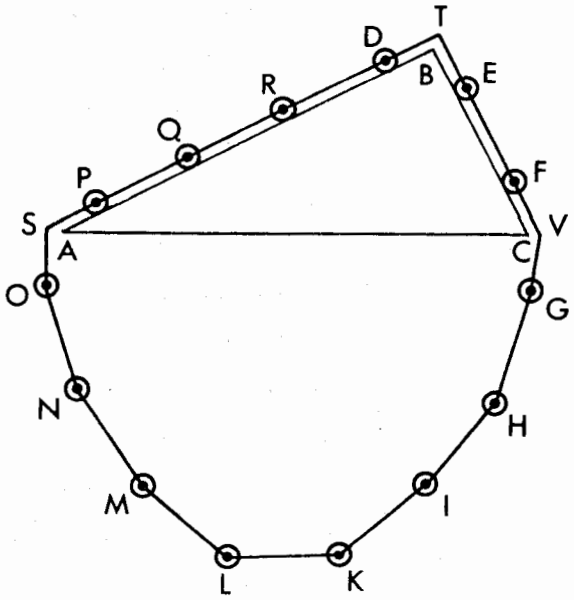
گالیله این نکته را به تعقّل دریافت و موفّق شد قوانین واقعی و عملی حرکت طبیعی ارسطویی را به دست آورد. مردم ایّام قدیم می‌دانستند که سرعت حرکت اجسام در حال سقوط، مدام سریع‌تر می‌شود و ارسطو هم از این موضوع مطّلع بود. امّا ارسطو در این مورد اعتقاد داشت که «جسم می‌کوشد زودتر به زمین برسد. درست همان طور که اسب هر قدر به طویله نزدیک‌تر می‌شود تندتر می‌دود، سنگ هم هر قدر در حال سقوط به زمین نزدیک‌تر می‌شود، سریع‌تر حرکت می‌کند». این استنتاج از بینشی به نام علّت غایی منشأ می‌گرفت، که به موجب آن حالت نهایی جسم بیش از سابق، تعیین کننده‌ی سیر تکوینی آن است. این بینش در محل خود بینش بسیار خوبی است. اشکال کار ارسطو در آن بود که وی زیست‌شناس به حساب می‌آمد. بینش فوق که در مورد حرکت اسب بسیار کامل به نظر می‌رسید، ربطی به حرکت موجودات بی‌جان نداشت. مفهوم علّت غایی، در زیست‌شناسی کاربرد دارد، امّا در فیزیک مفید نیست.

باری، به محاسبات گالیله باز گردیم. در این مورد بحث‌های زیادی در گرفته است. پیش از این گفتم که در سده‌های میانه یک بار دیگر کار عقاید ارسطو بالا گرفت، و چنین احساس می‌شد که اندیشه‌ی ارسطویی بر همه‌ی امور حاکم است. امّا البته همواره یک نیروی مخالف در برابر این وضع وجود داشت. حُسن بزرگ کلیسای کاتولیک در آغاز کار این بود که چند نظم مختلف مذهبی بر آن حکومت داشت. پیروان دومینیک *قدّیس*[1] از اندیشه‌ی ارسطویی پشتیبانی می کردند و برجسته‌ترین مقام این فرقه *توماس آکویناس قدّیس*[2] بود. پیروان *فرانسیس قدّیس*[3] صرفاً به خاطر رد نظرات *توماس آکویناس*، با اندیشه‌ی ارسطویی از در مخالفت درآمدند و اندیشه‌های فیلسوف دیگری به نام *دانز اسکاتس*[4] و یکی از پیروان او به نام *بوریدان*[5] را پذیرفتند که نظراتشان در همه‌ی موارد، عکس نظرات ارسطو بود.

بنابراین نظریّات مخالف با بینش ارسطو را در مدارسی نظیر آکسفورد و پاریس می‌بینیم، که مدارس بنیادگرا به حساب نمی‌آمدند ولی شهرت داشتند و بینش‌های موجود روز، در آنها موضوع بحث بود. نکته‌ی مهمّی که باید در مورد این مباحثات بدان اشاره کرد، این است که همگی مبتنی بر خداشناسی و فلسفه بودند. وجه تفاوت گالیله با دیگران این بود که وی بحث‌های خود را بر شالوده‌ی تجربه استوار کرده بود. البتّه در جریان تجربه معلوم شد که با دستگاه‌های موجود، اندازه‌گیری شتاب سقوط اجسام بسیار دشوار است. بدین‌سبب گالیله به آزمایش بر روی سطح شیب‌دار روی آورد که در آن شتاب حرکت کم‌تر است؛ یا به آونگ متوسل شد که می‌توانست حرکت آن

1- Dominicans
2- St. Thomas Aquinas
3- Franciscans
4- Duns Scotus
5- Buridan

را تا حدّ دلخواه کُند کند. *استه‌وینوس* اهل بروژ[1]، در همان زمان قوانین حرکت برروی سطح شیب‌دار را کشف کرد. در این قوانین از قاعده‌ی ترکیب نیروهای غیر هم‌جهت استفاده می‌شد. یونانیان هرگز به اینجا نرسیده بودند. ارشمیدس در هنگام تحقیق و کار بر روی اهرم‌ها، از نیروهای موازی مدد می‌گرفت؛ امّا استه‌وینوس نمونه‌ی بارزی از اندیشه‌ی تجربی عرضه کرد. شکل ٦٤ زنجیر بدون اصطکاکی را نشان می‌دهد که از یک منشور قائم‌الزّاویه‌ی صاف آویزان است. این حلقه خود به خود به حرکت در نمی‌آمد، چون در غیر این صورت، حرکت دائمی امکان‌پذیر می‌شد. حتّیٰ اگر انتهای زنجیر هم پاره شود باز



شکل ٦٤ـ زنجیر بدون اصطکاکی که از منشور قائم‌الزاویه آویزان است.

1- Stevinus of Bruges

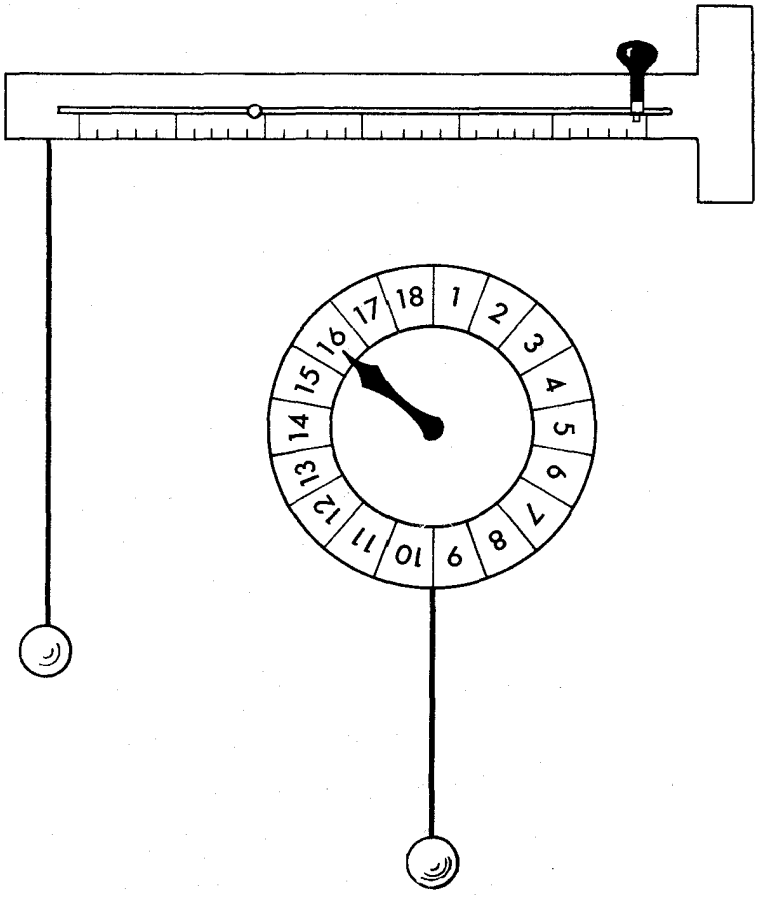
حرکتی در کار نخواهد بود؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که حلقه‌های مربوط به دو ضلع با یکدیگر به حالت تعادل می‌مانند، یعنی نیرو با طول تناسب عکس دارد و در نتیجه در شیب کم، نیروی کم و شتاب کم داریم که به آسانی قابل اندازه‌گیری است.

گالیله دستگاه مخصوصی ساخت که به یاری آن می‌توانست به انجام آزمایش بر روی سطح شیب‌دار با زوایای مختلف بپردازد. من یک‌بار کوشیدم نمونه‌یی از این دستگاه بسازم، امّا در آن توفیق نیافتم. گالیله برای ساختن این وسیله از چوب استفاده کرده بود در حالی‌که من می‌خواستم آن را از فولاد بسازم، گالیله با یک شیار به شکل V کار می‌کرد که با پوست مفروش شده بود. او با استفاده از یک گلوله‌ی برنزی صیقلی نتایج بسیار جالبی به دست می‌آورد. بدین ترتیب که با شروع حرکت گلوله، ظرفی را در زیر لوله‌ی باریکی که آب از آن می‌ریخت قرار می‌داد و هنگامی که گلوله به پایان مسیر می‌رسید، ظرف را بر می‌داشت و آب درون آن را وزن می‌کرد. در آن دوران هیچ راه دیگری برای اندازه‌گیری زمان نبود. نخستین نکته‌یی که در آزمایش‌های گالیله روشن شد، این بود که مسافت طی‌شده با مجذور زمان متناسب است و قانون حرکت از همین جا به دست آمد.

وی قبلاً مشاهدات اساسی خود را در مورد آونگ انجام داده بود. یک بار در کلیسای جامع شهر پیزا نوسان قندیل‌هایی که از گنبد آویخته بودند، نظر او را به‌خود جلب کرد. قندیل‌ها با دامنه‌ی وسیعی شروع به نوسان می‌کردند و به‌تدریج از دامنه‌ی نوسان آنها کاسته می‌شد، تا وقتی که به حالت سکون درمی‌آمدند. گالیله با شگفتی متوجّه شد که زمان انجام هر نوسان چه برای نوسان‌های بلند و چه برای نوسان‌های کوتاه، یکسان می‌ماند. وی چطور به این موضوع پی‌برد؟ در آن روزگار از کرونومتر خبری نبود، و خود این ماجرا باعث به وجود آمدن کرونومتر شد. امّا ساعت طبیعی گالیله، یعنی نبض، این کمبود را جبران می‌کرد. وی با شمارش نبض خود و نوسانات قندیل‌ها با دقّتی

که در این روش میسّر بود، متوجّه شد که زمان هر تناوب از دامنه‌ی نوسان مستقل است. وی بعداً با آونگ‌هایی به طول‌های مختلف به آزمون پرداخت و دریافت که زمان تناوب آونگ با جذر طول آن نسبت مستقیم دارد.

گالیله آدمی بود کاملاً اهل عمل و تجربه: وی فوراً به اختراع دستگاهی پرداخت که این روند را معکوس می‌کرد، و بسیار هم مفید بود. در ابتدا، وی با نبض خود زمان نوسان آونگ را اندازه‌گیری می‌کرد؛ اینک با نوسان آونگ زمان نبض خود را می‌سنجید. در این مرحله چنین اندیشید که این وسیله به درد پزشکان می‌خورد؛ این بود نبض‌سنج گالیله. در شکل ۶۵ می‌بینیم که این امر به دو صورت نشان داده شده است، و هر دو صورت نکات فنّی مهمی در بردارند. قسمت بالایی تصویر، خیلی ساده است. طول آونگ را تنظیم می‌کنیم تا آهنگ نوسانات با ضربه‌های نبض بیمار هماهنگ شود، و در این حالت زمان تناوب را می‌خوانیم. شمارش لازم نیست. روش دیگر هم با این یکی مشابه است، اما در آن، باید نخ را به دور یک استوانه پیچید و سپس طولش را از روی یک صفحه اندازه‌گیری کرد. این صفحه را می‌توان مدرّج کرد. گمان ندارم این وسیله در عالم پزشکی خریدار چندانی یافته باشد، چون هر پزشک معمولی هم می‌تواند بدون توسّل به این دستگاه، تندی و کندی نبض بیمار را حس کند؛ همان طور که با لمس دست یا پیشانی بیمار، تشخیص تب میسّر بود. به هرحال این جریان در عمل درست مشابه اندازه‌گیری دما بود. چون در این مورد هم کسی نمی‌دانست، و امروز هم به درستی نمی‌داند، که دما چه امری را نشان می‌دهد و باید چه چیزی باشد و تغییرات آن چه معنایی دارد. گالیله طی همین آزمایش‌ها دریافت که سقوط جسمی که به انتهای نخ آونگ بسته شده است نمونه‌یی از سقوط آزاد است، چون نخ بر حرکت آن اثری ندارد. با این آگاهی، نکات بسیاری در ارتباط با ارتفاع سقوط روشن شد. مثلاً، او در یکی از آزمایش‌ها میخی را در کنار نخ یک آونگ درحال نوسان قرار داد و دید که



شکل ٦٥ـ نبض‌سنج گالیله.

نوسان با طول کم ادامه می‌یابد و وزنه‌یی که در انتهای نخ قرار دارد، تا همان ارتفاع پیشین بالا می‌رود. البتّه تأثیرات اصطکاک به جای خود باقی است. نتیجه‌ی مهم این آزمایش آن است که، مقدار انرژی جسم در پایین‌ترین نقطه‌ی

حرکت کلاً و فقط به ارتفاع سقوط بستگی دارد و از مسیر حرکت مستقل است. این مفاهیم دینامیکی را گالیله کشف کرد، و در کتاب *مباحثاتی در باب دو علم جدید*[1] به توضیح آنها پرداخت. منظور از دو علم جدید، یکی علم دینامیک و دیگری علم استاتیک است.

در این بررسی، به آنچه که هر کس با شنیدن نام گالیله به خاطر می‌آورد اشاره‌یی نکردم. منظورم از این نکته، مشاجره‌ی او با کلیساست. این جدال با انتشار *گفتار در باب دو نظام عمده‌ی جهان*[2] در سال ۱۵۳۲، و تقدیم آن به پاپ آغاز شد. کپرنیک هم در این مورد کتابی به لاتین فصیح نوشته و به پاپ هدیه کرده بود، امّا گالیله اثر خود را به ایتالیایی نوشت، و به آن شکل کتاب نداد بلکه آن را نمایشنامه‌وار به صورت محاوره منتشر کرد. شیوه‌ی محاوره‌یی این اثر با شیوه‌های معمول تفاوت داشت؛ چون به جای دو نفر طرف گفتگو، در آن سه شخصیّت به بحث می‌پرداختند؛ یک ارسطوگرای پیر به نام سیمپلیچو[3] (ساده‌دل) که مضحکه‌ی قضیه است؛ خود گالیله که *ساگردو*[4] خوانده شده است؛ و دوستی که همواره دیگران او را دست می‌اندازند و تکیه کلام او «چقدردرست!» است. این پیکان، افکار عمومی را نشانه رفته بود، و به هدف هم اصابت کرد.

گالیله و محکمه‌ی تفتیش عقاید

متأسّفانه کتاب گالیله چندان توفیق نیافت. گالیله در برابر خود جوّ مخالفی ایجاد کرد. سخنرانی ها و خطابه‌های زیادی علیه او ایراد می‌شد، و درگیری وی

1- *Discourses on Two New Sciences*

2- *Dialogue on the Two Chief Systems of the World*

3- Simplicio

4- Sagredo«ساگردو» دوست یا دستیار گالیله است، و گالیله حرف‌های خود را از زبان دانشمندی به نام «سالویاتی» نقل می‌کند. ـ م.

با کلیسا دشمنان زیادی برایش فراهم آورد. البتّه وی از دوستان قدرتمند هم محروم نبود اما بدخواهان مدام در گوش پاپ می‌خواندند که منظور گالیله از خلق شخصیت سیمپلیچو نشان دادن خود پاپ بوده است. این امر در نهایت اوضاع را به هم ریخت. بدین ترتیب، گالیله در برابر محکمه‌ی تفتیش عقاید قرار گرفت که برای تعیین جرم وی، به این در و آن در می‌زد. موضوع بحث، گردش سیارات به دور خورشید یا به دور زمین نبود؛ بلکه عواقب ناگواری بود که در زمینه‌ی الهیّات از این اندیشه‌ها ناشی می‌شد. آثار بروز این گونه عواقب کم‌کم ظاهر شده بود. اگر قرار باشد نظام جدید کائنات به جای نظام کهن پذیرفته شود، پس آن فردوس و سرای برگزیدگان در کجا واقع می‌شود؟ بدتر از همه این بود که در این نظام جا برای وجود جهان‌های دیگر هم باز می‌شد، که در آنجا هم مردمانی زندگی می‌کردند که معلوم نبود مسیحی باشند! و اگر نبودند معلوم نبود چرا؟ نمی‌دانم چرا باید نگران مذهب مردم فرضی در جهان‌های فرضی بود؛ ولی به هرحال این نگرانی وجود داشت. در سال ۱۶۰۰ فیلسوفی به نام *جیوردانو برونو*[1] بر سر این موضوع به دردسر افتاد. وی به سلامت در اکناف اروپا گردش کرد و به انگلستان آمد و با *جان دی*[2] و سایر متفکران انگلیسی به مباحثات دامنه‌داری پرداخت؛ اما بعد به ونیز بازگشت. این بازگشت از لحاظ سیاسی دور از مصلحت بود، چون ونیزیان که قبلاً با پاپ منازعه داشتند، در این هنگام تغییر موضع دادند و برونو را به محکمه‌ی تفتیش عقاید تسلیم کردند که او را زنده زنده در آتش سوزاند. این پیشامد، طبعاً بسیاری از مردم را مرعوب کرد، اما گالیله نهراسید. او را تهدید کردند تا ناچار از عقیده‌ی خود دست شست و پس از آن برایش یک مستمری نسبتاً مناسب در

۱ـ Giordano Bruno: فیلسوف ایتالیایی که به سبب عدم اطاعت محض از فرقه‌ی پیروان دومینیک قدیس رانده شد و به تدریس و تحقیق روی آورد. مبلغ کیهان‌شناسی کپرنیکی و مخالف منطق ارسطویی بود، و به حکم دادگاه تفتیش عقاید او را زنده در آتش سوزاندند.

۲ـ John Dee: ریاضی‌دان و ستاره‌شناس انگلیسی که درمورد دریانوردی و کیمیاگری رسالاتی نوشته است (۱۶۰۸ـ۱۵۲۷). ـ م.

نظر گرفتند؛ همچنین او را وادار کردند که در قصر یکی از دوستان نجیب‌زاده‌ی خود اقامت کند و او در آنجا کتابی درباره‌ی دینامیک نوشت.

تصوّر می‌شد که طرد گالیله و وادار کردن وی به استغفار، می‌توانست نقطه‌ی پایانی بر نظریه‌ی نظام خورشیدمرکزی بگذارد. امّا برخلاف این انتظار، همین نکته باعث آغاز پذیرش همگانی این نظام شد، و آنچه را که نقطه‌ی پایان می‌پنداشتند، در عمل به‌صورت آغاز در آمد. شکست گالیله به عنوان زوال کلّی نظریه‌ی گردش زمین فرض می‌شد. او را لعن کردند و حتّی حامیان همیشگی او هم ناگزیر در این امر مشارکت کردند؛ امّا البته درست در همین هنگام، اندیشه‌های او در پهنه‌یی وسیع دامن گسترد. نمونه‌ی جالبی از یک پیشگویی که صورت تحقق پذیرفت، ماجرایی بود که یک شاعر انگلیسی به نام *دان* در رساله‌ی *مجمع ایگناتیوس* آن‌را توضیح می‌داد. در این کتاب، تأسیس یک مهاجرنشین در کره‌ی ماه پیشنهاد شده بود. در این رساله، شاهد تشکیل جلسه‌ی هیأت وزیران در جهنم هستیم. موضوع بحث این جلسه تصمیم‌گیری درمورد پیشنهادی است که براساس آن تنها کسانی حق دارند در جهنم وزیر شوند که در آن دنیا باعث شر و شور شده باشند. کپرنیک داوطلب می‌شود، اما ایگناتیوس، که نقش ریاست وزرا را بر عهده دارد، به شدت با وزارت وی مخالفت می‌کند و می‌گوید که او در دوزخ حقی ندارد. کپرنیک پاسخ می‌دهد: «خوب، هر کس که در اینجاست به نحوی اوضاع زمین را به هم ریخته است، اما من اوضاع آن را در بهشت به هم ریخته‌ام و این کار از کارهای آنها به مراتب شریرانه‌تر است». ایگناتیوس پاسخ می‌دهد: «آه، کار شما صرفاً نظریه‌پردازی بود و محتوایی نداشت. فقط منجّمین می‌توانند به آن توجّه کنند. ولی مردم عادّی از آن تأثیر نمی‌پذیرند. اما اگر این نظریه صرفاً به صورت یک نظریه‌ی نجومی باقی نماند، و پاپ آن را رد و تکفیر کُند، هم شما و هم پاپ در دوزخ مکانی شایسته خواهید یافت». این رساله در سال ۱۶۱۱ نوشته شد و عمل طرد و تکفیر در سال ۱۶۳۸ روی داد، و بدین ترتیب پیشگویی این شاعر نوعی پیشگویی نبوغ آمیز بود.

۸

تولّد دینامیک

اینک به آخرین بخش قسمت میانی انقلاب علمی رسیده‌ایم. در این مقطع، گسترش دامنه‌ی علم، جای خالی مراحل نابودشده‌ی پیشین را پر کرد. در نخستین قسمت این انقلاب، تصویر کهن زمین‌مرکزیِ جهان درهم فروریخت. در مرحله‌ی اول، این تصویر با نشستن خورشید به جای زمین، تاحدودی از هم پاشید؛ اما مدارِ گردشِ سیارات هنوز هم دایره فرض می‌شد. در مرحله‌ی دوم که موضوع بحث فصل پیش بود، این تصویر اصلاح و در عین حال توجیه شد. کار توجیه این نظام را گالیله صورت داد. براساس نظریه‌ی او می‌توان منظومه‌ی اقمار مشتری به دور سیاره را یک مدل واقعی برای منظومه‌ی شمسی دانست، و به مشاهده و اندازه‌گیری مشخصات آن پرداخت.

بخشی از مرحله‌ی دوّم مدیون کار کپلر است. آنچه کپلر انجام داد، اساساً این بود که این تصویر را هر چه بیشتر اصلاح کند. وی نشان داد که شکل درست مدار گردش سیّارات به جای آنکه دایره یا دایره‌ی خارج مرکزی باشد، بیضوی است. قانون دوّم وی، که خودش نتوانست اهمیّت واقعی آن را دریابد، عملاً و دقیقاً بدان معنی بود که اندازه‌حرکت زمین در مدار گردش به دور خورشید همواره ثابت است، و به عبارت دیگر اندازه‌حرکت زاویه‌یی هر جسم که نیرویی بر آن وارد نمی‌آید، مقداری ثابت می‌ماند.

این نکته به صورت خام، نزد کسانی که از نظریه‌ی ارسطو در مورد قوّه‌ی محرّکه انتقاد می‌کردند معلوم بود، و مرحله‌ی انتقال از مفهوم قوّه‌ی محرّکه به مفهوم اندازه‌حرکت به شمار می‌آمد که نیوتون آن را لَخْتی می‌خواند و عبارت بود از حاصل‌ضرب جرم در سرعت حرکت. این مفهوم به تدریج پالایش یافت؛ اولین کسی که در این راستا گام برداشت گالیله بود، که در سقوط اجسام و پرتابه‌ها و نوسان آونگ‌ها به این مفهوم پرداخت، و دیگری نیوتون بود که در این راه بسیار پیش رفت.

ایزاک نیوتون

برای بحث در احوال نیوتون باید بار دیگر به دنیای متفاوتی برویم. نیوتون در سال ۱۶۴۲، یعنی درست در همان سالِ مردنِ گالیله، به دنیا آمد. بدین‌ترتیب میان این دو تن به‌اندازه‌ی یک عمر کامل فاصله افتاد. امّا کار و اندیشه‌ی آنها به‌هم بسیار نزدیک بود. امروز دیگر روشن شده است که نیوتون آثار مهم خود را مستقیماً، و بدون هیچ واسطه‌یی، از کارهای گالیله گرفته است. امّا قوانین حرکت نیاز به اثبات و تدوین داشت. نیوتون یکی از نادرمردانی بود که دویست یا سیصد سال یک‌بار در عرصه‌ی خاک ظاهر می‌شوند. قابلیت‌های وی از همان آغاز پیدا بود. بعدها کسانی پیدا شدند که می‌گفتند: «خوب، نیوتون چه کاری کرده است؟ هر کس دیگر از معاصران وی هم می‌توانست همان کارها را انجام دهد». زمانی من هم چنین می‌گفتم. امّا براساس اطّلاعاتی که

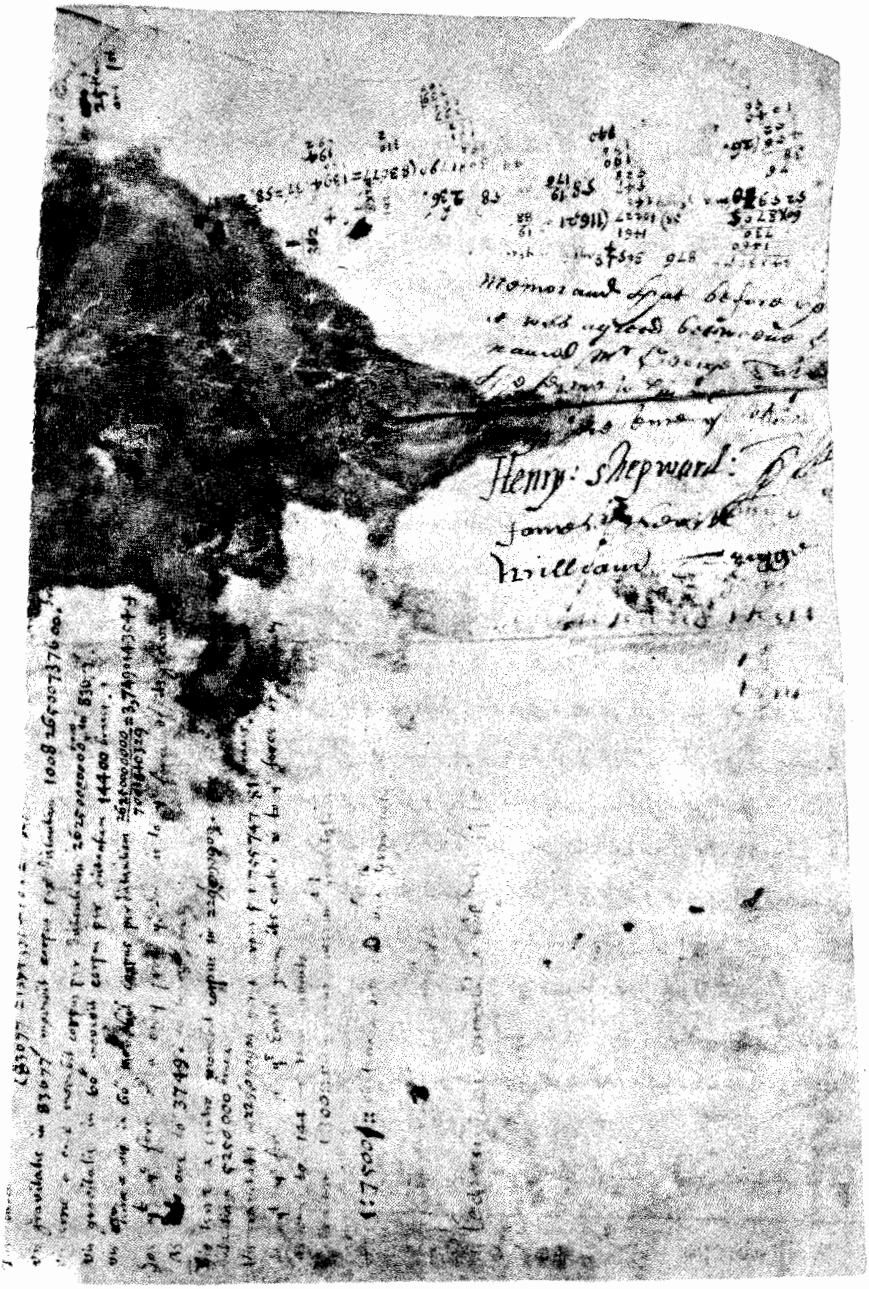
اخیراً به دست آمده است، می‌توان گفت که نیوتون با سرعتی غیرمعمول به پاسخ پرسش‌ها رسید، و در بیست و یک سالگی راه حل بسیاری از مسائل را پیدا کرد؛ ولی انتشار آنها را تا چهل و دو سالگی به تأخیرانداخت.

نیوتون در محیطی رشد کرد که در آن علم چیز پذیرفته شده‌یی بود، درحالی که کپرنیک و کپلر و، به ویژه گالیله، در شرایطی می‌زیستند که علم برای حفظ موجودیّت خود مبارزه می‌کرد. نیوتون هرگز نظیر آن سه تن در مناقشه درگیر نشد، با این‌همه، مَنِشی بدگمان داشت. وی یکی از معدود کسانی بود که از انجمن سلطنتی دوری می‌جستند. علت پرهیز وی از حضور در انجمن، وجود کسانی بود که گاه گاه با نظرات وی از در مخالفت درمی‌آمدند، و این امر بر او گران می‌آمد. با این‌همه، در ایّام سالخوردگی به مدت بیست و پنج سال ریاست این انجمن بر عهده‌ی او بود.

نیوتون در زمره‌ی اشخاصی بود که تقریباً یک‌تنه و مستقل کار می‌کردند. اثر بزرگ وی در طول یک تعطیلی اجباری، که بر اثر شیوع بیماری طاعون پیش آمد، نوشته شد. این دانشمند برای احتراز از ابتلا به طاعون در سال ۱۶۶۵، از لندن به زادگاه خود *وولزتروپ*[1] در ناحیه‌ی *لینکلن‌شایر*[2] بازگشت. او در همین محل پس از مرگ پدر، که دهقانی خرده‌پا اما محترم بود، چشم به دنیا گشوده بود. عمویش عهده‌دار تکفّل معاش وی شد و او را برای تحصیل به مدرسه‌ی پیش‌دانشگاهی وولزتروپ فرستاد. نیوتون از آنجا در موقعیّتی با رتبه‌ی پایین به کمبریج وارد شد، و در آنجا بدون ابراز هیچ گونه کار برجسته‌یی به تحصیل ادامه داد، و با دکتر *بارو*[3] استاد ریاضیات این دانشگاه دوست شد. دکتر بارو ریاضی‌دان برجسته‌یی بود که به فیزیک علاقه‌ی چندانی نداشت، امّا آنالیز جبری را پایه‌گذاری کرد.

باید اشاره کنم که این دوره از سال‌های اوّلیّه‌ی قرن هفدهم، زمان

1- Woolsthrope
2- Lincolnshire
3- Barrow



شکل ٦٦ـ صفحه‌یی از یک سند مربوط به ایزاک نیوتون.

شکل‌گیری علم ریاضیّات به صورت امروزی بود. این عصر، عصر عبارت‌های نمادین ریاضی، کاربرد حروف و پارامترها، آغاز حساب دیفرانسیل، محاسبه‌ی سری‌های ریاضی، و بسیاری از مفاهیم بنیادی هندسه بود که توسّط هندسه‌ی مختصاتی دکارت ارائه شد. اما به عنوان مهم‌ترین دستاوردهای این دوران از لحاظ کاربردی، باید از محاسبات لگاریتمی، نه تنها برای ضرب معمولی، بلکه برای عملیّات معمولیِ مثلثاتی، نام برد. ارائه‌ی این شیوه‌ی محاسبه به‌منزله‌ی کاربرد کامپیوتر بود، و عمل محاسبات پیچیده و مفصّل نجومی را سریع و آسان کرد. اگر برای انجام این محاسبات تنها عمل ضرب شناخته شده بود، خدا می‌داند کار به کجا می‌کشید؛ آن هم با ضعف ریاضی مردم آن دوران. امّا کار به خیر گذشت. حالا دیگر لگاریتم‌ها و محاسبات عددی به‌عنوان ابزارهای عملی در دسترس قرار گرفت.

در شکل ۶۶، صفحه‌یی از یک سند بسیار مهم مربوط به نیوتون را مشاهده می‌کنید. این سند که در سال ۱۹۶۱ کشف شد، نشان می‌دهد که نیوتون واقعاً اکتشافاتی را که به او نسبت می‌دهند، صورت داده است. همان طور که می‌بینید مقداری عمل ضرب طولانی در این نوشته درج شده است. پیداست که نیوتون از کار مداوم در زمینه‌ی ضرب و تقسیم دریغ نکرده؛ امّا در انجام آن ظرافت و نظم نداشته است.

انجمن‌های علمی

در این دوران، جنبش چشمگیری در راستای گسترش اجتماعی علم در جریان بود. در ایّام جنگ داخلی، اتّفاق عجیبی افتاد. اعضا و مقامات دانشکده‌های آکسفورد، مطابق انتظار، به پادشاه وفادار بودند. هنگامی که وی از آکسفورد رانده شد، تمام مقامات دفاتر مرکزی به عنوان عناصر خطرناک تلقّی شدند و مقام خود را از دست دادند. اوضاع به دست کمبریجی‌ها افتاد که تا حدودی تمایلات جمهوری‌خواهی داشتند. این وضع ده سال ادامه یافت، و در این مدّت علم در آکسفورد دوران درخشان و شکوفایی را گذراند. علما و فضلای این

دوره در منازل یکدیگر جمع می‌شدند و با هم بحث می‌کردند. در این حلقه‌ها کسانی چون بویل و دستیار او، هوک، شرکت داشتند. *کریستوفر رِن*[1] که معمولاً او را در ارتباط با علم نمی‌شناسند، ازاعضای این محافل بود. کسانی هم بودند که امروز چندان معروف نیستند، ولی در عصر خود بسیار مهم شمرده می‌شدند؛ از میان آنان می‌توان از *ویلیس*[2] و *ویل کینز*[3] نام برد. یک شخصیت خاص به نام *تامس اِسپرات*[4] هم در این انجمن حضور می‌یافت، که *تاریخچه‌ی انجمن سلطنتی لندن* را نوشت. این کتاب بسیار مهم است، چون با آنکه در هنگام انتشار آن تنها هشت سال از آغاز کار انجمن می‌گذشت، به علت اهمیت اعضا و سطح دانش آنها، انجمنی بسیار مهم به حساب می‌آمد، و استحقاق داشت که تاریخچه‌یی برای آن بنویسند. تامس اسپرات می‌نویسد: «ثابت‌قدم‌ترین و اصلی‌ترین اعضای انجمن عبارت بودند از: سِت وارد اسقف اعظم *اکسه‌تر*[5]؛ آقای بویل؛ دکتر ویل کینز؛ *سر ویلیام پِتی*[6] (بنیان‌گذار علم اقتصاد)؛ آقای *ماتیو رن*[7]؛ دکتر والیس (ریاضی‌دان)؛ دکتر تئودور *هاک*[8]؛ دکتر کریستوفر رن، و آقای هوک». این گروه در اتاق‌های دانشگاه آکسفورد جمع می‌شدند تا انجمن پیگیری دانش طبیعی را تشکیل دهند. این انجمن، نخستین تشکیلات از نوع خود نبود. یکی از نخستین انجمن‌های علمی در ایتالیا تأسیس شد که *آکادمی لینکس* در رم[9] خوانده می‌شد (۳۰ـ۱۶۰۳). این آکادمی در لینکس گزارش‌هایی در مورد ریاضیّات و علوم طبیعی تهیه می‌کرد. تنها

1- Christopher Wren
2- Willis
3- Wilkins
4- Thomas Sprat
5- Seth Ward, Lord Bishop of Exeter
6- William Petty
7- Mathew Wren
8- Theodore Haak
9- Accademia dei Lincei at Rome

انجمنی که مشابه با این آکادمی می‌شناسیم، انجمن ریاضیّات فرانسه است که بوربا کی[1] خوانده می‌شود (تعدادی از دانشمندان فرانسه در آن عصر آثار خود را تحت این نام مستعار انتشار می‌دادند). و ناشر رسالات ریاضی ارزشمند است. البتّه هیچ کس نمی‌داند بورباکی چه کسی بوده است.

اندیشه‌ی تأسیس انجمن‌های علمی ابتدا در ایتالیا پیدا شد، و پس از آن به‌یکی دو کشور دیگر سرایت کرد. در انگلستان و فرانسه، دانشمندان در خانه‌ی یکدیگر گرد می‌آمدند و جدّاً به پژوهش در مورد علم تجربی می‌پرداختند. این گروه، از نظرات کسی پیروی می‌کردند که خودش دانشمند نبود ولی بهتر از هر کس دیگر درباره‌ی علم سخن گفته بود. این نویسنده کسی جز *فرانسیس بیکُن*[2] نبود. بیکُن اندیشه‌ی علم را در سر داشت. البتّه به هیچ کار تجربی دست نزد، ولی ذهنش به علم مشغول بود. اوّلین کار تجربی او، که طیّ آن خود را در معرض سرما قرار داد، در حقیقت آخرین تجربه‌ی وی بود؛ چون به مرگش منجر شد. وی به آزمایش و اختراعات علاقه داشت، و اهل برآورد ارزش و منزلت علم تجربی و رده‌بندی و سازمان دادن به پژوهش‌ها بود:

«... آشکار بود که اعمال نیکوی بنیان‌گذاران شهرها، قانون‌گزاران، آبای جمهور، منقرض‌کنندگان جباران و قهرمانان این طبقه، تنها در محدوده‌یی باریک و برای مدّتی بسیار کوتاه گسترش و دوام داشت، امّا کار مخترع با همه‌ی سادگی و بی‌پیرایگی، در همه جا و برای همیشه برجا می‌ماند.

«بالاتر از همه، اگر فردی پیدا می‌شد که اختراع مفیدی صورت نمی‌داد، امّا چراغی در طبیعت برمی‌افروخت و با نور آن مرزهایی را روشن می‌کرد که به دور حلقه‌ی دانش کنونی ما کشیده شده است، و اسرار نهان عالم را افشا می‌کرد، به نظر من شایسته بود که او را خدمتگزار واقعی نژاد بشر، گسترنده‌ی دامنه‌ی امپراتوری انسان در پهنه‌ی گیتی، قهرمان آزادی، و فاتح و مقهور کننده‌ی ضرورت‌ها بشمارند».

این مطلب، پیش از جدایی دو فرهنگ نوشته شده است. امروز هیچ

1- Bourbaki

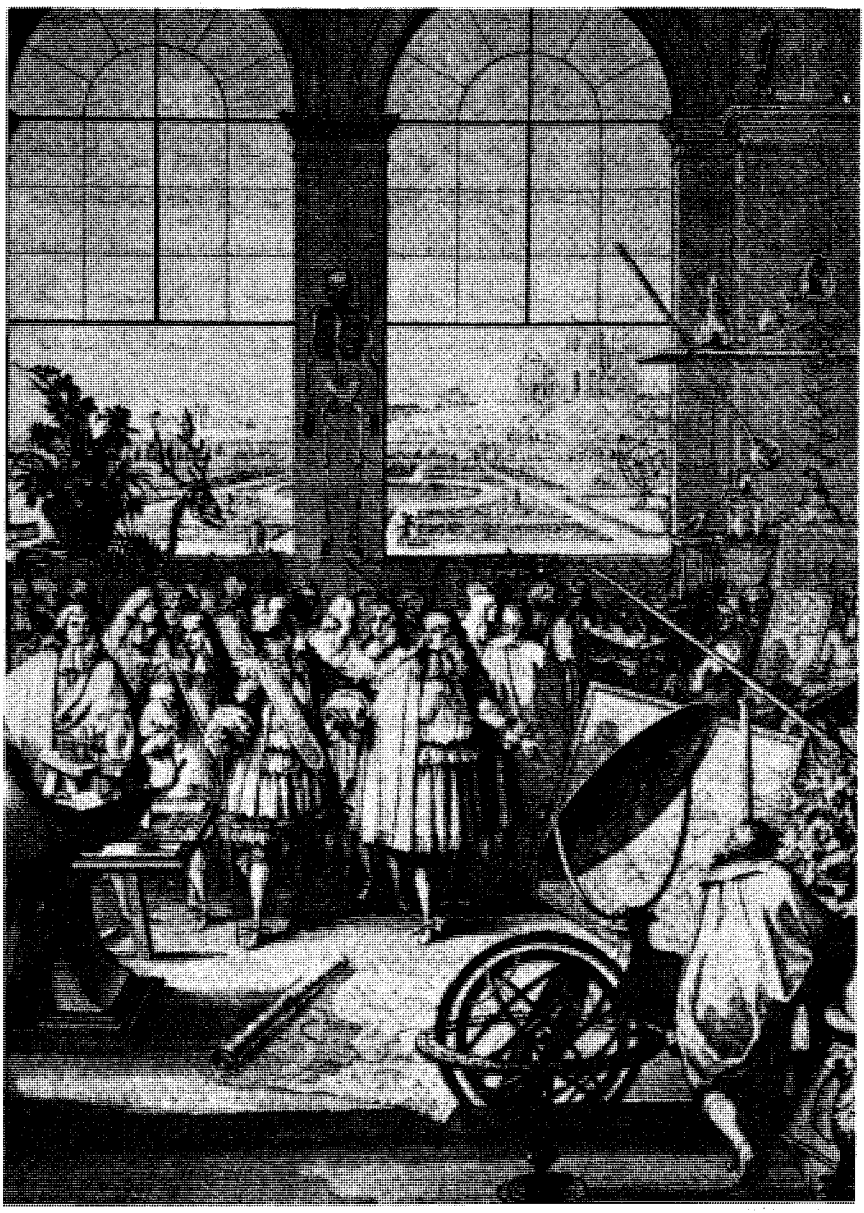
2- Francis Bacon

دانشمندی را نمی‌توان یافت که این‌قدر با احساس به توصیف علم بپردازد. به‌هرحال، این اندیشه ریشه دواند و مایه‌ی الهام انجمن سلطنتی شد. البتّه «سلطنتی» بودن این انجمن نوعی شوخی بود. پس از سقوط جامعه‌ی مشترک‌المنافع، گروهی از دانشمندان متمایل به جمهوری، که به‌طور جدّی اهل سیاست نبودند، به سرعت جانب شاه را گرفتند و به همان درباریان پیشین تقرّب جستند. از آن جمله می‌توان از هابز[1] فیلسوف مشهور، و سر *کِنِلم دیگبی*[2] که هوادار شعبده‌بازی‌های هیجان‌انگیز بود، و چندتن دیگر را نام برد که دانشمندان برجسته‌یی نبودند، امّا سلطنت‌طلبان قهّاری به حساب می‌آمدند؛ این گروه به‌دور هم جمع شدند و حمایت شاه را جلب کردند. این حمایت برای شاه نه هزینه‌یی دربر داشت و نه زحمتی. وی در هیچ‌یک از جلسات انجمن حاضر نمی‌شد، و حتی یک‌شاهی هم به انجمن عطا نکرد؛ امّا به آن اجازه داد که از عنوان سلطنتی استفاده کند، و این نکته در آن ایّام واقعاً اهمیّت داشت. بدین‌ترتیب *انجمن سلطنتی* بنیاد نهاده شد.

چارلز دوّم برای آنکه مجبور نباشد برای تأمین بودجه، از مجلس خواهان افزایش مالیّات شود، از لویی چهاردهم پادشاه فرانسه کمک مالی می‌گرفت. در شکل ٦٧ لویی چهاردهم را در حال بازدید از انجمن سلطنتی خودش می‌بینید. این انجمن، *آکادمی سلطنتی علوم و فنون* خوانده می‌شد، و سخت پرشکوه و پرتجمل بود. در این تصویر شاه را با خدم و حشم، و نیز رئیس انجمن را می‌بینید. در گوشه و کنار می‌توانید دستگاه‌های مربوط به علوم آن زمان را ببینید. علم عملی به صورت استحکامات و برج و بارو نمایش می‌یافت. دستگاه‌های تقطیر، دماسنج‌ها، دستگاه‌های مکانیکی متعدّد، چند دستگاه شمارگر، و تلمبه‌ی هوا و تصویرهایی از تاریخ طبیعی در تصویر دیده می‌شوند. در زمینه‌ی تصویر، رصدخانه‌ی پاریس را می‌بینید که هنوز پابرجاست

1- Hobbes

2- Sir Kenelm Digby

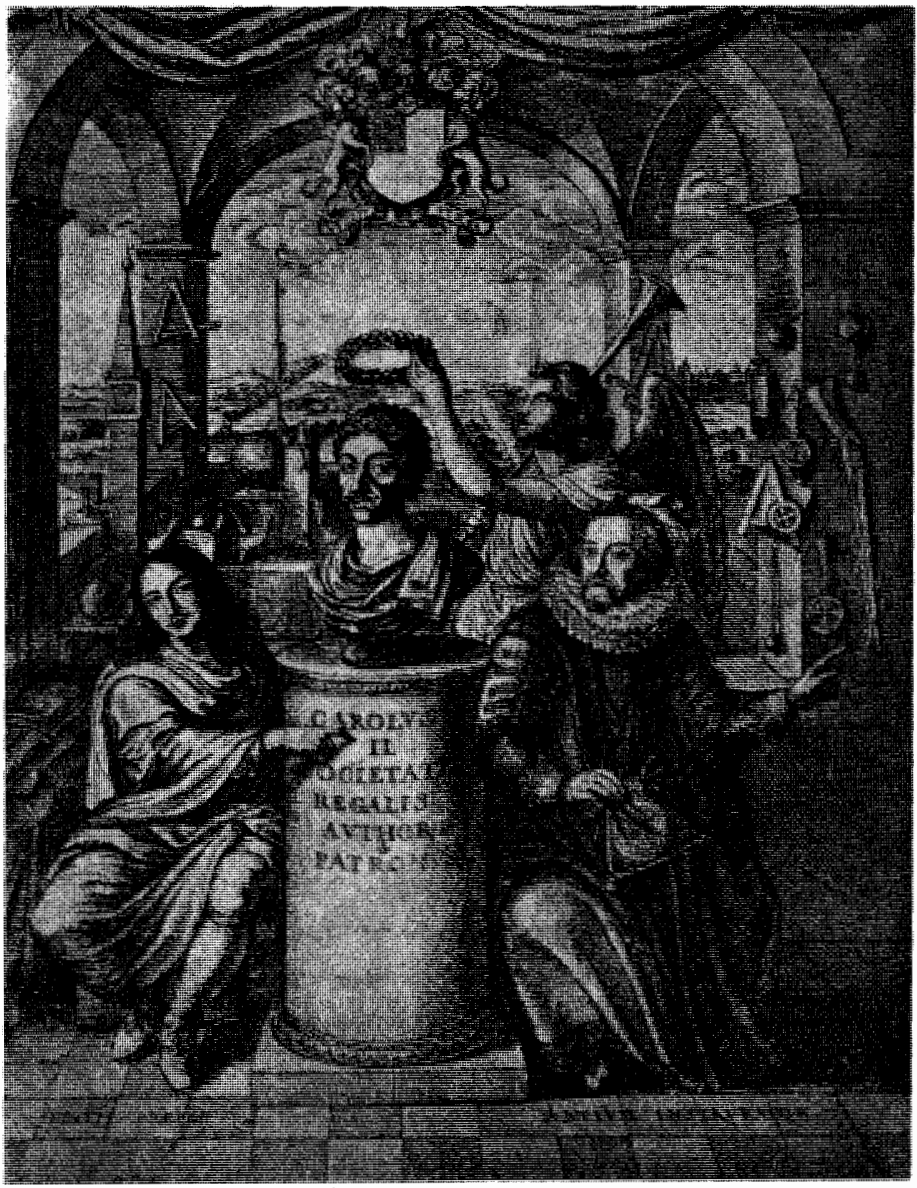


شکل ٦٧ـ لویی چهاردهم درحال بازدید از آکادمی سلطنتی علوم و فنون.

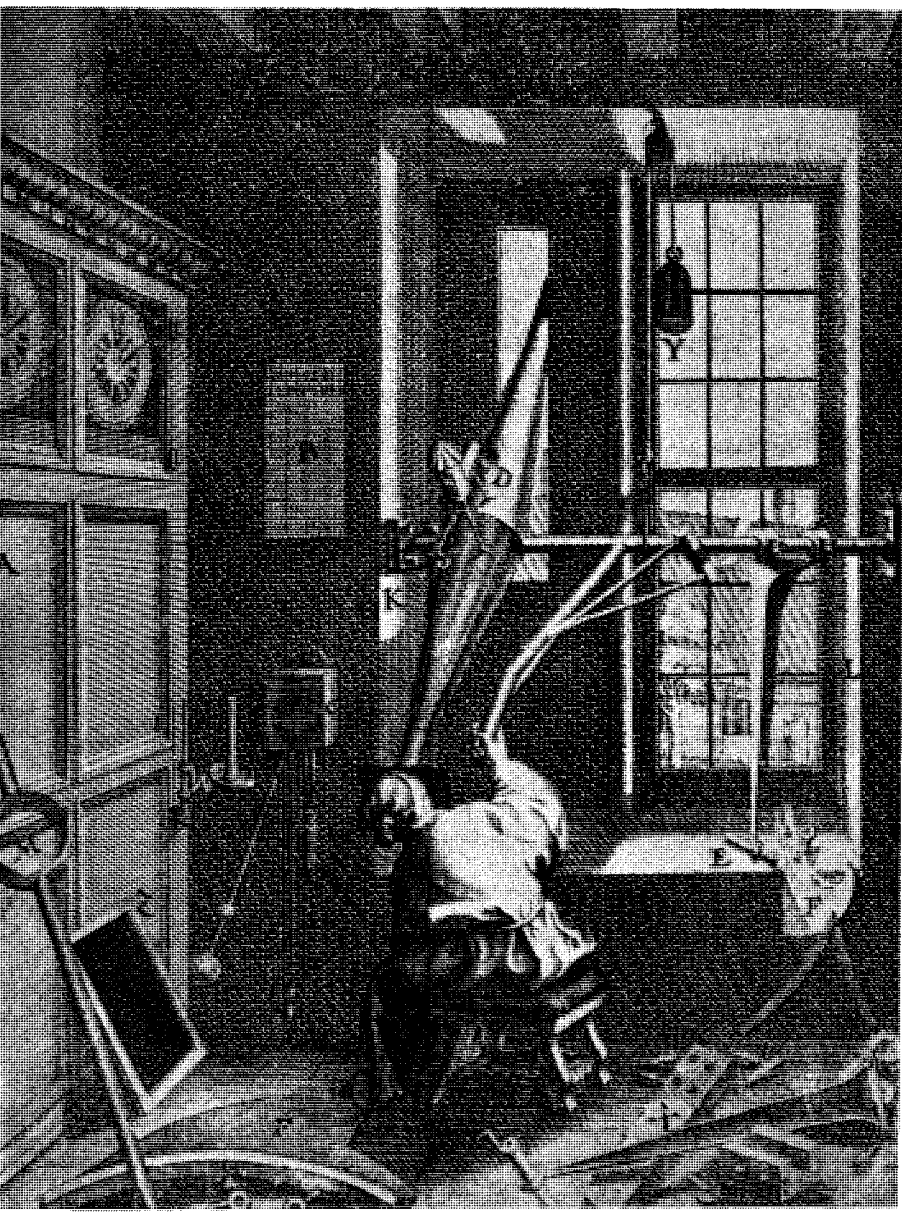
و کار می‌کند؛ علاوه بر آن ، گُل‌ها و باغچه‌های زیبا، و اسکلت یک گوزن و سایر چیزهایی که برای یک انجمن علمی ضرورت دارد، به چشم می‌خورد. فرق میان آکادمی و انجمن سلطنتی در آن بود که برعکس یکدیگر عمل می‌کردند. اعضای آکادمی پول می‌گرفتند و اعضای انجمن سلطنتی برای عضویّت پول می‌پرداختند. البتّه این اعضا خوش‌حساب نبودند و بعضی از آنها چندین سال از پرداخت حق عضویّتِ هفته‌یی یک لیره‌یی خود طفره می‌رفتند. انجمن چند سال پس از تأسیس ورشکست شد. هوک، دانشمند بیچاره‌یی که ناچار بود هر هفته دو آزمایش جدید انجام دهد، هیچ حقوق و حق‌الزّحمه‌یی دریافت نمی‌کرد. به وی قول داده بودند که هرگاه بودجه‌ی انجمن به حدّ کفایت برسد، حقوقی نصیبش خواهد شد. او هم به امید رسیدن آن روز با اشتغال به کارهای حقیری مانند مسّاحی شهر لندن پس از آتش‌سوزی بزرگ، به تأمین معاش می‌پرداخت. پس از مرگ هوک، در میان میراث وی صندوقی پر از طلا یافتند که آن را به انجمن نبخشیده بود، و این امر بر انجمن سخت گران و ناگوار آمد. اما من این موضوع را در آن شرایط اصلاً تعجب‌آور نمی‌دانم، هر چند که از هوک، عیال یا فرزندی بر جای نمانده باشد.

شکل ٦٨ حالت نسبتاً متعادل‌تر انجمن سلطنتی لندن را نشان می‌دهد. نخستین رئیس انجمن، *لرد برونکر*[1] ، را می‌بینیم که ریاضی‌دان بدی نبود، اما درباریِ بهتری بود. الهام‌بخش واقعی ایجاد انجمن، یعنی بیکن، در این تصویر حضور دارد و مقداری ابزار مفید و مختصر متعلّق به انجمن هم دیده می‌شود. نیم‌تنه‌ی حامی انجمن یعنی پادشاه هم در وسط به چشم می‌خورد، که الهه یا فرشته‌یی تاج بر سر او می‌نهد. جزء جالب تصویر، تلسکوپی است با لوله‌ی دراز توخالی که از یک دکل بلند آویزان است، و بعداً به تفصیل در مورد آن صحبت خواهم کرد. تفنگی در تصویر مشاهده می‌کنید که برونکر با استفاده از آن، آزمایش‌هایی در مورد سرعت و میزان فرو رفتن گلوله‌ها انجام می‌داد.

1- Lord Brouncker



شکل ۶۸ـ صفحه‌ی اول *کتاب تاریخچه‌ی انجمن سلطنتی*، اثر تامس اسپرات، ۱۶۶۱. در این تصویر، نخستین رئیس انجمن در سمت چپ، چارلز دوم در وسط و فرانسیس بیکن در سمت راست دیده می‌شود.



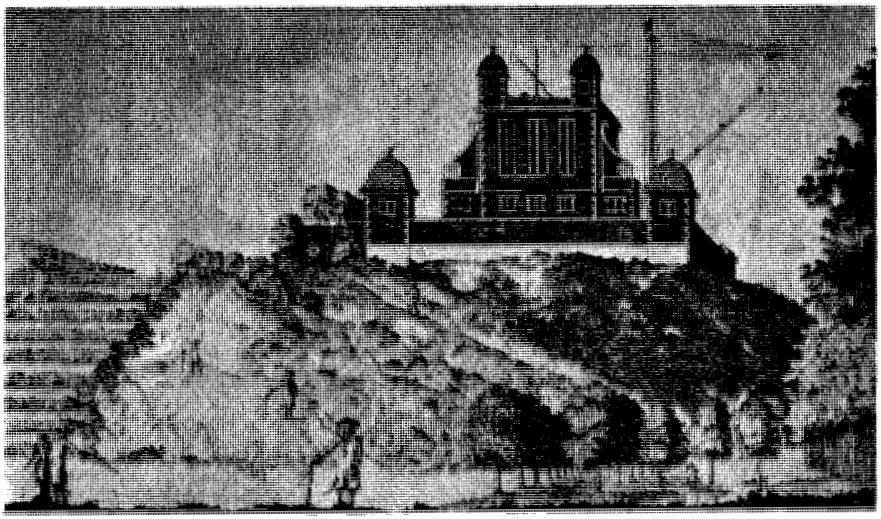
شکل ۶۹ـ تلسکوپ نصف‌النّهاری که رومر از آن استفاده می‌کرد؛ اقتباس از *تجهیزات ستاره‌شناسی بنیاد*، نوشته‌ی پِدِر هوربو، ۱۷۳۵.

خلاصه، این تصویر تمام فعّالیّت‌های انجمن در آن روزگار را دربر می‌گیرد. اکنون به جنبه‌های عملی‌تر اموری که در آن هنگام مورد علاقه بود بپردازیم. در شکل ۶۹ کاربرد نخستین تلسکوپ در نجوم نمایش داده شده است. تمام کشفیّاتی که قبلاً در مورد آنها صحبت کردم، به کمک چشم غیرمسلّح انجام شده بود. کپلر و تیکو براهه با دید چشم خود به مشاهده و رصد می‌پرداختند، و پس از مدّتی نوبت به تلسکوپ‌های دستی رسید که با آنها فقط مشاهده میسّر می‌شد، و اندازه‌گیری به کمک آنها امکان نداشت. این تصویر، نمایشگر یک تلسکوپ نصف‌النّهاری است. رصدخانه اتاقی معمولی است، که تلسکوپ را درون شکافی در پنجره‌ی آن قرار داده‌اند و چند ساعت پاندولی و غیر پاندولی برای اندازه‌گیری زمان در آنجا نهاده‌اند، و خرده‌ریزهای مربوط به تلسکوپ در گوشه و کنار آن پخش شده است. با استفاده از این رصدخانه می‌توان اندازه‌گیری‌های واقعاً دقیقی صورت داد.

در شکل ۷۰ نخستین مؤسّسه‌ی علمی انگلستان در زمینه‌ی علم نجوم دیده می‌شود. این مؤسّسه، رصدخانه‌ی سلطنتی گرینویچ است که تجهیزات مناسبی دارد؛ اما به علّت آلودگی هوا متروک شده است. بنای رصدخانه به سبک هلندی ساخته شده است. ساختن آن هم ماجرایی دارد، که به پادشاه ارتباط پیدا می‌کند. جریان از این قرار است که پادشاه قبلی کاخی برای معشوقه‌های خود بنا کرده بود و مقداری آجر از آن برجا مانده بود. پادشاه اجازه داد که با همین آجرها در محوطه‌ی پارک سلطنتی رصدخانه‌یی بسازند.

این رصدخانه هنوز پابرجاست و نظیر رصدخانه‌ی شکل ۶۹ ولی در ابعاد بزرگ‌تر است. *فلمستید* به مقام منجّم سلطنتی منصوب شده بود، امّا کمکی به وی نمی‌شد و ناچار بود به خرج جیب خود، وسایل لازم را بخرد و با درس دادن به چند نفر کارآموز دریانوردی پولی به کف آورد. وی با همین وضع به مشاهدات خود ادامه داد.

در شکل ۷۱، منظره‌ی درونی رصدخانه دیده می‌شود. در این بنای بزرگ

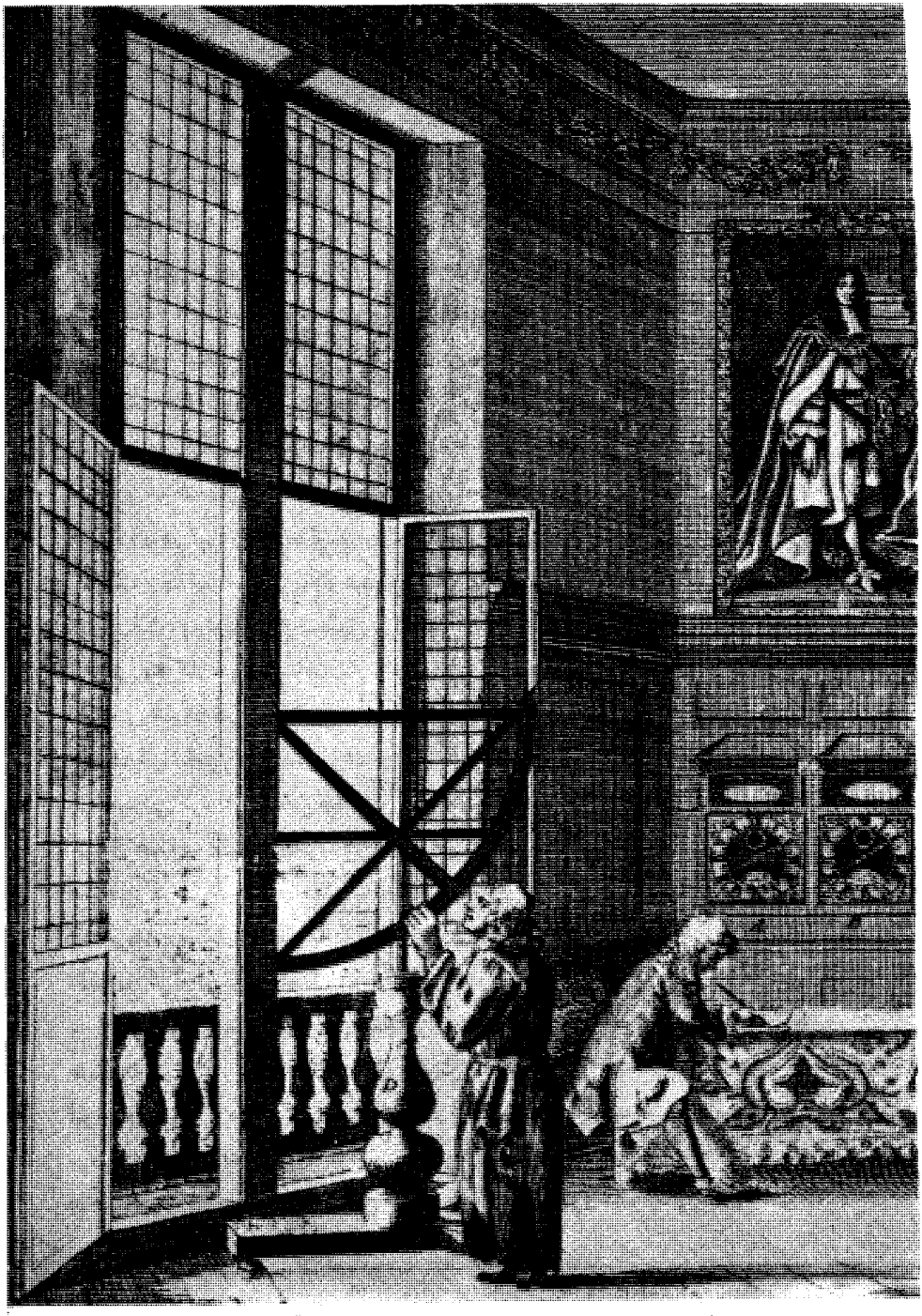


شکل ۷۰ـ رصدخانه‌ی سلطنتی گرینویچ در عصر فلمستید[1].

و باشکوه می‌توانید تصویر چهره‌ی پادشاه و دوک ناحیه‌ی یورک، چند ساعت، یک ربع عدسی‌دار، و یک تلسکوپ را ببینید. شیوه‌ی تنظیم تلسکوپ هنوز بسیار مقدّماتی بوده است. مثلاً برای آنکه بالاتر قرار بگیرد، ناچار بوده‌اند آن را روی پله‌های بالاتر نردبان بگذارند. ولی برای تنظیم دقیق‌تر، درانتهای تلسکوپ پیچ مخصوصی پیش‌بینی شده بود. با همین ابزارها، تمام رصدهای نجومی آن عصر انجام می‌شد و همان طور که در تصویر می‌بینید، یکی از کارکنان رصدخانه مشغول یادداشت کردن مشاهدات و رصدهاست، و نجوم جدید از این جا آغاز شد. دانشمندان این دوران علاوه بر تلسکوپ،

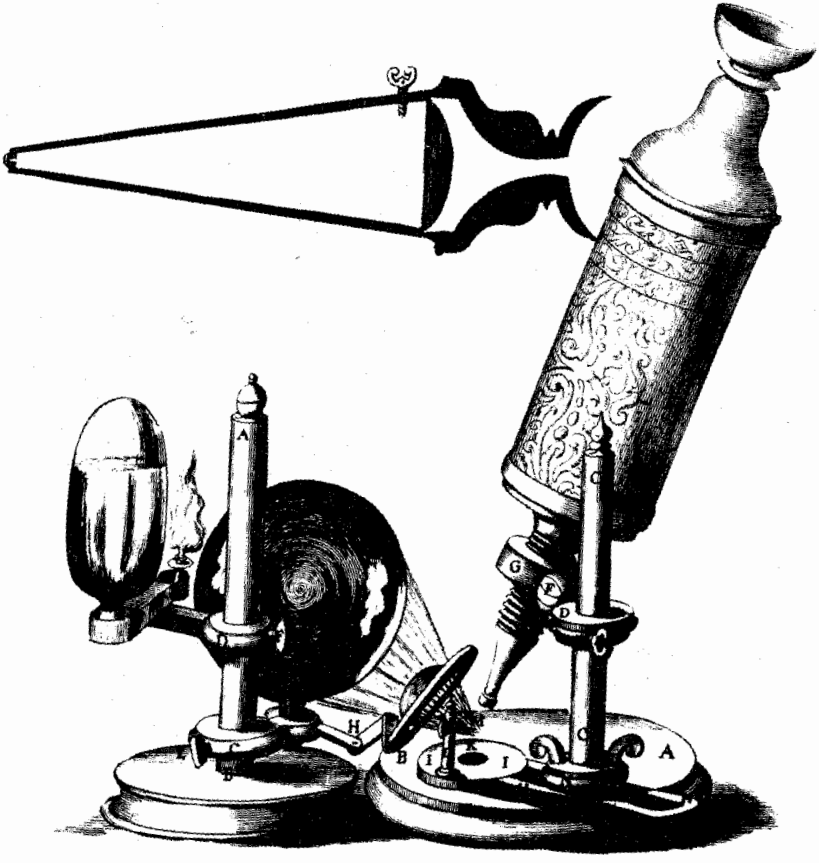
1- Flamsteed

شکل ۷۱ـ نمای درونی رصدخانه‌ی سلطنتی گرینویچ در عصر فلمستید؛ در این تصویر کاربرد تلسکوپ و ربع را مشاهده می‌کنید.

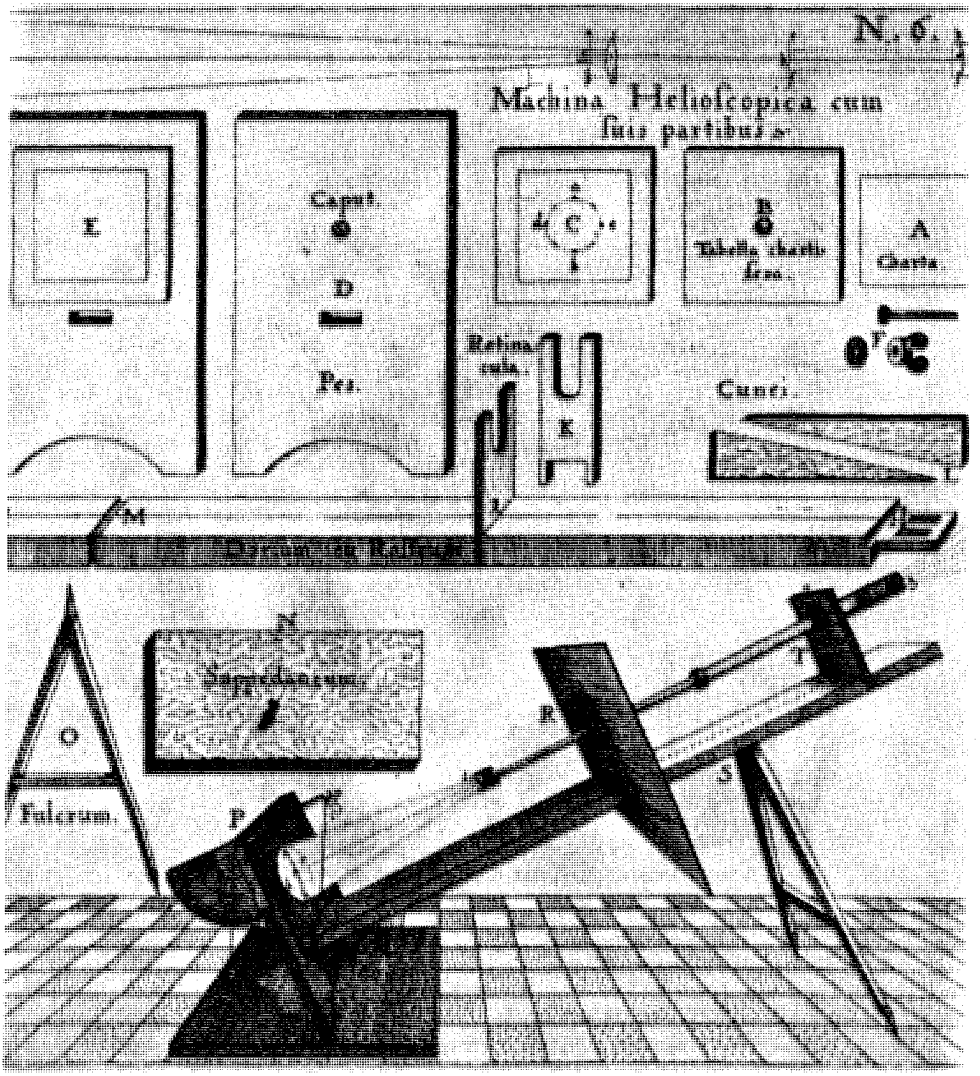


میکروسکوپ هم داشتند. در شکل ۷۲، میکروسکوپ متعلّق به هوک را می‌بینید که به کمک آن هر چیزی را که به نظرش جالب می‌رسید، مشاهده می‌کرد. وی با میکروسکوپ به مشاهده‌ی موجودات ریزی چون کک و مگس پرداخت، و کتاب تحسین‌برانگیزی در زمینه‌ی کشفیّاتی که درخصوص سلول‌های گیاهی کرده بود نوشت، و زیست‌شناسی نوین را پی‌ریزی کرد. با این همه، هوک را نمی‌توان بهترین زیست‌شناس آن عصر دانست. این لقب شایسته‌ی یک زیست‌شناس هلندی است که *لی‌یوُون‌هوک*[1] نام دارد. لی‌یوون‌هوک بازرگان منسوجات بود و تحقیقات علمی را به عنوان تفریح انجام می‌داد، و در این زمینه به تمام معنای کلمه آماتور بود. وی معطّل میکروسکوپ نماند، و با استفاده از یک عدسی یک میلی‌متری که نزدیک چشم خود می‌گرفت، به مطالعه و تحقیق پرداخت. روشی که این محقّق برای تهیه‌ی این عدسی به کار می‌بست بسیار نبوغ‌آمیز بود. در این روش وی یک چراغ و تعدادی شیشه در اختیار داشت. یک گوی شیشه‌یی را که به انتهای یک نخ نازک شیشه‌یی آویخته بود، بر اثر گرما ذوب، و گوی مذاب را به اطراف پرتاب می‌کرد و چندین عدسی کوچک به دست می‌آورد که پس از امتحان کردنِ همه‌ی آنها، بهترینشان را برمی‌گزید. بدین ترتیب از شرّ ساییدن و صیقلی کردن شیشه، و عملیّات بیهوده‌ی دیگر راحت می‌شد! وی با این شیوه، عدسی‌های بسیار خوبی به دست آورد و با استفاده از آنها باکتری و اسپرم را کشف کرد. لی‌یوون‌هوک به‌هنگام مرگ، تمام ابزارهای خود را که تعدادشان به چهل می‌رسید، به انجمن سلطنتی بخشید. متأسّفانه انجمن در آن وقت هم طبق معمول بی‌پول بود و نمی‌توانست حقوقی برای استخدام یک سرپرست فراهم کند، و درنتیجه هر کس از راه می‌رسید قطعه‌یی از این ابزار را برمی‌داشت، و هنگامی که بالاخره کسی را به‌عنوان سرپرست استخدام کردند، دیگر چیزی برای سرپرستی باقی نمانده بود. تنها میکروسکوپ لی‌یوون‌هوک

1- Leeuwenhoek



شکل ۷۲ـ میکروسکوپ مرکب هوک.



شکل ۷۳ـ خورشیدنمای شاینر، ۱۶۳۰.

در تملّک انجمن ماند، و شاید روزی ردّپای بقیّه‌ی ابزارهای او به دست بیاید.

در شکل ۷۳، دستگاه خورشید نمای *شاینر* دیده می‌شود. شاینر که یکی از نخستین بزرگان سنّت نجومی یسوعیان بود، با کاربرد تلسکوپی که تصویر را بر روی یک پرده منعکس می‌کرد، به پژوهش در مورد خورشید پرداخت و توانست لکّه‌های خورشیدی را کشف کند. همین امر به برخورد شدیدی میان او و گالیله انجامید؛ گالیله در مورد محلّ دقیق لکّه‌ها با شاینر اختلاف نظر داشت. از آن تاریخ به بعد، کار مشاهده‌ی این لکّه‌ها ادامه یافته است. در این تصویر یک نوع از تلسکوپ‌های ساده را می‌بینید که با تلسکوپ گالیله تفاوت دارد؛ چون دارای یک عدسی چشمی همگرای اضافی است که از شیء مورد مشاهده، تصویری حقیقی بر روی پرده می‌اندازد.

مشکل بزرگی که منجّمین اوّلیّه با آن دست به گریبان بودند، عدم دستیابی به تصویر خوب و واضح بود. تصویرهای حاصل از عدسی‌ها دارای هاله‌های رنگی بود، و وجود عدسی‌تراشان کارآزموده و آگاهی چون اسپینوزای فیلسوف هم، که با تراش عدسی امور می‌گذرانید، به حلّ مسئله کمکی نمی‌کرد. بروز این فریزهای رنگی در کنارهٔ تصاویر نیوتون را به فکر واداشت.

حساب دیفرانسیل و انتگرال (حساب جامعه و فاضله)

پس از این مقدّمات به اصل موضوع این فصل، یعنی کارهای نیوتون می‌رسیم. من تنها خلاصه‌یی از کارهای او را ذکر می‌کنم، چون برای بیان تمام تجارب و کشفیّات او باید چندین فصل مطلب نوشت. نخست، به کار او در ریاضیّات محض اشاره می‌کنم، که در اینجا نمی‌توانم به تفصیل به آن بپردازم، امّا بزرگ‌ترین دستاوردش در این زمینه قضیّه‌ی دو جمله‌یی بود. وی از قضیّه‌ی دوجمله‌یی به اندیشه‌ی حساب دیفرانسیل و انتگرال رسیده است. وی برای نمایش تغییرات یک کمیّت، مثلاً سرعت، نمادهای مخصوص خودش را به کار

برد، که تا سال ۱۸۵۰ در هیچ جای دیگری جز انگلستان به کار نمی‌رفت. نیوتون مشتق اوّل هر کمیّت را با نقطه‌یی در بالای حرف نماینده‌ی آن کمیّت، $\dot{x}$، و مشتق دوّم را با دو نقطه در بالای این حرف، $\ddot{x}$، نمایش می‌داد. بعداً یکی از معاصران اندکی جوانترش به نام *لایب‌نیتس*[1]، مشتق را به صورت dy/dx نشان داد. امّا برای حفظ حرمت نیوتون، تا سال ۱۸۴۵ در کمبریج کسی از نمادهای dx و dy استفاده نمی‌کرد. پس از این تاریخ *بابج*[2]، یا یکی از بذله‌گویان سده‌ی نوزدهم، تفاخرکنان گفته است که: «من کمبریج را از عصر نقطه‌گذاری نیوتون نجات دادم و به عصر d گرایی لایب‌نیتسی رساندم». ابداع حساب دیفرانسیل و انتگرال بی‌درنگ او را به مرتبه‌ی استادی رساند، و تا مدّت‌های مدید کسی جز او قادر به مشتق‌گیری نبود، و به همین ملاحظه در شاهکارش، یعنی *اصول*[3] (پرینکیپیا) از بیم آنکه مبادا خوانندگان از نمادگذاری دیفرانسیلی سر درنیاورند، خبری از نمادهای مشتق‌گیری نبود. بدین خاطر در این کتاب برای اثبات قضایا از هندسه‌ی یونانی بهره گرفته شده است.

کار بعدی او را در شکل ۷۴ می‌بینید. وسیله‌یی که در این تصویر دیده می‌شود، نشان می‌دهد که او در زمینه‌ی علم تجربی چه توانایی عظیمی‌داشته است. این عکس از تلسکوپ اصلی نیوتون گرفته شده است، که خوشبختانه هنوز هم موجود است. این تلسکوپ، بسیار کوچک بود و هرگز کارآیی لازم را نیافت. علّت عدم کارآیی آن وجود یک خطای تکنیکی بود. امّا نکته‌ی مهم آن بود که نیوتون علی‌الاصول، مسئله‌ی چگونگی رهایی از شرّ فریزهای رنگی را حل کرد. آینه هیچگونه خطای منشوری یا رنگی ندارد، بنابراین بااستفاده از آن می‌توان تصویرهای واضح و مشخّصی به دست آورد؛ امّا برای نیوتون تهیّه‌ی آینه، خود یک مشکل به حساب می‌آمد. البتّه وی می‌توانست آینه‌ی مقعری را

1- Leibniz

2- Babbage

۳ـ تلفظ این واژه در یونانی پرینکیپا است، ولی آن را در انگلیسی و نیز در ترجمه‌های فارسی پرینسیپیا (Principia).

شکل ۷٤ـ تلسکوپ بازتابی نیوتون.

صیقل بدهد، و درانتهای تلسکوپ نصب کند، و یک آینه‌ی کوچک تخت را هم در مقابل عدسی چشمی بگذارد؛ ولی نمی‌توانست از کدر شدن آنها جلوگیری کند و، البتّه، پس از مدّتی تصویرها از وضوح می‌افتادند. چون هر بار که آینه‌ها را تمیز می‌کرد به علت کم شدن جلا ناچار بود مجدّداً آنها را صیقل دهد. بدین ترتیب، کار با این دستگاه چندان مشقّت‌بار بود که به درد رصد نمی‌خورد، و هیچ سندی هم از نتایج رصد با آن در دست نیست. با این همه تلسکوپ نیوتون را می‌توان ابتکاری دانست که جلودار پیدایش تلسکوپ‌های جدید شد.

این دستاورد، توجّه مردم را به‌سوی وی جلب کرد. همان‌طور که قبلاً اشاره کرده‌ام، وی در کمبریج عضویّت داشت و با آنکه استادیاری کالج ترینیتی[1] به وی اعطا شد، به علّت یک اشکال جدّی نتوانست کرسی استادی را در این کالج کسب کند. نیوتون در مورد تثلیث[2] نظرات نادرستی داشت و چنین شخصی بالطبع نمی‌توانست به عضویت عالی کالج ترینیتی برسد. به همین دلیل، حتّیٰ به مدّیریت کالج کینگ هم منصوب نشد، و ناگزیر به ریاست ضرّابخانه قناعت کرد. برای رسیدن به این مقام، تقید به آیین‌های خشک مذهبی ضروری نبود. وی تلسکوپ کوچک خود را برداشت و راهی لندن شد. در انجمن جدیدالتأسیس سلطنتی او را به گرمی پذیرفتند. در این انجمن میان او و بسیاری از اعضا بر سر مبحث نور مشاجراتی درگرفت. بعداً در خصوص دستاوردهای او در حوزه‌ی نور بحث خواهم کرد، و در اینجا به دستاورد عمده‌اش، که البته نظریه‌ی گرانش است، می‌پردازم.

پیش از این، به برخی از جنبه‌های توصیفی نظریه‌ی گرانش اشاره‌هایی کرده‌ام؛ اینک نگاهی به جنبه‌ی دینامیکی این مبحث بیندازیم. گفتیم که گالیله علاوه بر کشف قمرهای مشتری، به کار دیگری هم دست زده است. وی،

1- Trinity
2- The Trinity

در تلاشی ناموفق، کوشید استنتاج‌های فیزیکی علیه نظریه‌ی چرخش زمین را بی‌اثر کند. استدلال مخالفان این بود که اگر موضوع چرخش زمین درست باشد، چرا باد شدیدی در اثر این حرکت در جهت خلاف چرخش آن، از غرب به شرق، نمی‌وزد؟ این نوع باد می‌تواند همه چیز را به ویرانی بکشد، و بنابراین، ممکن نیست که زمین بچرخد. اگر کسی معتقد بود که هوا تا بی‌نهایت گسترده است و تمام عالم را پر کرده است، این استدلال را می‌پسندید. در آن روزگار دلیلی علیه این اعتقاد در دست نبود. محدودیّت جوّ، هنگامی روشن شد که خلأ و هواسنج را کشف کردند، و در آن هنگام گالیله از جهان رفته بود. بنابراین معاصران گالیله خود را در اقامه‌ی برهان فیزیکی علیه چرخش زمین ذی‌حق می‌دانستند. گالیله برهان‌هایی در ابطال این ادّعاها ارائه کرد، که البته برهان‌های محکمی به حساب نمی‌آمد؛ ولی زمینه را برای پذیرش نسبی نظام کپرنیکی جهان در زمان نیوتون فراهم آورد. امّا توضیح مناسبی برای این نظام در دست نبود.

لَختی (ماند)

لختی هم یکی دیگر از دل‌مشغولی‌های دانشمندان سده‌های میانه بود. چنین تصوّر می‌شد که سیارات تنها در صورتی در مدار خود گردش می‌کنند که نیرویی آنها را به جلو براند، و چون هیچ آدمی نمی‌توانست چنین نیرویی را تأمین کند باید فرشتگانی مأمور انجام این وظیفه باشند. هر فرشته، موکّل گرداندن یک سیّاره فرض می‌شد، و بدین ترتیب خیال همگان از بابت زمان گردش و اموری نظیر آن راحت بود. کار فرشته در راندن سیاره، نظیر کار راننده‌یی بود که اتومبیلی را هدایت می‌کند. نظام ماقبل کپرنیک یک نظام مکانیکی بود. برای چرخاندن گوی‌های بلورین فلکی چند چرخ‌دنده لازم بود، که فردی از خارج می‌توانست به کمک دسته‌یی همه‌ی آنها را بچرخاند. ولی هنگامی که فردی مانند کپرنیک این اندیشه‌ها را یکسره باطل کرد، چاره‌یی جز توسّل به فرشتگان نماند. فکر تداوم حرکت بدون نیاز به نیرو، به خصوص

حرکت در روی یک مدار دایره‌یی بدون نیروی محرّکه، در مخیّله‌ها نقش نمی‌بست.

در همین روزگار خودمان، درحدود سال‌های ۱۹۰۰، وقتی که موضوع گردش الکترون‌ها در مدارهای خاصّ خود عنوان شد، توضیح آن بدون در نظر گرفتن موضوع تابش امری بسیار دشوار بود. الکترونی که در مدار می‌گردد، دارای شتابی رو به جانب مرکز است و امروز همه می‌دانند که بار الکتریکی شتابدار، بنابر معادلات ماکسول، امواج الکترومغناطیسی تولید می‌کند. این الکترون از طریق تابش سرعتش را کاهش می‌دهد و پس از مدتی در هسته می‌افتد. برای توضیح این مفهوم لازم بود که همه‌ی قواعد موجود برهم بخورد، و پلانک و سپس بور هم چنین کردند. امّا ایرادی که بر گالیله گرفته می‌شد بسیار جدّی بود: چه چیزی سیّارات را در حال حرکت نگه می‌دارد؟

نیوتون برای حلّ این مسئله همّت گماشت، و ما هرچند نمی‌توانیم قضیّه‌ی سقوط سیب از درخت را داستانی واقعی بدانیم، امّا می‌توانیم گفته‌های وی را جدی بگیریم. وی هسته‌ی اساسی اندیشه‌ی خود را از مطالعه‌ی کارهای گالیله در مورد آونگ گرفت و از این طریق به وجود نیروی مرکزگرا پی برد. معمولاً کشف این پدیده را به هویگنس نسبت می‌دهند و تاریخ توفیق او را در حدود سال ۱۶۷۳ می‌دانند. امروز، برعکس چند سال پیش، دیگر مسلّم شده است که نیوتون درحوالی سال ۱۶۶۵ از وجود چنین نیرویی باخبر بوده است. شگفت آنکه وی این نکته‌ی مهم را دارای آن ارزش نمی‌دانسته است که با کسی در میان بگذارد؛ ولی به هرحال درباره‌ی آن یادداشت‌هایی برداشته است شکل (۶۶). در کتاب دیگری همزمان با سند شکل ۶۶، اشاره‌یی در این مورد می‌بینیم. نیوتون نسبت میان نیروی مرکزگرای خورشید و زمین،به نیروی گرانی (ثِقل) را با محاسبات بسیار طولانی به دست می‌آورد. وی با مطالعه در مورد آونگ مخروطی، نظریه‌ی گرانش را تدوین می‌کند و محاسبات و پاسخ‌های عددی محاسبات خود را مستقیماً از کتاب *مباحثه درباب دو علم جدید* گالیله اقتباس می‌کند، ولی به روی مبارک خود نمی‌آورد کسی هم در آغاز به

این موضوع پی نبرده بود. امروز کسی در این مورد هیچ شکّی ندارد. نیوتون محاسبات خود را از روی کارهای گالیله نوشته است، به یک دلیل ساده اعدادی که این دو دانشمند به دست آورده‌اند کاملاً غلط‌اند! گالیله در مورد اندازه‌ی مطلق فواصل میان زمین و ماه و زمین و خورشید، آسان‌گیر بود و چاره‌یی هم نداشت. بدین سبب با وجود درستیِ برداشت، نمی‌توانست محاسبات درستی انجام دهد. بسیاری از صاحب‌نظران معتقدند که نیوتون به علّت اعتقاد به صحّت نظر کلّی گالیله، محاسبات وی را کنترل نکرده است.

مطالعه در خصوص آونگ نوسانی، به تحقیق درباب آونگ مخروطی انجامید و این امر مفهوم نیروی مرکزگرا را پیش آورد و آن هم به نوبه‌ی خود، موضوع نیروی گرانش را به میان کشید، که سیّارات را در عین آزادی حرکت در یک مدار معیّن نگه می‌داشت. در مورد آونگ، نیروی مرکزگرا، همان مؤلّفه‌ی نیروی وزن بود که رو به سوی مرکز داشت. نیوتون به محض آگاهی از این موضوع موفّق به تدوین آن شد، و جای شگفتی است که ریاضی‌دان بزرگ و نامداری چون او محاسبات خود را تا هیجده رقم پیش ببرد درحالی که اعداد حاصل، دست کم از رقم دوّم به بعد اشتباه از آب درمی‌آیند. به هرحال این محاسبات بدین صورت انجام شد، و نتایج مؤثّری از آنها به دست آمد. به عنوان مثال، براساس یکی از آن نتایج معلوم شد که نیروی جاذبه می‌تواند در عرض مدّت ۸۳۶۷۷ دقیقه، جسم را به اندازه‌ی ۱۰۰,۸۲۶,۵۰۰,۷۳۷,۶۰۰ بریس[۱] جا به جا کند. انتخاب بریس به‌عنوان یکای اندازه‌گیری طول، که شکل انگلیسی *braccia*، یعنی یکای اندازه‌گیری طول درایتالیا بوده است، نشان می‌دهد که نیوتون اطّلاعات خود را از آثار گالیله به دست می‌آورده است. خوب، واقعیّت این است و چاره‌یی هم نیست.

نیوتون در این راه تنها نبود. اندیشه‌ی وجود نیروی گرانشی و ادامه‌ی حرکت اجسام به صورت گسترده‌یی مورد توجّه دانشمندان بود، ولی امر مسلّم

۱ـ واحد طول، مورد استفاده در ایتالیا، که بین ۱۹ تا ۳۵ اینچ متغیّر بود.

آن است که نیوتون پیش از اکثریت آنان به این نکات پی‌برد. هویگنس و بُورِلی (فیزیولوژیست نابغه‌ی ایتالیایی) از این جریان آگاه شده و درباره‌ی آن صحبت کرده بودند، ولی توضیحات آن دو تن، نمی‌توانست کسی را قانع کند.

دینامیک منظومه‌ی شمسی

البتّه، مراد از این همه تمرین و ممارست، درک دینامیک منظومه‌ی شمسی و امکان‌پذیر کردن حل مسئله با رهیافتی متفاوت بود. در برخورد با پدیده‌یی چون منظومه‌ی شمسی، سه مرحله وجود دارد. این مراحل عبارتند از: توجه به زمان وقوع کسوف و خسوف، و توجه به ساعات طلوع و غروب ستارگان، و پس از آن محاسبه و تنظیم جدول‌های ضروری با توسل به عملیات حسابی محض. این قضیه به جنبه‌های متفاوت کار بلورشناسی شباهت دارد: در یک مقطع نیازی به آگاهی در مورد مدل نیست و حتی می‌توان گفت که انتخاب یک مدل به مانعی در راه شناخت بدل می‌شود کافی است آدمی دریابد که رویدادهای مشابه و مکرری پیش می‌آیند و براساس این تکرارها، به یک سلسله پیش‌بینی‌ها مبادرت ورزد. بابلیان در زمینه‌ی نجوم همین روش را در پیش می‌گرفتند. پس از آن می‌توان مانند یونانیان کمی فراتر رفت، و یک مدل سینماتیکی ارائه داد. یونانیان می‌توانستند منتظر باشند تا رویداد خاصی اتّفاق افتد پیش‌بینی کنند که فلان ستاره در ساعت ٤ عصر روز ١٧ سپتامبر در افق ظاهر خواهد شد: «قبلاً دیده شده است و بعداً هم دیده خواهد شد». آنان می‌گفتند: «این ستاره دور می‌زند»، از این راه یا آن راه می‌رود»، و تصویری هم از مدار گردش آن ترسیم می‌کردند؛ ولی نمی‌توانستند بگویند چرا مدار گردش این ستاره دایره است، بلکه به‌جای اینکه بگویند در فلان زمان معیّن در فلان محل است، برایشان ساده‌تر بود که بگویند مسیری دایره‌یی را طی می‌کند.

خوب، اگر از این مرحله پا فراتر بگذاریم و مانند کپلر به تبیین سینماتیکی پدیده‌ها بپردازیم، می‌توانیم جدول‌های بهتری تهیه کنیم. امّا آگاهی از دینامیک، یعنی یافتن پاسخ برای پرسشی مانند: «چرا ستاره حرکت

می‌کند؟» از این هم مهم‌تر است؛ چون‌بادانستن علّت حرکت می‌توان دقیقاً به بررسی رویدادها پرداخت. دست کم می‌توان گفت چنین اندیشه‌یی وجود داشت و دلایل محکمی به سود آن در دست بود. در عصر نیوتون کسی به طور جدّی به طالع‌بینی اعتقاد نداشت. پیش از آن، محور اصلی اهمیّت مسائل نجومی عبارت بود از درک مشیّت در عالم الهی، و با آنکه احتمالی برای درک این اراده وجود نداشت، همچنان به صورت مسئله‌ی محوری بر جا بود. امّا در این هنگام، موضوع دیگر کاربردی شده بود و به حدّ محاسبه‌ی طول جغرافیایی رسیده بود و نیوتون هم تمام نیروی خود را روی آن متمرکز کرد. قبلاً اشاره کردم که گالیله با استفاده از ساعت و اقمار مشتری برای تعیین طول جغرافیایی تلاش می‌کرد، امّا نیوتون در پی یافتن قوانین حرکت بود تا به یاری آنها بتواند جدول‌های دقیقی ارائه کند. البتّه در اثنای محاسبات و مطالعات، هدف اصلی وی تهیّه‌ی جدول نبود؛ بلکه دستیابی به اصول حرکت را مدنظر داشت.

در این مرحله شایسته است تصویر ساده‌یی از اندیشه‌های رایج در مورد گرانش، در سال ۱۶۶۶، عرضه کنیم. بُورِلی، فیزیولوژیست ایتالیایی، که قبلاً در خصوص او صحبت کردم، نظری در باره‌ی حرکت سیّارات ارائه داد که در آن برای موازنه‌ی نیروی مرکزگرا، نیروی دیگری لازم می‌آمد که او مشخّصه‌های آن را همچون نیروی گرانش دانشته بود. نیوتون هم در سال ۱۶۶۵ به نتیجه‌ی مشابهی رسید و این هر دو نظر ناشی از نظرات گالیله بود. اگر مدار حرکت سیّارات بیضی باشد، سرعت حرکت آنها در هنگام نزدیک شدن به خورشید افزایش می‌یابد، و ناگزیر برای ایجاد تعادل در برابر نیروی مرکزگرا، که مقدارش زیاد می‌شود، باید مقدار نیروی گرانی هم بیشتر شود. پس نیروی گرانی باید تابعی از توان فاصله باشد. اما چگونه تابعی؟ هوک قبلاً پی برده بود که گرانش با ازدیاد فاصله، تقریباً به طرف صفر میل می‌کند، و طیّ تلاشی ناموفّق می‌خواست با مقایسه‌ی تغییرات وزن یک جسم بر روی سطح زمین، در عمق معدن و در بالای مناره‌ی کلیسا، نظر خود را اثبات کند. اندازه‌گیری‌های وی که از دقّت برخوردار نبود، مانع توفیق او شد. دکارت هم توضیح فیزیکی

دیگری برای گرانش پیشنهاد کرد. به نظر وی کلّ منظومه‌ی شمسی نظیر گردابی بود که همه چیز در آن به سوی مرکز کشیده می‌شود، مگر آنکه چرخش کافی داشته باشد. نیوتون در آغاز کار، به این نظر فیزیکی گرایش داشت، گرچه بعداً کتاب *پرینکیپیا* ی خود را وقف اثبات نادرست بودن این پندار کرد، و نشان داد که قوانین حرکت گردابی، که می‌شد آنها را اثبات کرد، با قوانین حرکت سیّارات تفاوت بسیار دارد. با این همه، شباهت این دو حرکت به قوانین حرکت گردابی خصلت اغواکننده‌یی می‌بخشید. عدّه‌ی بسیاری از دانشمندان معتقد بودند که مجذورِ زمانِ تناوبِ حرکتِ سیارات با مکعب شعاع متناسب است، و درنتیجه کشش گرانشی یا نیروی مرکزگرا که با نیروی مرکزگریز به‌حالت موازنه درمی‌آید باید به خارج قسمت شعاع بر مکعب شعاع، یعنی عکس مجذور شعاع گردش، بستگی داشته باشد. این استدلال مستقیماً از قانون سوم کپلر به دست می‌آید؛ امّا نکته‌ی جالب آن است که خود کپلر متوجه این نکته نشده بود. در حقیقت برای دستیابی به قانون گرانش فقط آگاهی از قانون سوّم نیوتون لازم است، و این امر در سال ۱۶۷۹ علاوه بر بُورلی، بر هالی و هوک و رِن هم روشن شده بود.

کتاب اصول (*پرینکیپیا*)

در این ایّام که برخی مباحثات در جریان بود ناگهان فردی دیگر به نام *ادموند هالی*[1] از راه رسید، که از همه جوان‌تر بود. این منجم مشتاق، برای تهیه‌ی فهرست ستارگان نیمکره‌ی جنوبی به سنت *هِلِن*[2] رفت و همچون پشتیبانی محکم برای نیوتون به انگلستان بازگشت. در سال ۱٦۸٤، برای دستیابی به اثبات هندسی قانون عکس مجذوری گرانش به هوک، رن، و نیوتون مراجعه کرد، و

1- Edmund Halley

2- St. Helena

سرانجام هم نیوتون مقصود وی را بر آورد. نیوتون در کمبریج کرسی استادی داشت، و به امور مهمّی چون کار در زمینه‌ی منشور، الکتریسیته، و سایر مباحث فیزیکی مشغول بود، که هالی به سراغش آمد و او را به افشای کشفیّات خود برانگیخت. بدین ترتیب زمینه‌ی نوشتن کتاب بزرگ *پرینکیپیا* یعنی انجیل علم به طور اعم و انجیل فیزیک به طور اخص، فراهم آمد. متأسّفانه این انجیل هم، مانند انجیل اصلی، این روزها غریب مانده است و کم‌تر کسی به سراغ آن می‌رود، و تقریباً هیچ کس آن را به طور کامل نمی‌خواند. خود من هم این اثر را به طور کامل نخوانده‌ام. آغاز کتاب جالب است، و من قطعه‌یی از مقدّمه‌ی آن را در اینجا می‌آورم تا ساختار کلی کتاب روشن شود:

«از آنجا که قدیمی‌ها علم مکانیک را بزرگ‌ترین دستاورد پژوهش در مورد موجودات طبیعی می‌دانستند، و مُتجدّدین، جلوه‌های طبیعی کیفیّات رمزی را مردود می‌شمارند و می‌کوشند پدیده‌های طبیعت را با قوانین ریاضی تبیین کنند، سعی من بر این است که در این رساله، ریاضیّات را تا آنجا که به فلسفه مربوط می‌شود به کار بگیرم.»

عنوان کامل این کتاب *اصول ریاضی فلسفه‌ی طبیعی*[1] است.

«پیشینیان، مکانیک را دارای جنبه‌یی دوگانه می‌دانستند. یکی جنبه‌ی عقلانی، که دقیقاً با برهان پیش می‌رود؛ و دیگر جنبه‌ی عملی. تمام فنون و صنایع دستی به مکانیک عملی تعلّق دارند، و این نام هم به همین مناسبت انتخاب شده است. امّا از آنجا که صنعتگران دست‌کار با دقّت کامل کار نمی‌کنند، چنین رسم شده است که میان مکانیک و هندسه تمایزی قائل شوند. بدین نحو که هر امر کاملاً دقیق را هندسی بدانند، و هر پدیده‌یی را که دقّت آن در حدّ اعلی نیست مکانیکی بنامند. باید دانست که عدم دقّت، مربوط به خود عمل یا کار نیست، بلکه به فاعل کار مربوط می‌شود. کسی که در دقّت اهمال می‌کند مکانیک‌دان بی‌کفایتی است و آن که در کار خود دقّت و وسواس به خرج می‌دهد، مکانیک‌دانی قابل شمرده می‌شود. ترسیم خطوط راست و دوایر که اساس علم هندسه است، به علم مکانیک تعلّق دارد.»

نکته‌ی اخیر در هنگام بررسی نظریه‌ی نسبیت اینشتین اهمیّت بسیاری کسب می‌کند. «هندسه، ترسیم این نوع خطوط را به ما نمی‌آموزد، بلکه

1- *The Mathematical Principles of Natural Philosophy*

کشیدن آنها را ضروری می‌کند، زیرا دانش‌پژوه را ملزم می‌کند که ابتدا ترسیم دقیق خطوط را بیاموزد، و پس از آن نشان می‌دهد که چگونه با عملیّاتی معیّن می‌توان به حلّ مسائل دست یافت ».این اشاره را می‌توان مدخلی بر روش اصل موضوعی دانست.

«امّا من پیش از آنکه به صناعت و فنون بپردازم به فلسفه می‌اندیشم، و به جای قلم زدن در زمینه‌ی کارهای دستی، توضیح نیروهای طبیعی را مدّ نظر دارم و عمدتاً به نکاتی نظر می‌کنم که به ثقل (گرانی)، حرکت‌پذیری، نیروی کششانی، مقاومت سیّالات (شاره‌ها) و سایر نیروهای مشابه، اعم از ربایش یا رانش مربوط می‌شوند و بنابراین، کار خود را به عنوان اصول ریاضی فلسفه عرضه می‌کنم؛ چون به عقیده‌ی من، کلّ فلسفه از همین موضوع تشکیل یافته است: سیر از پدیده‌های حرکت به سوی تحقیق در نیروهای طبیعت و سپس از این نیروها به سوی نشان دادن دیگر پدیده‌ها...»

این مطلب همان برنامه‌یی است که در آغاز برای علم فیزیک اعلام شد. امروز دیگر با این برنامه توافق کامل نداریم، چون از زمان ارائه‌ی نظریات اینشتین دیگر گفتگو از نیروها چندان موجّه نیست البتّه هنوز هم پیوسته از نیروها صحبت می‌کنیم ولی در ذهن خود پیش‌فرضی داریم، که براساس آن نیروها را پدیده‌های واقعی نمی‌دانیم و ذکر آنها را نوعی سبک سخنگویی و تکیه کلام به حساب می‌آوریم. در واقع علّت بسیاری از اعتراض‌هایی که بر نیوتون وارد شده است، تأکید او درمورد نیروهاست. حتّی در همان ایّام هم کسانی نظیر لایب‌نیتس بودند که نظرات فلسفی‌تری داشتند.

نیوتون، به قول خودش، شرحی از نظام عالم را ارائه می‌کند. منظور وی از نظام عالم، هنوز همان منظومه‌ی شمسی است. او کار را آغاز می‌کند، و به قول معروف به یک ضرب، قواعد اصل موضوعی را به شکل تعریف به ما تحویل می‌دهد. این قواعد با تعریفِ چیزی شروع می‌شود که غیر قابل تعریف است! «کمیّت مادّه، مقیاس مادّه است که از تکاصف و حجم، تواماً، حاصل می‌شود». می‌بینید که وی اعتقاد داشت که می‌توان مادّه و حجم را اندازه‌گیری

کرد. حالا وقت آن رسیده است که بپرسیم معیّار اوّلیّه کدام است ؟ خوب، حجم را می‌توان اندازه‌گیری کرد، ولی نیوتون بر این اعتقاد بود که چگالی، خاصیت ذاتی مادّه است و بنابراین اندازه‌گیری چگالی اساسی‌ترین کار برای اندازه‌گیری مقدار مادّه است، که آن را جرم می‌خوانیم. «کمیّت حرکت، مقیاس حرکت است که تواماً در سرعت و مقدار ماده به‌دست می‌آید». در این توضیحات چگونگی اندازه‌گیری سرعت روشن نمی‌شود. «*vis insita* (که نکته‌ی تازه‌یی است) یا نیروی ذاتی مادّه (که آن را لَختی یا اینرسی می‌خوانیم)، قدرت مقاومتی است که جسم تا آنجا که از آن برخوردار است، در حالت موجود باقی می‌ماند، یعنی یا ساکن می‌ماند یا به حرکت یکنواخت بر روی خط راست ادامه می‌دهد». پس از آن نوبت به تعریف نیرو می‌رسد: «نیروی مؤثّر، عملی است که بر جسم اعمال می‌شود، تا حالتش را، خواه سکون، یا حرکت یکنواخت بر خطّی مستقیم، تغییر دهد». در اینجا، نیرو را با تعبیر دینامیکی تعریف کردیم. نیوتون به توضیحات خود ادامه می‌دهد و به تعریف نیروهای مرکزگرا می‌رسد: «نیروی مرکزگرا، نیرویی است که اجسام بر اثر آن کشانده یا رانده می‌شوند، و در هرحال به سوی نقطه‌یی، که مرکز به حساب می‌آید، سوق پیدا می‌کنند.» تا اینجا فقط تعریف‌های بنیادی ارائه شد؛ او سپس به تفصیل به تعریف نیروهای مرکزگرا، و مانند آنها می‌پردازد: «من زمان، فضا، مکان، و حرکت را به صورتی که بر همگان معلوم است، تعریف نمی‌کنم». خوب، همان طور که می‌دانید، در خصوص اصطلاحاتی چون زمان، مکان، و حرکت با دشواری‌های بسیار روبه‌رو بوده‌ییم و برای تعریف این مفاهیم باید همه چیز را از اوّل شروع کنیم. این مفاهیم، به آن اندازه که برای ما نامعلومند بر نیوتون هم نامعلوم بود. پس نیوتون به توضیح اصول موضوع یا قوانین حرکت می‌پردازد:

*I*ـ هر جسم حالت سکون خود را حفظ می‌کند، یا حرکت یکنواخت بر خط راست را ادامه می‌دهد، مگر آنکه بر اثر نیروهای وارد بر آن وادار به تغییر حالت خود شود.

این توضیح در واقع یک تعریف است اما به صورت اصل موضوع بیان شده است.

*II*ـ تغییر حرکت با نیروی محرّکِ مؤثّر متناسب است.

*III*ـ هر عملی را عکس‌العملی است مساوی و مختلف‌الجهت با آن...

این سه قانون همان قوانین مشهور نیوتون هستند.

بعد، وی سینما تیک را، از راه ترکیب نیروها، همان‌گونه که در ترکیب تغییر مکان‌ها صورت می‌گیرد، به هندسه مرتبط می‌سازد: «جسمی که به طور همزمان تحت تأثیر دو نیرو واقع می‌شود، در عین حال که هر یک از این دو نیرو اضلاع متوازی‌الاضلاعی را تشکیل می‌دهند، آن جسم قطر این متوازی‌الاضلاع را می‌پیماید.» بدین‌ترتیب، وی نیرو را به وسیله‌ی مقدار حرکتی که به جسم انتقال می‌دهد، اندازه می‌گیرد. از این استنتاج، در تعیین مدار گردش سیّارات بهره می‌گیرد: «سطح‌های پیموده شده توسّط شعاع‌هایی که اجسام گردان را به مرکز نیروی ساکنی وصل می‌کنند در یک صفحه‌ی ساکن قراردارند و مساحتشان متناسب است با زمان پیمایش». این حکم همان تعمیم قانون دوّم کپلر است، زیرا قانون دوّم کپلر، برعکس قوانین اوّل و سوم او، با ماهیّت نیرو یا چیزهایی که نیرو به آنها بستگی دارد، ربط پیدا نمی‌کند. تناسب نیرو با $1/r$ یا $1/r^2$ در قانون دوم تغییری نمی‌دهد، زیرا بنا بر قانون دوّم، اندازه حرکت زاویه‌یی پایسته است.

نیوتون مفصّلاً به توضیح نکات و مفاهیم می‌پردازد، و من توقّع ندارم که شما همه‌ی این توضیحات را بخوانید. باید بگویم که این کتاب نه تنها نظریه را بیان می‌کند، بلکه تمام اعدادی را نیز ارائه می‌دهد که برای محاسبه و تعیین مدارهای گردش لازم است. در یکی از حکم‌های این کتاب راه محاسبه‌ی مدار گردش هر جرم آسمانی، حاصل سه رصد، نشان داده شده است. از روی جدول‌هایی که از این اعداد تهیه شده است، می‌توان حرکت ماه را، که در واقع

مشکل‌ترین حرکت‌هاست، محاسبه کرد، و نیوتون در این یک زمینه دچار شکست می‌شود: علّت شکست وی آن است که این محاسبات در واقع بسیار پیچیده‌تر از آن بود که به‌کار آیند. اگر جدول‌های مناسبی از حرکت ماه در اختیار داشته باشیم، می‌توانیم موضع ماه را در آسمان به آسانی تعیین کنیم، و چون ماه همواره در حال عبور از روی ستارگان به نظر می‌رسد، موضع تعیین‌شده می‌تواند بسیار دقیق باشد؛ امّا برای تعیین مدار دقیق گردش ماه، باید جدول‌های دقیقی در دست داشت و نیوتون هرگز در پی تهیّه‌ی جدول‌های دقیق نبود. بدین ترتیب در پایان کار، به جای نیوتون، یک ساعت‌ساز راه حلّ مسئله‌ی محاسبه‌ی طول جغرافیایی را به دست آورد. برای تعیین طول جغرافیایی یا باید از یک پدیده‌ی آسمانی برای اندازه‌گیری زمان مطلق استفاده کرد، یا از یک کرونومتر بسیار دقیق یاری گرفت. از مرگ نیوتون بیش از صد سال گذشته بود که *جان هریسن*[1] موفق به ساختن چندین کرونومتر شد، و در سال ۱۷٦٤ جایزه‌یی به ارزش ۲۰۰۰۰ لیره به وی تعلق گرفت. این جایزه در سال ۱۷۱٤ از سوی وزارت دریاداری انگلستان برای کسی در نظر گرفته شده بود که بتواند یک راه حلّ عملی برای تعیین طول جغرافیایی ارائه دهد. هریسن برنده‌ی جایزه شد ولی برای دریافت آن ناچار بود به قانون متوسل شود.

کرونومتر ابداعی هریسن فقط تا هنگام پیدایش رادیو و تجهیزات مشابه آن به صورت راه حلّ عملی باقی ماند، و از آن پس دیگر کسی به خود زحمت چشم دوختن به آسمان را نمی‌داد، مگر آنکه بخواهد موشک یا سفینه‌یی را در پهنه‌ی آن پیدا کند. کلّ مسئله‌ی حرکت اجسام تحت تأثیر گرانی (نیروی جاذبه) حل شد، و در جریان آن اصول بنیادی فیزیک را شناختند. در *پرینکیپیا* توضیح مفهوم جرم، مفهوم حرکت متغیر، معادلات دیفرانسیل حرکت، مطالعه در باب ارتعاش، و خلاصه کلّ فیزیک کلاسیک را می‌بینیم، و این تنها یک

1- John Harrison

کتاب از کتاب‌های مهم نیوتون است. در فصل بعد در خصوص سایر کتاب‌های وی که از بعضی جهات در آتیه‌ی فیزیک مؤثر بودند، صحبت خواهم کرد. اشاره‌ی من در اینجا به *نورشناخت* (*اپتیک*[1]) نیوتون است.

1-Opticks

۹

ماهیّت نور و رنگ

در فصل پیش، در خصوص سهم نیوتون در حل مسئله‌ی اساسی مورد بحث دانشمندان باستان سخن گفتم، و به موضوع حرکت سیارات در آسمان اشاره کردم که گالیله و نیوتون در فرایند مطالعه‌ی آن، علم دینامیک را پایه‌گذاری کردند. در این جلسه به بررسی کارهای دیگر نیوتون، یعنی کارش در زمینه‌ی نورشناخت، که تقریباً به همان اندازه‌ی *اصول* مهم بود، می‌پردازم. در این زمینه هم فعالیت‌های این دانشمند در حوزه‌ی حل مسئله‌یی متمرکز شد که از گذشته‌های دور بر جای مانده بود و دانشمندان دوران باستان و سده‌های میانه، هیچ یک در حل آن توفیق نیافته بودند.

نورشناخت، در یونان باستان به مطالعه در مورد آینه و سایه محدود می‌شد. ولی سرانجام تا مرحله‌ی کاربرد آینه‌های مقعر، برای آتش‌زایی و

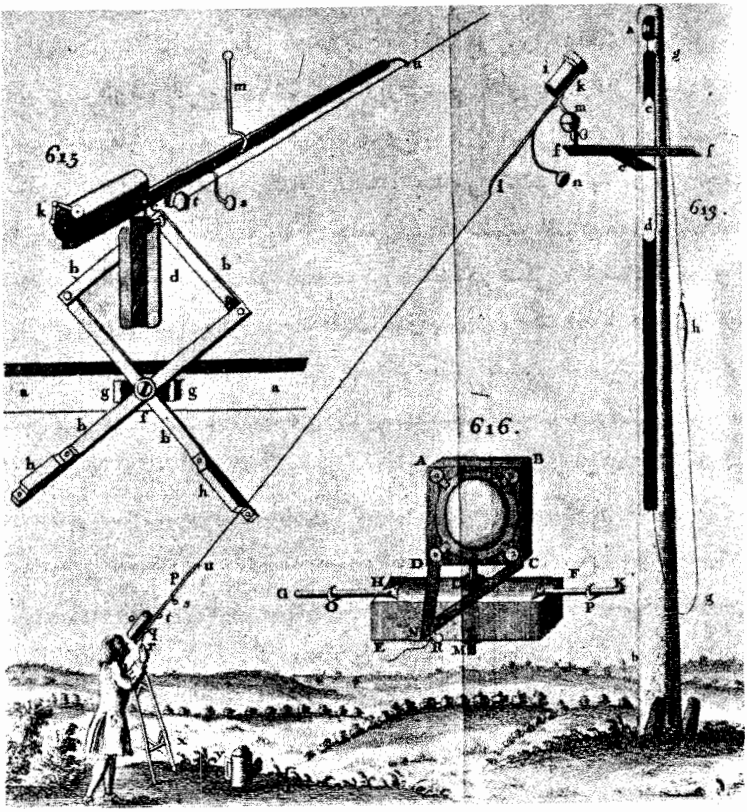
به‌دست آوردن تصویر، پیش رفت. انسان قرون وسطایی در این حوزه پیش‌تر رفت و با کاربرد عدسی آشنا شد، و به خرید و فروش آن، به صورت عینک، پرداخت. پس از آن هلندی‌ها، تلسکوپ را ابداع کردند. دنباله‌ی سرگذشت نورشناخت کلاً به تکامل تلسکوپ، و بعداً تا حدودی به تکمیل میکروسکوپ می‌انجامد. نکته‌ی شگفت آنکه میکروسکوپ بدون عیب رنگی در اواسط سده‌ی نوزدهم اختراع شد.

یک بار دیگر به شکل ۷۱ نگاه کنید که نخستین مورد کاربرد تلسکوپ در رصدخانه‌ی گرینویچ را نشان می‌دهد، و در آنجا بیشتر تجهیزات ابتدایی به‌چشم می‌آید. در شکل ۷۴ هم، یک تلسکوپ بازتابی کوچک، حاصل کار خود نیوتون دیده می‌شود. امّا نیوتون از این تلسکوپ بازتابی راضی نبود. هدف وی آن بود که راهی بیابد برای اصلاح و بهبود تلسکوپ‌های عدسی‌دار و حذف فریزهای رنگی که در اطراف تصویر شیء می‌دید. بدین‌منظور او یک سلسله مطالعه‌ی تجربی آغاز کرد، که در نوع خود بی‌سابقه نبود و در میان نخستین تجارب گالیله سوابقی از آنها وجود داشت. از آن جمله می‌توان از تجزیه‌ی عملی پدیده‌های مربوط به تلسکوپ و عدسی‌ها، به عناصر بنیادی خود نام برد. این بررسی‌ها، به پژوهش در زمینه‌ی خواصّ منشور انجامید. در اینجا نیز، نیوتون به کاری دست زد که پیش از وی در سده‌های میانه انجام شده بود. در آن دوران خود منشور را بررسی نکرده بودند، بلکه خاصیّت منشور، یعنی تولید رنگین‌کمان، مطالعه می‌شد. رنگین‌کمان همواره توجّه مردم را به خود جلب می‌کرد و موضوع تفسیر و تعبیرهای غیرمادّی می‌شد، که نمونه‌ی آن در داستان *توفان* نوح آمده است. امّا علمای علم نور در ایّام پیشین، در این زمینه کار کرده‌بودند و حتّی در سده‌های میانه هم پیشرفت‌های قابل ملاحظه‌یی در این زمینه حاصل آمده بود. در این زمان دانشمندان آن‌قدر می‌دانستند که رنگین‌کمان به هنگام عبور پرتوهای آفتاب از میان قطره‌های معمولی آب، در آسمان تشکیل می‌شود. این دانشمندان توانستند ارتباط رنگین‌کمان با جهت و ارتفاع معیّن خورشید را به‌دست آورند، و پی ببرند که پرتوهای قرمز در این

فرایند کم‌تر از پرتوهای بنفش شکسته می‌شوند. در عصر نیوتون، قوانین اساسی شکست نور، که حاصل کار اِسْنِل بود، ارتباط میان سینوس زوایای تابش (فرود) و شکست را روشن کرده بود، ولی مطالعه‌ی نور از این مرحله فراتر نمی‌رفت.

پدیده‌های مربوط به منشور

نیوتون دنباله‌ی کار را گرفت و پژوهش‌هایی کرد که خودش آن را «آزمـــون



شکل ۷۵ـ تلسکوپ هوایی هویگنس.

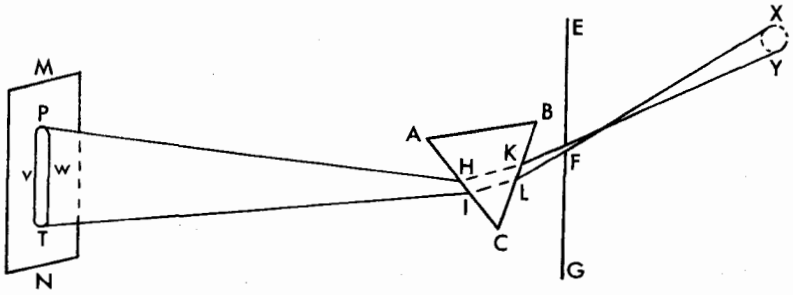
پدیده‌های معروف منشور» می‌خواند. این پدیده‌ها از آن رو معروف بودند که مردم به محض دستیابی به قطعات مرغوب شیشه، که در آن دوره‌ها بسیار کمیاب بود، به تحسین زیبایی آنها می‌پرداختند و از سده‌ی هفدهم با آنها قندیل و چلچراغ می‌ساختند، و از رنگ‌های زیبایی که در آنها منعکس می‌شد لذّت می‌بردند. امّا در مورد علّت بروز این رنگ‌ها کم‌تر پژوهشی صورت می‌یافت. نیوتون کار خود را با ایجاد روزنه‌یی در کرکره‌ی دریچه‌ی اتاق آغاز کرد. نور خورشید از این روزنه به اتاق وارد می‌شد و پس از عبور از منشور به دیوار رو به رو می‌رسید.

در شکل ۷۵ نتایج عملی مشکلات کار تلسکوپ را مشاهده می‌کنید. یکی از راههای برطرف کردن اشکالات، کاربرد عدسی‌های بسیار نازک با فاصله‌ی کانونی خیلی طولانی بود. امّا اگر باد شروع به وزیدن می‌کرد، از این تلسکوپ هم کاری برنمی‌آمد. یک طناب بلند، عدسی شیئی رابه عدسی چشمی متّصل می‌کرد، و به راحتی می‌توان حدس زد که تصویر اشیای مورد مشاهده در این دوربین تا چه حدی می‌توانسته ساکن بماند. در شکل ۷۶ نمایش عبور نور از روزنه‌ی اتاقک نیوتون، و ایجاد طیف نور بر روی یک قطعه کاغذ بر دیوار مقابل را می‌بینیم. نیوتون نخستین بار براساس همین آزمایش به توضیح رنگ‌ها پرداخت؛ جالب آنکه وی نتوانست طیف خوب و واضحی به دست آورد. احتمالاً بدان دلیل که آنچه بر او مجهول ماند مهم‌تر از چیزهایی بود که بر او مکشوف شد. اشکال عمده‌ی کار نیوتون آن بود که از هنگام کودکی ضعف بینایی داشت، به حدی که نمی‌توانست چیزی را واضح ببیند و همیشه از دیگران برای تشخیص دقیق مشاهدات خودیاری می‌طلبید، و کسی که در مورد طیف نور به وی کمک می‌کرد، چیزی غیرعادّی در طیف ندیده بود تا دویست سال بعد که *فرانهوفر*[1] خطوط تیره‌ی موجود در طیف را تشخیص داد. بنابراین، بخش نوین نظریّه‌ی نور، یعنی آن بخش که به تدوین نظریه‌ی کوانتوم منجر

1- Frauenhofer

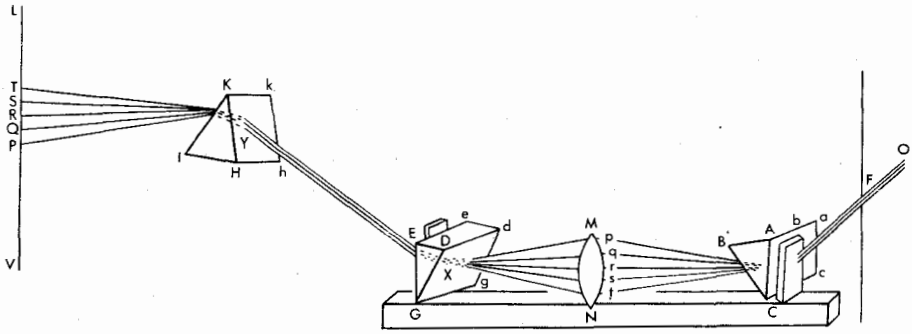
شد، کلاً بر نیوتون مجهول ماند، ولی این امر در موارد عملی اهمیّت چندانی نداشت.

نیوتون در آزمایش اول خود به نتیجه‌ی شگفت و تکان‌دهنده‌یی رسید. طبق این نتیجه، خود نور محتوی پرتوهایی به نظر می‌رسید که قابلیّت شکست متفاوتی داشتند. مفهوم پرتوهای نور بسیار قدیمی بود و در ایّام باستان به‌صورت باریکه‌هایی از نور به تصوّر درمی‌آمد که از چشم ناظر ساطع می‌شد و به جسم مورد مشاهده برمی‌خورد. امّا، نیوتون پرتوهای نور را به صورت پرتابه‌هایی تصوّر کرد که از جسم به اطراف پرتاب می‌شدند. می‌دانیم که در فاصله‌ی میان دو نظریه‌ی ذرّه‌یی یا موجی بودن ماهیّت نور، بحث‌های بسیاری جریان داشت. نیوتون به حرکت ذرّاتی که امروز فوتون خوانده می‌شود توجّه داشت. اکنون او می‌دید که این فرایند می‌تواند برعکس شود و این یکی از نخستین روش‌های بررسی آن بود



شکل ۷۶ـ طیف نور مشاهده‌شده در آزمایش نیوتون؛ نقل از *مراودات فلسفی انجمن سلطنتی*، ۱۶۷۲.[1]

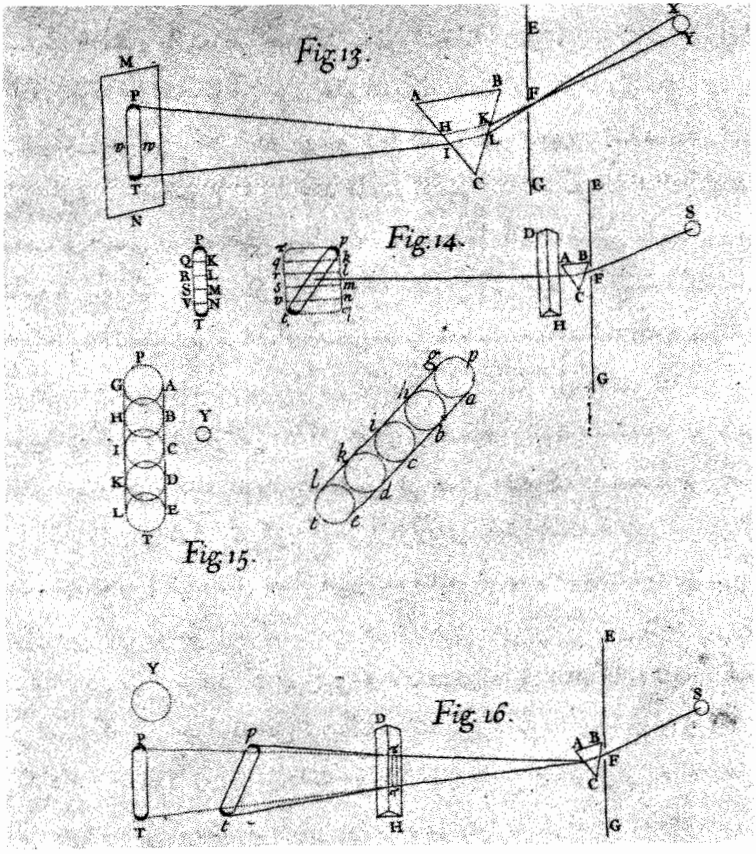
1- *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 1672.



شکل ۷۷ـ آزمایش نیوتون برای نشان دادن ترکیب طیف رنگ‌ها و تشکیل نور سفید.

(شکل ۷۷). او نور سفید را از یک منشور گذرانید که طیفی را بر روی یک عدسی تشکیل می‌داد، و این عدسی، به نوبه‌ی خود، پرتوهای رنگی را بر روی منشور دیگری متمرکز می‌کرد. این منشور چنان آرایش یافته بود که اثر منشور اولی را خنثی می‌کرد و باریکه‌ی نور سفید را به سوی سومین منشور می‌فرستاد و این منشور، مجدداً طیف رنگ‌های نور را تشکیل می‌داد. پس او نشان داد که از ترکیب رنگ‌های طیف که از تجزیه‌ی نور سفید به دست آمده‌اند، می‌توان مجدداً نور سفید را به دست آورد.

در شکل ۷۸ فرایندی را می‌بینید که نشان می‌دهد نور دستخوش هیچ‌گونه دگرگونی نمی‌شود و پرتوهایی که در اصل بیشتر شکست یافته‌اند پس از عبور از یک منشور دیگر باز هم شکست بیشتری پیدا می‌کنند. طیف‌های قائم سمت چپ تصویر، وضع طیف‌ها را در غیاب منشور دوم نشان می‌دهد. نیوتون با قراردادن یک منشور دیگر در راستای عمود بر منشور نخست موفّق شد تصویری از طیف به‌دست آورد که به‌طور بازتابنده بود. این تصویر نمایانگر میزان و احاطه‌ی نیوتون بر تحلیل رویداد فوق براساس رنگ‌هاست. طبق این تصویر،



شکل ۷۸ـ آزمایش‌های نیوتون در مورد شکست نور، نقل از کتاب نورشناخت [1] لندن ۱۷۰۴

نور آبی بیش از همه و نور قرمز کم‌تر از همه‌ی رنگ‌ها، می‌شکند.

نتایج این آزمایش که در سال‌های دهه‌ی نخست ۱۶۷۰ انجام می‌شد، نخستین بار در تک‌نگاری‌هایی که نیوتون در سال ۱۶۷۵ برای انجمن سلطنتی

1- Newton, *Opticks*, London, 1704

می‌فرستاد، و پس از آن در کتاب *نورشناخت*، که چاپ دوّم آن در سال ۱۷۱۸ عرضه شد، انتشار یافت. هر چند کتاب *نورشناخت* در قیاس با کتاب *اصول* اثر کوچکی بود، امّا اهمیّت آن برای علم فیزیک دست کمی از *اصول* نداشت، زیرا کار نیوتون در این کتاب به موضوع شکست نور محدود نماند. وی ابتدا، تلاش کرد که موضوع را به چند قاعده تقسیم کند. سپس به ارائه‌ی سلسله تعاریف و اصول موضوعه‌یی پرداخت که شما با آنها آشنایی دارید: زوایای بازتاب و شکست هر دو در یک صفحه واقعند؛ اگر پرتو شکسته مستقیماً به نقطه‌ی فرود (تابش) برگردد، در مسیر خطّی شکسته خواهد شد که پرتو تابش قبلاً آن را پیموده است؛ یعنی، نور کاملاً بازگشت‌پذیر است. امّا در اینجا نیوتون می‌گوید: «پرتو نور هنگام عبور از محیط رقیق‌تر و ورود در محیط غلیظ‌تر، چنان می‌شکند که به خطّ عمود بر فصل مشترک دو محیط نزدیک‌تر شود؛ یعنی زاویه‌ی شکست کوچک‌تر از زاویه‌ی تابش است.» پس از بیان این نکات، نوبت به ذکر قانون اِسْنِل می‌رسد. امّا در اینجا پای یک نکته‌ی باریک به میان می‌آید. موضوع شکست نور در لایه‌های جو بر یونانیان باستان روشن بود. اینان پی برده بودند که بررسی و مشاهده‌ی دقیق ستارگان، تنها هنگامی میسّر است که این اجرام به افق نزدیک نباشند، چرا که ستاره‌ها زمان را رعایت نمی‌کردند و معمولاً زودتر از وقت مورد انتظار طلوع و دیرتر از لحظه‌ی مورد انتظار، غروب می‌کردند. یونانیان بو برده بودند که موضوع به جو مربوط می‌شود. کشف این نکته بسیار مهم بود، چون طلوع و غروب ستارگان مبدأ تعیین وقت به شمار می‌آمد. به عنوان مثال، همزمانی طلوع ستاره‌ی شعرای یمانی (از صورت فلکی دبّ اکبر) با طلوع خورشید، نشانه‌ی فرارسیدن ایام طغیان نیل بود این صرفاً یکی ازکاربردهای عملی بودو به‌همین سبب بعدها جداول شکست نور در جوّ تدوین شد.

امّا، کار نیوتون نمونه‌یی بود از پژوهش‌هایی که با یک غرض معیّن صورت می‌گیرد، و در واقع یکسره از دستیابی به هدف باز می‌ماند. نیوتون

متوجّه شد که مقدار شکست نور با چیزی که امروز پاشندگی می‌نامیم، یعنی مقدار اختلاف شکست میان پرتوهای قرمز و آبی، متناسب است. این نکته وی را به این نتیجه رساند که محال است بتوان به ابزاری نوری دست یافت که رنگ‌ها را نشان ندهند (خطای رنگی نداشته باشد)، و بنابراین، مسئله‌یی که در مقابلش بود با عدسی‌ها غیرقابل حل بود. پژوهش‌هایی که در مورد مواد مختلف انجام داد او را تا حدّی در این نتیجه‌گیری راسخ‌تر کرد، امّا در ضمن آنها، نتایج فیزیکی جالبی هم به دست آمد. مثلاً متوجّه شد که ضریب شکست الماس و روغن بسیار بالاست و این نکته او را به این اندیشه هدایت کرد که الماس باید متشکّل از موادّ روغنی باشد، یعنی عمدتاً از کربن تشکیل شده باشد. امّا در آن روزگار نه کسی به کمک شیشه‌های آتش‌افروز به بررسی الماس می‌پرداخت و نه در صورت بررسی قادر به درک این مطلب بود، چون بضاعت علمی در زمینه‌ی شیمی پایه بسیار ناچیز بود.

این تصوّر نیوتون، اشتباه بسیار عمده‌یی بود. جالب آنکه هیچ دانشمندی هم به تصحیح آن نپرداخت و پس از مرگ وی، عدسی‌سازان و پیش از همه دولاند[1] به تصحیح آن همّت گماردند. وی متوجّه شد که برخلاف تصوّر نیوتون، اگر دو تکّه شیشه با قدرت شکست متفاوت را کنار هم قرار دهند، اثر یکدیگر را در تجزیه‌ی نور خنثی می‌کنند. براساس این دستاورد در سال ۱۷۵۸، عدسی شیئی بدون عیب رنگی ساخته شد که در نجوم تحوّل عظیمی به وجود آورد. دامنه‌ی علائق نیوتون بسیار گسترده‌تر از این محدوده بود. درک جنبه‌های مختلف رفتار نور، در کانونِ توجّه او جا داشت، امّا او در این عرصه تنها نبود. هرچند به‌نظر می‌رسد در مورد اشتباهات نیوتون پرچانگی کرده‌ام، اما اجازه بدهید به یکی از آنها، که بعدها نقش مهمّی در تدوین نظریه‌های مربوط به نور بازی کرد، اشاره کنم. نیوتون همواره نور را مجموعه‌یی از ذرّات

1- Dollond

می‌دانست و بنابراین، فکر می‌کرد که سرعت حرکت نور هنگامی که از محیط رقیق به محیط غلیظ وارد می‌شود، به‌علّت وجود نیروی جاذبه، افزایش می‌یابد. در آن هنگام سرعت حرکت نور شناخته شده بود و کشف آن، داستان غریبی دارد که مبتنی بر یک رشته رویدادهای تصادفی است.

سرعت سیر نور

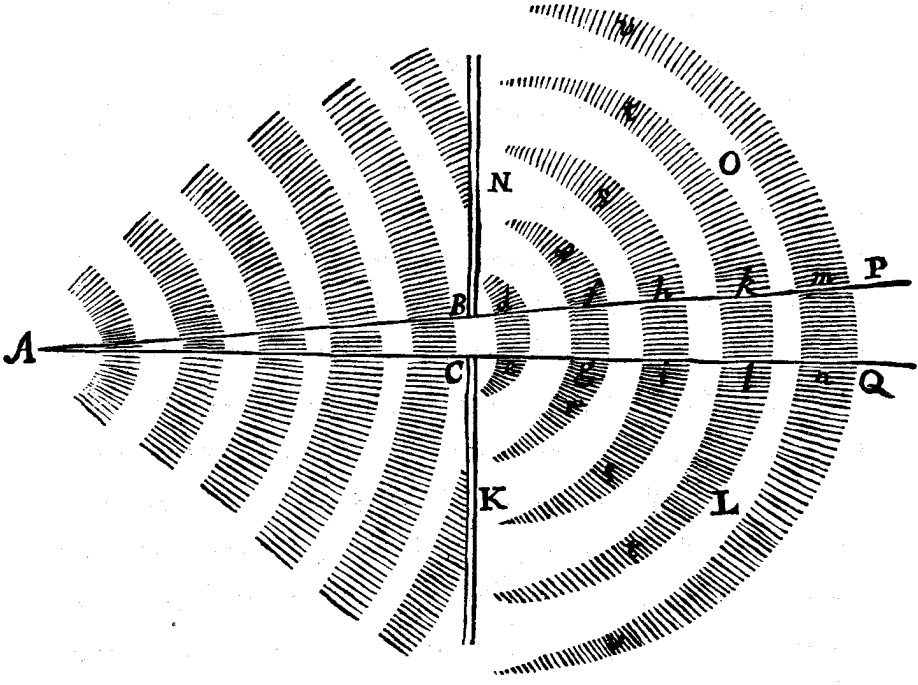
در سال ۱۶۷۱، پیکار[1]، ستاره‌شناس فرانسوی، به دلایل تاریخی قصد کرد از آزمایشگاه تیکوبراهه در جزیره‌ی وِن[2] دیدار کند. هنگامی به جزیره رسید که رصدخانه به کلّی از میان رفته بود. وی در ضمن جستجوهای خود به روستایی جوانی به نام رومِر برخورد که علاقه‌ی بسیاری به ستاره‌شناسی نشان می‌داد. پیکار این جوان را با خود به فرانسه برد. او هم به مشاهده و رصد پرداخت و پی‌برد نظریه‌ی گالیله که بر مشاهده‌ی گردش اقمار مشتری استوار بود، نادرست است. در گردش این قمرها نوعی بی‌هنجاری مشاهده می‌کرد؛ در برهه‌یی از سال سرعت گردش آنها زیاد می‌شد و در بقیّه‌ی ایّام گردش آنها کندی می‌گرفت و ترتیب گردش ثابتی در کار نبود. این نکته ظاهراً به فاصله‌ی مشتری از زمین مربوط می‌شد و مایه‌ی شگفتی بود. رومر به اندیشه فرو رفت و نظریه‌ی شگرفی ارائه کرد که دست کمی از نظریه‌ی نسبیّت یا کوانتوم نداشت: نور سرعتی معیّن دارد و برای پیمودن فواصل به زمان نیازمند است! البتّه ابراز این نظریه، هیجان و هیاهوی بسیاری برپا نکرد، چون همه می‌دانستند که صوت سرعت دارد و برای تحقیق این خاصیّت و محاسبه‌ی مقدار آن، در مورد نور هم به کمک فانوس‌هایی که در فواصل دور روشن و خاموش می‌شد تلاش‌هایی به عمل می‌آمد. پیداست که در این‌گونه آزمایش‌ها آنچه محاسبه می‌شد، سرعت

1- Picard
2- Hveen

واکنش ناظر بود. در حالی که در آزمایش با توپ برای محاسبه‌ی سرعت حرکت صوت این اشکال در میان نبود.

کریستین هویگنس[1]

تا اینجا معلوم شد که نور سرعت معیّنی دارد، و بنابراین در محیط‌های مختلف با



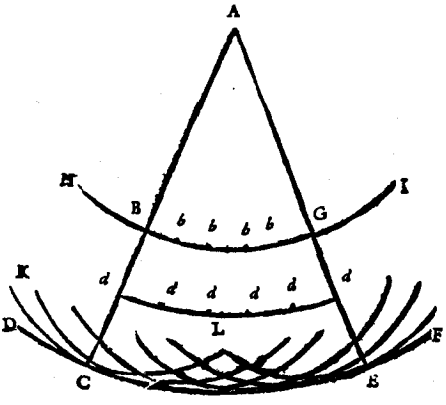
شکل ۷۹ـ نموداری که نیوتون در مورد حرکت ذرات نور ارائه کرده است؛ اقتباس از *اصول*.

1- Christian Huygens

سرعت‌های متفاوتی حرکت می‌کند. امّا، مدّت‌ها طول کشید تا نادرستی فرضیّه‌ی نیوتون در این مورد که نور در محیط‌های غلیظ‌تر سریع‌تر سیر می‌کند، روشن شود. در این هنگام، دید دیگری نسبت به نور مطرح شد، که براساس آن نور نیز مانند صوت نوعی ارتعاش به شمار می‌آمد. هویگنس، فیزیک‌دان بزرگ هلندی، که هم‌روزگار نیوتون بود، و علی‌رغم وضعیّت جنگی میان هلند و فرانسه، در فرهنگستان فرانسه کار می‌کرد، مدافع این دیدگاه بود. در شکل ۷۹ می‌بینید که نیوتون در مورد چگونگی عبور نور از یک روزنه و ایجاد مجموعهٔ موج‌مانند، چگونگی فکر می‌کرد. البتّه، خود نیوتون به هیچ‌وجه این پدیده را موج به حساب نمی‌آورد، بلکه آن را مجموعه‌یی از ذرّات می‌دانست که حالت‌های مختلفی داشتند.

شکل ۸۰ چیزی است که خود هویگنس ترسیم کرده است و همگی با آن آشنایید. هر بخش از جبهه‌ی یک موج نور یا صوت، یا موجی که در سطح آب پدید می‌آید، به نوبه‌ی خود یک سلسله امواج دایره‌یی منتشر می‌کند، که پوش آنها نشان‌دهنده‌ی موقعیّت بعدی موج اصلی است. بدین ترتیب نکات مهمّی برای تبیین تداخل، پراش، و سایر خواصّ موج روشن می‌شود. در نخستین آزمونی که در مورد این دو نظریه به عمل آمد، خواصّ مادّه‌ی جالبی، به نام اسپار آیسلند یا اسپات ایسلند، که توسّط *بارتولین*[1] کانی‌شناس مشهور آن دوران کشف شده بود، به‌روشن‌شدن نتایج کمک کرد. این مادّه‌ی شفّاف بلورین، خواصّ معجزه‌آسایی داشت. مثلاً، اگر بر روی یک نوشته گذاشته می‌شد، حروف را به صورت مضاعف نشان می‌داد و اگر آن را به حرکت درمی‌آوردند، تصویرهای دوگانه‌ی حروف نسبت به هم تغییر موقعیّت می‌دادند. یعنی، حرکت یکی از آنها بیشتر از دیگری به نظر می‌آمد. پرتوی که این تصویر را به وجود می‌آورد پرتو غیرعادّی، و پرتوی که تصویر دیگر را

1- Bartholin

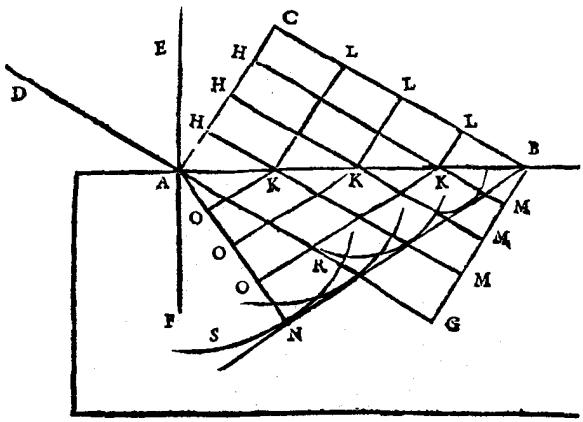


شکل ۸۰ـ نموداری که هویگنس برای نمایش موجک‌های کروی نور رسم کرده است؛ اقتباس از *رساله‌ی نور*، پاریس، ۱۶۹۰[1].

ایجاد می‌کرد و تابع قوانین پراش نور بود، پرتو عادّی نامیده شد.تمام تلاش‌های نیوتون برای حل این مسئله و ارائه‌ی توجیه معقولی از آن با شکست روبه‌رو شد. در واقع، با اتّکا به نظریه‌ی ساده‌ی ذرّه‌یی‌بودن نور، اصولاً این مسئله قابل حل نبود، امّا نیوتون در جریان حلّ آن، مطلب جالبی عنوان کرد که امروز دارای اهمیّت فراوان است. این مطلب حاکی از آن است که پرتو نور متقارن نیست؛ یعنی در جوانب مختلف، وجوه آن با هم فرق دارد، و همان است که امروز باریکه‌ی قطبیده (پولاریزه) خوانده می‌شود. از این نکته که بگذریم، نیوتون نتوانست تعبیر دقیقی در مورد خاصیّت اسپار آیسلند به دست دهد. امّا، این گره به دست هویگنس گشوده شد.

هویگنس برای توضیح قوانین معمولی شکست نور، نموداری عرضه کرد

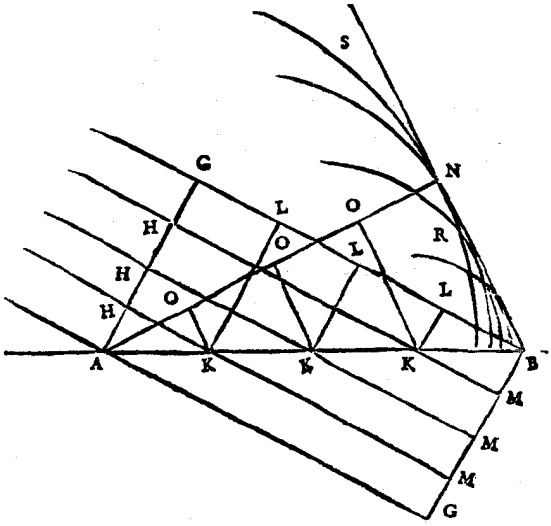
1- *Traité de la Lumière*, Paris, 1690



شکل ۸۱ـ نموداری که هویگنس برای تبیین چگونگی شکست نور رسم کرده است.

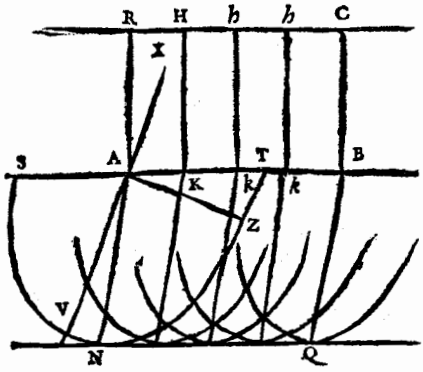
که امروز هم جالب است، زیرا *براگ* و سایر کسانی که در زمینه‌ی شناخت پرتوهای ایکس کار می‌کردند، نیز این تصویر را مبنای کار خود قرار دادند (شکل ۸۱). در این تصویر چگونگی خمیده‌شدن پرتو نور هنگامی که از یک محیط به محیط دیگر وارد می‌شود، نمایش داده شده است. سرعت حرکت جبهه‌ی موج نور در محیط غلیظ‌تر نسبت به سرعت حرکت در محیط نخست کم‌تر است. تعارض در همین جا سر برآورد. در نظریه‌ی نیوتون، سرعت سیر موج نوری در محیط غلیظ‌تر فزونی می‌گیرد، حال آنکه در نظریه‌ی هویگنس سرعت سیر موج نور کاهش پیدا می‌کند. در شکل ۸۲ که شاید بهتر بود پیش از شکل ۸۱ ارائه شود، نمایش رفتار مقدّماتی‌تر نور، یعنی بازتابش، را می‌بینیم.

حدس هویگنس این بود که سرعت حرکت موج در هر محیط خاص، به‌راستای حرکت آن بستگی دارد، و ممکن است شکل جبهه‌های کوچک موج به جای آنکه دایره‌یی باشند، به شکل بیضی درآیند، و بنابراین، موج به حالت مایل به حرکت ادامه دهد؛ یعنی میل به‌سمت راست. در این نمودار هویگنس

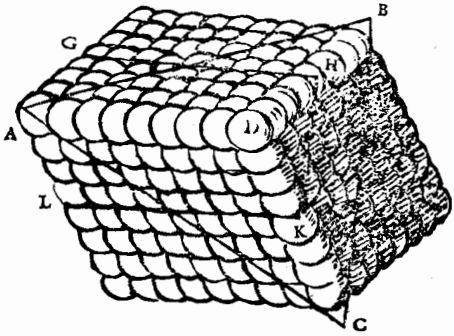


شکل ۸۲ـ نمودار هویگنس در توضیح چگونگی بازتابش نور.

(شکل ۸۳)، موج به صورتی به محیط نزدیک می‌شود که جبهه‌ی آن با سطح محیط موازی است، یعنی در این حالت شعاع موج یا پرتو نور تا لحظه‌ی برخورد، بر سطح محیط عمود است و پس از عبور از سطح همچنان در راستای عمود به حرکت ادامه مـی‌دهـد. یک تک پرتو، مطابق شکل، بیرون می‌آید و به‌سمت چپ تصویر می‌رود تا اینکه به‌سمت دیگر برخورد می‌کند و از جای دیگر بیرون می‌آید، امّا در همان جهت به مسیر خود ادامه می‌دهد. همین امر مشخّصه‌ی حرکت موج در محیطی از این نوع محسوب می‌شود.در شکل ۸٤ نبوغ واقعی هویگنس را مشاهده می‌کنید. ساختار بلـوری اسپـار آیسلند به صورت‌های لوزی‌رخ ظاهر می‌شود که شبیه مکعب‌اند، امّا مکعب‌های کاملی نیستند زیرا سه تا از زوایای نمـوده شده در اینجـا قـائمه نیستنـد، بلکـه زوایـای



شکل ۸۳ـ نمودار هویگنس که رفتار نور در اسپار آیسلند را نشان می‌دهد.



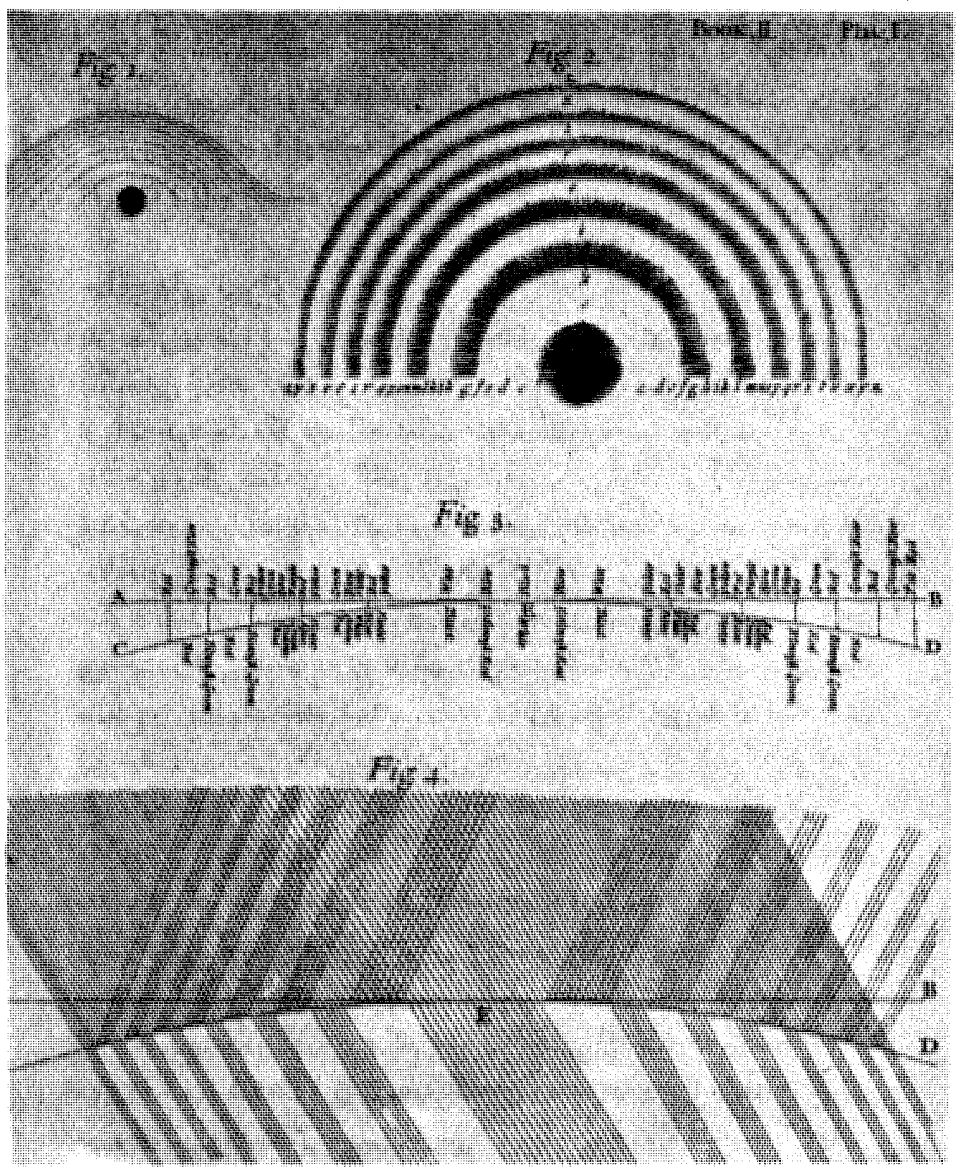
شکل ۸٤ـ نمودار هویگنس در تشریح اشکال لوزیِ رُخِ سپار آیسلند.

منفرجه‌اند. به نظر هویگنس بلور مکعّبی از تجمّع اتم‌های کروی حاصل می‌شد. بنابراین، بلور اریب‌شکل اسپار آیسلند باید از اتم‌هایی تشکیل شود که به صورت شبه‌کره‌ی پخ باشند. طبعاً خواص نوری این بلور لوزی رخ در راستاهای متفاوت یکسان نخواهد بود. این توضیح درست و بی‌نقص بود.

محاسبه‌ی تفاوت‌ها در عمل به زمانی موکول شد که سِر لارِنس براگ پا در صحنه گذاشت.در اصطلاح علوم امروزی، شبـه‌کره‌ی یَخ را نه اتم، که یون می‌دانیم و یون‌های موجود در اسپار آیسلند، یون کربنات، CO_3، است. این یون کره‌یی یَخ است. با توجه به شکستاری بنیادی اتم‌های اکسیژن، عملاً می‌توان تغییرات ضریب شکست را محاسبه کرد.

حلقه‌های نیوتون

بار دیگر به سراغ نیوتون برویم. رنگ‌هایی که به آنها توجه کرده‌ییم تنها رنگ‌هایی نبودند که نیوتون در جستجوی آنها بود. رنگ‌های دیگری هم توجّه او را به خود جلب کردند، که اهمیّت آنها از گروه نخست بیشتر بود. همه‌ی ما حلقه‌های رنگی متعدّدی را که بر روی لایه‌ی روغن شناور بر آب، یا بر سطح صدف‌های مروارید، یا عین‌الهر، و موادّی نظیر آنها پدید می‌آید، دیده‌ییم. این حلقه‌های رنگی بر روی غالب لایه‌های نازک تشکیل می‌شوند. این رنگ‌ها چگونه پدید می‌آیند؟ نیوتون برای بررسی نحوه‌ی پیدایش این پدیده به مطالعه پرداخت و این حلقه‌ها به نام او شهرت یافتند. شما هم اگر یک عدسی نسبتاً مسطّح را روی یک سطح شیشه‌یی بگذارید، و از بالا یا پایین به آن نگاه کنید، این حلقه‌های رنگی را می‌بینید (شکل ۸۵). نیوتون متوجّه شد که هرگاه از کناره به داخل این حلقه‌ها نگاه کند، حلقه‌ی مرکزی سفید به نظر می‌رسد. هرگاه از بالا به آن نظر بیندازد، مرکز این حلقه سیاه دیده می‌شود. حلقه‌های بعد به ترتیب آبی، سفید، و پس از آنها زرد، قرمز، بنفش و مجدّداً آبی به چشم می‌آیند؛ تکرار رنگ‌ها نوعی تناوب را نشان می‌دهد. نیوتون آنها را مشخص کرد، امّا نظریه‌یی که پرداخت خیلی جالب است. اینک نوبت آن بود که نشان دهد چگونه ذره به هنگام عبور از لایه‌هایی که با ضخامت‌های متفاوت میان دو محیط شکست قرار دارند، رنگ‌های مختلفی به وجود می‌آورد. در این مورد نیوتون به استدلال عجیبی متوسّل شد. به قول او، ذرّه متناسب با خواصّ محیط حرکت می‌کند. یعنی، هرجا بازتابش آسان‌تر باشد، بازمی‌تابد و هر جا



شکل ۸۵ـ حلقه‌های نیوتون.

که شکست آسان‌تر باشد، می‌شکند. بنابر استدلال او، ماهیّت ذرّه در ضمن حرکتش تغییر می‌کندومقداری از مسیر را در «انطباق با بازتابش آسان‌تر» طی می‌کند و دوباره برمی‌گردد. اگر مسیر طولانی‌تری می‌پیمود، «با شکست آسان‌تر سازگار می‌شد»، و به راه خود ادامه می‌داد. اگر پیش‌تر برود باز هم «با بازتابش آسان‌تری منطبق می‌شود» و دوباره بر می‌گردد. در حالی‌که، اگر این آزمایش را با نور تک‌فام انجام دهیم، می‌بینیم که فریزهای تک‌فام تشکیل می‌شوند، که نتیجه‌ی تداخل است. نیوتون متأسّفانه از این نکته غافل ماند. امّا حالت‌های متناوب بازتاب و شکست مورد نظر وی را، می‌توان همان فازهای ارتعاش منبع نور دانست. نیوتون اعلام کرد که «فاصله‌ی میان حالت‌های مختلف، تابع قابلیّت شکست پرتوهای مختلف نور است» و این امر نشان‌دهنده‌ی فازهای مختلف ارتعاش است. مثلاً، تعداد حالت‌های مختلفی که در هر میلی‌متر مسافت به وسیله‌ی پرتو نور آبی ایجاد می‌شود، دو برابر تعداد حالت‌های مربوط به پرتو نور قرمز است. بدین ترتیب، نیوتون اندیشه‌ی وجود بسامد (فرکانس) موج را بنیاد نهاد، و هویگنس شکل هندسی شکست موج را در محیط‌های ناهمگن و قطبنده به تصویر کشیـــد.

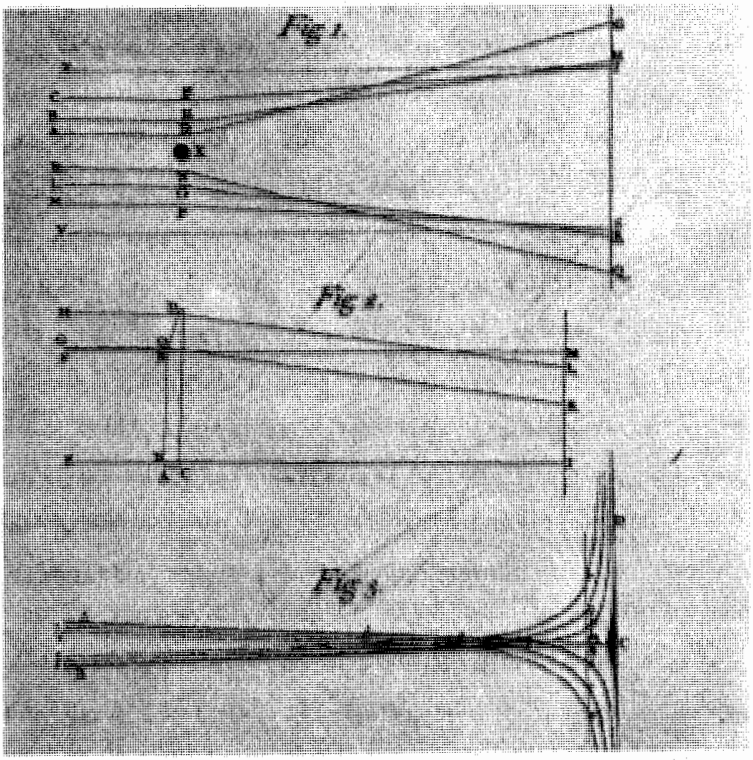
پژوهش‌های نیوتون در حوزه‌ی نور منشأ درگیری‌های بسیاری شد که تا سال‌ها پس از مرگ وی ادامه یافت. علّت بروز این منازعات، ناخرسندی مردم از عدم خلوص نور سفید بود. مردم عملاً می‌دیدند که نور سفید از نورهای آبی و قرمز خالص‌تر و ناب‌تر است، و ترکیب رنگ‌های مختلف برای دستیابی به نور سفید، آنها را برمی‌آشفت. جالب آنکه یکی از این برآشفتگان، گوته شاعر معروف آلمان بود. ترکیب نور سفید از رنگ‌های مختلف، با دید شاعرانه‌ی وی در مورد رنگ سفید سازگار نبود. به نظر وی، رنگ‌های مختلف نور، از ترکیب نور سفید با تاریکی حاصل می‌شد، و بر اثر عبور نور سفید از تیرگی نسبی، نور زرد یا حتّی قرمز به وجود می‌آمد، و رنگ آبی آسمان نتیجه‌ی مشاهده‌ی تاریکی فضا از خلال ابر و مَهی بود، که نور روز آن را روشن می‌کرد.

نیوتون، اساساً دانشمندی واقع‌گرا بود. برای وی واقعیّت رفتار نور بیش‌از رفتاری که به‌نظر می‌آمد اهمیّت داشت. امّا، گوته شاعری ذهن‌گرا بود. نیوتون بنیان‌گذار نورشناخت واقعی بود، که یافته‌های آن قابل ثبت بر روی صفحات حسّاس عکّاسی و دستگاه‌های فوتون‌شمار، و برخوردار از امکان محاسبه‌ی نتایج درست است. گوته پایه‌گذار نورشناخت ذهنی بود، که به مشاهدات چشم بسنده می‌کند. همان طور که دو نوع آکوستیک داریم؛ یکی صوت واقعی است که سازهای موسیقی تولید می‌کنند، دیگری صوتی که گوش با دست‌چین کردن هارمونیک‌های مختلف می‌شنود.

پس از این ماجرا، نیوتون به موضوع دیگری پرداخت که اهمیّتش از نورشناخت به‌مراتب بیشتر بود؛ منظورم اظهارنظر وی در مورد ماهیّت مادّه است، که در همین فصل درباره‌ی آن بحث خواهم کرد.

پراش (تفرق)

شکل ۸۶ نشان می‌دهد که نور پس از عبور از شکاف‌های کوچک چه رنگ‌هایی را تولید می‌کند. امّا این بار، رنگ‌ها حاصل عبور نور از روزنه‌های کوچک است و نخستین گام در مطالعه‌ی پراش نور به حساب می‌آید. در این تصویر سنجاقی دیده می‌شود که پرتوهای نور پس از برخورد با آن به سوی خارج خم شده‌اند. نحوه‌ی انحراف این پرتوها، به تعبیر نیوتون جنبه‌ی کاملاً فیزیکی دارد. یعنی، هر چیزی که از نزدیکی یک لبه عبور کند، تا حدودی از آن لبه می‌جهد. می‌توان دید پرتوی که از همه نزدیک‌تر به لبه است، بیش از همه هم وامی‌جهد و کمانه می‌کند. این نکته به خوبی اثر شکاف‌های باریک را در پراش نور توجیه می‌کند. *گریمالدی* نخستین دانشمندی است که متوجّه شد پرتوهای نور به هنگام گذشتن از شکاف‌های شبیه گُوِه، دستخوش پراکندگی می‌شوند و میزان این پراکندگی به طور مستقیم با میزان باریک‌تر شدن شکاف‌ها متناسب است. این پدیده، قرنها در زندگی روزمره‌ی آدمی رخ می‌داد و کسی به آن توجّه نمی‌کرد. هر کس که از ورای پر مرغ یا یک تکّه پارچه، یا



شکل ۸۶ـ پراش نور؛ اقتباس از *اپتیک* نیوتون.

چیزی شبیه به آنها، به یک منبع نور قوی نگاه کند، می‌تواند پراش نور را به راحتی ببیند. نیوتون خصلت‌های اساسی پراش یعنی بستگی آن به باریکی شکاف یا روزنه، و کیفیّت نور، را مشخّص کرد؛ با آزمایش‌های وی روشن شد که نور آبی بیشتر از نور قرمز پراشیده می‌شود. اگر نیوتون از توری پراش بهره می‌گرفت، به نظریّه‌ی کامل پراش دست می‌یافت.

دامنه‌ی مطالعات نیوتون در حوزه‌ی نور از این حد فراتر نرفت، و از یک لحاظ تأسّف‌آور است که مطالعات وی آن قدر خوب صورت گرفت و خوب ارائه شد، که تا حدود صد سال پس از آن به استثنای ساخت و کاربرد

عدسی‌های فاقد عیب رنگی که قبلاً از آن یاد کردم، در این زمینه کسی به کار تازه‌یی که از دستاوردهای او برتر یا نسبت به آن متمایز باشد، دست نزد. کار بدانجا رسید که در سال‌های ۱۸۲۰، که نظریه‌ی نور برپایه‌ی نتیجه‌ی پژوهش‌های یانگ و فرنل بار دیگر زیر و رو شد، یانگ آماج تیرهای حمله و ملامت قرار گرفت؛ چون این نظریه دقیقاً با نظریه‌یی که در کتاب *اپتیک* نیوتون عرضه شده بود، تعارض داشت. یکی از بنیان‌گذاران کالج ادینبورگ یعنی *لرد بروهام*[1] که نامش بر سردر سالن برک‌بک دیده می‌شود، در نشریه‌ی *ادینبورگ ری‌وی‌یو*[2] او را به خاطر گستاخی در محضر نیوتون به‌سختی مورد حمله قرار داد. یانگ در پاسخ، به ارائه‌ی جملات و بیاناتی از خود نیوتون پرداخت که نشان می‌داد نیوتون در مورد ذره‌یی بودن ماهیت نور به طور مطلق و صد در صد مطمئن نبوده است، و توسل به نکات و توجیهاتی نظیر پذیرش حالت‌های متفاوت و عدم تقارن پرتوهای نور، و وجود حالت تناوبی را نشانه‌ی تمایل نسبی وی به سوی نظریه‌ی موجی نور دانست.

با این همه، به شیوه‌ی معمول تاریخ علم، که طی آن تردیدها و اندیشه‌های ثانوی به تدریج رنگ می‌بازند، از دریافت‌ها و بینش‌های نیوتون، تنها مواردی از زیر و بالای روزگار جان سالم به در بردند که ساده‌تر و سرراست‌تر بودند. نیوتون خود، آگاه بود که به کنه امور نرسیده است، و در آثارش اشاراتی به این امر دارد. فکر نمی‌کنم پیش از آن هنگام آدم مهمی دست به انتشار شکیات خود زده باشد. این قضیه در سده‌ی هفدهم معمول شد ولی از آن پس دیگر کسی بدان نمی‌پرداخت، چون آنقدر رساله در مورد دانسته‌ها منتشر می‌شد که دیگر جایی برای کاغذ سیاه‌کردن درباره‌ی نادانسته‌ها نمی‌ماند! دست برقضا چیزهایی که نیوتون نمی‌دانست بسیار مهم‌تر از چیزهایی که می‌دانست از آب در آمد.

1- Lord Brougham

2- *Edinburg Review*

دلم می‌خواهد چند نمونه از شک‌های نیوتون را ارائه کنم، تا ببینید ذهن این مرد چگونه کار می‌کرد و او را به کجا می‌کشید. ابهامات او در مورد نور با این پرسش آغاز می‌شود: «آیا اجسام از راه دور بر نور اثر نمی‌گذارند، و با این تأثیر خود پرتوهای نور را خم نمی‌کنند؛ و میزان این تأثیر در فواصل نزدیک قوی‌تر نمی‌شود؟» دراین عبارات، موضوع پراش مطرح شده است. «آیا تفاوت قابلیّت شکست پرتوهای نور، به تفاوت میزان انعطاف‌پذیری آنها منجر نمی‌شود؟... آیا این پرتوها در هنگام عبور از حاشیه و کناره‌های *اجسام* به این سو و آن سو خم نمی‌شوند، و با حرکاتی نظیر حرکات مارماهی به پیش نمی‌روند؟» وی ادامه می‌دهد: «آیا نور و دیگر *اجسام* بر هم تأثیر متقابل نمی‌گذارند؟ *اجسام*، باعث گسیل، بازتابش، شکست و خمیدگی نور نمی‌شوند، و نور باعث گرم شدن اجسام، و ایجاد حرکات ارتعاشی که همان گرماست، نمی‌شود؟» این نوع مسائل، حتّی امروز هم ذهن فیزیک‌دان‌های نظری را به خود مشغول می‌دارد. «آیا جسم *سیاه* بدان سبب که نور را به خارج بازنمی‌تابد و به درون خود می‌کشد، و آن را تا هنگامی که دیگر اثری از آن برجای نماند، در داخل خود باز می‌تاباند و می‌شکند، بیش از سایر اجسام که رنگ‌های متفاوت دارند از نور گرما نمی‌گیرد؟» پس از این پرسش‌ها نوبت به مکاشفه در امور شیمیایی می‌رسد. «آیا نمی‌توان قدرت و استحکام عمل میان نور و *اجسام* گوگرددار را ... دلیلی بر احتراق سریع این مواد دانست؟» این شکّ آخری البتّه چندان دلپذیر نیست!

نیوتون پس از این پرس‌وجوها در مورد اشکال گوناگون گسیل نور بحث می‌کند. در آن ایّام، همه در خصوص ماهیّت آتش پژوهش می‌گرداند، و سرانجام هم گره این معضل به دست شیمی‌دان‌ها گشوده شد، و فیزیک‌دان‌ها در این مسیر عقب ماندند.

در فهرست اسامی کسانی که خود را وقف این مسائل می‌کردند، با نام‌های عجیب و غریبی برمی‌خوریم. مثلاً ولتر نتایج پژوهش‌های خود را

درباره‌ی آتش در یک رساله اعلام کرد. وی با حرارت دادن و توزین اجسام نشان داد که وزن با گرم شدن و سرد شدن آنها تغییر نمی‌کند، و در نتیجه نمی‌توان گرما را نوعی ماده دانست. البتّه آزمایش‌های وی احتمالاً سراسر خطا بوده است، چون هیچ تدبیر احتیاطی در مورد تأثیر هوا بر نتایج توزین اتخاذ نشده بود. اما چون وی با گلوله‌های بزرگ توپ به آزمایش می‌پرداخت، می‌توان احتمال داد که این تأثیر چندان قابل ملاحظه نبوده باشد. ولتر می‌پرسد «آیا نمی‌توان بخار شعله‌ور، دود یا بازدم را آنقدر داغ کرد، و حرارت آنها را به میزانی رساند که شروع به درخشش کنند؟» وی در این مورد بحث فراوان دارد و بدون شک کارهای تجربی بسیاری دراین زمینه انجام داده است.

نیوتون در یکی از پرسش‌ها، جنبه‌ی دیگری از کارهای خود را مطرح می‌کند، که بعداً به آن خواهیم رسید. «آیا اجسام بزرگ، گرمای خود را مدّتی طولانی‌تر حفظ نمی‌کنند، و اجزای مختلف آنها یکدیگر را گرم نمی‌کنند، و *اجسام* متراکم و جامد هنگامی که بیش از یک درجه‌ی معیّن داغ شوند، شروع به گسیل نور نمی‌کنند و با گسیل و واکنش نور و بازتاب و شکست پرتوهای آن به درون خلل و فرج خود، داغ‌تر نمی‌شوند و پس از داغ شدن به حدّ برافروختگی خورشید نمی‌رسند؟» چه اندیشه‌ی عجیبی! همه‌ی اجسام پس از رسیدن به دمای بحرانی به طور خودکار، خودشان را گرم‌تر، و شروع به گسیل نور می‌کنند. از اینجا به بعد، نیوتون به مطالب فیزیولوژیکی می‌پردازد و تأثیر نور را بر شبکیّه‌ی چشم بررسی می‌کند و به حیطه‌ی نورشناخت فیزیولوژیکی وارد می‌شود: «آیا امکان ندارد که هماهنگی و ناهمسازی رنگ‌ها، به ترتیبی که هماهنگی و ناهمسازی صداها ناشی از نسبت ارتعاش‌های هواست، ناشی از ارتعاش‌های انتقالی از رشته‌های اعصاب بینایی به مغز باشد؟» این سیر فکری را بسیاری از پژوهشگران تعقیب کردند، امّا متأسّفانه به جایی نرسیدند. نیوتون در یکی از آزمایش‌ها در تاریکی، چشم‌های خود را با انگشت فشار داد و احساس کرد که نوعی نور حس می‌کند. بحث وی

پیرامون امواج ادامه پیدا می‌کند و نوبت به مسئله‌ی عبور نور از محیط‌های شفاف می‌رسد:

«آیا شکست نور حاصل متفاوت بودن چگالی محیط اثیری در قسمت‌های مختلف، و گریز نور از قسمت‌های چگال‌تر محیط نیست؟ و آیا چگالی فضاهای آزاد و خلأ و سایر اجسام درشت از چگالی فضاهای درون آب، شیشه، بلور، سنگ‌های قیمتی و دیگر اجسام متراکم بیشتر نیست؟»

می‌بینید که وی کلّ اندیشه‌ی رایج در خصوص موجودات را زیر و رو می‌کرد. چون مایل بود نور در اشیایی شامل فضاهای باز سرعت بیشتر داشته باشد، به این تفسیر متوسل می‌شد که: «نور به چگالی مادّه توجهی ندارد بلکه چگالی اثیر را درنظر می‌گیرد، و اثیر در درون ماده چگالی به مراتب کم‌تری دارد، تا در فضای خارج. بدین سبب نور در محیط‌های جامد سریع‌تر حرکت می‌کند.» البتّه حل این مسئله به قرن نوزدهم موکول شد. در این عصر سرعت سیر نور را در آب عملاً اندازه‌گیری کردند و در مورد سرعت حرکت آن در سایر محیط‌های غلیظ پژوهش‌هایی انجام یافت.

نیوتون درباره‌ی چگونگی اعمال ماهیچه‌های بدن هم اندیشیده است. خلاصه، هیچ مطلبی در فیزیک و زیست‌فیزیک نمی‌بینید که وی در آن زمینه ذوقی نیازموده باشد. پس از بحث نافرجام در مورد خواص اسپارآیسلند نوبت به توضیح ماهیت پیوستگی اجسام می‌رسد:

«آن بخش از توان مقاومت محیط که حاصل استواری، اصطکاک، و سایش اجزای محیط است، با تقسیم ماده به اجزای کوچک‌تر، از بین می‌رود... اما آن بخش از مقاومت که از قدرت لختی ناشی می‌شود با چگالی مادّه متناسب است، و با شیوه‌هایی مانند خرد کردن مادّه به اجزای کوچک‌تر نمی‌توان آن را از میان برداشت، و تنها از راه کاهش چگالی نابود می‌شود.»

عجبا که این پدیده با همه‌ی شگفتی واقعیّت دارد، و چگونگی آن اخیراً در حرکت اجسام با سرعت‌های بسیار زیاد روشن شده است. می‌دانید که، اگر سرعت حرکت خیلی زیاد نباشد، به کمک خواصّی از محیط، مانند مدول

یانگ یا مشخّصه‌هایی از این نوع، می‌توان رفتار آن را تعیین کرد. امّا اگر سرعت خیلی زیاد باشد، فقط چگالی است که دخالت می‌کند. مثلاً اگر انفجاری روی دهد و موجی شوکی با سرعت زیاد ایجاد کند می‌توان مسیر آن را (یعنی مسیر موج شوکی با سرعت ۱۲۰۰ متر در ثانیه را) به کمک یک برگ کاغذی یا به کمک گودی با همان چگالی، به اندازه‌ی ۹۰ درجه تغییر مسیر داد.

نیوتون در این زمینه به بحث‌هایی در شیمی می‌رسد، امّا در آخر کار به موضوع تعریف اتم می‌پردازد:

«آیا ذرات ریزی که اجسام را تشکیل داده‌اند دارای توان، خواص، یا نیروهایی نیستند که به یاری آن از راه دور بر اجسام دیگر تأثیر بگذارند؟... با توجّه به این نکات به نظر من احتمالاً خداوند در روز ازل، ماده را از ذرّات جامد، جَریم، سخت، نفوذناپذیر، و متحرّکی خلق کرده است، که شکل و ابعاد و خواص و تناسب آنها با فضا، کاملاً با غایتی که از آفرینش آنها در نظر بوده است، سازگار است. این ذرّات بنیادی جامد به نحوی قیاس‌ناپذیر، از هر مادّه‌ی متخلخلی که از ترکیب آنها به وجود می‌آید، سخت‌ترند؛ استحکام آنها به حدّی است که، فرسایش و شکستن آنها میسّر نیست. اگر احیاناً فرسوده یا شکسته شوند،ماهیّت اشیایی که به آنها بستگی دارد، دگرگون می‌شود. آب و خاک، که امروز از ذرّات و قطعات ذرّه‌های خردشده تشکیل شده‌اند، از حیث ماهیّت و بافت با آب و خاکی که در روز نخست تماماً از ذرّه درست شده بود، فرق دارد. اگر ماهیّت اشیاپابرجا بماند، تغییرات اشیای مادّی تنها در مقوله‌ی تفکیک و ترکیب‌ها، و حرکات تازه‌ی ذرات پایدار جای می‌گیرد. اجسام مرکب، از نقاط معدود محل تماس ذرات خود می‌شکنند، و هرگز از جایی که لازمه‌ی آن شکسته شدن خود ذرات باشد، نمی‌شکنند.»

این عبارات تقریباً کلمه به کلمه همان تعریفی است که *گاسندی*[1] در مورد اتم ارائه کرد، و عین توضیحاتی است که ۲۰۰۰ سال پیش از آن از طرف ذیمقراطیس (دموکریتوس) عنوان شد.

«به نظر من این ذرّات، نه تنها دارای نیروی لَختی تابع قوانین انفعالی حرکت ناشی از این نیرو هستند، بلکه بر اثر اصول بالفعل مشخّصی، نظیر جاذبه و چسبندگی اجسام، و اصولی که باعث برانگیختگی می‌شود، به حرکت درمی‌آیند. من این اصول را در ردیف

1- Gassendi

کیفیّات نهانی که از صور ویژه‌ی اشیا حاصل می‌شود قرار نمی‌دهم، بلکه آنها را قوانین عام طبیعت می‌دانم که اشیا براساس آن شکل می‌گیرند و حقیقت آنها در قالب اعراض بر ما ظاهر می‌شود؛ هرچند که علت آنها تاکنون مکشوف نشده است. این اصول جزو کیفیّات عَرَضی است، و تنها علّت آنها مخفی می‌ماند. ارسطوییان، هم کیفیّات عَرَضی و هم کیفیّاتی را که به تصوّر آنها درون اجسام نهفته بود، و علّت ناشناخته و نهانی معلول‌های ظاهری به شمار می‌آمد، در رده‌ی کیفیّات نهانی قرار می‌دادند. بدین ترتیب، علّت پدیده‌هایی چون گرانی، ربایش الکتریکی، مغناطیسی، و برانگیختگی اجسام، جزو نیروها و کنش‌هایی به حساب می‌آمدند که از کیفیّات مجهول و کشف ناشدنی، و تجلّی‌ناپذیر سرچشمه می‌گیرند. اعتقاد به کیفیّات نهانی، پیشرفت فلسفه‌ی طبیعی را متوقّف می‌کند، و بدین خاطر در سال‌های اخیر مورد انکار واقع شده است. کسی که می‌گوید در انواع اشیا، کیفیّت نهانی خاصّی بـودیعه نهاده شده است که عملکرد و تجلّی معلول‌های نمودی بـراساس آن صورت می‌گیرد، هیچ حقیقتی را روشن نمی‌کند. امّا استخراج دو یا سه اصل عام حرکت ازپدیده‌ها و بیان چگونگی پیروی خواص و کنش‌های موجودات جسمانی از آن اصول، گام بزرگی رو به پیش است؛ هر چند که علت آنها هنوز روشن نباشد. بنابراین، در ارائه‌ی اصل حرکت فوق‌الذّکر به صورتی که دارای شمول عام باشند، احتیاط می‌ورزم و کشف علت‌ها را به آیندگان وا می‌گذارم.

پس بـه‌یاری این اصول می‌توان همه‌ی اشیای مادّی را از ذرّات سخت و جامد سابق‌الذّکر متشکّل دانست، که از روز نخست آفرینش برحسب مشیّت یک عقل فعّال شکل گرفته‌اند، و هم اوست که آنها را نظم و سامان می‌دهد. در این صورت جستجوی منشأ دیگری برای هستی، یا اتّکا به این پندار که جهان صرفاً با پیروی از قوانین طبیعی، از عدم حادث شده است، امری غیر فلسفی است. اما می‌توان گفت که جهان پس از خلق شدن می‌تواند روزگاران دراز پیرو این قوانین باشد. در نظامی که ستارگان دنباله‌دار در مدارهای غیـرهـم‌مرکز، با وضعیّت‌های متفاوت گردش می‌کنند، نمی‌توان حرکت تغییرناپذیر سیّارات در مدارهای هم‌مرکز را به تقدیر کور نسبت داد. در حرکت این سیّارات بی‌نظمی‌های ناچیزی به چشم می‌آید که حاصل واکنش‌های متقابل سیّارات و ستارگان دنباله‌دار است... این هماهنگی اعجاب‌انگیز منظومه‌های سیّارات، ناشی از روند انتخاب است و هماهنگی اجزای کالبد جانوران هم که معمولاً تقارن چپ و راست دارند این نکته را تأیید می‌کند.»

بسیار خوب، فقط می‌توانم اندکی دیگر نقل قول بیاورم، چرا که تعداد صفحات این کتاب محدود است.

«در فلسفه‌ی طبیعی هم، مانند ریاضیات، در تحقیق امور غامض، باید روش تحلیلی را بر روش ترکیبی (یا تألیفی) ترجیح داد. روش تحلیلی شامل انجام آزمایش و مشاهده و استنتاج

نتایج کلی از این اعمال به طریق استقرا است، و در جریان آن هیچ انتقاد و اعتراضی بر نتایج وارد دانسته نمی‌شود، مگر آن که از تجارب یا واقعیّات مشخّص ناشی شده باشد. در فلسفه‌ی تجربی، فرضیّات به‌خودیِ خود ارزشی ندارند. برهان‌هایی را که به‌طور استقرایی از مشاهده‌ی تجربی به‌دست می‌آیند، نمی‌توان مظاهر نتایج کلّی به‌شمار آورد؛ امّا این شیوه بهترین طریق استدلالی است که به‌وسیله‌ی ماهیّت اشیا تجویز می‌شود و هر چقدر که استقراء کلّی‌تر باشد، این برهان‌ها قوی‌تر خواهند بود، و اگر استثنایی در مورد آن دیده نشود می‌توان آن را به عنوان قانون عام اعلام کرد، و در صورت مشاهده‌ی استثنا باید آن را همراه با موارد استثنا عرضه کرد. این شیوه‌ی تحلیل از مرکّب به بسیط، از حرکت به نیروهای مولّد آن و به طور کلی از معلول به علّت و از علل جزئی به علل کلّی‌تر، می‌رسد.»

این کتاب با نوعی احتیاط فلسفی، پایان می‌گیرد. در اینجا آخرین کلمات این اثر را که آخرین کلمات انتشاریافته‌ی نیوتون است، با هم مرور می‌کنیم:

«اگر جزء جزءِ فلسفه‌ی طبیعی با پیروی از این روش تکامل یابد، مرزهای فلسفه‌ی اخلاق نیز گسترده‌تر خواهد شد. چون اگر فلسفه‌ی طبیعی بتواند علت نخست را به ما بشناساند، و میزان حاکمیّت او بر ما و رحمت‌های او در حقّ ما را مشخّص کند، وظیفه‌ی ما در قبال او همچون وظیفه‌ی ما در قبال دیگران، در پرتو طبیعت روشن خواهد شد. و بی‌شک اگر پرستش خدایانِ دروغین، چشم دل بت‌پرستان را کور نکرده بود، عرصه‌ی بال‌گشایی فلسفه‌ی اخلاق از حدّ چهار فضیلت کبیره در می‌گذشت، و به جای تعلیم تناسخ و پرستش ماه و خورشید و قهرمانان مرده، پرستش پروردگار بخشاینده را به جهانیان می‌آموخت.»

فلسفه‌ی نیوتون

فلسفه‌ی کلّی مورد نظر نیوتون، از دو لحاظ بسیار جالب است. اوّل از لحاظ علمی؛ به نظر می‌رسد که نیوتون عالم را عالَمی قانونمند، و به طور کلی عالَمی فارغ از مفهوم تغییر یا تحوّل تصویر می‌کند. اتم در تصوّر نیوتون همواره یکسان می‌ماند چون طبیعت دارای انسجام است و نمی‌تواند محلّ تغییر باشد. دوّم، از آن لحاظ که طبق این نظر، همه چیز از همان روز ازل دقیقاً تعیین شده است. نکته‌ی جالب آن است که نیوتون در بررسی وضع حرکت ستارگان دنباله‌دار و سیّارات به چند استثنا اشاره می‌کند. در حدود صد سال بعد از آن، لاپلاس در کتاب مکانیک سماوی نشان داد که اگر بتوان شرایط گرانشی را به درستی

صورت‌بندی کرد، نیازی به ذکر استثناها نیست و همه چیز در جای درست خود قرار خواهد گرفت.

واقع امر آن است که نیوتون دیدی محافظه‌کار و اساساً غیر تاریخی داشت. مثلاً، فکر می‌کرد قرار گرفتن مدار حرکت سیّارات در یک صفحه، مستلزم یک طرح معیّن از پیش تعیین‌شده است. کانت پنجاه سال بعد، و لاپلاس صد سال بعد، نشان دادند که اگر یک صفحه‌ی گرد از جنس گاز و غبار در مداری گردش کند، به شکل بیضی در خواهد آمد و مثل هر ذرّه‌ی چرخان در یک مدار که حرکت یکسان دارد، هر جسم دیگر هم در مدار گردش خود حرکتی یکسان خواهد داشت. نیوتون در مورد عناصر نظر مشابهی ابراز کرد. در اندیشه‌ی او عناصر و اتم‌ها پایدار و دائمی بودند، و در این اندیشه از بعضی لحاظ حق با او بود. اگر اتم‌ها تغییر بپذیرند، همه‌ی چیزهایی که از اتم تشکیل یافته‌اند، تغییر می‌کنند. اگر هسته‌ی اکسیژن را به چهار هسته‌ی هلیوم تقسیم کنید دیگر اکسیژن نخواهد بود. قائل شدن تاریخی برای پیدایش منظومه‌ی شمسی، و پیدایش جانوران از طریق تَطَوّر، به ۱۵۰ سال بعد موکول شد که داروین، گام بلند فراتر از تصوّرات نیوتون نهاد که در مورد جانوران نظریه‌ی ارسطویی داشت.

۱۰

ظهور ماشین بخار و نظریه‌ی گرما

در این فصل به هدف بدوی فیزیک، یعنی تصحیح مشاهدات نجومی و انجام پیش‌بینی‌های شایسته براساس آنها، می‌پردازم. موضوعاتی که در فصل پیش مطرح شد، یعنی پژوهش‌ها و آزمایش‌های نورشناختی نیوتون، تا حدّ زیادی به خاطر بهبود کار تلسکوپ‌ها در امر مشاهدات نجومی صورت گرفت. در آن دوران سخت بود که مبانی ضروری نورشناسی و مکانیک پایه‌ریزی شد. امّا شگفت آن که پیشرفت کاربردهای عملی علم، در زمینه‌ی دیگری یافته شد که تا به حال از آن یادی نکرده‌ام. پیشرفت علمی واقعی به تحولات و پیشرفت‌هایی انجامید که فایده‌ی عملی بیشتری داشت.

آنچه تا این لحظه مورد بحث ما بود تنها برای دریانوردان کاربرد داشت و نه دیگران. اینک به نخستین تحوّلی می‌پردازیم که انقلاب علمی را، که درباره‌ی آن صحبت کردام، به انقلاب صنعتی، که در راه بود، پیوند می‌داد. این تحوّل از

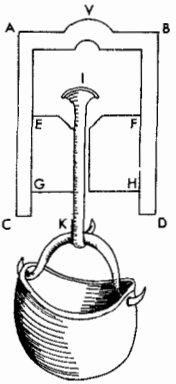
روش استخراج آب معادن آغاز شد. مشکل بزرگ معدنچیان استخراج موادّ معدنی نبود، بلکه بیرون کشیدن آب از معادن دل‌مشغولی عمده‌ی آنها به حساب می‌آمد. در بسیاری از معادن مقدار آبی که باید کشیده می‌شد، بیست برابر موادّ معدنی بود؛ چون همین که روزنه‌یی در زمین باز می‌شد تمام آب‌های اطراف به آن هجوم می‌آورد. اگر یادتان باشد ما درباره‌ی انواع تلمبه‌های پیچیده، تلمبه‌های ساده‌یی که از چند سطل درست شده بودند، و تلمبه‌های تخلیّه و تراکم صحبت کردیم. همه‌ی این دستگاه‌ها برای کار درمعادن ساخته می‌شدند و نیاز زیادی به قدرت داشتند. جای خوشحالی بود که نیروی آب برای این منظور در دسترس بود.

در بسیاری از نقاط جهان، کار تلمبه‌های آبی بسیار حیاتی بود؛ مثلاً، در هلند بخش اعظم زمین‌ها در سطحی پایین‌تر از سطح متوسّط آب دریا قرار داشت و مردم با استفاده از نیروی باد مجبور به تخلیّه‌ی آب بودند. امّا نیروی باد ضروری برای آسیاب‌بادی همیشه هم فراهم نبود. بنابراین ضرورت ایجاب می‌کرد که منبع نیروی دیگری را جانشین آن کنند. کسانی که در کار استفاده از تلمبه بودند، می‌دانستند که تلمبه‌های دسته‌دار (مکنده) نمی‌تواند آب را از عمق بیش از حدود ۱۰ متر بالا بکشد. اگر عمق چاهی از این مقدار بیشتر می‌شد، ناچار بودند از دو تلمبه استفاده کنند که یکی از آنها آب را به منبعی بالاتر از سطح آب چاه می‌فرستاد و دیگری آن را از منبع تا سطح زمین بالا می‌کشید. در این صورت یا باید دو نفر مأمور این دو تلمبه شوند، یا دسته‌ی هر دو تلمبه را به وسیله‌یی به هم وصل کنند و با هم به کار اندازند. این نکته در کنار انرژی زیادی که صرف می‌شد، تلمبه کردن آب را دچار محدودیّت جدّی می‌کرد. گالیله در حوالی سال ۱۶۳۰ به کمک دو علم جدیدی که خود ایجاد کرده بود، در حلّ این مشکل پیشگام شد و به نتایج کاملاً غلطی دست یافت. او می‌دانست که اگر لوله‌یی به طول مثلاً ۱۲ متر را در چاهی فرو ببرند و به یک تلمبه‌ی مکنده وصل کنند و با زحمت زیاد تلمبه بزنند نتیجه‌یی به دست نمی‌آید، بنابراین نتیجه گرفت که اگر ارتفاع ستون آب در لوله از میزان معیّنی

بیشتر شود، می‌شکند. به تصوّر وی، نیروی کشش آب محدود بود و زمانی که وزن ستون آب از این نیرو بیشتر می‌شد، در هم می‌شکست و به پایین فرو می‌ریخت.

تلمبه‌ی خلأ

در شکل ۸۷ نخستین تلمبه‌ی خلأ را که عملاً به کار می‌رفت، مشاهده می‌کنید. جزءِ EFGH، پیستون این دستگاه به شمار می‌آید که قسمت بالای آن پر از آب است. در سطلی که به سوپاپ IK آویخته شده شن می‌ریزند تا به عنوان یک وزنه عمل کند. با این تدبیر می‌توان مقدار نیروی وزنی را که باعث پایین رفتن سطل می‌شود، تعیین کرد. گالیله با این وسیله به خیال خود میزان نیروی کشش آب را اندازه‌گیری می‌کرد، در حالی‌که کمیّت مورد سنجش در واقع فشار جوّ بود، که به علت نشت آب از گوشه و کنار سوپاپ، با دقّت کافی



شکل ۸۷ـ دستگاهی که گالیله برای سنجش مقاومت در برابر تشکیل خلأ ساخته بود. EH یک پیستون چوبی است که درون سیلندر AD جای می‌گیرد. فضای بالای پیستون از آب پر می‌شد و در سطل آنقدر شن ریخته می‌شد که شروع به پایین رفتن کند.

سنجیده نمی‌شد. وی از این حد فراتر نرفت و تلمبه‌ی وی چندان به کار نیامد؛ امّا شاگردی داشت به نام تُوریچِلی که در سال ۱۶۴۰ با اندیشه‌ی درخشان خود، به فکر استفاده از جیوه به جای آب افتاد. مزیت بارز این ابتکار آن بود که با یک لوله‌ی شیشه‌یی هم انجام آزمایش میسّر می‌شد. تا آن هنگام چون درون پمپ دیده نمی‌شد، کسی نمی‌توانست پی ببرد که در آنجا چه می‌گذرد. معلوم نبود زمانی که دسته‌ی تلمبه به بالا کشیده می‌شد، آب در مجاورت پیستون وجود داشت یا آنکه به پایین فرو ریخته بود. توریچلی مشاهده کرد که ارتفاع ستون جیوه در لوله به جای تقریباً ۱۰ متر به حدود ۷۶ سانتی‌متر، یعنی در حدود ۱۳ بار کم‌تر از ارتفاع آب می‌رسد، و این نکته به نسبت جرم حجمی آب و جیوه که تقریباً ۱:۱۳ است، بستگی دارد. در لوله‌ی توریچلی در بالای ستون جیوه یک فضای خالی دیده می‌شد؛ این فضای خالی باعث مناقشات تازه‌یی شد، چون ظاهراً هیچ چیزی در آنجا وجود نداشت! خوب، اگر در این محفظه چیزی نباشد و چیزی هم به درون آن راه نیابد، پس خلأ یعنی پدیده‌یی که به‌نظر همه‌ی قدما ناممکن محسوب می‌شد، امکان وجود می‌یافت. اعتقاد بر این بود که طبیعت از ایجاد خلأ ابا دارد، حالا توریچلی نامی پیدا شده است که نشان می‌دهد این پرهیز نسبی و اگر ارتفاع آب به حدود ۱۰ متر یا ارتفاع جیوه به حدود ۷۶ سانتی متر برسد طبیعت به پیدایش خلأ رضایت می‌دهد! چیزی نگذشت که همه‌ی پژوهشگران متوجّه شدند که آنچه به نام وحشت طبیعت از ایجاد خلأ شهرت یافته بود، در حقیقت تأثیر فشار هوا بوده است. کمیّتی که در آزمایش‌های آنها اندازه‌گیری می‌شد، فشاری بود که هوا بر آب یا جیوه وارد می‌آورد، و این مواد را در لوله نگه می‌داشت و فشار ناشی از وزن ستون ده متری آب یا ستون هفتاد و شش سانتی‌متری جیوه آن را خنثی می‌کرد.

بدین ترتیب نخستین فشارسنج ساخته شد، و برای آزمودن صحت عمل آن تمهیداتی اندیشیده شد. اگر این دستگاه واقعاً فشار هوا را اندازه می‌گرفت در ارتفاع بالاتر، طول ستون جیوه‌یِ آن باید کم‌تر از ۷۶ سانتی متر می‌شد.

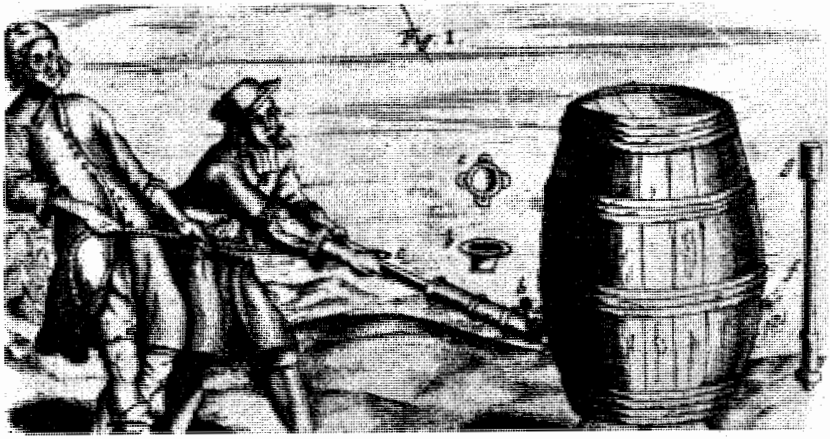
انجـام این آزمون را *پاسکال* برعهده گرفـت او یکی از بستگان سببـی خود را که پِریِیه نـام داشت مأمور کرد تا دستگـاه را به قلّه‌ی *پوئـی دُو دوم*[1] در مرکز فرانسه ببـرد. پریه با دقّـت بسیار به انجام آزمایـش پرداخت، بدین ترتیب که یک فشارسنج را در پاییـن کوه گذاشت و یک دستگـاه را به قلّـه برد، و دریافت که تفـاوت فشار هوا در پـای کوه و قلّـه‌ی آن با تفاوت وزن ستون‌های جیـوه‌ی دو دستگاه متنـاسب است. از آن پس فشـارسنج به‌صـورت یکی از ادوات اساسی هواشناسـی درآمـد و جز تغییرات کوچکی که در نحوه‌ی خواندن اعداد پیش آمده است، ساختمـان آن از روزهای نخست پیدایش، تفـاوت مهمی نکرده است؛ اما ظهـور آن باعث ایجاد تغییـر عظیمی در برداشت انسان از طبیعت شد، چون امکان ایجـاد خلأ را نشـان داد.

در همین ایّام در نیمـه‌ی نخسـت سده‌ی هفدهم، جنگی بسیـار طـولانـی در جریان بود؛ جنگی که سـی سال به درازا کشیـد و تا سال ۱۶۴۸ ادامـه یـافت. ایـن رویداد به شمار زیـادی از مهنـدسان فرصت داد تا حمیّت خـود را نشـان دهند و از آن بهره بگیرند. یکی از ایـن مهندسان، شهردار شهـر *ماگدبورگ* بود. این شهـر در جنگ به کلّـی ویـران شده بـود، و به بازسازی کامل نیـاز داشت. *اُتو فُون گریکه*[2] شهـردار، از پروتستان‌ها جانـب‌داری می‌کرد، و به مقام سررشته‌داری کلّ ارتـش *گوستاو آدولف*[3] پـادشاه سوئـد رسید. او هم مانند تیکو بـراهه یکـی از نخستین دانشمنـدانی بـود که برای انجـام آزمایـش‌های منـاسب علمی پول کافـی داشت. اوّلیـن راه حلّی که او ارائـه کـرد، روش سـاده‌یی برای ایجاد خلأ بـود. به نظـر او اگر بشکه‌یی را از آب پر می‌کردند و پس از بستن تمام منفذهای آن، با تلمبه‌یی آب را از آن بیرون می‌کشیدند، خلأ ایجاد می‌شد.

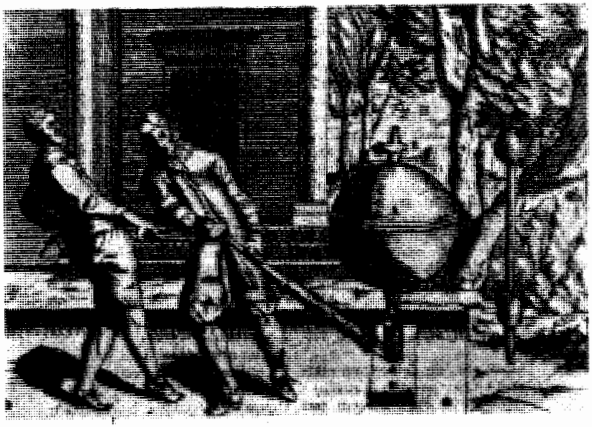
1- Puy deDôme

2- Otto von Guericke

3- Gustavus Adolphus



شکل ۸۸ـ تلاش فون گریکه برای بیرون کشیدن آب از بشکه‌ی چوبی بدون منفذ؛ اقتباس از کتاب *آزمایش‌های نوین*، آمستردام، ۱۶۷۲.



تصویر ۸۹ـ آزمایش بهبودیافته‌ی فون گریکه: بیرون کشیدن هوا از کره‌ی فلزی؛ اقتباس از کتاب *آزمایش‌های نوین*.

در شکل ۸۸ تلمبه‌یی مانند سرنگ یا پمپ باد دوچرخه را می‌بینید، که به کمک آن آب بشکه خالی می‌شود. از این آزمایش نتایج غیر منتظره‌یی گرفته شد. بیرون کشیدن آب با این روش بسیار دشوار بود و پس از خروج نیمی از آن، صدای وزوز بشکه شروع می‌شد، و هوا از شکاف‌های تخته‌های بدنه به درون آن جریان می‌یافت، و پس از پایان کار، بشکه مجدداً پر از هوا بود. برای رفع این اشکال، بشکه را درون بشکه‌ی دیگری قرار دادند که محتوی آب بود. این بار بشکه‌ی داخلی به کلّی از هوا خالی شد، اما بلافاصله آب جای آن را اشغال کرد. ناچار از کار با بشکه منصرف شدند و آزمایش را با بهره‌گیری از یک کره‌ی مسی نازک آغاز کردند، و رویداد تکان‌دهنده‌یی را مشاهده کردند! همین که هوا شروع به خارج شدن از کره کرد، بدنه‌ی کُره درهم پیچید و فرو رفت. در مرحله‌ی بعد، با استفاده از کره‌یی که دیواره‌ی آن ضخیم‌تر بود، به ایجاد خلأ پرداختند.

در شکل ۸۹ شیوه‌ی ابتدایی تخلیه‌ی هوا را از یک کره‌ی برنزی که به صورت دو نیمکره در آمده، و به یک شیر مجهّز شده است، می‌بینید. پس از تخلیه‌ی هوا شیر را می‌بستند، و دستگاه را بدون امکان نفوذ هوا، از تلمبه جدا می‌کردند. با این کره‌ها شروع کردند به نمایش دادن (شکل ۹۰). از طریق روش ابتدایی آویختن وزنه‌های سنگین تا جایی که دو نیمکره را از هم جدا کند، سعی کردند مقدار فشار هوا را اندازه‌گیری کنند. فشار وزنه‌هایی که دو نیمکره را از هم جدا می‌کرد، معادل فشار هوا بود. یک نمایش بهتر و موفق‌تر هم در حضور امپراتور اجرا شد. در این نمایش هشت اسب از هر طرف نیمکره‌ها را می‌کشیدند و قدرت فوق‌العاده‌ی خلأ را نشان می‌دادند (شکل ۹۱). فُرا اَنجلیکا[۱] فوراً به فکر استفاده از این خاصیّت برای انتقال نیرو افتاد. به گفته‌ی او، اگر یک

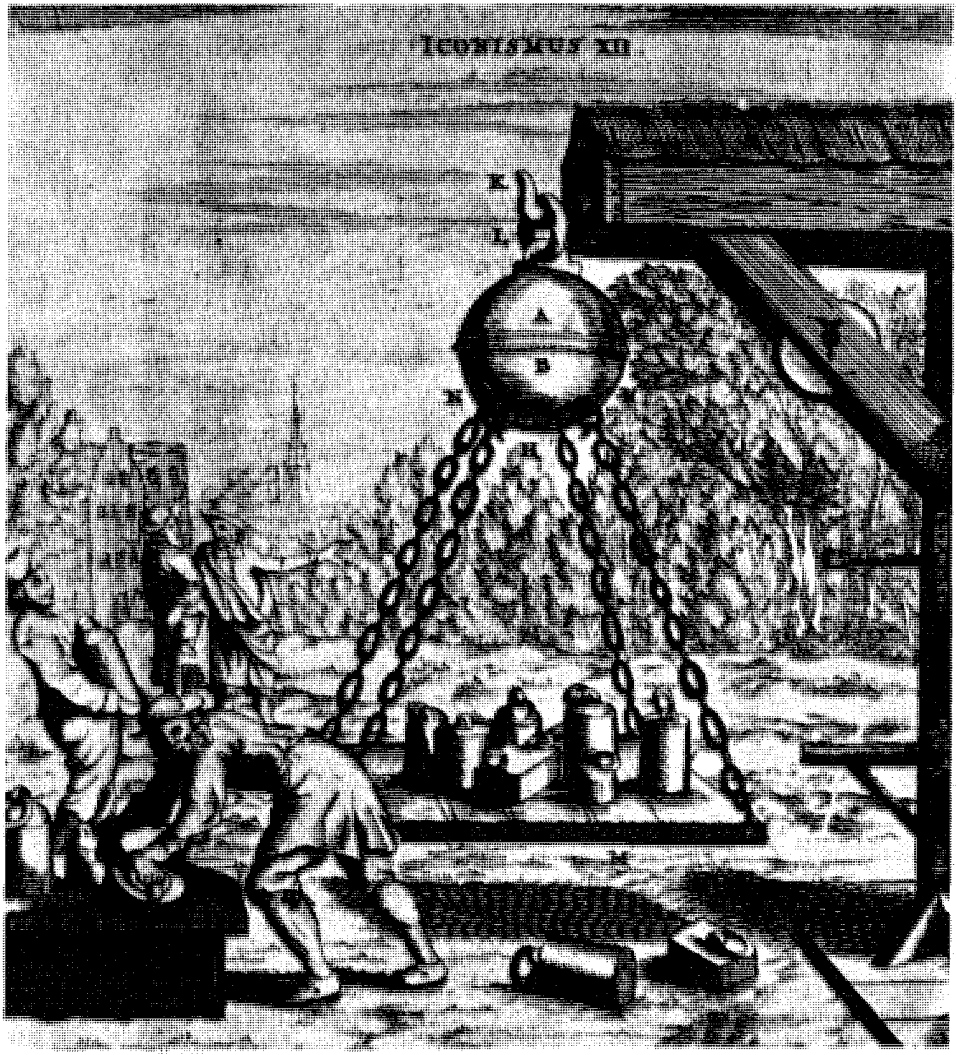
۱ـ Fra Angelica (Giovanni da Fiesole) کشیش پیرو دومینیک قدیس، که شمایل ساز بود (۱۴۵۵ـ۱۳۸۷)

لوله‌ی طویل خالی از هوا داشته باشیم، می‌توانیم تلمبه یا سیگنال یا چیزهای مشابه را از فاصله‌ی دور به کار بیندازیم، و این نکته اساس کار ترمز خلأ را فراهم کرد. البتّه ضعف تکنیک در آن هنگام اجازه‌ی استفاده از این خاصیّت را نمی‌داد؛ چون نشت هوا از درزها مزاحم کار بود. امّا فکر آن به خودی خود علاقه‌ی محافل علمی را جلب کرد و باب تحقیق درباره‌ی آن گشوده شد.

یکی از کسانی که در این راه گام نهاد *رابرت بویل* بود، که پدر علم شیمی خوانده می‌شود. وی فرزند ارل کُرْک بود و دست کم آن قدر پول داشت که بتواند هوک را به عنوان دستیار بسیار خوبی برای انجام آزمایش‌های خود استخدام کند. ظنّ قوی آن است که آزمایش‌ها عملاً توسّط هوک انجام می‌شد. بویل مسائل بسیاری مطرح کرد، و پاسخ‌هایی برای آنها نوشت، امّا جالب آن است که پس از جدا شدن هوک از وی دیگر هرگز آزمایشی انجام نداد.

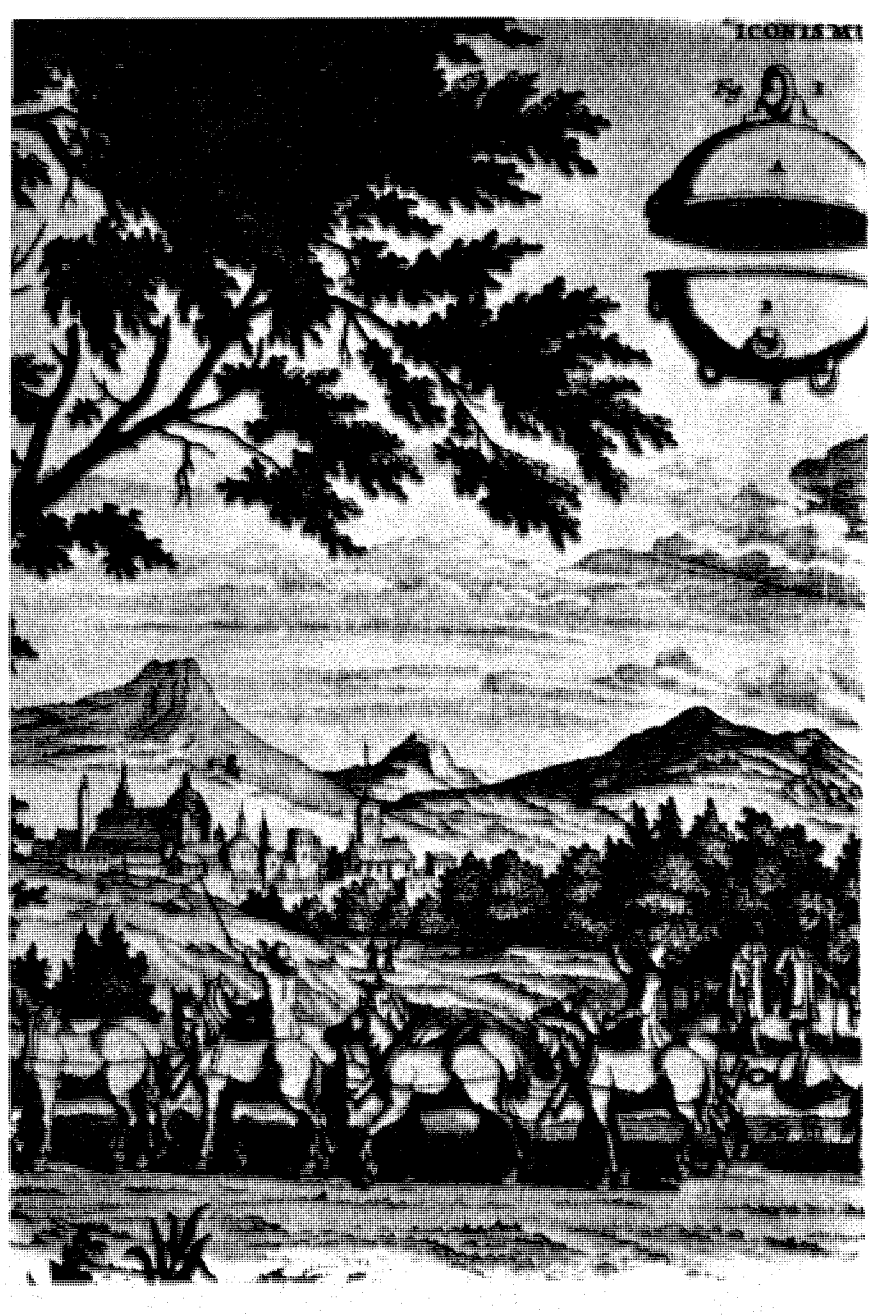
در شکل ۹۲ یک آزمایش اساسی را می‌بینید که فون گریکه انجام داد و چارلز دوّم از این بابت او را دست می‌انداخت. در این تصویر دو نکته جالب توجه است؛ یکی کره‌ی کوچکی است که با یک وزنه به حال تعادل در آمده و با گشوده شدن شیر ورودی شروع به پایین رفتن می‌کند. کره در آغاز خالی از هواست و پس از باز شدن شیر از هوا پر می‌شود، و بدین ترتیب وزن هوا را اندازه‌گیری می‌کنند. چارلز دوم به اتفاق *نِل گُوین*[1] و دیگران، با ریشخند کردن فیلسوفان انجمن سلطنتی که وقت خود را صرف کارهای مضحکی نظیر اندازه‌گیری وزن هوا می‌کردند، شاد و سرخوش می‌شد. در بخش دیگر تصویر یک فشارسنج آبی دیده می‌شود که ارتفاع آن تا حدّ طبقه‌ی پنجم ساختمان می‌رسد، و با وجود آن که بسیار حسّاس است قابل اعتماد نیست، چون آب درون آن تبخیر می‌شود. در سمت چپ، تصویر درشت این فشارسنج را می‌بینید که در آن آدمکی بر روی چوب‌پنبه‌یی که روی آب شناور است ایستاده است.

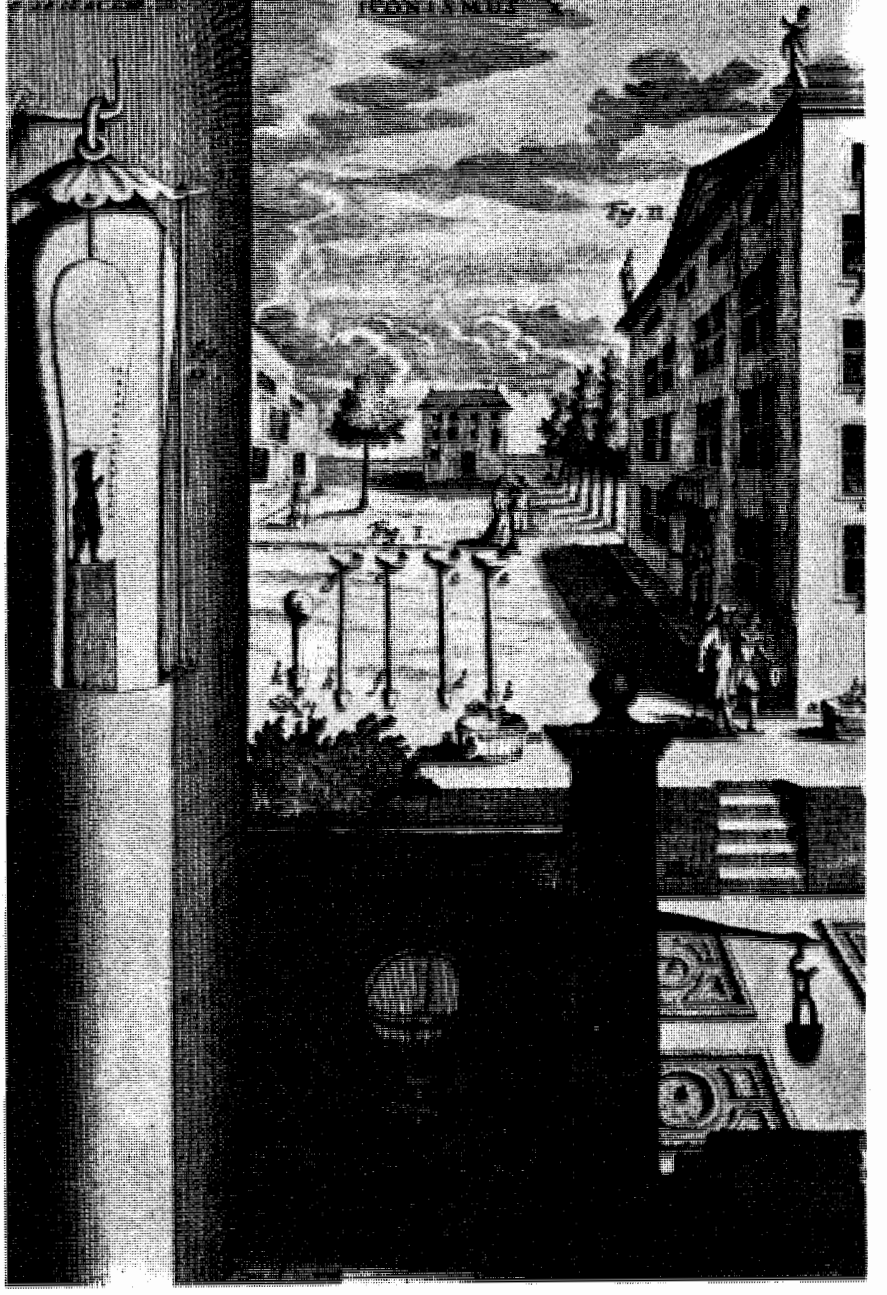
۱ـ بازیگر انگلیسی که معشوقه‌ی چارلز دوّم بود (۱۶۷۸ ـ ۱۶۵۰)



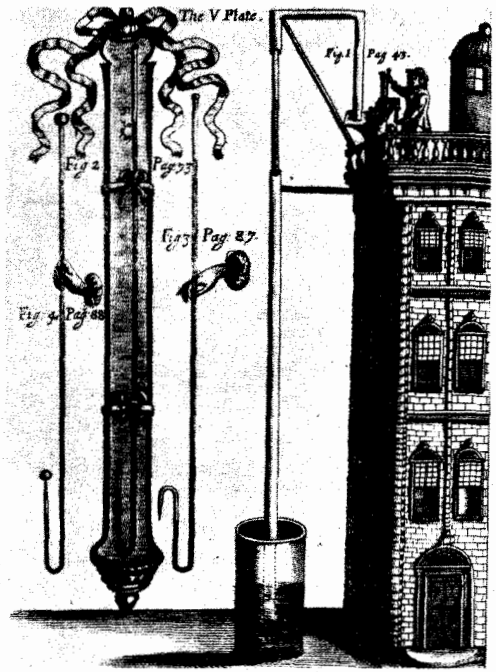
شکل ۹۰ـ یکی از آزمایش‌های اتو فون گریکه با نیمکره‌های ماگدبورگ؛ اقتباس از *آزمایش‌های نوین*.

شکل ۹۱ـ نمایش معروف اتوفون گریکه برای نشان دادن قدرت خلأ. دو دسته اسب، هر یک متشکّل از هشت رأس، نمی‌توانستند دو نیمکره را که در میان آنها هوا وجود نداشت از هم جدا کنند؛ اقتباس از *آزمایش‌های نوین*.





شکل ۹۲ـ دو فقره از آزمایش‌های فون گریکه در مورد فشار جوّ: اندازه‌گیری وزن هوا (در قسمت وسط جلو تصویر)؛ فشارسنج آبی (عقب و سمت چپ).

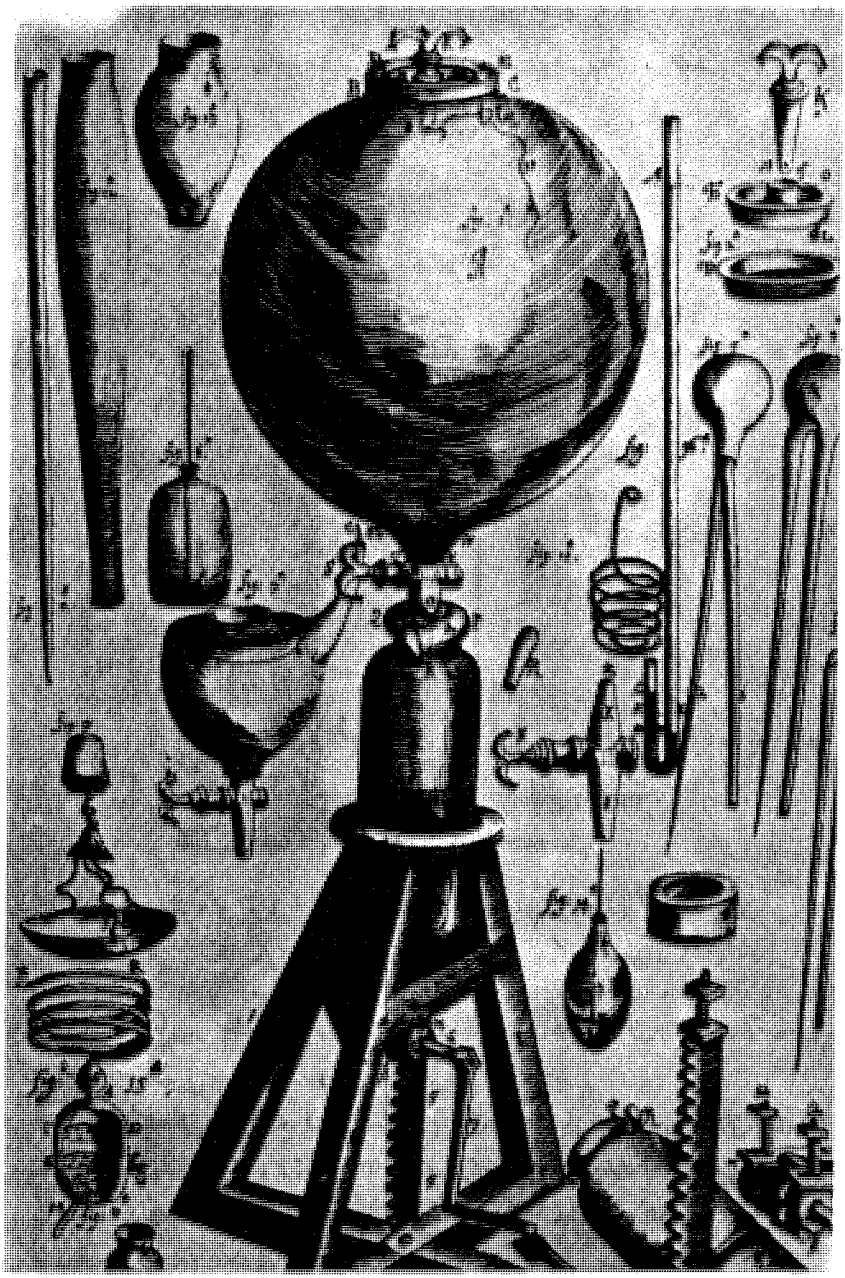


شکل ۹۳ـ آزمایش‌های بویل در مورد «فنر هوا»؛ اقتباس از *متمّم آزمایش‌های نوین، وسیله‌یی فیزیکی ـ مکانیکی درباره‌ی کشسانی و وزن هوا*، آکسفورد، ۱۶۶۹[1].

در شکل (۹۳) نیز چند نوع فشارسنج مربوط به آن دوران، از جمله فشارسنجی که به‌وسیله‌ی بویل ساخته شد، دیده می‌شود.

بویل تصمیم گرفت که تلمبه‌یی بسازد. حاصل نخستین تلاش‌های او نشانه‌یی از پیشرفت بود (شکل ۹۴). وی برای آنکه رویدادهای داخل خلأ را ببیند، مخزن دستگاه را از شیشه‌ی بسیار ضخیم ساخت. در سمت راست تصویر،

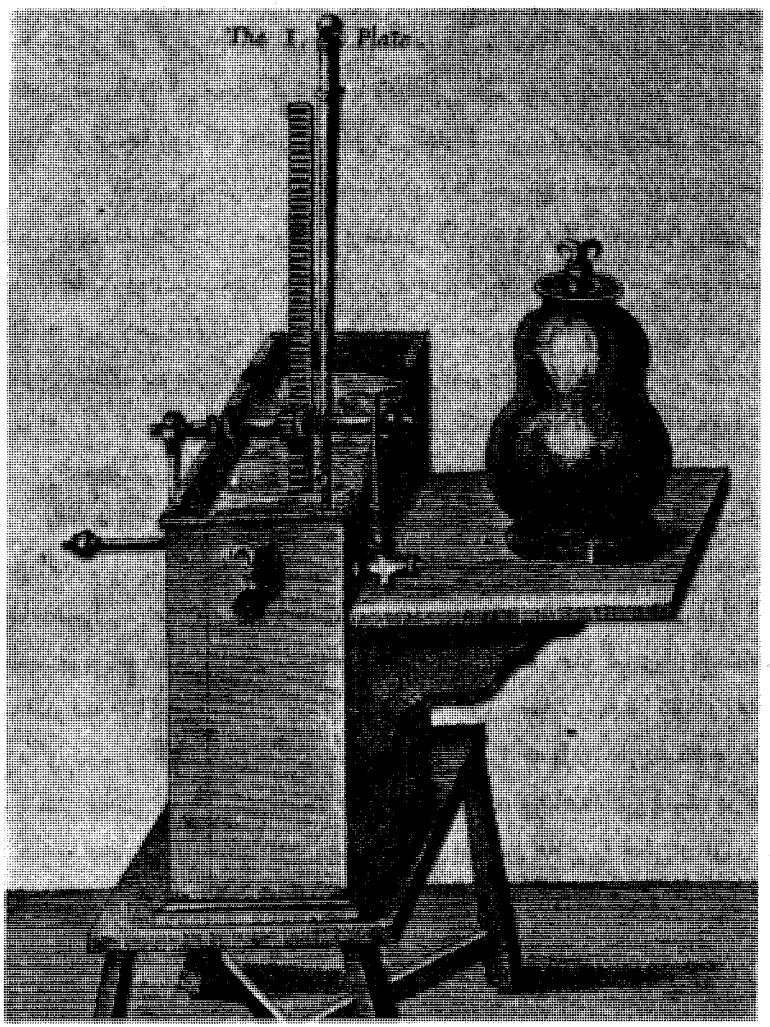
1- *A Continuation of New Experiments, Physio-Mechanical touching the Spring and Weight of the Air*, Oxford, 1669.



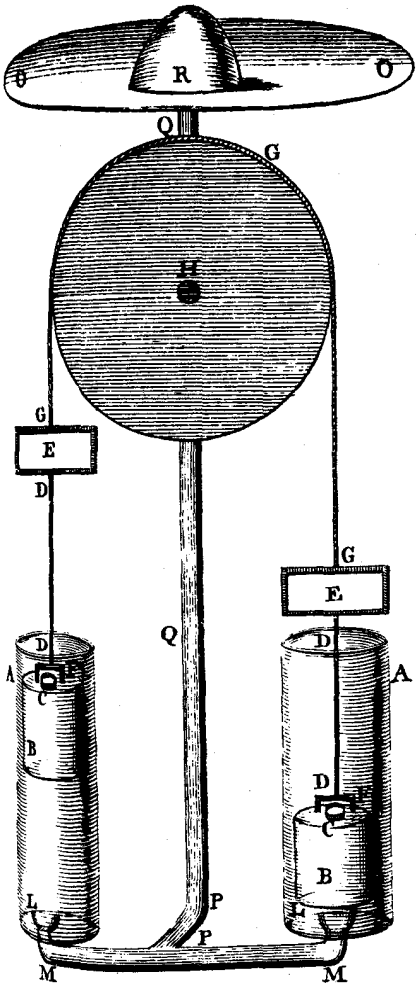
شکل ۹۴ـ تلمبه‌ی هوای بویل با مخزن شیشه‌یی برای مشاهده‌ی درون خلأ؛ اقتباس از *آزمایش‌های نوین*.

سیلندر را که اجزای آن از هم جدا شده است می‌بینید. وی برای تأمین نیروی لازم جهت کشیدن ریسمان، به کمک وسیله‌یی متشکّل از یک چرخ و میله دنده شروع به بیرون کشیدن هوا کرد. در عمل، پیستون به عقب می‌جهید و ایجاد مشکل می‌کرد. امّا نکته‌ی جالب آنکه وی برای وارد کردن مواد به منبع، دهانه‌یی در بالای آن ایجاد کرد که با وسیله‌یی نظیر چوب‌پنبه‌ی سر بطری بسته می‌شد. از اینجا بود که علمی دیگر در کنار شیمی پایه‌ریزی شد. در همین جریان بود که بویل متوجه شد اجسام در خلأ نمی‌سوزند، جانوران در خلاء زنده نمی‌مانند، هوا برای سوختن و تنفس لازم است و این امر شالوده‌ی کلّ شیمی جدید محسوب می‌شود، که بر محور شیمی تنفّس و سوختن استوار است. در این زمینه بویل یقیناً پدر شیمی محسوب می‌شود. کلّ این تحوّل را می‌توان *انقلاب پنوماتیکی در علم شیمی* خواند، و کسانی که شیمی مقدّماتی معمولی را مطالعه می‌کنند، متوجّه می‌شوند که چگونه ترکیب آب و هوا و سایر موادّ شیمیایی در اصل به کمک آزمایش‌های پنوماتیک کشف شد.

البتّه، فعلاً فیزیک مورد بحث ماست. در گام بعدی اصلاح این دستگاه، مخزن به کلّی از سیلندر مجزّا شد و این جدایی در شکل ۹۵ نشان داده شده است. حیوان آزمایشی، که احتمالاً موش صحرایی بود، در مخزن قرار داده می‌شد. بویل به همان چرخ و میله دنده‌ی ابتدایی، برای جلوگیری از نشت هوا یک ظرف آب افزود. ولی کارآیی دستگاه هنوز رضایت بخش نبود و تلاش وی برای تکمیل آن ادامه یافت. در شکل ۹۶ راهی را که برای حلّ مسئله‌ی غلبه بر کشش ناشی از فشار جوّ پیش‌بینی شده است، مشاهده می‌کنید. در این دستگاه با ایجاد تعادل میان دو سیلندر تا حدّی اثر این عامل را خنثی و آن را به عنوان آخرین چاره ارائه کردند، و تا قرن بیستم دیگر در این راه پیشرفتی حاصل نشد. من در سال ۱۹۲۳ در انستیتوی سلطنتی با تلمبه‌یی درست نظیر آنچه در شکل ۹۶ می‌بینید، کار می‌کردم. طرز کار آن همان طور که در شکل پیداست، عبارت است از بالا و پایین بردن پیستون‌ها که در ظرف چند دقیقه خلأ مناسبی ایجاد می‌کند، و پس از آن می‌توان یک تلمبه‌ی دیفیوزیون را در



شکل ۹۵ـ دوّمین تلمبه‌ی هوا که توسّط بویل ساخته شد؛ اقتباس از *آزمایش‌های نوین*.



شکل ۹۶ـ سوّمین تلمبه‌ی هوایی بویل که با دو رکاب EE، با نیروی پا به کار می‌افتاد، و هوا از مخزن R روی ورقه‌ی O بیرون کشیده می‌شد؛ اقتباس از *مجموعه آثار ر. بویل*، ۱۷۷۲.[1]

بالای دستگاه نصب کرد. بویل در تهیّه‌ی این گونه تلمبه‌ها مهارت بسیار داشت.

1- *Works of R. Boyle*, 1772

فنر هوا

یکی از پدیده‌های بسیار جالب توجهی که در ضمن کار با این نوع تلمبه‌ها پیش می‌آید، چیزی است که بویل به تعبیری صوری آن را *فنر هوا* می‌خواند. هنگامی که پیستونی را در یک سیلندر مسدود فرو می‌برید یا از آن بیرون می‌کشید، بسته به اینکه هوا فشرده یا مکیده می‌شود، در برابر حرکت پیستون مقاومتی حس می‌کنید که به مقاومت فنر در برابر کشیدن و فشردن شباهت دارد. سنجیدن و اندازه‌گیری مقاومت این فنر هوا ضرورت داشت. بویل این اندازه‌گیری را به کمک آزمایشی کلاسیک انجام داد که همه‌ی شما هم امروز در درس‌های فیزیک مقدماتی آن را تکرار می‌کنید. در لوله‌ی شیشه‌یی U شکل، مقداری جیوه می‌ریزید و باتوجه به ارتفاع جیوه در هر شاخه، و حجم هوا، سعی می‌کنید رابطه‌یی میان آنها به دست آورید؛ از اینجا قانون بویل به‌دست می‌آید، که براساس آن حاصل‌ضرب فشار و حجم، در دمای ثابت، همواره ثابت می‌ماند.

قانون بویل نخستین قانون فیزیکی بود که به جهان علم عرضه شد. تا آن هنگام تمام قوانینی که به دست آمده بود، اساساً ریاضی یا مکانیکی بود. اما قانون بویل دقیقاً فیزیکی بود، چون توضیح آن در هنگام کشف به هیچ وجه روشن نبود، و در واقع این توضیح بعداً روشن شد. نخستین توضیح واقعی که در این مورد سراغ داریم از آن ماکسول است که در حدود ربع آخر قرن نوزدهم ارائه شد. در اوایل کار، دانشمندان می‌پنداشتند که ذرات هوا واقعاً به وسیله‌ی فنرهایی کوچک در فاصله‌ی معینی از یکدیگر واقع شده‌اند، و هنگامی که خاصیّت فنری هوا را اندازه می‌گرفتند، تصور می‌کردند خاصیت فنری این فنرها را اندازه‌گیری کرده‌اند. اندازه‌گیری‌هایی که توسّط بویل صورت گرفت، گام بزرگی بود که در جهت امکان استفاده از تراکم‌پذیری گازها برداشته شد.

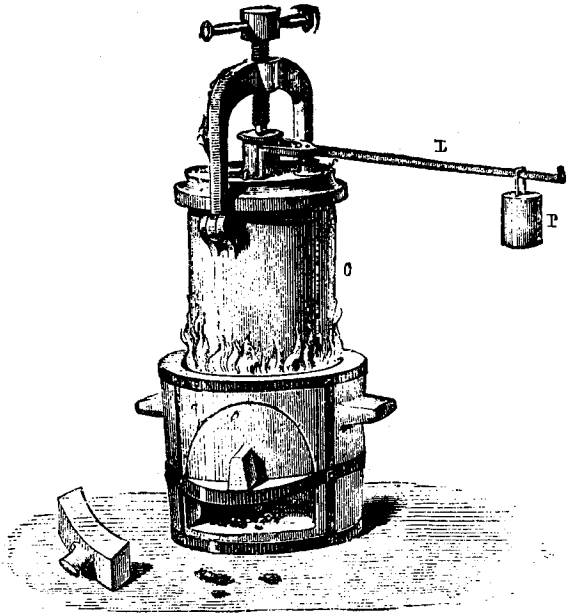
البتّه، حتی پیش از اندازه‌گیری خاصیت فنری هوا توسّط بویل، مردم عملاً به بهره‌گیری از این خاصیت فکر می‌کردند. قبلاً در مورد توان، به خصوص نیروی لازم برای پمپ کردن هوا صحبت کردم. در قرن هفدهم اصطلاح

بالابردن آب به‌وسیله‌ی آتش بسیار رایج بود. همه می‌دانستند که آتش نیرویی عظیم دارد، و می‌خواستند از این نیرو برای بالا بردن آب استفاده کنند. برای رسیدن به این هدف راه‌های بسیاری می‌شد در پیش گرفت که یکی از آنها برپایه‌ی ایجاد خلأ و پس از آن بر حذف خلأ متکی بود. بدین‌ترتیب آب را به بالا می‌کشیدند و، البتّه، مجدداً به پایین می‌فرستادند، یا اجازه می‌دادند که آب متوقف شود؛ و یکی از راه‌های تلمبه کردن آب همین بود.

دنی پاپن[1]

کریستین هویگنس که در فصل پیش از او یاد کردیم، دستیاری داشت به نام دنی *پاپن* اهل *بلوآ*[2]. وی به مسئله‌ی تلمبه سخت علاقه‌مند شد و به شیوه‌یی بسیار علمی به آزمون روند جوشیدن پرداخت، و در ضمن این جریان به نکته‌ی جالبی برخورد که بدبختانه دویست سال پس از مرگ وی کاربرد یافت. این نکته‌ی اساسی عبارت بود از امکان ساختن نخستین دیگ زودپز بخاری که به نام زود پز پاپن مشهور است. این دیگ از یک محفظه‌ی فلزی محکم تشکیل شده بود که درپوش آن با چند گیره و پیچ بسته می‌شد، و شیر اطمینانی داشت که از اختراعات خود پاپن بود (شکل ۹۷). در آزمایش‌های مختلفی که بدون استفاده از شیر اطمینان صورت می‌گرفت، معمولاً انفجار روی می‌داد و این امر باعث شد که پاپن در تمام دستگاه‌های مورد استفاده‌ی خود این وسیله را به کار ببرد. در شکل ۹۸ دستگاه جالبی می‌بینیم که در واقع، نخستین موتور احتراق داخلی ساخت ذهن هویگنس است. این تصویر را صرفاً باید یک طرح تلقی کرد. در این طرح پیستون D با یک قطعه نخ که از روی یک قرقره‌ی ثابت گذشته است به یک وزنه‌ی آویزان اتصال دارد. در پایین سیلندر AB، کپسول کوچک C محتوی مقداری باروت است، که می‌توان به کمک یک میله‌ی داغ آن را منفجر کرد. پس از انفجار، پیستون D بالا می‌رود و گاز فشرده و داغ از

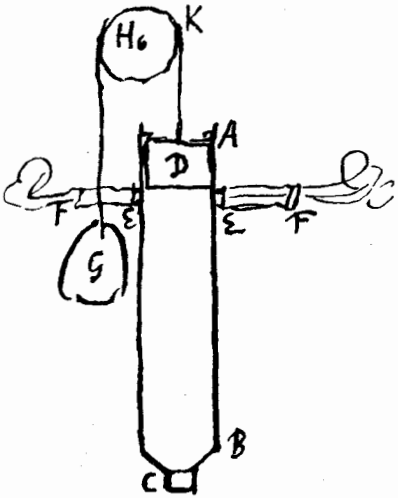
1- Denis Papin
2- Blois



شکل ۹۷ـ زودپز پاین، نخستین دیگ زودپز بخاری؛ اقتباس از کتاب *تاریخ علوم برای همگان*، اثر رابرت روتالج، ۱۸۸۱.[1]

دریچه‌های خروجی بیرون رانده می‌شود؛ و D مجدداً به پایین سیلندر باز می‌گردد و در این عمل وزنه‌ی g پایین و بالا می‌رود. اساس این طرح را در سال ۱۸۴۰ برای ساختن نخستین موتور با احتراق بر اثر تراکم که بنای تمام موتورهای احتراق داخلی امروزی به حساب می‌آید (و حالا به آن دیزل می‌گویند) به کار بردند. استفاده از باروت، البتّه نه از لحاظ اقتصادی به صرفه نزدیک بود و نه از جنبه‌های دیگر، امّا در عوض این حسن را داشت که بدون برخورد با مشکل چگونگی ورود هوا به سیلندر، به تولید گازهایی که پیستون را به خارج می‌راند، می‌پرداخت.

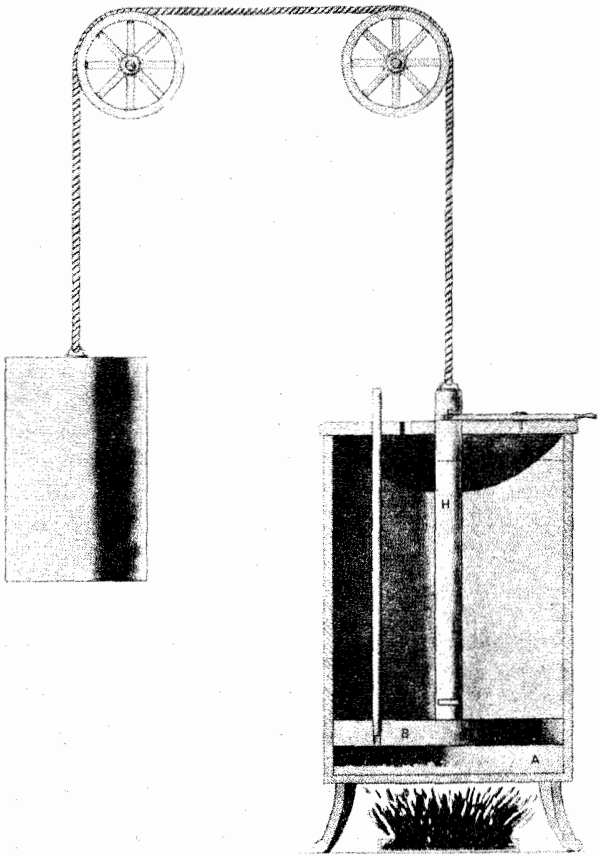
1- Robert Routledge, *A Popular History of Science*, 1881.



شکل ۹۸ـ طرح نخستین موتور احتراق داخلی، از هویگنس؛ اقتباس از *کلیّات آثاروی*، ۱۸۹۷. [1]

در شکل ۹۹ حاصل نخستین تلاش هویگنس را برای ساختن ماشین بخار مشاهده می‌کنیم. این دستگاه از یک دیگ بخار، یک لوله‌ی عبور بخار و یک پیستون آزاد تشکیل شده است. در ته سیلندر A، که از کف به آن حرارت داده می‌شود، مقداری آب می‌ریزند. بخار آب حاصل، پیستون B را به بالا می‌راند. گیره‌ی E در شکاف بدنه‌ی دسته‌ی پیستون H فرو می‌رود، و تا هنگامی که خلاص نشود آن را نگه می‌دارد. پس از بالا رفتن پیستون، گرما از دست می‌رود و بخار آب درون دیگ شروع به میعان می‌کند و ایجاد خلأ نسبی در محوطه‌ی دیگ باعث می‌شود پیستون پایین آید. پاپن با این تلاش‌ها می‌خواست دستگاهی بسازد که بدون نیاز به اجزای متحرک پیچیده، قادر به انجام کار باشد. اما متأسّفانه به علّت بی‌پولی در این امر توفیق نیافت. وی در

1- Huygens, *Oeuvres Complètes*, 1897.



شکل ۹۹ـ ماشین بخار پاپن.

سال ۱۷۰۸ نامه‌یی بسیار تأثّرانگیز به انجمن سلطنتی نوشت،و درخواست کرد تا برای تکمیل ماشین بخار، که دستگاهی بسیار مفید است، مبلغی معادل پانزده لیره به وی بدهند؛ ولی انجمن به این بهانه که قبل از نمایش کار دستگاه کسی حقّ دریافت پول ندارد، از پرداخت کمک به پاپِن سر باز زد.در قرن هیجدهم، تشویق کسانی که در راه علم گام‌هایی به جلو برمی‌داشتند، مشروط به

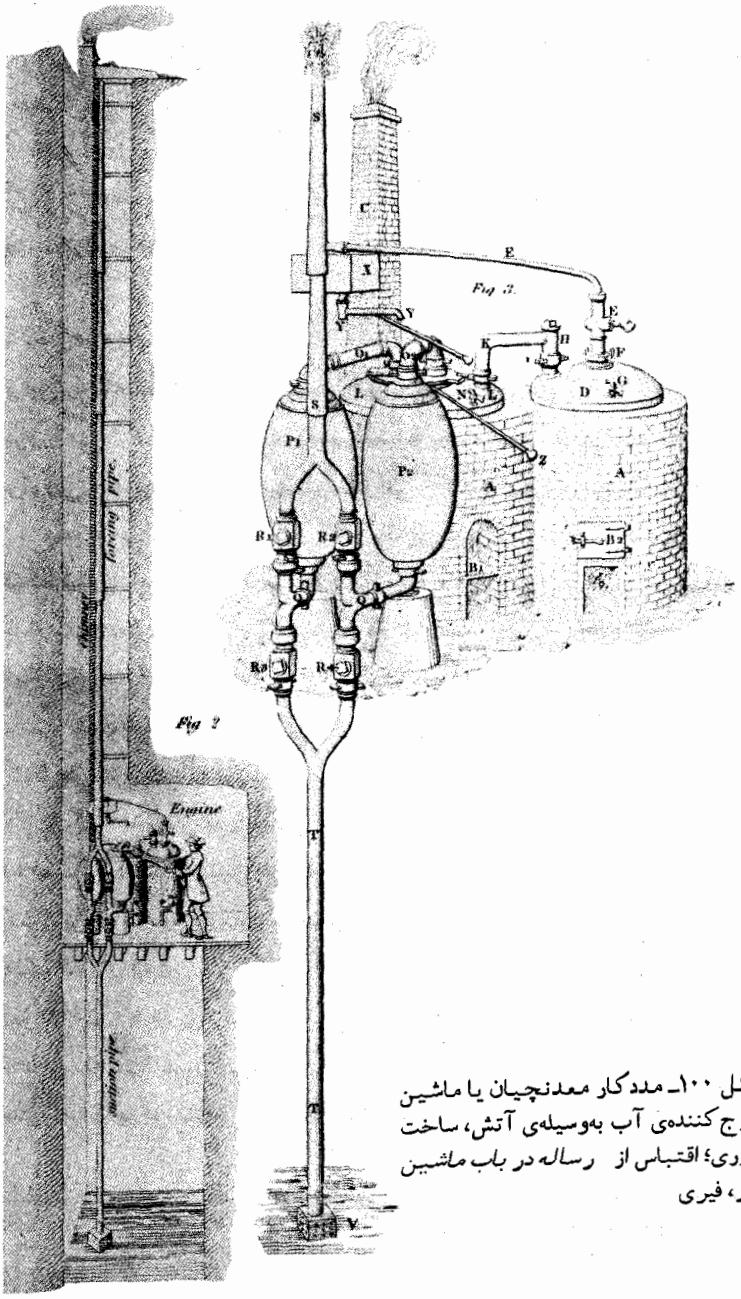
این شرط بود. امّا البتّه آدم‌هایی هم بودند که با اصرار و استقامت مقداری پول به‌دست می‌آوردند. اندیشه‌ی ساختن موتوری که نام ماشین فلسفی بر آن گذاشته بودند، اندیشه‌یی کاملاً علمی بود، اما اهل علم به دو دلیل در پیدایش آن نقش نداشتند: اوّل آنکه به‌خوبی بر فنون عملی احاطه نداشتند، و ثانیاً از جنبه‌های اقتصادی کار سر درنمی‌آوردند؛ یعنی اینکه چقدر خرج بر می‌دارد.

کاپیتان ساوری[1]

در این راه گام بعدی را مردی به نام کاپیتان *ساوری* برداشت؛ وی از همان اصول پیروی می‌کرد با این تفاوت که در دستگاه پیشنهادی او به پیستون نیازی نبود، موتورش مستقیماً و بدون پیستون کار می‌کرد. در این شیوه با فشار بخار، آب را به پایین می‌فشردند و به درون محفظه‌یی می‌فرستادند، این محفظه پس از خنک شدن، آب را به بالا می‌مکید؛ آن‌گاه فرایند تلمبه کردن و مکش به طور متناوب ادامه می‌یافت. این فرایند امروز هم اساس کار تلمبه‌ی ضربان‌سنج به شمار می‌آید. این دستگاه از بعضی نظرها، برای خارج کردن فاضلاب‌ها بسیار مناسب است، چون فقدان پیستون اجازه می‌دهد که آب‌های بسیار آلوده و پر از آشغال هم به راحتی به بالا کشیده شود.

شکل ۱۰۰ نشان می‌دهد که این دستگاه عملاً چگونه کار می‌کند. می‌بینید که دستگاه دیگر تکمیل شده است. کار این دستگاه دو بهره‌یی یا مضاعف است؛ دیگ بخار آن باید در عمق معدن و در محلی نزدیک به میل چاه آن نصب شود، که این امر یکی از اشکالات عملی آن به حساب می‌آمد، چون عمق ۶۰۰ تا ۹۰۰ متری معدن محل مناسبی برای کار این بخش از دستگاه نیست. شخصی که در تصویر در کنار دیگ‌ها ایستاده است، به کمک یک دسته‌ی بلند، بخار آب را به نوبت به درون محفظه‌ها می‌فرستد، به طوری که در همان هنگام

1- Captain Savery



شکل ۱۰۰ـ مددکار معدنچیان یا ماشین خارج کننده‌ی آب به‌وسیله‌ی آتش، ساخت ساوری؛ اقتباس از *رساله در باب ماشین بخار*، فیری

که بخار در یک محفظه آب را به بالا می‌فرستد، خلأِ ایجاد شده در دیگری، آب را به درون آن می‌مکد.

ساوری تا حدّی اهل علم به شمار می‌آمد، امّا اساساً مخترعی برجسته بود. او نوعی قایق رکابی ابداع کرده است، که البتّه نخستین دستگاه در نوع خود نبود. یکصد سال قبل از آن در جنگ‌های آزادی بخش هلند، از قایق‌های رکابی زره‌پوش استفاده شده بود. نفرات زیادی با پا زدن به رکاب‌های این گونه قایق‌ها، به قلب سپاه اسپانیا می‌زدند و بدون توقّف پیش می‌رفتند، چون از خطر شکستن پاروها فارغ بودند. ساوری در کار تبلیغ بسیار ماهر بود، و با انتشار جزوه‌یی با عنوان *مدد کار معدنچیان*، مردم را از اختراع خود مطلّع کرد. شکل ۱۰۰ را از این جزوه نسخه‌برداری کرده‌ییم.

در این جزوه، علاوه بر تشریح ساختمان ماشین، موارد کاربرد آن نیز بیان شده است. عبارات زیر را از مقدّمه‌ی جزوه‌ی او خطاب به «نجیب‌زادگانی که در معادن انگلستان خطر می‌کنند» نقل کرده‌ییم. در انگلستان معادن اساساً متعلّق به دربار بود، امّا هر کس پول کافی داشت می‌توانست در این راه گام بگذارد، و به معدن کاوی بپردازد. البتّه برای انجام این کار، اعیان بودن شرط اصلی بود، چون فقط آنها پول کافی داشتند:

بسیاری از شما، اختراع مرا برای استفاده از نیروی آتش در استخراج آب، طرح بی‌حاصلی شمرده‌یید، که هرگز نمی‌تواند آنچه را که من در مورد آن ادّعا کرده‌ام، عملی کند و آب را از معادن بالا بکشد، و در نتیجه شایسته‌ی تشویق باشد. این نکته بر من بسیار گران آمد. من چندان علاقه‌یی به دروغ‌گویی و جعل ندارم و نمی‌خواهم با ادّعای واهی جنجال برپا کنم؛ بنابراین، طرحی از ماشین مورد نظر خود را ارائه می‌دهم و به موارد کاربرد آن اشاره می‌کنم، و داوری در باره‌ی ارزش استفاده از آن را بر عهده‌ی خود شما وامی‌گذارم...

«کاربرد این دستگاه در کشیدن آب از معادن و گودال‌های استخراج زغال سنگ، کار را بسیار آسان و کم‌هزینه می‌کند، و مطمئنّم که طی چند سال اگر میزان بازدهی معادن را که بخش مهمی از ثروت پادشاهی انگلستان به حساب می‌آید سه برابر نکند، دست کم آن را به دو برابر خواهد رساند. می‌دانید که با وجود هزینه‌های گزاف و مشقّات فراوان، ما مقادیر عظیمی سرب و قلع و زغال صادر می‌کنیم. حساب کنید اگر آن همه پول و نیرو که صرف

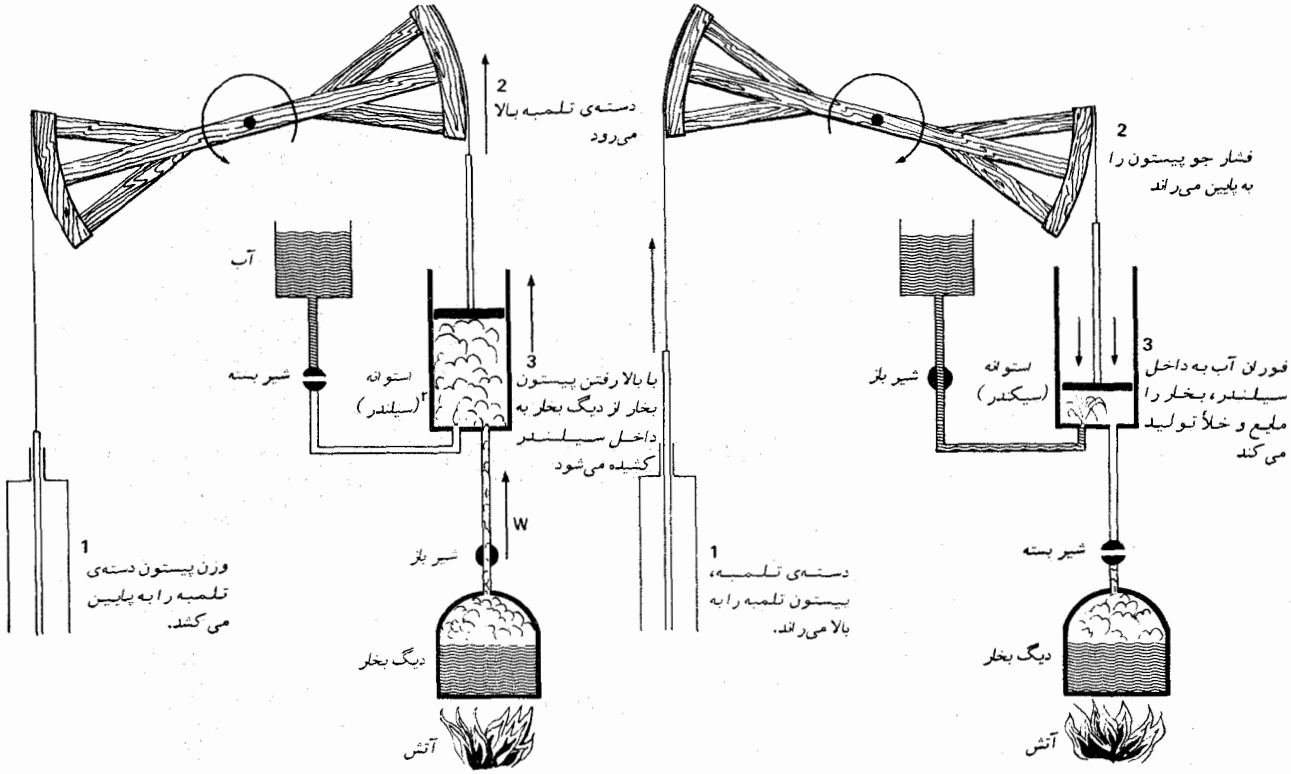
صرف مقابله با آب موجود درمعادن می‌شود در راه استخراج مواد معدنی به کار رود، چه سود سرشاری عاید ما خواهد شد؟»

این مقدّمه نمونه‌ی جالبی از کار تبلیغی است، که برخلاف معمول بر حقیقت مبتنی است، چون ماشین بخار بازده معادن را از سه برابر هم بیشتر کرد، و حتّی آن را به چهار برابر رساند.

توماس نیوکامن

اما دستگاهی که باعث این تحول شد، ماشین ساوری نبود، بلکه ماشین بخاری بود که یک آهنکار اهل دارتموت، به نام نیوکامن آن را ساخت. از آنجا که امتیاز ساخت ماشین بخار به نام ساوری ثبت شده بود، این آهنکار باهوش صلاح در آن دید که با وی شریک شود. این دستگاه براساس ساختمان موتورهای تلمبه‌یی قدیمی ساخته شد، که در یک سر دارای پیستون و بازو و در انتهای دیگر دارای یک میل لنگ بود. (شکل ۱۰۱). تفاوت ماشین ساوری با ماشین نیوکامن، در آن بود که در دومی هم از پیستون استفاده می‌شد و هم از خلأ؛ و به همین سبب هم آن را *ماشین فلسفی* می‌خواندند، زیرا ایجاد چنین دستگاهی را خارج از ادراک و تصور صنعتگران معمولی می‌دانستند.

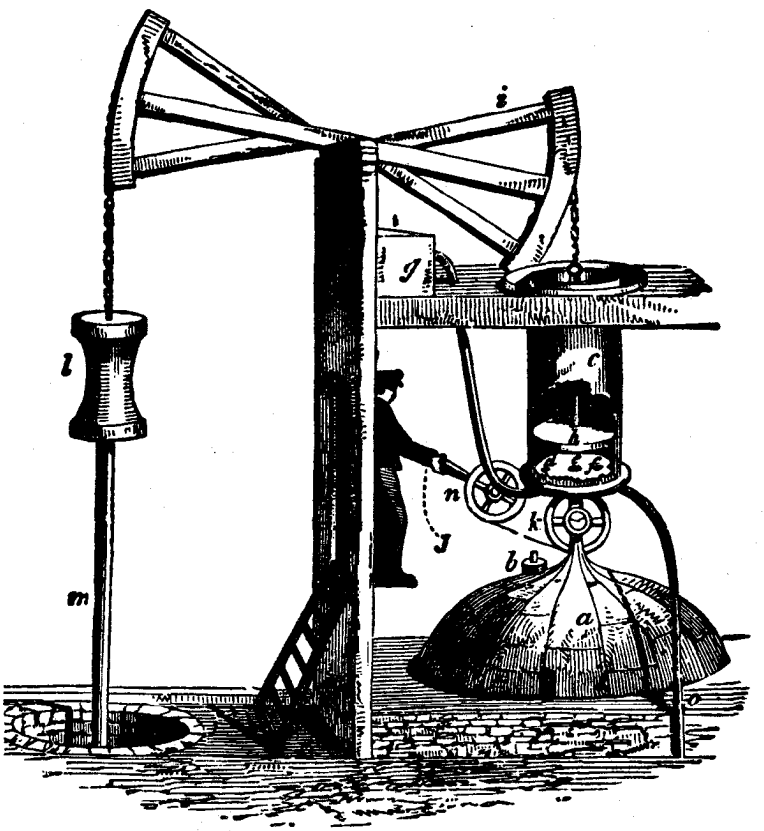
در موزه‌ی علوم *ساوث کنزینگتون* نمونه‌هایی از این دستگاه وجود دارد که هنوز هم می‌توان آنها را در حال کار کردن مشاهده کرد. جثه‌ی این ماشین‌ها بسیار بزرگ بود و ساختمان‌های وسیعی برای جا دادن آنها لازم بود. توان هر دستگاه به حدود چهار اسب می‌رسید. اگر هزینه به ازای هر اسب توان را در نظر بگیریم، کار با این ماشین‌ها بسیار گران تمام می‌شد، اما بالاخره باید کار را از جایی شروع کرد. بازده این دستگاه‌ها احتمالاً درحدود یک تا دو درصد بوده است اما در معدن زغال این نکته ایجاد گرفتاری نمی‌کرد، چون سوخت مجانی همواره در دسترس بود. در دقت و ظرافت ساخت هم چندان سخت‌گیری نمی‌شد، کافی بود پیستون و سیلندر آنقدر تنگ هم باشند که سکه‌ی شش پنی



شکل ۱۰۱.ماشین نیو کامن.

از بینشان رد نشود! برای غلبه بر مشکل لقّی سیلندر، به فکر استفاده از لایه‌یی آب در اطراف آن افتادند؛ در واقع با هر ضربه مقداری آب به پیستون وارد می‌شد که به عمل میعان کمک می‌کرد و آب بیشتری در قسمت بالای پیستون می‌ریخت.

در شکل ۱۰۲ طرح نسبتاً جدیدی از یک ماشین بزرگ دیده می‌شود. دیگ بخار این دستگاه یک دیگ معمولی تخمیر است. ساوری ناگزیر بود از وسایلی استفاده کند که فشارهای معتدل ۱:۲ یا ۱:۳ را تحمّل کنند. در عمق

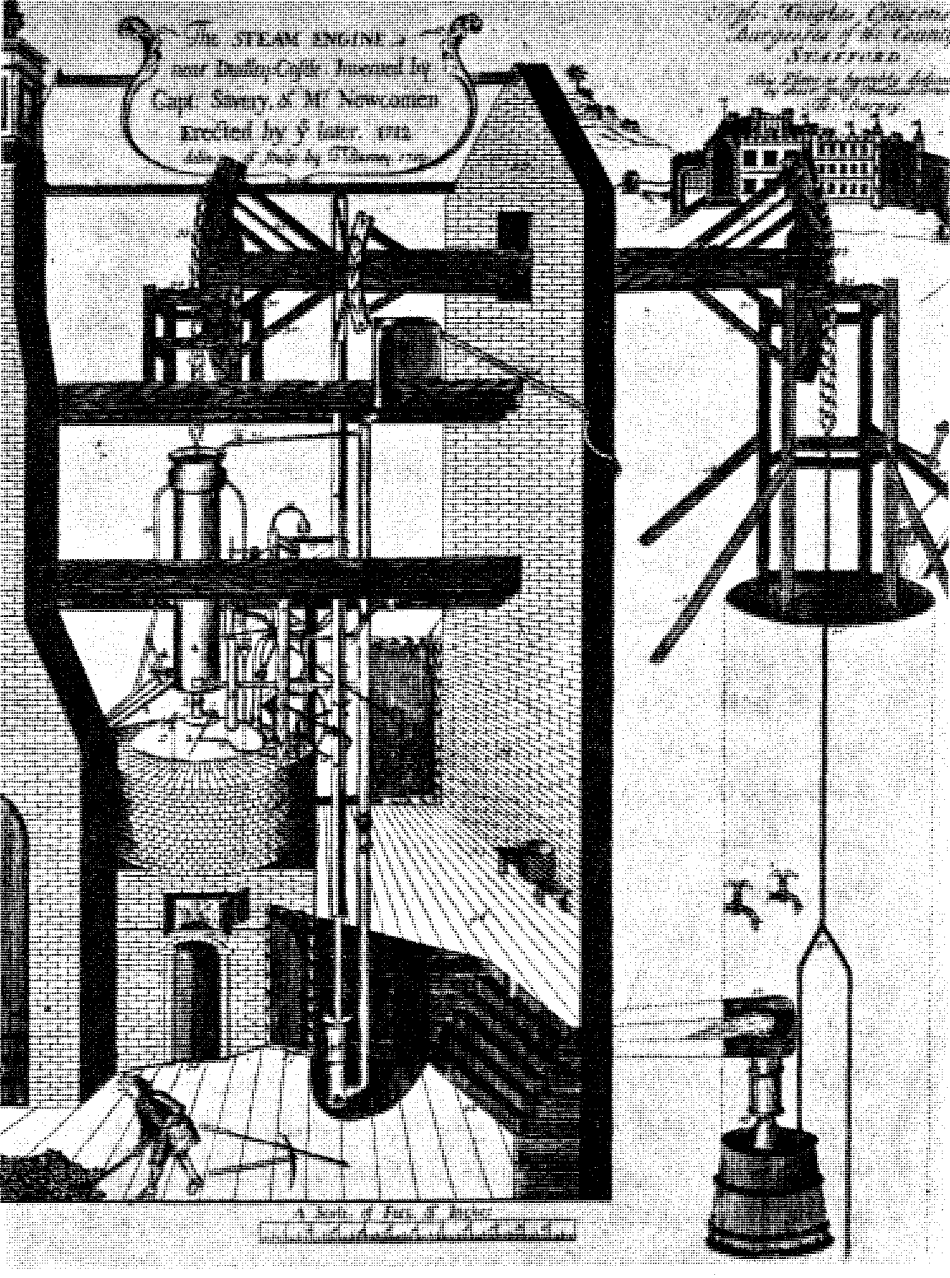


شکل ۱۰۲ـ ماشین ساوری، با استفاده از دیگ تخمیر.

بیست‌متری یک معدن، فشار دیگ به حدود دو برابر فشار جوّ می‌رسید. اما دستگاه نیوکامن از بخار آب با فشار اتمسفر استفاده می‌کرد، و کار با آن آسان‌تر و مطمئن‌تر بود. این دستگاه پیستون بزرگی داشت، و یک نفر مأمور باز کردن و بستن شیرهای آن می‌شد. کار این فرد بسیار دقیق و ظریف بود؛ چون می‌بایست دقیقاً زمان بستن و باز کردن شیرها را بداند، زیرا دمای آتش یکنواخت نبود و آب به دیگ بازمی‌گشت. وی ناچار بود مدام به حرکت میل‌لنگ چشم بدوزد و همراه با تغییر جهت آن، شیرها را باز وبسته کند. نکته‌ی جالب آن است که کار با شیر دستگاه‌هایی که با فشار کم کار می‌کردند، بسیار دشوارتر بود؛ چون تشخیص زمان تعویض آنها به‌آسانی میسر نمی‌شد.

در شکل ۱۰۳ گونه‌ی اندک بهبودیافته‌تری از همین دستگاه‌ها را که در سال ۱۷۱۲ ساخته شده است، می‌بینیم. در این دستگاه نوعی دنده برای شیرها به کار رفته است، که ضروری بوده و در تاریخ تکنولوژی اهمیت اساسی دارد، ولی در اینجا فرصتی برای تشریح آن نداریم. در این ماشین دیگر به آدمی که شیرها را باز و بسته کند نیاز نیست، و این عمل به طور خودکار صورت می‌پذیرد. برای به کار انداختن ماشین ساوری یک انسان مورد نیاز بود، اما در اینجا اصلاً وجود هیچ‌کس ضرورت نداشت. کاربرد دنده باعث شده است که ماشین به‌طور خودکار، و با آهنگی که به‌وسیله‌ی آهنگ تولید بخار مهار می‌شود، کار کند.

اینک از تکنولوژی به علم باز می‌گردیم. در سال ۱۷۱۲ همزمان با این پیشرفت‌های صنعتی، کار علم چندان رشد سریعی نداشت. در عصر بویل، اسبِ پیشرفت علمی به سرعت تاخته بود، فعالیت‌های عام روشنفکری انگلستان، در نیمه‌ی نخست سده‌ی هیجدهم به سطح نازلی سقوط کرد، ولی در نیمه‌ی دوم همان قرن سخت شکوفا شد. کار برخی از ماشین‌هایی که هم‌اکنون ملاحظه کردیم بسیار گران تمام می‌شد، اما روی‌هم‌رفته سودمند بود، و بعضی از آنها بدون تعویض و استراحت مدت ۱۵۰ سال کار کردند. معدنچیان از کار این



شکل ۱۰۳ـ ماشین نیوکامن که در سال ۱۷۱۲ در دادلی کسل نصب شد؛ اقتباس از گراوری ساخته‌ی بارنی، ۱۷۱۹.

دستگاه‌ها بسیار راضی بودند، و چندان به فکر تکمیل آنها نبودند. بسیاری از دانشمندان آن دوران با همین ماشین‌ها کار می‌کردند و در واقع، همین امر مبنای پیشرفت‌های بعدی شد.

گرمای نهان: جوزف بلک [1]

در آن عصر، در انگلستان آموزش علوم مطلقاً معمول نبود، ولی در اسکاتلند علم آموزی رواج داشت و دانشگاه‌های *ادینبورو* و گلاسگو دوره‌هایی برای آموزش فلسفه‌ی طبیعی گذاشته بودند. استاد درس شیمی در دانشگاه گلاسگو پزشکی بود به نام جوزف *بلک* که علاوه بر سایر کارهای خود، در خصوص ماهیّت گازها به مطالعات اساسی دست زده بود. امّا در اینجا دستاوردهای دیگر علم مورد نظر ماست. در یک روز نسبتاً سرد، هوا ناگهان اندکی گرم‌تر شد و تمام برف‌های بیرون از خانه‌ی او شروع به ذوب شدن کردند، و توجّه این دانشمند بدین نکته جلب شد که چرا تمام برف‌ها فوراً ذوب نمی‌شوند؟ دمای محیط به بالاتر از صفر می‌رسد، امّا برف به تدریج و کم کم ذوب می‌شود. چه علّتی در کار است که برف دفعتاً ذوب نمی‌شود؟ بلک برای دستیابی به پاسخ به آزمایش با یخ و برف پرداخت و به کشف گرمای نهان، یعنی گرمای موجود در آب، دست یافت. برای تبدیل یخ یا برف به آب، باید گرمایی در آن موجود باشد که باعث تغییر دمای آن نشود. بلک به پژوهش و دقّت در کار تقطیر الکل که تکنیک خیلی پیشرفته‌یی هم نداشت، پرداخت و متوجّه شد که برای انجام عمل تقطیر، حجم عظیمی از آب سرد را باید از روی لوله‌های دستگاه عبور داد. این همه گرما از کجا می‌آمد؟ گرمایی که به مایع موجود در دیگ داده می‌شد، در بخار می‌ماند و در چگالنده مجدّداً آزاد می‌شد.

وی موفّق شد میزان گرما را اندازه‌گیری کند و گرمای نهان ذوب یخ و میعان بخار آب و گرمای ویژه‌ی بسیاری از مواد مختلف را در محدوده‌ی

1- Joseph Black

وسیعی از دماهای متفاوت به دست آورد. مقدار گرمایی که برای تبخیر مقدار معینی آب لازم است، سه برابر ونیم گرمایی است که برای به جوش آوردن آن ضرورت دارد.[1]

وی به سخنرانی درباره‌ی این کشفیّات پرداخت، و برای انجام آزمایش‌های خود دستیاری پیدا کرد که خیلی هم دستیار نبود؛ او جیمز *وات* نام داشت. جیمز وات فرزند نجاری بود که کارش گرفته بود و خانه و کشتی می‌ساخت. جیمز برای فراگیری تولید ابزارهای ریاضی، عازم لندن شد و در ساختن زاویه‌یاب و زاویه‌سنج و دستگاه‌هایی نظیر آنها مهارت یافت. پس از آن به گلاسگو رفت تا در آنجا برای فروش این نوع محصولات، فروشگاهی دائر کند؛ امّا در گلاسگو تنها شهروندان ویژه چنین اختیاری داشتند، و او اجازه‌ی تأسیس فروشگاه نیافت.

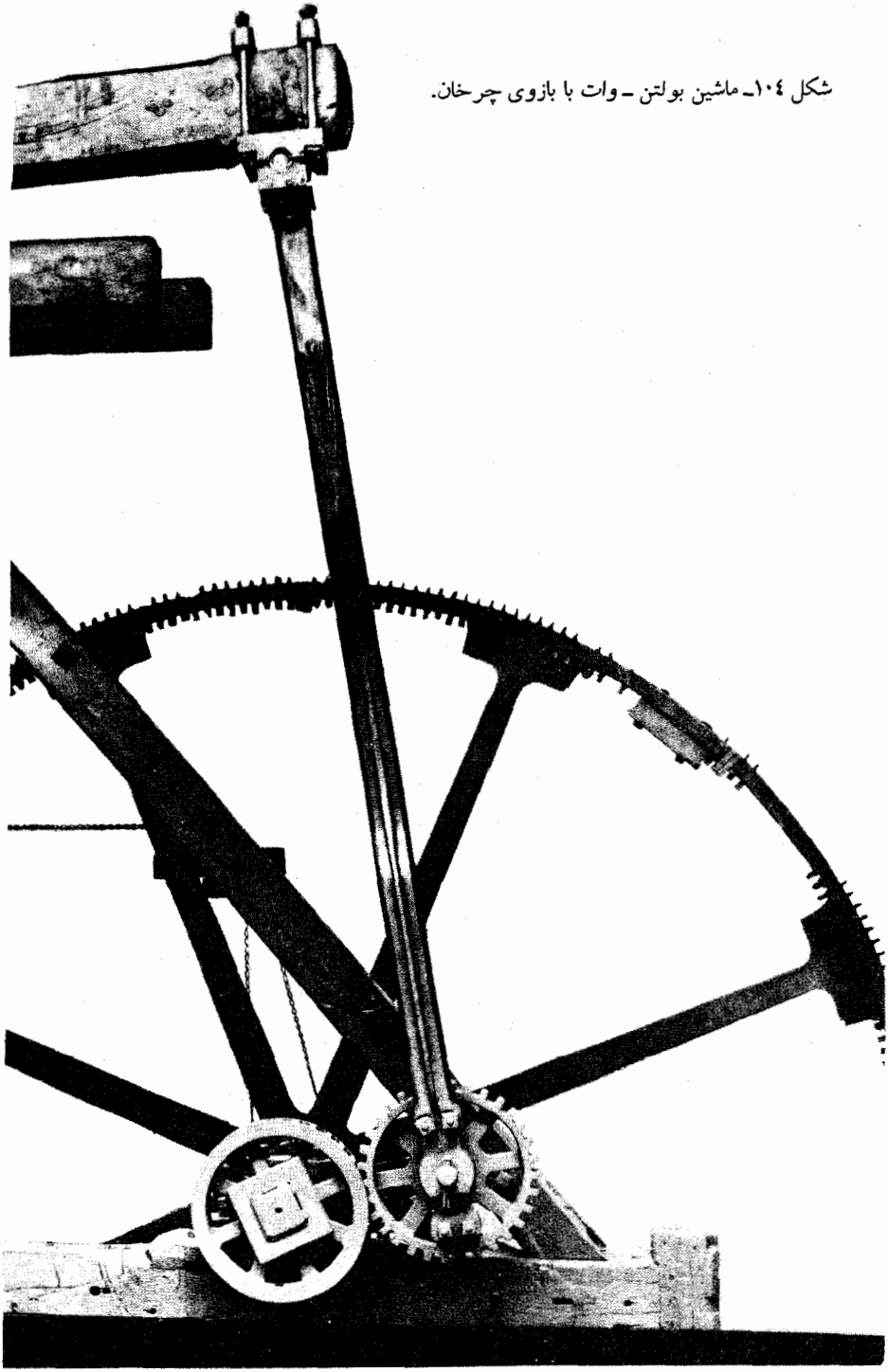
جیمز وات: چگالنده‌ی مجزّا

امّا، وات از پای ننشست. متوجّه شد که دانشگاه خارج از حوزه‌ی قوانین شهر گلاسگو است؛ پیشنهاد کرد که در ازای انجام خدمت، در محوطه‌ی دانشگاه اتاق کوچکی به وی بدهند. در بخش فلسفه‌ی طبیعی دانشگاه، نمونه‌یی از ماشین نیوکامن نصب کرده بودند که هر سال برای تدریس و نمایش اجزا و کار آن مورد استفاده واقع می‌شد، امّا هرگز عملاً به کار نمی‌افتاد. همیشه استاد به دانشجویان می‌گفت: «ماشین نیوکامن دستگاه بسیار جالبی است، حالا طرز کار آن را به شما نشان می‌دهم.» و بعد تلاش برای به کار انداختن ماشین

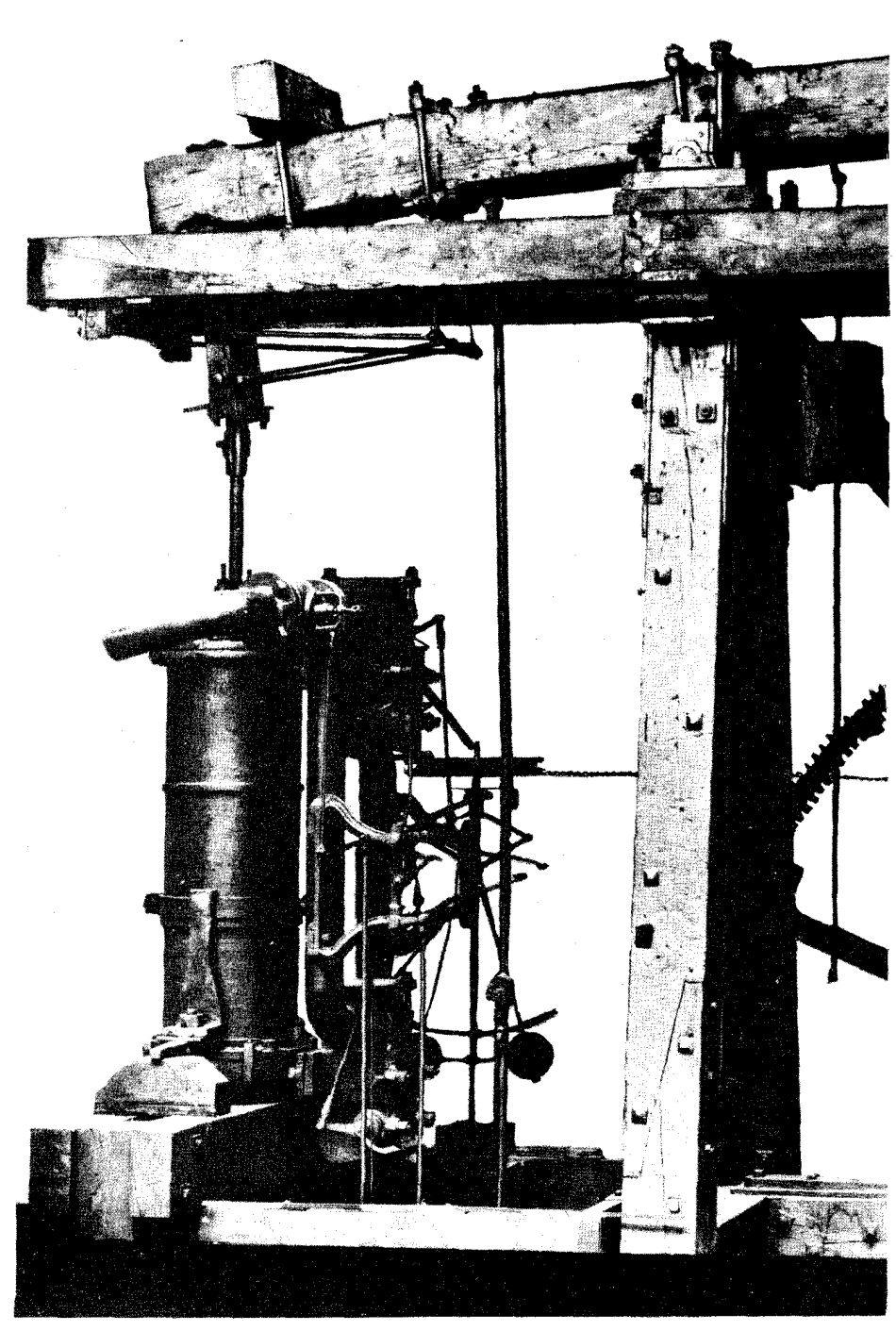
۱ـ باتوجّه به اینکه گرمای لازم برای به جوش آوردن یک‌گرم آب به دمای صفر درجه‌ی سانتی گراد در حدود یکصد کالری، و گرمای لازم برای تبخیر هر گرم آب صد درجه در حدود ۵۴۰ کالری است، این رقم در حدود ۵٫۴ برابر است. مگر آنکه منظور، ذوب مقدار معیّنی یخ و به‌جوش آوردن آن باشد، که در این صورت مقدار گرمای لازم=۱۸۰cal=۸۰+۱۰۰ برای هر گرم می‌شود و نسبت ۵۴۰ کالری به این مقدار در حدود سه برابر خواهد بود ــ م.

شروع می‌شد ولی هرگز به نتیجه نمی‌رسید. هم استاد، و هم بقیّه‌ی دست‌اندرکاران فکر می‌کردند در مکانیزم این دستگاه اشکالی وجود دارد. یک بار هم آن را برای تعمیر به لندن فرستادند، ولی در بازگشت همان داستان همیشگی باز هم تکرار شد. در سال ۱۷٦٤، این ماشین را برای تعمیر به جیمز وات سپردند، اما وی متوجه شد که این دستگاه محال است به کار بیفتد، چون تمام گرما به نحوی بسیار عجیب در آن مصرف می‌شود. وات در این نکته متحیر ماند تا زمانی که استاد بلک گرمای نهان را کشف کرد.

از این رو وات دست به ساختن یک مدل چگالنده زد، که تنها دستگاه ساخته‌ی اوست که امروز برجای مانده است. اندازه‌گیری ظرفیت این دستگاه او را به اصلاح بنیادی ماشین هدایت کرد. چگالنده به حسب ظاهر تفاوتی با اصل ماشین نداشت؛ امّا در سیلندرهای بزرگ، میزان اتلاف گرما در دیواره‌ها بسیار کم است و این میزان در دیواره‌ی سیلندرهای کوچک بسیار زیاد می‌شود. وات با قرار دادن پوششی از بخار در اطراف سیلندر، حتی در مقیاس بزرگ، بر این مشکل غلبه کرد. اما کار اساسی‌تر وی آن بود که به جای فرستادن آب به‌درون سیلندر، و خنک کردن تمام دستگاه و سپس گرم کردن کل مجموعه در مرحله‌ی بعد، بخار آب را در یک چگالنده‌ی مجزا سرد می‌کرد. در ماشین‌هایی که تا اینجا به شرح آنها پرداختیم، فاصله میان مراحل متناوب گرم کردن و سرد کردن دستگاه الزاماً زیاد بود، و در مدل کوچکی که وات ساخت، انجام این امر ناممکن می‌شد و چگالنده‌ی مجزا راه حل اساسی این مسئله به شمار می‌آمد. ماشین وات(شکل ۱۰٤) همان ماشین بازودار قدیمی بود که بازده گرمایی بیشتری داشت. بازده این دستگاه از دو درصد به حدود شش تا هفت درصد رسید، و این نکته دلیل تمایز آن شد. ماشین‌های قدیمی در معادن زغال به کار می‌افتاد، و چون در آنجا سوخت رایگان بود کسی نگران بازده ناچیز آن نبود؛ امّا کاربرد آنها در معادن قلع و مس هیچ صرفه‌ی اقتصادی نداشت.



شکل ۱۰۴ـ ماشین بولتن ـ وات با بازوی چرخان.



ماتیو بولتن[1]

زندگی وات با وجود توفیق‌هایی که وی در کار خود داشت، تلخ بود. او به همکاری با یکی از پیشگامان زمانه به نام *روباک*[2]، بنیان‌گذار صنعت شیمیایی نوین، و یکی از پایه‌گذاران صنایع آهن انگلستان، یعنی مجتمع صنایع آهن کارن[3]، در نزدیکی فالکِرک[4] اسکاتلند، پرداخت. وی اندیشه‌های درستی دربارهٔ صنعت در سر داشت، امّا از شمّ تجاری خوبی برخوردار نبود و طولی نکشید که مجتمع صنایع آهن ورشکسته شد. وات و ماشین او هم از جمله‌ی اموال روباک به حساب آمدند. روباک اهل بیرمنگام بود، و توجّه دوست خود بولتن، بزرگ‌ترین صنعتگر عصر را به ماشین وات جلب کرد. بولتن صاحب بزرگ‌ترین کارخانه‌ی دکمه سازی بیرمنگام بود و تا هنگامی که ابعاد کار وی گسترش نیافته بود، اشکالی در کار مؤسّسه‌اش به چشم نمی‌خورد؛ امّا همین که کار در ابعاد وسیع آغاز شد، نیاز به نیروی بیشتر او را به استفاده از مخزن آب در یک آسیاب واداشت. امّا بیرمنگام نه تپه ماهور داشت و نه آب کافی؛ و در نتیجه مخزن در فصل تابستان می‌خشکید. البتّه تابستان فصل خرمن بود و با متوقّف شدن کار، تعدادی از کارگران به کار در مزارع می‌پرداختند. وضع صنایع تا سال ۱۸۷۰ بر همین منوال بود.

روباک به وات پیشنهاد کرد که به کمک ماشین خود آب را از مخزن بالا بکشد و به درون مجرای آسیاب بریزد تا چرخ‌های دستگاه به گردش در آیند. وات پذیرفت، و سود بسیاری عاید بولتن کرد. این جریان در ذهن بولتن اندیشه‌یی را پروراند. نظر وی، یا بهتر بگوییم، نظرات مشترک بولتن و وات، از لحاظ علمی بسیار مهم بود. بولتن پول فراوانی به دست آورد، امّا انگیزه‌های بسیاری هم برای پیشرفت مطالعات علمی فراهم کرد. انگیزش برای

1- Matthew Boulton
2- Roebuck
3- Carron Iron Works
4- Falkirk

بـه‌راه انداختن کارها بسیار، ضروری بود؛ چون وات اسکاتلندی رؤیاپردازی بود که از پشتکار چندانی بهره نداشت. به قول خودش، تا سن هشتاد سالگی حتّی یک روز هم از دغدغه‌ی پول، آسوده نبوده است.

بولتن می‌خواست کالایی را به فروش برساند که هیچ کس تا آن هنگام نفروخته بود. این کالا چیزی جز نیرو نبود، و او عملاً هم همین کلمه را به کار می‌برد. او در نامه‌یی به کاترین، ملکه‌ی روسیّه نوشته بود: «من چیزی می‌فروشم که تمام جهان در جستجوی آن هستند: نیرو!» وی به معدنچیان کورن‌وال پیغام فرستاد که «شرکت بولتن و وات، حاضر است به طور رایگان ماشین‌های لازم را در معادن شما نصب کند، و به مدّت پنج سال انجام خدمات لازم را بر عهده بگیرد و در عوض تفاوت میان هزینه‌ی زغال لازم برای سوخت ماشین‌ها، و بهای یونجه‌ی ضروری برای خوراک اسبانی را که به اندازه‌ی ماشین‌ها کار می‌کنند، دریافت کند». صاحبان معدن طبعاً پیشنهاددهنده را دیوانه پنداشتند، ولی شرایط او را پذیرفتند.

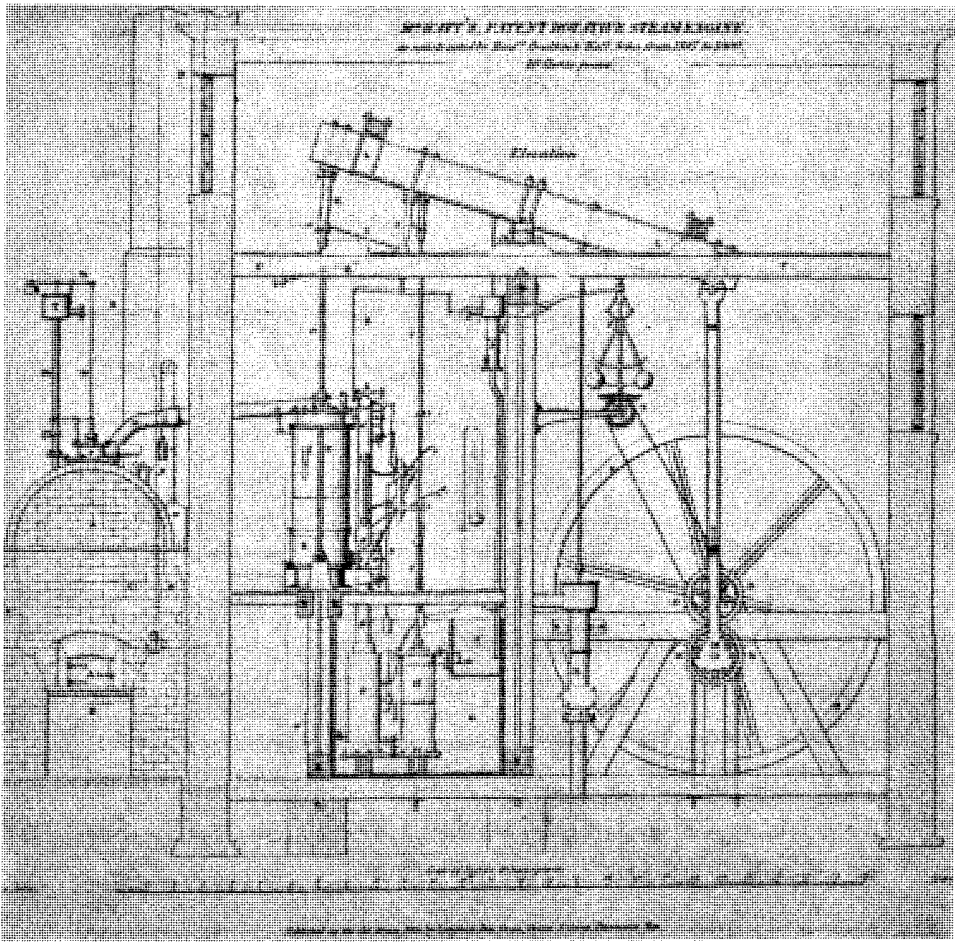
مسئله‌ی بحث‌انگیزی که پیش آمد تعیین میزان کاری بود که یک اسب می‌توانست انجام دهد. ابتدا باید مفهوم کار را معیّن کرد. گالیله و نیوتون هرگز درباره‌ی کار صحبتی نکرده‌اند. کار مفهوم غریبی است، لَختی نیست، و هیچ اصطلاح لاتینی برای نامیدن آن نداریم. البتّه دو اصطلاح در عمل معمول بود، که یکی از آنها یعنی «گاه ـ کار» حاصل‌ضرب کار در زمان بود و دیگر به کار نمی‌رود. وات با استفاده از اسبی که وزنه‌ی معیّنی را به کمک یک قرقره بالا می‌کشید، مقدار کار آن را اندازه گرفت. تعبیر کار به صورت حاصل‌ضرب نیرو و تغییر مکان،و تعبیر توان به صورت آهنگ انجام کار از آنِ اوست. تمام این مفاهیم بنیادی فیزیک و ترمودینامیک، کلّاً از جریان کارهای عملی صنایع منچستر و بیرمنگام به دست آمدند، و به طوری که بعداً خواهیم گفت، در لندن در ابتدا از آنها بی‌خبر بودند. وات هوشمندانه نتایج آزمایش‌های خود را ثبت کرد و با اعمال نفوذهای سیاسی مختلف، انحصار آنها را به مدّت چهل سال به خود اختصاص داد، و از دخالت دیگران در این پیشرفت‌ها جلوگیری کرد. امّا

البتّه کسانی هم بودند که دست به تقلّب می‌زدند و راه گریزی برای مجاز کردن فعالیت‌های خود می‌یافتند.

در این اثنا، مشکل دیگری پیش آمد. کار معادن به خوبی پیش می‌رفت، ولی پس از سپری شدن ده سال نخست استفاده از ماشین، غرولند معدنچیان در مورد پرداخت پول به بولتن و وات شروع شد. شرایط آغاز کار از یادها رفته بود و کسی نمی‌خواست تا ابد به یک شرکت پول بپردازد. البتّه دیگر کسی خواهان کاربرد اسب نبود، و همه به دنبال استفاده از ماشین بودند، امّا عیب مهم ماشین‌های آن روزی این بود که نمی‌توانستند چیزی را بچرخانند و دلیل این اشکال، بی‌نظمی حرکت سیلندرها بود. در این مورد هم وات با دو تدبیر اوضاع را به کلّی دگرگون کرد.

در شکل ۱۰۴ اصل یکی از نخستین ماشین‌های چرخشی را می‌بینیم، که از ترکیب همان ماشین‌های بازودار قدیمی با یک جزءِ چرخان حاصل شده است. جزءِ چرخان، ترکیب جالبی است که دنده‌ی خورشیدی ـ سیّاره‌یی خوانده می‌شود. دنده‌ی سیّاره‌یی که به دور خورشیدی می‌گردد، چرخ ماشین را با سرعتی معادل نصف سرعت خورشیدی به گردش در می‌آورد. ممکن است این پرسش پیش بیاید که چرا وات از میل‌لنگ برای این منظور استفاده نکرد؟ و پاسخ این است که امتیاز استفاده از میل‌لنگ را فرد دیگری به نام خود ثبت کرده بود. وات آنقدر از این نکته خشمگین بود که تصمیم گرفت از میل‌لنگ استفاده نکند، و حق امتیاز هم نپردازد. البتّه بعداً در این ماشین‌ها از میل لنگ استفاده شد؛ من نمی‌دانم چرا، احتمالاً مدّت امتیاز آن سپری شده بود. بدین‌ترتیب نخستین ماشین مجاز مدرن که موتور چرخان واقعی به حساب می‌آمد، ساخته شد و کارخانه‌های جدیدی که به ماشین آلات چرخان بیش از تلمبه کردن آب نیاز داشتند، به این دستگاه‌ها مجهّز شدند.

امّا، یک جزء دیگر این ماشین‌ها برای آینده بسیار اهمیّت داشت. می‌توان آن را چیزی دانست که فرایند دورانی را امکان‌پذیر کرد؛ این قسمت از دستگاه، ناظم مرکزگریز بود. اگر «ناظم» را به زبان یونانی



شکل ۱۰۵ـ ماشین بخار چرخان دو کاره‌ی وات، ۱۷۸٤؛ در سمت راست تصویر دنده‌ی خورشیدی ـ سیّاره‌یی دیده می‌شود

برگردانیده، می‌شود کیبرنِتس[1]، که به معنی اداره کردن و نظارت کردن است. ناظم دریچه‌ی ورود بخار به سیلندرها را بر حسب سرعت اجزای گردنده‌ی ماشین تنظیم می‌کرد. پس می‌توان آن را نخستین نمونه‌ی فیدبک (واگهی یا پسخوراند) واقعی دانست. ابتکار دیگر وات آن بود که به جای آویزان کردن سیلندر از بازوی ماشین، آن را مستقیماً به بازو وصل کرد تا همراه با آن بالا و پایین رود. ماشین‌های قبلی همه براساس کشش بار یا وزنه کار می‌کردند، و به‌طور متناوب این سر یا آن سر میله یا طنابی را می‌کشیدند و نمی‌شد آنها را به جلو راند. اما به کمک دنده این امر ممکن شد.

شکل ۱۰۵ ماشین بخاری را نشان می‌دهد که در یک آسیاب بزرگ به کار می‌رفته است؛ این موتور بخار دیگر دنده‌ی خورشیدی- سیّاره‌یی و ناظم داشت و دوسویه کار می‌کرد، سیلندری داشت که امکان ورود بخار را از هر دو سو فراهم می‌آورد و در واقع ماشینی بود با بازده بسیار خوب.

لوکوموتیو

تمام پیشرفت‌هایی که تا اینجا در خصوص آنها بحث کردیم، جز اختراع چگالنده، تنها بر اندازه‌گیری گرمای نهان و گرمای ویژه توسّط بلک متکی بودند و پیوند دیگری با علم گرما نداشتند؛ امّا واقعیت شگفت آن است که ترمودینامیک نوین کلاً از بطن ماشین بخار زاده شد و نه برعکس. گام بعدی را در همان ایّام شخصی به نام تِره‌وی‌تیک[2] برداشت، و با پیشرفت‌هایی معاصر بود که ما تا اینجا در خصوصشان بحث کرده‌ییم. تِره‌وی‌تیک فرایند را به‌کلّی معکوس کرد؛ بدون آنکه نگران چگالنده باشد، درباره‌ی کنش مستقیم به فکر پرداخت. به نظرش رسید که اگر فشار بخار زیاد باشد کار دستگاه چگونه

1- kybernetes

2- Trevithick

مهندس و مخترع انگلیسی که در اصلاح و تکمیل تلمبه‌های معدنی و موتورهای بخار سهم مهمّی داشت و نخستین لوکوموتیو بخاری را اختراع کرد (۱۸۳۳-۱۷۷۱).

خواهد بود. تمام ماشین‌های موجود با بخار کم فشار کار می‌کردند. مزیّت وجود چگالنده نسبتاً کم بود و بنابراین، لازم بود که از فرایند بسیار ابتدایی ورود بخار به داخل سیلندر بهره گرفته شود: بالا کشیدن پیستون، دادن اجازه‌ی ورود بخار و خارج کردن دوباره‌ی آن. از این شیوه در آسیاب‌ها و کارخانه‌هایی که ناگزیر بودند در مصرف زغال صرفه‌جویی کنند خیلی استفاده نمی‌کردند، امّا همین روش منجر به پیدایش ماشین‌های بسیار کوچک‌تر شد. ماشین‌های موجود در آن زمان خیلی بزرگ بودند. ماشین بخار وات می‌توانست توانی در حدود بیست اسب داشته باشد، امّا برای کاربردهای معمولی بسیار سنگین بود. بدین ترتیب نیاز به ماشینی که بتواند از جای خود حرکت کند، حس می‌شد. نوع این ماشین ناگزیر باید با انواع ماشین‌های موجود بسیار متفاوت باشد و تره‌وی‌تیک برای رفع این نیاز ماشینی ساخت که می‌توانست اجسام مختلف را به سرعت به این سو و آن سو ببرد، اما بازده ناچیزی داشت.

پیدایش این نوع ماشین مقدّمه‌ی ظهور راه‌آهن بود. نصب ریل، کار تازه‌یی نبود؛ قدمت آن به عهد باستان می‌رسید، که البتّه ریل‌های آن زمان همه چوبی بودند. ریل در آغاز کار در معادن نصب می‌شد، امّا در مناطقی مانند نیوکاسل ریل‌ها را تا ساحل دریا ادامه می‌دادند، تا واگون‌های زغال پس از بارگیری در معدن بتوانند بار خود را بر روی ریل تا اسکله‌ها حمل کنند و در کشتی‌ها بارگیری شود. در معادنی هم که بر روی ارتفاعات واقع بود، این واگون‌ها بر روی ریل به سمت پایین حرکت می‌کردند و بعد با نیروی یک ماشین بخار ثابت به بالا کشیده می‌شدند.

یکی از کسانی که با این ماشین‌ها کار می‌کرد، به نام *استیفنسون*[1]، پسری داشت جورج نام که معتقد بود می‌توان این روش را اصلاح کرد. این پسر در مقایسه با دانشمندانی مانند وات، بی‌سواد و عامی به حساب می‌آمد. وات بر

1- Stephenson

فیزیک، مکانیک، و شیمی احاطه داشت؛ ولی استیفنسون با این علوم به کلّی بیگانه بود. او درس‌های خود را از روی بیلی آموخت که پدرش با آن زغال‌ها را در آتشخانه‌ی ماشین بخار می‌ریخت؛ امّا وی فکرهایی در سر داشت؛ به صنعتگر برجسته‌یی بدل شد و ماشین کوچکی ساخت؛ یک موتور لوکوموتیو کوچک. بسیاری از صنعتگران و دانشمندان آن زمان دست به ساختن این گونه ماشین‌ها می‌زدند، و دستگاه‌های ساخته‌ی آنها اساساً همان ماشین‌های بازودار بود، که در وهله‌ی اوّل صرفاً چرخ‌ها را به چرخش در می‌آوردند. کسی نمی‌دانست آیا در ضمن حرکت، چرخ‌ها می‌چرخند یا می‌لغزند؛ چون تا آن هنگام کسی با چرخاندن چرخ به جا به جا کردن چیزی اقدام نکرده بود. امّا استیفنسون ماشین خود را عملاً با سرعتی در حدود سه تا شش کیلومتر در ساعت به حرکت درآورد، و خود در کنار آن راه می‌پیمود و جانوران را از روی ریل کنار می‌زد. از این دستگاه استقبالی به عمل نیامد، به‌خصوص که با سر و صدا به تخلیه‌ی بخار می‌پرداخت و باعث رمیدن اسب‌ها می‌شد، و زمین‌داران محلی خواهان ممنوع کردن کاربرد آن شدند.

استیفنسون برای جلوگیری از سر و صدایی که اسب‌ها را رم می‌داد، لوله‌ی خروج بخار را به دودکش متصّل کرد و با شگفتی متوجّه شد که سرعت لوکوموتیو چند برابر شد. تا آن زمان کسی با آن سرعت که از سرعت حرکت اسبان چالاک هم بیشتر بود، حرکت نکرده بود. لوکوموتیو وارد میدان عمل شد، و همین امر به پیشرفت دیگری منجر شد. در ۱۸۲۸، یک مهندس فرانسوی به نام *سادی کارنو*[1]، که بر عکس استیفنسون تحصیل کرده بود، پس از تفکّر در مورد چگونگی تبدیل انرژی آتش به انرژی حرکتی چرخ‌ها، کتاب کوچکی با عنوان *تفکّراتی در باب قدرت محرّکه‌ی آتش*[2] تألیف کرد که کلّ علم ترمو دینامیک بر پایه‌ی آن پایه‌گذاری شد. وی

۱ـ سادی همان تلفظ سعدی در زبان‌های اروپایی است. پدر سادی به خاطر علاقه‌یی که به اشعار سعدی داشته، نام این شاعر ایرانی را بر روی پسرش گذاشته است.

2- Réflexions sur la Puissance Motrice du Feu, Paris, 1824.

کار مطالعه را با تحقیق بر روی لوکوموتیو آغاز کرد، امّا به تأمّل در کار ماشین‌های ساده‌ی پیشین هم توجه کرد، که در آنها چگالنده‌یی وجود داشت که گرما پس از انتقال به آب و تبدیل شدن آب به بخار، به آن وارد می‌شد. تمام انرژی گرمایی مجدداً به چگالنده باز نمی‌گشت، بلکه بخشی از آن به‌صورت انرژی حرکتی در می‌آمد. تعبیر گرما به‌صورت حرکت، نکته‌ی تازه‌یی نبود و عمر آن به عصر کهن‌سنگی می‌رسید؛ در آن زمان مردم با ساییدن قطعات چوب به یکدیگر آتش درست می‌کردند. همه‌ی مردم از این موضوع آگاه بودند ولی نخستین کسی که به تدوین آن پرداخت، فرد غریبی بود که *بنجامین تامسون (کُنت رامفورد)*[1] نام داشت. وی در ضمن همان کسی بود که مؤسسه‌ی سلطنتی را بنیاد نهاد. وی مقدار گرمایی را که در هنگام سوراخ کردن لوله‌های توپ ایجاد می‌شد، اندازه‌گیری کرد و معادل مکانیکی گرما را در حدی تقریبی به دست آورد. کارنو هم در جزوه‌یی که قبلاً از آن یاد کردیم، در قانون اوّل ترمودینامیک، به معادل مکانیکی گرما پرداخته بود و در قانون دوّم ترمودینامیک تناسب بازده هر ماشین را با اختلاف دمای چگالنده و دیگ بخار نشان داده و در جدول‌هایی ثبت کرده بود. در این کتاب نکته‌یی را دریافتم که به‌نظرم کس دیگری به آن توجه نداشته است. با استفاده از جدول‌های این کتاب می‌توان معادل مکانیکی را در حالتی که دمای دیگ نامحدود است، محاسبه کرد. بدین‌ترتیب می‌شود مقدار معادل را با روشی معکوس به‌دست آورد. اهمیّت این نکته در آن است که هرچند مرتباً اصلاحاتی در ماشین‌ها اعمال می‌شد، کسی نظریه‌یی در خصوص آنها عرضه نمی‌داشت، و پیشرفت‌های بعدی را پیش‌بینی نمی‌کرد. موضوع بازده ماشین‌ها هم اندیشه‌یی بود که توسّط کارنو ارائه شد و کلّ موضوع نظریه‌ی گرما و علم ترمودینامیک، و اساساً کلّ فیزیک نوین بر شالوده‌ی آن پا گرفت.

یک شاخه‌ی مهم دیگر از علم فیزیک مانده است که باید به آن بپردازیم؛ و آن عبارت است از الکتریسیته و مغناطیس.

1- Benjamin Thompson (Count Rumford)

۱۱

الکتریسیته و مغناطیس

اکنون باید در خصوص یک جنبه‌ی دیگر از شکل‌گیری فیزیک کلاسیک صحبت کنیم و آن الکتریسیته و مغناطیس است. تا اینجا شاهد جدایی از فیزیک کلاسیک قدیمی، یعنی فیزیک یونانی بوده‌ییم، که عمدتاً با نجوم و تا حدودی هم با نور و حرکت سر و کار داشت. حال به پدیده‌هایی می‌پردازیم که هرچند از دیرباز مورد توجّه بوده‌اند، امّا در زمان‌های پیش در آنها پژوهشی دقیق صورت نگرفته بود. به همین دلیل پدیده‌های جدیدی به شمار می‌آیند.

قبلاً کمی در باب خواصّ بنیادی مغناطیس سخن گفته‌ام، و حالا دیگر کم‌تر به آن می‌پردازم. به مغناطیس احتمالاً از هنگام کشف آهن توجّه شده است، چون سنگ سیاه آهنربا یا به اصطلاح سنگ مغناطیس در مناطقی وجود داشت که در آنجا آهن یافت می‌شد. بعداً، که خواصّ این سنگ به‌طور

مستقیم کشف شد آن را آهنربا یا مغناطیس طبیعی نامیدند. حتّی امروز هم به درستی نمی‌دانیم آهنربا خاصیت مغناطیسی را چگونه پیدا می‌کند. این امر در علوم بی‌سابقه نیست. در برخی موارد مبحثی به تفصیل مورد مطالعه قرار می‌گیرد، و اصول آن محقق می‌شود، امّا تحلیل مشاهدات عملی که به مطالعه‌ی آن پدیده می‌انجامید میسر نیست. در مورد الکتریسیته و کهربا هم وضع به همین منوال بود.

نخستین کشف علمی مهم در مورد مغناطیس، کشف نیروی جهت‌دار بود که همراه با تشخیص خواص مغناطیسی کره‌ی زمین صورت گرفت، و من در این باب قبلاً صحبت کردم. این خاصیّت را ابتدا چینی‌ها بازشناختند؛ از چین به اروپا راه یافت، و در سال ۱۲۶۹، *پطرُس زائِر* اولین رساله‌ی علمی را در موضوع مغناطیس نوشت. در این رساله خواصّ معمولی آهنربا، یعنی القای مغناطیسی توضیح داده شده است. به این معنی که هرگاه آهنربایی به دو قطعه تقسیم شود، به دو آهنربا با دو جفت قطب تبدیل خواهد شد؛ و همه‌ی چیزی که در این باب می‌دانستند همین بود.

رابرت نورمن[1]

نکته‌ی تازه‌یی که تا پایان قرن شانزدهم ناشناخته ماند، میلِ مغناطیسیِ عقربه‌ی قطب‌نما بود. مانند بسیاری از کشف‌هایی که در طول تاریخ صورت گرفته است، میل مغناطیسی هم در جریان عمل کشف شد. در ایّام پیش برای ساختن قطب‌نما ابتدا عقربه‌یی از جنس آهن می‌ساختند، و آن را از طریق مالش به سنگ مغناطیس، آهنربا می‌کردند، و آنگاه در نوک سوزن باریکی به حالت تعادل درمی‌آوردند. امّا هنگامی که گرانیگاه عقربه را روی نوک سوزن می‌گذاشتند، یک سر آن، که معمولاً قطب شمال بود، به پایین شیب پیدا می‌کرد؛ برای ایجاد موازنه، لازم می‌آمد که وزنه‌یی در انتهای دیگر عقربه قرار

1- Robert Norman

دهند. صنعتگران بدون توجّه به‌علّت این موضوع، سیصد سال قطب‌نما می‌ساختند تا آنکه سرانجام، یکی از آنان، رابرت نورمن نامی، با انجام آزمایشی مشکل را حل کرد و قطب‌نمایی ساخت که عقربه‌ی آن در صفحه‌ی قائم می‌چرخید، و او به کمک آن میل مغناطیسی را کشف کرد. وی این خاصیّت را *جاذبه‌ی جدید* نامید، که به معنای یک قدرت جاذبه‌ی جدید آهنربا بود؛ چون عقربه‌ی قطب‌نما، هم به پایین و هم به سمت شمال جذب می‌شد. مطالب کتابی که او در این باره تألیف کرد، بعدها مصالح پژوهش‌های گیلبرت را تشکیل داد. هرچند کار نورمن با استقبال دانشمندان مواجه شد، امّا در چارچوب سنّت‌های علمی فرهیخته جای نمی‌گرفت، و در واقع هم وی به هیچ حلقه‌یی از دانشمندان فرهیخته تعلّق نداشت. اینک از کتاب وی قطعه‌یی نقل می‌کنیم که در آن نظر خود را در خصوص علم بیان می‌کند. به نظر وی کار هر کارگر معمولی، که درمورد کار خود به زبان انگلیسی مطلب می‌نویسد، با کار دانشمندان که به‌صورت کلاسیک آموزش دیده‌اند، تفاوتی ندارد.

«ممکن است ریاضی‌دان‌های باسواد بگویند، و برخی از آنها هم نوشته‌اند، که این موضوع مانند موضوع اندازه‌گیری طول جغرافیایی نیست، که صنعت‌گران و دریانوردان بتوانند در آن مداخله کنند؛ چون به استدلال‌های هندسی و محاسبات ریاضی نیازمند است و صنعت‌گران و دریانوردان از این علوم سررشته‌یی ندارند، یا دست کم به حدّ کافی در این زمینه‌ها ماهر نیستند. امّا من جدّاً فکر می‌کنم هرچند دانشمندان متخصّص با کند و کاو در کتاب‌ها می‌توانند موضوعات مهمّی را به تصوّر درآورند و اندیشه‌های دورپرواز خود را به‌صورت ملموس عرضه کنند،[1] و با لحن حق به جانب آرزو کنند که ای کاش همه‌ی صنعت‌گران از اندیشه و دانش آنها بهره برگیرند، و با کاربرد آنها ذوق خود را شکوفا کنند، امّا در این سرزمین صنعت‌گران بسیاری هم هستند که در زمینه‌های حرفه‌یی و تخصصی خود، این فنون و اطّلاعات را عملاً به کار می‌برند و در جهت هدف‌های مختلف از آنها استفاده می‌کنند و در این راه استعداد و شایستگی آنها از کسانی که ملامتشان می‌کنند بسیار بیشتر است».[1]

1- Robert Norman, *The New Attractive*, London, 1581.

ویلیام گیلبرت[1]

مرد بسیار فرهیخته‌یی بود به نام ویلیام گیلبرت، که در باره‌ی مغناطیس تحقیق می‌کرد. او کتابی در این خصوص تألیف کرد، که در واقع آغازگر کلّ علم مغناطیس بود. کتاب گیلبرت نخستین کتاب واقعاً علمی در خصوص یک موضوع علمی است، و به نحو مناسبی تنظیم شده است. در نخستین فصل آن، نوشته‌های قدما در مورد ماهیّت آهنربا، و چگونگی کشف سنگ مغناطیس بررسی می‌شود. در مقدّمه‌ی کتاب دفاعیه‌یی پیرامون فلسفه‌ی طبیعی عنوان می‌شود، که فکر می‌کنم بهتر باشد عیناً آن را در اینجا نقل کنم. این مقدمه در اصل به زبان لاتینی است و بعدها به انگلیسی ترجمه شده است:

«فلسفه‌ی طبیعی، موضوع تقریباً نویی است که پیش‌تر نامی از آن در میان نبود. تعداد نویسندگانی که شرحی هرچند ناچیز در خصوص پاره‌یی از نیروهای مغناطیسی نوشته باشند انگشت‌شمار است. از این رو، ما در این کتاب ابداً از گفته‌های قدما یا یونانیان برای اثبات نظرمان کمک نمی‌گیریم، زیرا نه استدلال‌های بی‌مایه‌ی یونانی‌ها می‌تواند حقیقت را هوشمندانه‌تر بنمایاند و نه اصطلاحات یونانی، مؤثرترند. نظری که ما در مورد سنگ مغناطیس داریم با اکثر اصول و قضایای یونانی در تعارض است. نیز در این اثر به شعار دادن و لفّاظی نمی‌پردازیم، بلکه صرفاً به مشکل غامضی می‌پردازیم که ماهیّت آن بر کم‌تر کسی روشن است و سبک و واژگانی را به‌کار می‌بریم که درخور موضوعات مطروحه باشد و آنها را قابل فهم سازد. بدین ترتیب از بعضی کلمات تازه و ناشناس استفاده می‌کنیم امّا نه بدان منظور که مانند کیمیاگران پرده‌یی از اصطلاحات فضل‌فروشانه بر حقایق بکشیم و در ابهام نگهشان داریم، بلکه بدان منظور که پدیده‌های پنهان و بی‌نام و نشان را که در معرض توجّه نبوده‌اند کاملاً و به سادگی آشکار کنیم.»[2]

این دو بیانیه که تقریباً همزمان با یکدیگر انتشار یافتند، علی‌رغم تفاوت‌های ظاهری اندک، از روحیه‌ی واحدی برخوردارند. گیلبرت برای اینکه

1- William Gilbert

2- W. Gilbert, *De Magnete*, 1st edition, 1600, translated by P. Fleury Mottelay, 1893, Dover, New York, 1958.

به طور تجربی، منطق وجود مغناطیس زمینی را نشان دهد، مدل کوچکی از زمین ساخت و آن را تِرِلّا[1] نامید، و با قرار دادن قطب‌نماهای کوچکی در اطراف آن وجود میدان مغناطیسی را توضیح داد و چگونگی نقش آن را در تعیین جهت مشخص قطب‌نماها روشن کرد. وی خاطرنشان کرد که شدت میدان مغناطیسی در نزدیک دو قطب بیشتر از جاهای دیگر است:

«... عظیم‌ترین قدرت جاذبه در دو قطب حس می‌شود، در حالی که محل بروز قدرت جاذبه‌ی ضعیف، نقاط روی خط استواست. میزان قدرت این نیروی نظام‌دهنده و چرخان و میل تقارب اجسام مغناطیسی نیز، مانند زاویه‌ی میل مغناطیسی هر قدر به سوی قطب پیش‌تر برویم بیشتر می‌شود. در نقاط دور از قطب، سنگ مغناطیسی، آهن را در امتداد خط راستی که به سوی مرکز کشیده می‌شود جذب نمی‌کند بلکه آن را به طور مایل به سوی خود می‌کشد...»[2]

وی با اشاره به نکاتی مقدّماتی مانند این نکته که نیروی مغناطیسی آهنربای میله‌یی از نیروی آهنربای کروی بیشتر است، نشان می‌دهد که از جنبه‌های هندسی موضوع بااطّلاع است. امّا خصیصه‌ی اصلی کار او برخورد تجربی با این مبحث است. نکته‌ی جالبی که بعداً هم مورد بررسی واقع می‌شود، آن است که پس از گیلبرت، تا پایان سده‌ی هیجدهم که کولن مطالعات خود را در مورد مغناطیس آغاز کرد، هیچ پیشرفت دیگری در علم مغناطیسی روی نداد.

گیلبرت تنها به پژوهش در مورد مغناطیس بسنده نکرد، بلکه پیش‌تر رفت. وی متوجّه شد که جز جاذبه‌ی آهنربایی، انواع جاذبه‌های دیگری هم وجود دارد که بسیار ضعیف‌ترند او به عوض استفاده از ستون مغناطیسی با قرار دادن یک پر کاه بر روی نوک سوزن، عملاً مشاهده کرد که جاذبه‌ی موجود در بعضی اشیا، پر کاه را به سوی خود جذب می‌کند. برای توجیه این پدیده دلایل بسیاری در ذهن او ردیف شد؛ یکی از آن دلایل امکان پیدایش خواصّ

۱ـ تقریباً یعنی زمینک. ـ م.

۲ـ همان منبع.

الکتریکی در کهربا بود. این خاصیّت به‌هنگام مالش کهربا ظهور می‌کرد. البتّه وجود نیروی جاذبه در کهربا موضوع تازه‌یی نبود، امّا گیلبرت اوّلین کسی بود که نشان داد این جاذبه از نوع جاذبه‌ی سنگ مغناطیس است، و از همان قواعد پیروی می‌کند. ظاهراً بین این دو نیرو هیچ ارتباط مستقیمی وجود نداشت، چون جاذبه‌ی کهربا تنها بر آهن تأثیر نمی‌نهاد، بلکه بر همه‌ی اشیا اثر می‌گذاشت ولی عملکرد بسیار ضعیفی داشت. همین تأثیر بسیار ضعیف باعث پیدایش قدرت عظیم الکتریسیته‌ی امروزی شد، ولی راه رسیدن به این نتیجه، نامنتظر بود.

اجازه بدهید پیش از هر چیز ببینیم گیلبرت چگونه از کشف خودش در مغناطیس بهره گرفت. وی به‌بررسی خواصّ آهنرباهای مقید به‌کره‌ی زمین قناعت نکرد؛ وی در پی عملکرد آهنربا در سایر کرات آسمانی برآمد و به این نتیجه رسید که یک مغناطیس فراگیر و نافذ وجود دارد. زمین یک آهنربا بود و احتمالاً تمام سیارات دیگر آهنربا بودند؛ خورشید باید آهنربا باشد و کلّ فرایند منظومه‌ی شمسی، منظومه‌ی کپرنیکی، در واقع نوعی ماشین مغناطیسی بود، که نیروهای مغناطیسی همه چیز را در آن کنار هم نگه می‌داشتند. قصد وی آن بود که براساس این فرضیه‌ها تصویر جدیدی در خصوص منظومه‌ی شمسی ارائه کند. تا سال ۱۶۰۰، هنوز از نظرات کپلر و گالیله خبری نبود. نظرات گیلبرت تا آنجا که به نیروهای خاصّ مربوط می‌شد یکسره غلط بود. به‌عقیده‌ی او حرکت سیّارات، عملاً بر اثر نیروی مغناطیسی صورت می‌گرفت. می‌دانیم که این نکته ابداً صحیح نیست. امّا نظرات او از یک لحاظ از زمان خود بسیار پیش بود،چون امروز همه می‌دانیم که در فضا نیروهای مغناطیسی وجود دارد، که البتّه به اجرام صلب ربطی ندارند بلکه به‌ابرهایی از ذرات مغناطیسی مربوط می‌شوند. نکته آنجاست که گیلبرت همه‌ی پدیده‌ها را به مغناطیس نسبت می‌داد و به‌همین دلیل بیکن در این زمینه‌ها سخت بر او می‌تاخت و می‌گفت وی چون به این موضوع بسیار علاقه‌مند است همه‌ی دنیا را وابسته بدان می‌پندارد.

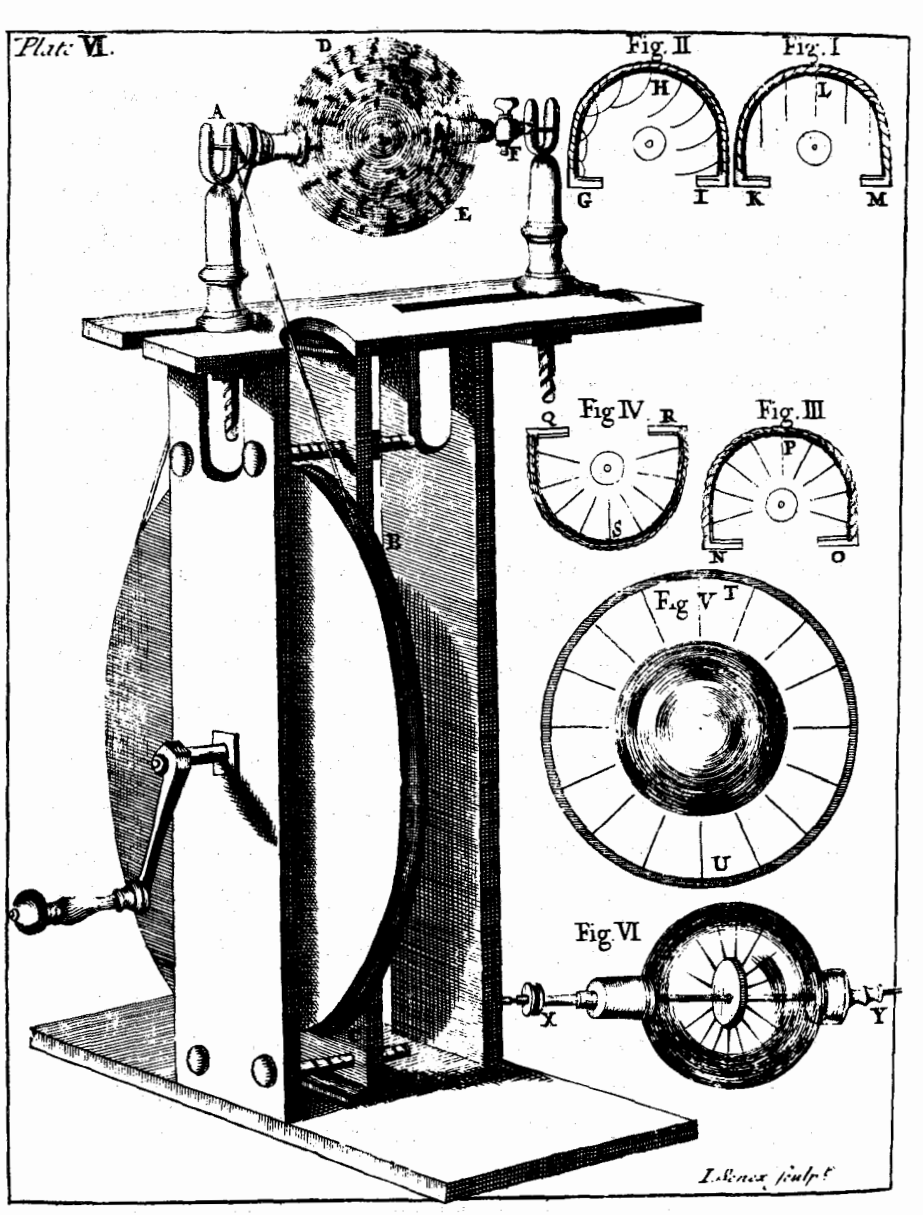
الکتریسیته و خلأ

حالا کمی به مبحث خلأ بپردازیم. در قرن هفدهم نظرها به انواع گوناگون پدیده‌های لیانی (لومینسانی) جلب شده بود. همه انواع بروز آنها را با هم اشتباه می‌کردند، امّا همه‌ی پدیده‌های حامل نور را ناشی از یک چیز واحد می‌دانستند: فسفر. در بقایای اجساد ماهی‌های گندیده، و گاه در فضولات قورباغه و چوب‌های پوسیده مقداری فسفر معمولی وجود داشت، که در تاریکی می‌درخشید. در آن ایّام *کونکل*[1] این عنصر معمولی را که اکنون فسفر می‌خوانیم، از استخوان به دست می‌آورد. این مادّه خود به‌خود می‌سوخت، و نور کمرنگی ساطع می‌کرد. هنگامی که فشارسنج اختراع شد، کسانی که با آن کار می‌کردند متوجّه شدند که اگر جیوه را در لوله‌ی فشارسنج تکان دهند، با نور سبز رنگی می‌درخشد که پس از متوقّف شدن حرکت، این نور ناپدید می‌شود. امروز می‌دانیم که این نور حاصل برانگیختگی بخار جیوه در اثر الکتریسیته‌ی مالشی است. امّا در آن ایّام این پدیده جزو غرایب و امور جالب توجّه بود و به‌نظر می‌رسید- واقعاً هم همین‌طور بود- که با فسفر معمولی فرق دارد و بیشتر به شفق‌های شمالی شبیه است که خود این شفق‌ها هم از جلوه‌های مبهم و ناشناخته‌ی جوی بودند. این پدیده توسّط فردی به نام *هاکسبی*[2] که در آزمایشگاه دستیار نیوتون بود مورد مطالعه واقع شد. معلوم نیست هاکسبی در مقام دستیاری نیوتن چه کاری برای وی انجام می‌داده است، امّا مشخص است که وی در زمینه‌یی که بعداً توضیح می‌دهم، سازنده‌ی نخستین ماشین بود.

در شکل ۱۰۶ کره‌یی را می‌بینیم که هوای آن تخلیه می‌شود و صرفاً به‌کمک یک چرخ به گردش در می‌آید. اگر با سرعت زیادی آن را به چرخش درمی‌آوردند و دستمال یا قطعه‌یی پارچه را با دست روی آن قرار می‌دادند،

1- Kunkel

2- Hauksbee



شکل ۱۰۶ ـ چرخش کره‌یی خالی از هوا به‌وسیله‌ی یک چرخ مناسب؛ اقتباس، از هاکسبی، ۱۷۱۴.

داخل حباب نورانی می‌شد. رویداد تحسین‌انگیز و کاملاً غیر قابل درکی بود؛ حتّی امروز هم شک دارم کسی بتواند دقیقاً به توضیح جزییات این پدیده بپردازد. همه‌ی مردم به انجام مکرّر این نمایش راغب بودند، و پس از آزمایش‌های فراوان همه فهمیدند که اعم از اینکه هوای درون کره تخلیه شده باشد یا نه، نورافشانی در آن اتّفاق می‌افتد. البتّه در هنگامی که هوا درون کره وجود داشت نور به صورت جرقّه ظاهر می‌شد؛ موی سر کسانی که در مجاورت دستگاه بودند راست می‌ایستاد، و رویدادهای شگفت‌انگیز دیگری هم به وقوع می‌پیوست. برای توجیه این پدیده به چیزی به نام سیّال الکتریکی متوسّل شدند. سیّال الکتریکی نام دیگری است برای ایده‌یی بسیار مبهم در خصوص یک سیّال خاص، که تصوّر می‌شد در جهات گوناگون به بیرون از کره می‌تراود.

استیفن گری[1]

مدّت‌ها بعد، در حدود همان سال مرگ نیوتون در سال ۱۷۲۷، این مسئله را پیش کشیدند و یک سلسله آزمایش کلاسیک توسّط *استیفن گری* انجام شد. اخیراً معلوم شده است که او هم شاگرد نیوتون بوده است، و بدین ترتیب سنّت آزمایشگری نیوتونی تداوم می‌یافت. بعضی‌ها معتقدند که سنّت‌های تجربی نیوتون در نورشناخت و الکتریسیته بیش از کشفیّات عظیم صرفاً ریاضی او، نظیر کشف گرانش در پیشبرد فیزیک مؤثّر بوده است، امّا من این نظر را چندان جدّی نمی‌گیرم.

از دید گری، مسئله مستقیماً از طریق پژوهش‌های مستقیم قابل حل بود. کارهای وی ارزش بررسی و مطالعه را دارند و در کتابی که تاریخ کلاسیک علم محسوب می‌شود، و برتر از آن به صورتی متقابل در تکامل علم نقش داشته است، می‌توان ارزش این کارها را ملاحظه کرد. عنوان این کتاب *تاریخچه و*

1- Stephen Gray

وضع کنونی *الکتریسیته*، و مؤلف آن جوزف *پریستلی*[1] است که در سال ۱۷۷۵ انتشار یافت، و اگر آثار او را در زمینه‌ی الهیّات به کناری بنهیم، نخستین اثر وی به شمار می‌آید. پریستلی توسّط فرانکلین که خودش در زمینه‌ی الکتریسیته کارهای فراوان صورت داده بود، به کار در مورد الکتریسیته ترغیب شد. تاریخچه‌ی الکتریسیته تا آن هنگام مدوّن نشده بود و فرانکلین که سنّش از پریستلی خیلی بیشتر بود، به او پیشنهاد کرد که به نوشتن تاریخچه‌یی در این حوزه دست بزند. پریستلی به شیوه‌یی غیر معمول کار را به انجام رساند؛ شیوه‌یی که این روزها کم‌تر کسی به آن دست می‌زند، چون کتاب وی پر از انواع آزمایش‌ها بود. به عقیده‌ی وی برای نوشتن تاریخچه‌ی واقعی علم باید تمام آزمایش‌ها را تکرار کرد و سره را از ناسره جدا کرد، و در این زمینه صرفاً به ادّعای مؤلّفین قناعت نکرد. وی عملاً به تکرار آزمایش‌ها پرداخت و به دردسرهای بسیار دچار شد.

به داستان اصلی باز گردیم. گری متوجه شد که اگر یک تکّه از لوله‌ی شیشه‌یی را که هر دو سرش باز است، مالش دهیم، در دو سر آن خاصیّتی پیدا می‌شود که اشیای سبک را به سوی خود جذب می‌کند. وی در حالی که از این اتّفاق به حیرت فرو رفته بود، از یک قطعه چوب‌پنبه استفاده کرد و دید که چوب‌پنبه هم جذب می‌کند؛ میخی را درون چوب‌پنبه فرو کرد، میخ هم جذب می‌کرد؛ قطعه‌ی آهنی را به انتهای نخ وصل کرد و باز هم جذب صورت گرفت؛ میله‌ی آهنی درازی در چوب پنبه فرو برد و باز هم جذب صورت گرفت. میله را درازتر کرد و باز هم نتیجه یکسان بود. امّا هنگامی که میله بسیار دراز شد کار دچار اشکال گردید چون میله خم شد. میله را با نخ معمولی به سقف آویزان کرد ولی دیگر جذب صورت نگرفت، امّا همین که به جای نخ معمولی از نخ ابریشمی استفاده کرد، باز هم آزمایش با موفقیّت توأم شد.

1- *The History and Present State of Electricity*, by Joseph Priestly, 1775.

پس از آن به جای میله‌ی فلزی از نخ کنفی استفاده کرد. وی تمام فصل تابستان را صرف انجام این آزمایش‌ها کرد. تابستان پر باری بود، به خصوص که تمام ایّام آزمایش در ویلای سَبْک الیزابتی یکی از دوستانش، در یک روستا می‌گذشت. در این ویلا سرسرای طویلی بود، که سخت به درد آزمایش می‌خورد. نخ‌های کنفی را در سرتاسر طول این راهرو از حلقه‌های نخ ابریشمی رد کردند و به آزمایش پرداختند، و درست در میان راهرو شاهد عکس‌العمل بودند. نخ‌ها را سر و ته کار گذاشتند و باز هم آزمایش موفقیّت‌آمیز بود. سرانجام، تمام این دَم و دستگاه را به حیاط خانه منتقل کردند و پدیده‌ی مورد انتظار، صورت گرفت.

پس گِری پی برد که علاوه بر کشف چگونگی حرکت الکتریسیته، توانسته است نوعی تلگراف الکتریکی بسازد، که اگر پشتوانه‌یی مالی برای کار آن فراهم آید، می‌توان آن را برای ارسال پیام به کار برد. بالاخره در ضمن آزمایش، هوا مرطوب شد و تمام دستگاه‌ها از کار افتاد. امّا وی نخستین اصل در مورد الکتریسیته را به عنوان چیزی متحرّک به اثبات رسانده بود. گِری اجسام را در جریان این آزمایش‌ها به دو دسته تقسیم کرد، دسته‌ی اوّل اشیایی که می‌توانستند الکتریسیته ایجاد کنند و آنها را *الکتریکی* نامید، ودسته‌ی دوّم اشیایی که آنها را *غیر الکتریکی* نامید، یعنی الکتریسیته را از خود عبور می‌دادند، و به عبارت دیگر رسانا به‌شمار می‌آمدند. فلزات بهترین رسانای الکتریسیته تشخیص داده شدند، و آب هم خاصیّت رسانایی داشت. تمام این دستاوردها محصول یک ماه کار بود. امروز ما به‌سادگی همه‌ی اینها را در کلاس‌های مقدّماتی فیزیک انجام می‌دهیم؛ ولی در آن هنگام این نکات همگی تازگی داشتند و کسی تا آن زمان به چنین آزمایش‌هایی دست نزده بود.

دانشمندان آن دوره مرتّباً با نامه و انتشار مقاله یکدیگر را از مطالعاتشان مطلع می‌کردند. جریان تدوین قوانین مربوط به الکتریسیته را یکی از دانشمندان فرانسوی به نام دوفه[1]، که دانشمند رسمی در استخدام دولت به‌شمار می‌آمد،

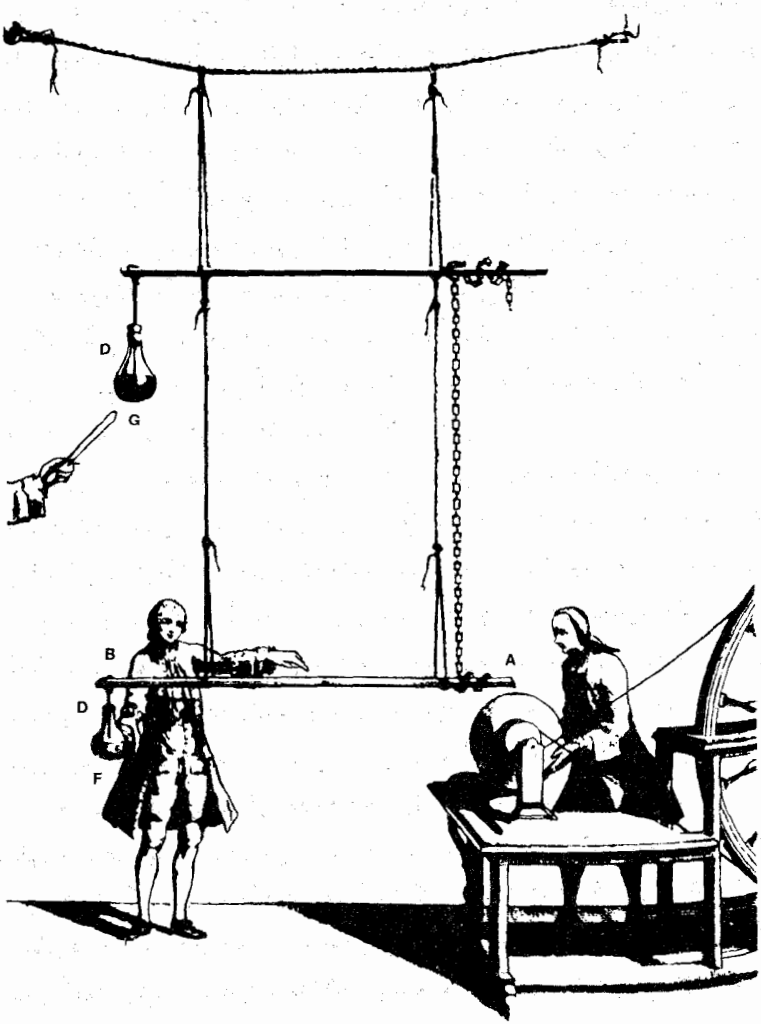
1- C. F. Dufay

ادامه داد. وی در رشته‌ی رنگ و صنایع شیمیایی، که در سال‌های ۱۷۴۰ دوران رونق خود را می‌گذراند، کار می‌کرد. دوفه کشف شگفت‌انگیزی کرد و آن اینکه دو نوع الکتریسیته وجود دارد؛ یکی از آنها از مالش شیشه به دست می‌آید، و دیگری از مالش صمغ. براین اساس، او دریافت که اشیا به دو دسته تقسیم می‌شوند: اشیایی که الکتریسیته‌ی شیشه‌یی تولید می‌کردند، و اشیایی که الکتریسیته‌ی صمغی ایجاد می‌کردند. این دو دسته با هم متعارض بودند. الکتریسیته‌های مشابه، یکدیگر را دفع و الکتریسیته‌های مخالف، یکدیگر را جذب می‌کردند.

بطری لید

بازی ادامه داشت، و همچنان موجبات سرگرمی دانشمند آماتور را فراهم می‌آورد و به عرصه‌های جدّی علم وارد نمی‌شد؛ چون ظاهراً نه کاربردی داشت و نه با نظریه‌های ریاضی آن دوره همخوانی داشت. ابزار و تجهیزات گوناگونی برای تولید الکتریسیته به منظور بازی و سرگرمی تولید می‌شد، و اوقات فراغت مردم را از نشاط سرشار می‌کرد. اوقات فراغت بسیار طولانی بود، و بسیاری از اختراعات را به عنوان شعبده در مهمانی‌ها به کار می‌گرفتند؛ امّا ظهور یکی دو نفر آدم جدّی اهل علم که در مورد الکتریسیته ایده‌های درخشانی داشتند، به‌جهش سریعی در این زمینه انجامید؛ یکی از این دانشمندان *فون کلایست*، و دیگری موشن بروک اهل لیدن بود. موشن بروک نماینده‌ی نوع تازه‌یی از مردم اهل علم به شمار می‌آمد، چون ابزار علمی می‌ساخت. تا آن ایّام ساختن ابزار نورشناختی معمول بود، امّا این یکی در کلیه‌ی زمینه‌های علمی به تولید وسایل می‌پرداخت. وی امکان نگه‌داری سیال الکتریکی در بطری را مطرح کرد و برای اثبات مدّعای خود، یک بطری را تا نیمه آب کرد و یک رسانای الکتریکی را در آن قرار داد ولی هیچ اتفاقی نیفتاد!

شکل ۱۰۷ چگونگی انجام این آزمایش را نشان می‌دهد. دانشمند در لباس اشراف، و دستیار او در لباس رعایا، با بطری و ماشین گرداننده‌ی



شکل ۱۰۷ـ دانشمند نجیب‌زاده: آزمایش موشن بروک.

کره‌ی الکتریکی دیده می‌شوند. این ماشین در اساس، همان ماشین هاکسبی است و توسّط فردی که در تصویر دیده نمی‌شود به گردش درمی‌آید. میله‌ی فلزی A در این آزمایش گردآور اوّلیه خوانده می‌شود. البتّه در تصویر دو میله‌ی مشابه می‌بینید، که یکی از آنها برای منظور ما کافی است. دستیار با دست خود کره‌ی چرخان را لمس می‌کرد، و چیز خاصی احساس نمی‌کرد؛ امّا همین که دست خود را به A نزدیک می‌کرد نخستین شوک الکتریکی را دریافت می‌کرد. قبل از آن تاریخ، بسیاری از افراد، به وسیله‌ی صاعقه یا تماس با مارماهی‌های برق‌دار، دچار برق‌گرفتگی حاصل از ولتاژ پایین و شدّت جریان بالا شده بودند، امّا این نخستین بار بود که کسی عالماً و عامداً دچار شوک برق‌گرفتگی می‌شد. در آغاز موشن بروک آن قدر ترسید که تصمیم گرفت دیگر در قلمرو فرانسه این آزمایش را تکرار نکند. امّا کنجکاوی او را وادار کرد که فردای همان روز دوباره آزمایش را تکرار کند.

بدین ترتیب، همین که وی این اندیشه را پی گرفت، الکتریسیته «پذیرش عام یافت»، چون اثرات واقعی آن عملاً دیده می‌شد، اوّلاً به این علت که شوک‌های الکتریکی به طور دلخواه در هر زمان قابل تولید بود، و جرقه‌های حاصل از آن برخلاف آزمایش‌های پیشین، که جرقه‌های ضعیفی تولید می‌شد و فقط باید آنها را در تاریکی می‌دیدند، بسیار قوی و پرنور در روشنایی روز دیده می‌شد، و با صدای ترق و تروق همراه بود. حالا دیگر همه کس به الکتریسیته دسترسی داشت. ضمن آزمایش مشخّص شد که اگر دو نفر دست به دست هم بدهند و یکی از آنها دچار برق‌گرفتگی شود، شوک ایجاد شده به‌طور همزمان به دیگری نیز منتقل خواهد شد. یک‌بار اسقفی به‌طور همزمان تمام راهبان یک صومعه را دچار شوک الکتریکی کرد، و یک‌بار هم شاه، تمام اعضای هنگ پیاده‌ی خود را در معرض این شوک قرار داد، و باعث شد که همه‌ی آنها همزمان به هوا بپرند! الکتریسیته به عرصه‌ی پزشکی هم وارد شد. در آن عصر مردم براین باور بودند که بالاخره پدیده‌یی کشف خواهد شد که شفابخش همه‌ی بیماری‌ها باشد. شوک الکتریکی به شیوه‌یی نادرست برای

معالجه‌ی اختلال‌های روانی مورد استفاده واقع شد. الکتریسیته، به هرحال به صورت یک واقعیّت ملموس در کانون توجه و علاقه‌ی مردم قرار گرفت.

بنجامین فرانکلین

در همین زمینه بود که دنیای جدید نخستین سهم نقش خود را در علم، به واسطه‌ی بنجامین فرانکلین، ایفا کرد. در اینجا فرصت زیادی ندارم که به جزییات زندگی خارق‌العاده‌ی فرانکلین بپردازم. بنجامین فرانکلین مردی خودساخته بود که از دوازده سالگی به کار چاپ و انتشار روزنامه اشتغال داشت، و به مناسبت مخالفت پوریتن‌های[1] بوستن با مطالب روزنامه‌اش، ناچار شد آن شهر را ترک کند و به پنسیلوانیا برود؛ در آنجا ضمن ریاست بر پست شهر به کار چاپ پرداخت و در ساعات فراغت به مطالعه‌ی پیشرفت‌های علمی اروپا مشغول شد. وی در سفری به انگلستان، به شیوه‌یی نبوغ آمیز با دانشمندان آن سرزمین تبادل نظر کرد. در این سفر، قطعه‌های پنبه‌ی نسوز را به *لرد مک کلس‌فیلد*[2]، که بعداً به ریاست انجمن سلطنتی رسید، عرضه داشت و همین امر مقدمات حضور فرانکلین را در جلسات انجمن و مذاکره با اعضای آن فراهم آورد. پیدایش پنبه‌ی نسوز باعث ماجرای جالب دیگری هم شد: *جان وسلی*[3] با استناد به این نکته که پنبه‌ی نسوز می‌تواند تا ابد در شعله‌های آتش بسوزد و دوام بیاورد، استدلال می‌کرد که عذاب ابدی امکان‌پذیر است.

فرانکلین در اروپا جعبه‌یی پر از تجهیزات الکتریکی سفارش داد که برایش فرستاده شد و در مدتی کوتاه بر تمام مطالب مربوط به الکتریسیته احاطه یافت،

۱ـ Puritans : پوریتن‌ها یا مسیحیان حنیف، بخشی از پروتستان‌های امریکا و انگلستان بودند که خواهان حذف تشریفات و آداب ظاهری، و طرفدار سخت‌گیری در مورد اخلاق و عفت و تقوی بودند ــ م.

2- Lord Macclesfield

۳ـ John Wesley صاحب نظر الهیّات مسیحی. اهل انگلستان. بنیانگذار آیین متدیسم (۱۷۰۳ـ۱۷۹۱).

و متوجّه شد که تقسیم‌بندی الکتریسیته به دو نوع شیشه‌یی و صمغی، تقسیم‌بندی دقیقی نیست و الکتریسیته‌ی مثبت و منفی را به جای آن پیشنهاد کرد، که البتّه عکس قراردادی بود که ما امروز به کار می‌بریم. وی نشان داد که هر مادّه دارای حالت تعادلی است، به طوری که اگر مقداری بار الکتریکی از آن گرفته شود، بار منفی می‌یابد و مادّه‌یی که بار را به آن می‌افزاییم دارای بار مثبت می‌شود. وی چگونگی کار بطری لید را نمایش داد و به این نتیجه رسید که بار الکتریکی در خود شیشه ذخیره می‌شود نه در الکترودهای آن. سرانجام، نوبت به آزمایش خطرناک و تعیین کننده‌ی وی رسید؛ تعیین کننده در تاریخچه‌ی این مبحث. آزمایشی که خطر جانی داشت و فقط شانس، باعث نجات جان او از مهلکه شد. فرانکلین بطری لید را با استفاده از صاعقه پر کرد و از حُسن تصادف بار الکتریکی چندانی به بطری وارد نشد. دانشمندی که در شهر سن پترزبورگ کوشید این آزمایش را تکرار کند بلافاصله کشته شد، امّا فرانکلین زنده ماند و حتّی نتایج کار خود را در ساختن رسانای صاعقه یا برقگیر به کار گرفت.

برقگیر

همه‌ی کسانی که در ایالات متّحده زندگی کرده‌اند می‌دانند که استفاده از برقگیر در آنجا، نسبت به انگلستان، خیلی مهم‌تر است. در امریکا در فصل زمستان محال است دست به دستگیره‌ی دری بزنید و دچار برق‌زدگی خفیف نشوید، زیرا هوای امریکا خشک است و رعد و برق فراوانی هم در آن سرزمین روی می‌دهد. از برقگیر استقبال بسیار شد، و علاوه بر منافع فرضی برق در امور پزشکی، آگاهی بر فواید دیگر آن توجّه مردم را جلب کرد.

بدبختانه، در آن هنگام میان حکومت و مهاجرنشینان اختلاف نظرهایی پیش آمد. فرانکلین نماینده‌ی پنسیلوانیا در لندن بود، و در این موقعیّت دچار گرفتاری‌های فراوان شد. بیچاره جورج سوّم که تنها پادشاه دانشمند انگلستان بود، دلش می‌خواست در آزمایشگاه‌های علوم به کار بپردازد. چارلز دوّم در

مورد کار علمی خیلی جدّی نبود. کارهای علمی شاه جورج، تحت‌الشعاع سیاست قرار می‌گرفت و به عنوان مثال چون برقگیر توسّط «فرانکلین یاغی» به کار برده شده بود، وی خود را مجاز به استفاده از آن نمی‌دانست. رئیس انجمن سلطنتی بر سر همین موضوع استعفا کرد. شاه اصرار داشت که نوک برقگیر نباید طبق پیشنهاد فرانکلین تیز باشد، و باید حتماً گرد و کروی انتخاب شود. در این مورد شعری از آن دوره باقی مانده است، که قسمتی از آن را در اینجا می‌آوریم:

ای شاه بزرگ، تعویض نوک تیز برقگیر
با یک نوک گرد
باعث تفرقه است.
امّا فرانکلین به راه فرزانگان می‌رود،
با برقگیر نوک تیز،
از رعد و برق شما هراسی ندارد.

کولن و قانون ربایش

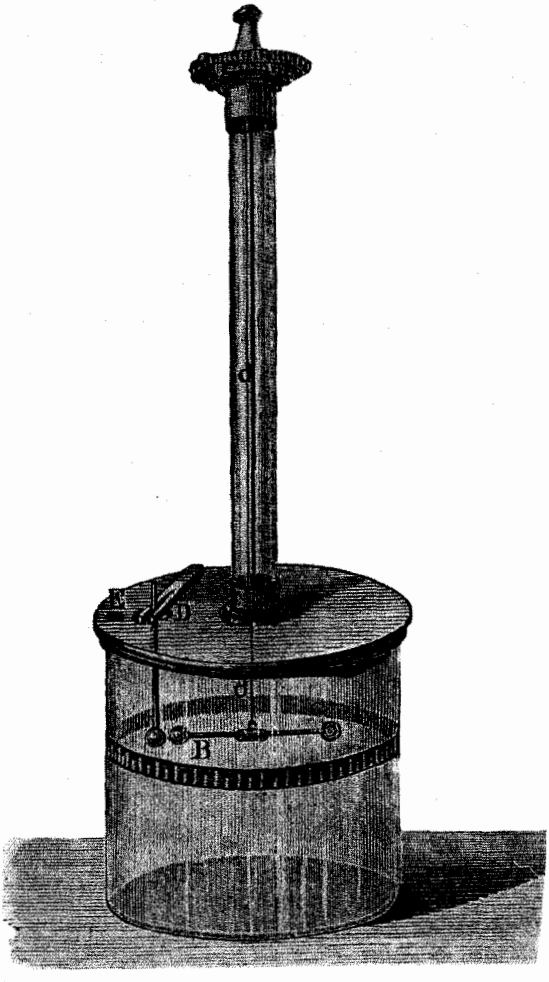
در این اثنا دانشمند دیگری به عرصه پای نهاد. همان طور که ملاحظه کردید تا این مرحله، کلّ نظریه‌ی الکتریسیته کیفی بود. امّا کولن که در آزمایشگاه ملی فیزیک فرانسه منصب رسمی داشت، و مسئول تجهیزات نورشناخت و قطب‌نما و ابزاری نظیر آنها بود، جنبه‌های کمّی را به حوزه‌ی الکتریسیته وارد کرد. وی یکی از کسانی بود که هر دویست سیصد سال یک‌بار پیدا می‌شدند، و می‌کوشیدند قطب‌نما را اصلاح کنند. زمانی که به بحث ما ارتباط پیدا می‌کند، سال‌های ۱۷۸۰ است. بسیاری از دانشمندان در فکر اصلاح این وسیله بودند، و کولن متوجه شد که هیچ‌یک از آنها دقیقاً از کار قطب‌نما و نیروهای مؤثر بر آن اطلاع ندارد و کسی هم به فکر اندازه‌گیری آنها نیست. نکته‌ی جالب آن بود که کار اصلی کولن تا آن هنگام جنبه‌یی کاملاً مکانیکی داشت. از آنجا که وی مسئول بازرسی تدارکات دریانوردی بود، وظیفه داشت قدرت کابل‌ها و

میله‌های آهنی را اندازه‌گیری کند و یکی از وظایف او تعیین مقاومت کابل‌ها و میله‌ها در جریان پیچش بود و برای تعیین اینکه کابل را تا چه حد می‌توان بدون پاره کردن پیچاند، یعنی اندازه‌گیری تنش آن، ترازوی پیچشی را ابداع کرد. در ضمن کار با این ترازو متوجّه شد که این دستگاه برای اندازه‌گیری هر نوع نیرو مناسب است. از این رو ترازوی پیچشی را چنان تکمیل کرد ـ و این اوّلین مرحله‌ی مهم از کارهای اوست ـ که با آن حتّی نیروهای الکتریکی و مغناطیسی هم قابل اندازه‌گیری شد و نشان داد که می‌توان قطب‌های مغناطیسی و بارهای الکتریکی را ظاهراً در نقاط فیزیکی، به معنی نیوتونی آنها، متمرکز کرد و با این تدبیر موفق شد تناسب معکوس نیروها با مجذور فاصله را به دست آورد.

سه نیروی طبیعی گرانش، الکتریسیته و مغناطیس، از قانون کولن پیروی می‌کنند. ترازوی پیچشی کولن را در شکل ۱۰۸ می‌بینیم، که اساس یک دستگاه علمی واقعی به شمار می‌آید. ایده‌ی آویختن اجسام برای انجام آزمایش، موضوع جدیدی نبود و من قبلاً اشاره کردم که چینی‌های باستان این شیوه را به‌کار می‌گرفتند، امّا قرار دادن مقیاس مدّرج اندازه‌گیری نیرو، نکته‌یی بی‌سابقه بود و ارائه‌ی تصویر کمّی از الکتریسیته را میسّر کرد.

در این عصر پر جوش و خروش، دانشمند بسیار برجسته‌ی دیگری وارد صحنه شد که *کاوندیش* نام داشت. مصیبت کاوندیش آن بود که برادر کوچک‌تر یک *ارل*[1] بود، امّا همین بستگی باعث دسترسی او بر پول کافی شد. وی به شدّت گوشه‌گیر بود و با کسی تماس نداشت، و در فرصت‌های مناسب هفته‌یی یک بار در کالسکه‌یی سر پوشیده و بی‌روزنه به لندن می‌آمد، و به داخل انجمن سلطنتی هدایت می‌شد و بر کرسی می‌نشست و به جز تعدادی اندک، هرگز با کسی بحث نمی‌کرد. در کار انتشار نظرات خود هم بسیار

۱ـ لقبی است مربوط به اعیان سرزمین انگلستان ـ م.



شکل ۱۰۸ـ ترازوی پیچشی کولن.

ممسک بود. امّا خوشبختانه سال‌ها بعد که جیمز کلرک ماکسول[1] نوشته‌های

1- Jamse Clerk Maxwell

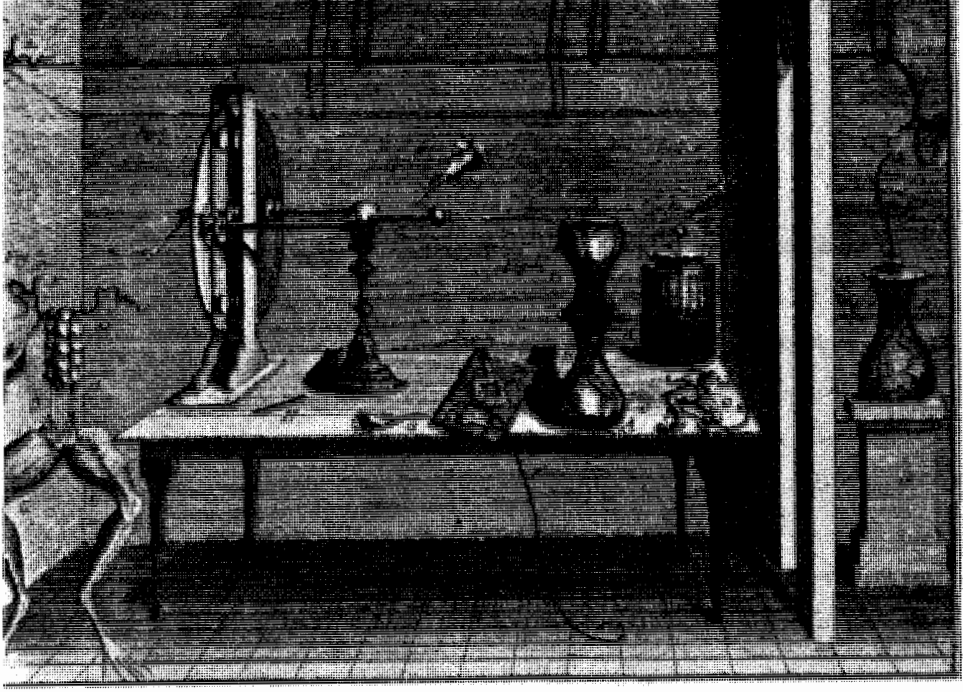
او را منتشر کرد، معلوم شد که پنهانی به کار نوشتن مشغول بوده است. وی اندازه‌گیری‌های دقیقی صورت داده بود، و همه‌ی قوانین الکتریسیته‌ی ساکن، و شیوه‌های حفاظت در برابر بارهای الکتریکی، و حتّی خواصّ دی‌الکتریکی مواد را کشف کرده بود، و یک قرن بعد فارادی به خاطر کشف این نکات شهرت بسیار یافت و نمی‌دانست که کاوندیش قبل از وی همه‌ی این زحمات را کشیده است.

در این سلسله درس‌ها فرصت کافی برای طرح همه‌ی کارهای کاوندیش را نداریم، امّا از پرداختن به مطالعات وی در مورد الکتریسیته‌ی حیوانی ناگزیریم. الکتریسیته‌ی حیوانی به علت مشهود بودن تأثیرات فیزیولوژیکی، بسیار مورد توجّه بود. به زودی معلوم شد که این پدیده به طور معکوس هم وجود دارد، و جان هانتر پزشک و کالبدشناس بزرگ، به مطالعه‌ی این پدیده مشغول بو. برای این مطالعه، کاوندیش مدل یک ماهی برقی را ساخت. این موجود، به‌ظاهر، چیزی بود که می‌توانست با یکی از اندام‌هایش برق تولید کند. بنابراین وی مدل ماهی برقی را با قراردادن چند بطری لید در درون آن، طوری ساخت که حتّی در آب، ماهی زنده را شوک می‌داد. راز وجود برق[2] در بدن ماهی برقی هنوز به‌صورت معمّا باقی مانده است، تا پایان جنگ جهانی دوّم کسی پی نبرده بود که ماهی‌ها به‌یاری سیگنال‌های الکتریکی تلگرافی با یکدیگر ارتباط برقرار می‌کنند و هر یک از آنها اندام‌های گیرنده- علاوه بر فرستنده - دارند.

گالوانی[2]: الکتریسیته‌ی حیوانی

بحث ما تا اینجا در اطراف الکتریسیته‌ی ساکن دور زده است. حالا نظری هم به الکتریسیته‌ی جاری بیندازیم که کشف آن ماجرای دیگری دارد. این مبحث با پژوهش در خصوص الکتریسیته‌ی حیوانی آغاز می‌شود، و تا حدّی مرهون تصادف است. شکل ۱۰۹ یک عکس ترکیبی است. رویداد، اواخر زمان قرن هیجدهم و حوالی سال‌های ۱۷۹۰ است، و علم در شمال ایتالیا پس از مدّت‌ها

1- Luigi Galvani



شکل ۱۰۹ـ آزمایش گالوانی در خصوص الکتریسیته و فیزیولوژی؛ اقتباس از: *اثرات الکتریسیته بر حرکت ماهیچه‌یی*، ۱۷۹۱.[1]

رکود دوباره جان گرفته است و پروفسور گالوانی استاد کالبدشناسی دانشگاه بولونی به انجام یک رشته آزمایش اشتغال دارد. به نظر می‌رسد که وی مشغول تدریس موضوعی مرکّب از فیزیولوژی و الکتریسیته باشد. از پیش معلوم بود که اگر پای قورباغه را نیشگون بگیریم اعصابش جمع می‌شود. در آن ایّام دستیابی به پای قورباغه برای بررسی این موضوع کار دشواری نبود؛ چون در همه جا پای قورباغه برای تهیّه‌ی غذا به فروش می‌رسید. در آزمایش مورد بحث، هرگاه در یک سر میز الکتریسیته تولید می‌شد، چند پای قورباغه که در

1- *The Effects of Electricity on Muscular Motion* 1791.

سر دیگر میز گذاشته بودند، به حرکت درمی‌آمدند. در واقع کشفیّات گالوانی از حدّ نکاتی که از جمله‌ی معلومات وی به شمار می‌رفت، فراتر بود. چون حرکت ماهیچه‌های پای قورباغه به خاصیّت رسانایی مربوط نبود، بلکه عبارت بود از انتقال نوسان الکتریکی. بدین ترتیب گالوانی بدون آنکه خود بداند رادیو را کشف کرده بود.

گالوانی آن قدر به انجام این نوع آزمایش‌ها ادامه داد تا باز هم تصادفاً، در هنگام جستجوی الکتریسیته‌ی جوّی، پی برد که هنگام عبور ابر و تغییر پتانسیل الکتریسیته‌ی ساکن هوا، باز هم پای قورباغه عکس‌العمل نشان می‌دهد. وی متوجّه شد، پاهایی که به قلّاب نقره‌یی آویزان شده‌اند، به هنگام تماس با نرده‌ی آهنی عکس‌العمل نشان می‌دهند، و به این نتیجه رسید که با دو قطعه فلز غیر همجنس می‌توان الکتریسیته ایجاد کرد و با کمک پای قورباغه، که نقش گالوانومتر را بازی می‌کند، می‌شود آن را سنجید. موضوع جالب آن بود که این رویداد را تا مدّت‌های مدید از جمله مباحث فیزیولوژیکی می‌شناختند و منشأ آن را چیزی جدا از الکتریسیته‌ی معمولی می‌دانستند. نه این پدیده و نه الکتریسیته‌ی حاصل از بدن مارماهی، هیچ‌کدام با قوانین الکتریسیته سازگاری نداشتند؛ چون جرقّه‌ی حاصل از الکتریسیته معمولاً در محیط‌های خشک دیده می‌شد و در محیط‌های مرطوب ظاهراً هیچ پتانسیلی بر جای نمی‌ماند. این پدیده‌ی جدید را الکتریسیته‌ی حیوانی خواندند، و آن را دلیلی بر وجود الکتریسیته‌ی آلی و غیر آلی شمردند.

ولتا[1]: باتری الکتریکی

این ماجرا خشم ولتا، همکار گالوانی و استاد فیزیک دانشگاه پاویا[2]، را برانگیخت. ولتا که خود آزمایش‌های مستقیمی در زمینه‌ی الکتریسیته‌ی ساکن

1- Alessandro Volta

2- Pavia

صورت داده بود، ایده‌ی وجود الکتریسیته‌ی حیوانی را از بنیاد باطل شمرد. وی الکتروفوری ساخته بود که به کمک آن می‌توانست بار الکتریکی نسبتاً کمی را به بطری لید انتقال دهد و بار آن را تا هر چقدر که می‌خواست افزایش دهد. همچنین می‌دانست که با بهره‌گیری از الکتروفور، که در واقع یک دستگاه تکثیر کننده‌ی بار بود، می‌تواند آنچه را که امروزه «ولُتاژ» پایین الکتریکی می‌گوییم، آشکارسازی کند. برای این منظور ولتاژ پایین را چند بار تقویت می‌کرد تا به آن حد برسد که بتواند الکترومتر[1] را به کار بیندازد. این دستگاه بسیار پیچیده بود، امّا راه دیگری وجود نداشت، چون الکترومتر با ولتاژی مانند یک‌هزارم ولت به کار نمی‌افتاد. ولتا با انجام این آزمایش‌ها، سرانجام پی‌برد که الکتریسیته‌ی حاصل از آزمایش‌های گالوانی از تماس فلزات غیرهمجنس حاصل شده است. پس از این کشف، وی در پی روشن کردن این نکته بر آمد که آیا آنچه الکتریسیته‌ی حیوانی خوانده می‌شود، فقط اثر همین «پتانسیل تماس» است؟

برای تحقیق در این موضوع، قطعات خیس کاغذ خشک‌کن را به‌طور یک در میان، بین قرص‌های فلزی قرار داد، و مقدّمات تهیّه‌ی پیل ولتا را فراهم آورد. پیل چیزی بود که برای انجام آزمایش‌ها ضرورت بسیار داشت، چون برای اندازه‌گیری مقدار الکتریسیته و دستیابی به ولتاژ کافی برای ایجاد جرقه‌ی الکتریکی لازم بود. برای ساختن نخستین باتری، ناگزیر شد که بیست تا سی عدد از این قرص‌ها را روی یکدیگر قرار دهد. در این صورت، بدون حضور حیوان الکتریسیته‌ی کافی تولید می‌شد. پس حیوان در این روند نقشی نداشت.

گالوانی در این مسیر از ولتا پیش افتاد و نشان داد که حتی فلز هم لازم نیست! وی با استفاده از دو محلول نمک با قدرت مختلف و استفاده از مداری که اجزای آن کلاً فیزیولوژیکی بود، به تولید الکتریسیته توفیق یافت. هر تحریک عصبی را می‌توان برای ایجاد انقباض ماهیچه‌یی به کار گرفت. در

۱ـ دستگاهی برای اندازه‌گیری ولتاژهای بسیار کم.

جریان انقباض ماهیچه‌ها اختلاف پتانسیل الکتریکی به وجود می‌آید، و پتانسیل بالایی که ماهی الکتریکی ایجاد می‌کند حاصل بازگرداندن پتانسیل عمل ماهیچه‌ها به صفحه‌ی انتهایی رشته‌ی ماهیچه‌یی، یعنی محل ورود عصب است. این فرایند بسیار پیچیده است: عصب باید مادّه‌ی شیمیایی خاصی ترشح کند که موجب تحریک مواد موجود در صفحه‌ی انتهایی شود، و تحریک این صفحه به نوبه‌ی خود ماهیچه را به حرکت درآورد. در اندام تولید الکتریسیته‌ی ماهی برقی، صفحه‌ی انتهایی بسیار پیشرفته است و تعداد بسیار معدودی ماهیچه به آن اتصال دارد، و این مجموعه به جای ایجاد حرکت، الکتریسیته تولید می‌کند. بدین ترتیب می‌توان اندام تولید الکتریسیته را ماهیچه‌های تغییرماهیت داده دانست. البتّه این روند را می‌توان زیر عنوان الکتریسیته‌ی فیزیولوژیکی رده‌بندی کرد. سیر پژوهش از کارهای ولتا مستقیماً به سوی مکتب جدید الکتریسیته‌ی جاری کشیده شد، که عموماً در انگلستان شکل گرفت.

مؤسّسه‌ی سلطنتی

قرن هیجدهم را پشت سر می‌گذاریم و به قرن نوزدهم وارد می‌شویم، سال ۱۸۰۰ به بعد. تامسون (کنت رامفورد) که قبلاً در مبحث گرما از او یاد کردیم، در سال ۱۷۹۹ نخستین مؤسّسه‌ی علمی تمام‌عیار جهان را بنیاد نهاد. این تشکیلات که *مؤسّسه‌ی سلطنتی* نامیده شد، هنوز هم در همان محل اصلی مستقر است. منظور از برپا کردن این مؤسّسه، ارائه‌ی معلوماتی درباره‌ی اختراعات به صنعتگران بود. ولی در این هدف توفیقی نیافت، چون آدم‌های متعین حاضر نبودند با صنعتگران اختلاط کنند و ناچار صنعتگران را از پلکان عقبی ساختمان به سرسرا وارد می‌کردند، تا چشم آقایان اعیان به آنها نیفتد. امّا اعیان مؤسّسه به این امر هم راضی نشدند، و در غیاب کنت رامفورد از ورود صنعتگران جلوگیری کردند و آن را به محلی مخصوص از ما بهتران بدل کردند، و جوان

محبوب و هوشمندی به نام *همفری دیوی*[1] را به ریاست آن برگزیدند. این جوان یکی از ماهرترین سخنران‌های عصر خود بود و در سخنرانی‌هایش نمایش‌های جالبی ارائه می‌کرد که عمدتاً به علم شیمی مربوط می‌شد. یکی از کارهای نمایشی وی، ارائه‌ی کار یک باتری بسیار بزرگ بود که به‌وسیله‌ی آن تمام خواصّ بطری لید را می‌شد نشان داد. کلمه‌ی باتری، در آغاز برای نامیدن بطری لید به‌کار می‌رفت، امّا بعداً فقط به منبع‌های الکتریسیته‌ی جاری اطلاق شد. دیوی از نیروی باتری برای تجزیه‌ی محلول‌های نمک فلزی استفاده کرد، و با پایه‌گذاری روند الکترولیز راه را برای دستیابی به کشفیّات مهم قرن نوزدهم در زمینه‌ی الکترومغناطیس گشود.

برای آشنا شدن با موضوع، اجازه بدهید نوع عملکردهایی را بررسی کنیم که به اکتشاف‌های علمی می‌انجامند. عملکردهای کمی، یعنی وجود زمینه‌های متنوعی که نیازمند درگیر شدن تعداد زیادی از افراد علاقه‌مند است، اهمیت بسیار دارد. اگر شما تمام کتاب‌های درجه‌ی دوّمی را که طیّ سالیان دراز در زمینه‌ی علوم منتشر شده است بخوانید، آنها را پر از نکات پرت و مهمل خواهید یافت. البتّه کتاب‌های درجه اوّل توسّط نوابغ و دانشمندان نخبه‌یی نوشته می‌شد، که زبانشان را معمولاً مردم عادّی نمی‌فهمیدند. به‌هرحال وضع آن همه کتاب درجه‌ی دوّم درباره‌ی الکتریسیته نشان می‌دهد که افراد بسیاری به الکتریسیته توجّه داشته‌اند، و به دنبال نوعی فلسفه‌ی طبیعی می‌گشته‌اند که این پدیده‌ها را با سایر پدیده‌ها به هم پیوند دهد. به عقیده‌ی آنها چندین نیرو در طبیعت وجود داشت. یکی از آنها گرانش بود، الکتریسیته و مغناطیس هم بودند. به نظر می‌رسید که این نیروها باید با هم ربط داشته باشند. امّا نیروهای گوناگون در آغاز از ارتباط داشتن با یکدیگر به شدّت سر باز می‌زدند. در سال ۱۸۲۰، *ارستد*[2] در حالی که باتری و سیم‌پیچی را در یک سمت میز و قطب‌نما را

1- Humphry Davy

2- H. C. Oersted

در سمت دیگر نهاده بود، شاهد انحراف عقربه‌ی قطب‌نما به هنگام عبور جریان الکتریسیته از سیم‌پیچ شد، و تأثیر جریان الکتریکی بر مغناطیس به نمایش در آمد. این رویداد مستقیماً به کشف الکترومغناطیس و به طور غیر مستقیم به تلگراف الکتریکی منجر شد.

همه‌ی دانشمندان انتظار داشتند که تأثیر معکوسی هم وجود داشته باشد، امّا حدود دهسال طول کشید تا اثر مغناطیس بر جریان الکتریسیته هم کشف شود. این نکته را فارادی در مؤسّسه‌ی سلطنتی کشف کرد. *مایکل فارادی*[1] فیزیک‌دان بزرگ قرن نوزدهم، و شاید هم بزرگ‌ترین فیزیک‌دان تجربی تمام اعصار، در آغاز کار به سمت دستیار دیوی برگزیده شده بود، امّا خیلی زود نشان داد که دانش وی از دانش استادش به مراتب بیشتر است. آگاهی بر ارتباط متقابل نیروهای مختلف فیزیکی را به او مدیونیم.

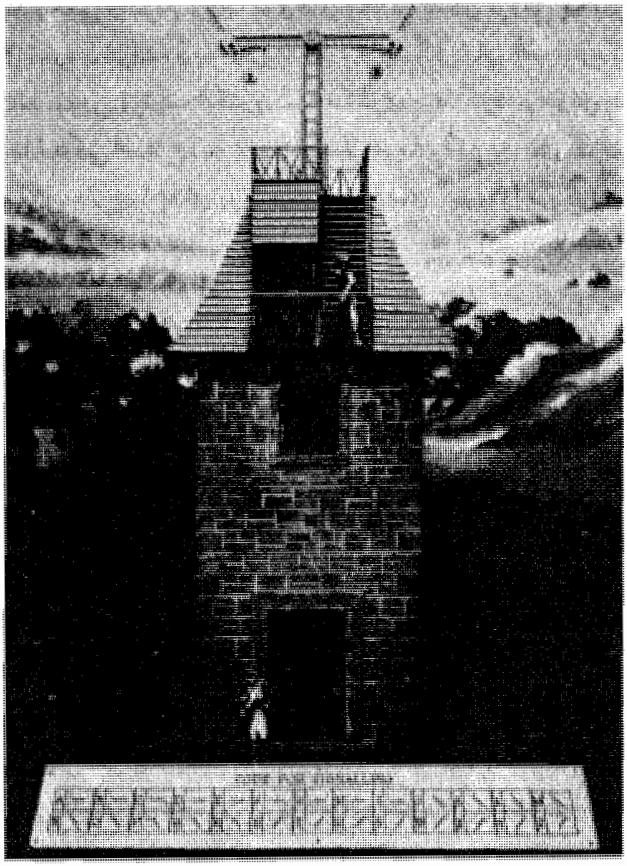
پیش از وی دانشمندان زیادی، بارها و بارها آهنربا را در کنار سیم حامل جریان قرار دادند، و پدیده‌ی تازه‌یی در آن نیافتند. تنها فارادی بود که پی برد برای بروز این تأثیر باید آهنربا و سیم حامل جریان را نسبت به یکدیگر حرکت داد. دریافتِ این نکته به شهادت یادداشت‌های فارادی، معلول تصادف نبود و کار دقیق و برنامه‌ریزی شده‌ی وی منجر به کشف آن شد. فارادی نشان داد که کار مکانیکی را می‌توان به الکتریسیته تبدیل کرد و بدین ترتیب الکتریسیته را به عرصه‌ی انقلاب رو به خیزش مکانیکی ـ صنعتی وارد کرد.

رکود در پیشرفت مباحث الکتریکی

این ارتباطها قاعدتاً باید منشأ پیدایش فوری صنایع بزرگ الکتریکی می‌شد، امّا همان طور که در یکی از کتاب‌های خود اشاره کرده‌ام،[2] ظهور این صنایع مدتی طول کشید. این تأخیر تا حدّ زیادی دلایل اقتصادی داشت. از سال ۱۸۳۰ تولید

1- Michael Faraday

2- *Science and Industry in the Nineteenth Century*, London, 1953.



شکل ۱۱۰ـ برج تلگراف «چیپ».[1]

مقدار زیادی الکتریسیته امکان‌پذیر بود، و فارادی برای این منظور یک مولّد مغناطیسی ساخت که جریان قابل توجهی ایجاد می‌کرد؛ امّا کسی خریدار آن نشد. تا مدّت‌ها بعد الکتریسیته نه خریدار داشت و نه کسی دیگر قادر به تولید آن بود. با افزایش قدرت خرید مردم، در اوضاع و احوال آنها تغییرات بسیاری

1- Chappe

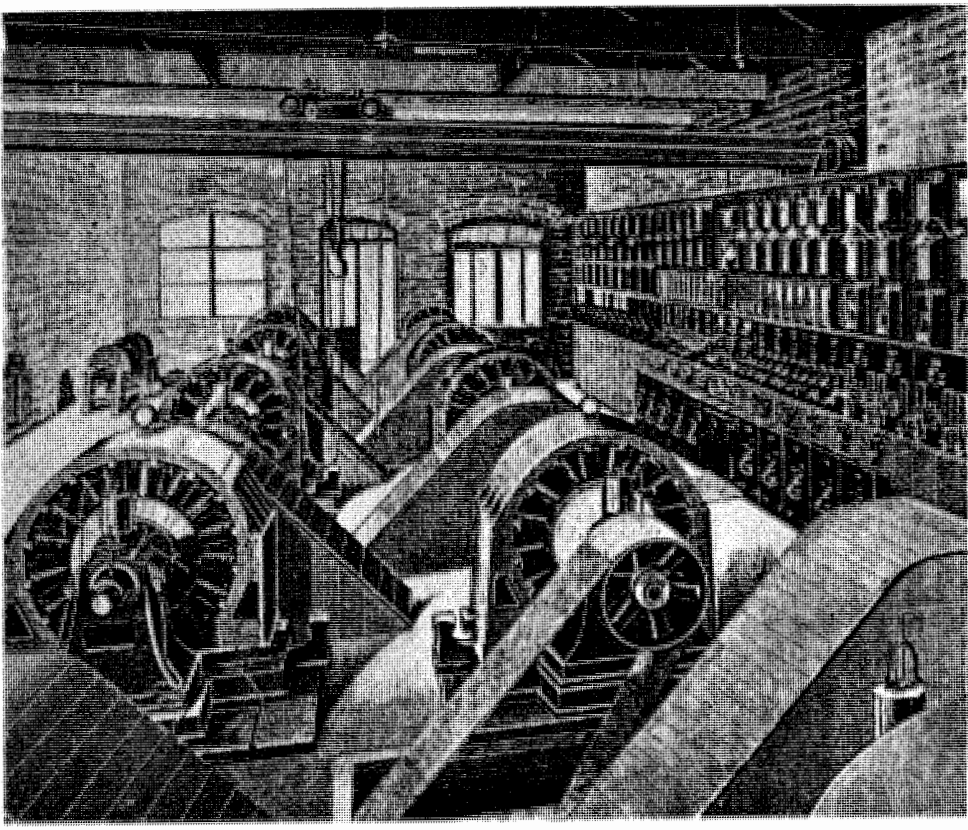
پیش آمد. بخشی از مردم ثروت اندوختند، امّا نه چندان ثروتی که بتوانند کارد و چنگال نقره بخرند، و به خرید کارد و چنگال‌های آب نقره‌کاری شده روی آوردند. بدین ترتیب الکتریسیته مشتری پیدا کرد، و موتور مولّد برق فارادی، با اندکی اصلاح، به عنوان منبع جریان لازم به کار گرفته شد. در برخی اماکن هم چراغ‌های برق جای چراغ‌های گازی را می‌گرفت، و بدین ترتیب عرضه و تقاضا مدام افزایش می‌یافت.

تا اینجا در مورد تلگراف صحبتی نکرده‌ام، و چون نمی‌توانم زیاد به شرح و بسط آن بپردازم، به توضیح مختصری در این باب قناعت می‌کنم. از دو جنبه می‌شد از الکتریسیته بهره‌برداری کرد؛ یکی که باید آن را جنبه‌ی صنایع سبک نامید، و دیگری صنایع سنگین بود. جنبه‌ی صنایع سبک صرفاً مخابرات است، و منظور از مخابرات تلگراف بود. نمونه‌یی از دستگاه‌های تلگراف قدیمی را در شکل ۱۱۰ مشاهده می‌کنیم.

این نوع تلگراف علامت‌دهی در آن زمان معمول بود و هنوز نمونه‌هایی از تلگرافخانه‌های آن زمان در تپه‌های میان لندن و پرتسموت برجاست. صنایع سنگین الکتریکی قبل از هرچیز منبع روشنایی بود، و چون برای گسترش این صنعت لامپ‌های ارزان لازم بود، در زمینه‌ی تولید رشته‌یی لامپ و تأمین منبع نیرو برای روشن کردن آنها، تلاش بسیاری به عمل می‌آمد.

در شکل ۱۱۱ یکی از نخستین نیروگاه‌های لندن را می‌بینیم. در سال ۱۸۰۰ یک چراغ روشنایی که دارای فیلامانی از جنس پلاتین بود، در مؤسسه‌ی سلطنتی نشان داده شد، اما کاربرد عملی چراغ‌های رشته‌یی تا سال ۱۸۳۰ به تعویق افتاد و در آن قرن زدن پلی بین لامپ قوس الکتریکی و لامپ رشته‌یی یک شاهکار به حساب می‌آمد، امّا در اینجا نیز، این شکاف اساساً در عمل ریشه داشت. در آغازِ کار به جای لامپ‌های رشته‌یی از قوس الکتریکی استفاده می‌شد که برای استفاده‌ی خانگی مناسب نبود، زیرا برای روشن کردن خانه زیادی پرنور بود. از این لامپ‌ها بیشتر در خیابان‌ها، کارگاه‌ها و فانوس‌های دریایی استفاده می‌شد. از این رو لامپ‌های قوس الکتریکی در واقع هرگز مورد پسند

واقع نشد. جانشین کردن لامپ رشته‌یی به جای قوس الکتریکی دو جنبه داشت: نخست شیوه‌ی تولید این‌گونه لامپ‌ها، و دیگری موضوع ارزش مصرف جریان الکتریسیته در این مقیاس‌های کوچک. نخستین اشکال توسّط *سوان* و دوّمی توسّط *ادیسون* حلّ شد، و الکتریسیته را به کالایی پر خریدار تبدیل کرد. سوان که همه چیز را خاصّ نجیب‌زادگان می‌دانست، مشغول



شکل ۱۱۱ـ نیروگاه برق ولتاژ بالا متعلق به شرکت برق متروپولیتن، در خیابان ساردینیا؛ ۱۸۹۶؛ یکی از نخستین نیروگاه‌های برق لندن.

مطالعه‌ی فرایندی بود که طیّ آن هر خانواده‌ی اعیانی بتواند در حیاط کاخ خود یک مولّد برق داشته باشد؛ ولی در این زمینه پیشرفتی نصیبش نشد. امّا ادیسون که در نیویورک به تعمیر تلگراف‌های نواری در سرتاسر نیویورک اشتغال داشت، متوجّه شد که می‌توان سیستم توزیع برق را با نیروگاه توأم کرد و روشنایی را به خانه‌های مردم برد. بدین‌ترتیب عصر نوین آغاز شد.

۱۲

نتیجه‌گیری

یازده فصلی که گذشت از جزوه‌های درسی دوره‌ی مایکل‌مس سال ۱۹۶۲ نسخه‌برداری شده است، و مطالب درسی این دوره فاصله‌ی سال‌های ۱۹۴۶ تا ۱۹۶۲ را دربر می‌گرفت. این فصل آخر را مخصوص این کتاب نوشته‌ام، و در آن به مطالب جدیدی اشاره کرده‌ام.

در درس‌های دوره‌ی فوق، هدف آن بود که مراحل اوّلیّه‌ی تاریخ فیزیک کلاسیک، تا هنگامی که با کشف پرتو X و نظریه‌ی جدید اتمی در سال ۱۸۹۶ دگرگونی‌های عظیمی در این علم پدید آمد بررسی شود. این هدف به نحو مطلوب برآورده نشد. بیشتر وقت ما به‌بحث در مورد رنسانس و رویدادهای سده‌ی هفدهم، که مبشّر ظهور علم نوین بود گذشت، و فاصله‌ی میان کشفیّات کپرنیک تا کارهای نیوتون را در برگرفت. در فصول ۹، ۱۰ و ۱۱ تلاش کردیم

موضوعات باقی‌مانده را به‌طور فشرده ذکر کنیم. شناخت گرما و معادل مکانیکی آن را در مثال تکامل ماشین‌های گرمایی جمعبندی کردیم، سپس در مورد نورشناسی و بعد در فصل آخر، طرح مختصری از الکتریسیته و مغناطیس عرضه کردیم. از کارهای بزرگی که در قرن نوزدهم، یعنی قرن شکل‌گیری واقعی علم فیزیک، صورت گرفت به اجمال یاد کردیم و در باره‌ی بزرگ‌ترین فیزیکدانان این دوره، یعنی فارادی و ماکسول تقریباً صحبتی به میان نیاوردیم.

در این فصل داستان فیزیک را ادامه می‌دهیم امّا در بند توالی زمانی رویدادها نمی‌مانیم، و توجه خود را تنها بر نکاتی متمرکز می‌کنیم، که فیزیک را به سمت تحوّلات دگرگون‌کننده‌ی انتهای قرن هدایت کردند.

در آغاز فصل یازدهم از تحوّلات عظیم فیزیکی قرن نوزدهم یاد کردم که می‌توان آنها را در دو کشف عمده خلاصه کرد: یکی قابلیّت تبدیل تمام صورت‌های مختلف انرژی به یکدیگر، براساس قانون‌های اوّل و دوّم ترمودینامیک، و دیگری نظریه‌ی الکترومغناطیسی نور. درانتهای آن قرن به‌نظر می‌آمد که این دو مطلب با هم تصویر منسجم و خودسازگاری از منشأ و غایت عالم ارائه می‌کنند. این دو کشف ریشه در علوم تجربی و تکنولوژی داشتند، امّا اساساً جزو ساختارهای نظری به شمار می‌آمدند که حاصل انجام آزمایش‌های درست، و تفکّر در مورد کاربرد آنها بودند. بدین سبب ترکیبی از نظریه و تجربه را عرضه می‌کردند که تا عصر ما، جوهر اصلی علم فیزیک را تشکیل می‌دهد. امروز نظریه‌یی رایج شده است که براساس آن تجربه در فیزیک اهمیّت خود را از دست می‌دهد، و پاسخ دادن به تمام پرسش‌ها از طریق تفکّر دقیق، بدون نیاز به آزمایش، ممکن می‌شود. این نظریه از زمان پلانک و اینشتین به فیزیک‌دان‌های ذرّات بنیادی معاصر ما رسیده است. با وجود این، هنوز هم ادامه‌ی تجربه برای فیزیک امری مهم و حتّی حیاتی به شمار می‌آید، و علی‌رغم هزینه‌های روز افزونی که آینده‌ی فیزیک را تهدید می‌کند، از انجام آن ناگزیریم.

در قرن نوزدهم، تغییر اساسی دیگری هم در وضع فیزیک، یا دقیق‌تر

بگوییم، در ماهیت توصیف‌هایی که از فیزیک به عمل می‌آمد، ایجاد شد. در این قرن فیزیک را علمی می‌دانستند که به تبیین پدیده‌ها می‌پردازد و کاری به تفسیر آنها ندارد. فیزیک عبارت بود از فهرست خواص و رفتار مادّه و به جای پاسخ دادن به چرا‌ها با بیان چگونه ها سر و کار داشت. این علم شامل تعدادی ضریب و عدد ثابت قابل تحویل به چند مفهوم اساسی مانند عدد آووگادرو و کوانتوم کنش بود. در تمام این موارد سعی می‌کردند که چگونگی رفتار اشیا را توضیح دهند، و به مقوله‌ی چرا وارد نشوند. آب در صفر درجه‌ی سلسیوس یخ می‌زد، و در صد درجه به جوش می‌آمد؛ و کسی هم نمی‌پرسید چرا؟ این مثال را از آن جهت در اینجا می‌آورم که پاسخ به پرسش‌های مربوط به آن بدیهی تصوّر می‌شد. صفر و صد را با توجه به خواصّ مشخّص آب، به عنوان دماهای استاندارد پذیرفته بودند؛ در حالی که آب، مایع پیچیده‌یی است که خواصّی منحصر به فرد دارد و تا قرن بیستم توضیح خواصّ آن امکان پذیر نبود.

چون درس‌های دوره‌ی مایکل‌مس اساساً به فیزیک تجربی مربوط می‌شد، من در این مورد خاص به بیان مختصر موضوع اکتفا کردم؛ امّا حالا می‌کوشم خطوط اصلی عمل و اندیشه‌یی را ترسیم کنم که به خلق فیزیک جدید ـ که علاوه بر چگونگی، تا حدّی به چرایی نیز در فیزیک می‌پردازد ـ منجر شد.

ارتباط درونی نیروهای طبیعی

میراث فیزیک قرن هیجدهم تعدادی نیرو بود که به طور کمّی می‌شد آنها را تعیین کرد و هر یک از آنها کیفیات ویژه‌یی داشت، که نام شاخه‌های مختلف فیزیک از آنها گرفته شده است. از آن میان می‌توان به گرما، نور، صوت و الکتریسیته و مغناطیس اشاره کرد. نخستین وظیفه‌ی فیزیک‌دان‌های قرن نوزدهم نمایاندن ارتباط میان این نیروها بود، و از آنجا که همه‌ی آنها را با هم مورد مطالعه قرار دادند، عملاً توانستند ارتباط میان آنها را بیابند. رابطه‌ی میان الکتریسیته و مغناطیس با آزمایش‌های اورستد و فارادی مشخّص شد، و تأثیری عظیم بر صنعت نهاد و زمینه‌ی پیدایش صنایع الکتریکی، یعنی اوّلین صنایع

علمی ناب را فراهم آورد.

فارادی، آزمایش‌گری تابناک و خارق‌العاده بود امّا در ریاضیّات تبّحر چندانی نداشت. کارهای او را ماکسول تکمیل کرد، که او هم آزمایشگری چیره‌دست بود. علی‌الاصول، مفهوم میدان الکترومغناطیسی از بطن روابطی زاده شد که فارادی میان نیروهای مختلف کشف کرد، و این کشف هم به نوبه‌ی خود به زمان گیلبرت بازمی‌گردد که به کمک مدل کوچک کره زمین یا تِرِلّا نشان داد که هر کودک دبستانی با پاشیدن براده‌ی آهن بر روی قطعه‌ی کاغذی که در کنار آهنربا نهاده است، می‌تواند میدان مغناطیسی را نمایش دهد. فارادی ردیف‌های براده‌ی آهن را خطوط نیرو نامید. این خطوط، معادل خطوط نیرویی‌اند که در اطراف بارهای الکتریکی ایجاد می‌شوند. ابداع نکته‌یی مانند خطوط نیرو به عمل ذهنی فوق‌العاده نبوغ‌آمیزی نیاز داشت، و از آن به بعد تمام مشاهدات برحسب وضعیت این خطوط تعبیر می‌شد. مثلاً ایجاد الکتریسیته بر اثر حرکت میدان مغناطیسی، معلول تقاطع خطوط نیرو به حساب می‌آمد. خطوط نیروی مربوط به آهنربای دائمی باید حتماً به صورت منحنی‌های مسدود باشند و خطوط نیروی میدان الکتریکی باید حتماً به بار الکتریکی ختم شوند.

از آن پس به خصوص در اروپا دانشمندانی مانند *آمپر*[1] و *گاوس*[2] به اندازه‌گیری کمیت‌های الکتریکی دست زدند؛ امّا تبیین کامل ریاضی نظریه‌ی الکتریکی را ماکسول به انجام رساند، و تمام یافته‌های فارادی را برحسب معادلات دیفرانسیل به صورت کمّی تفسیر کرد. تمام رفتار و روابط متقابل میدان‌های الکترومغناطیس در چهار معادله‌ی اساسی خلاصه می‌شود، که کاربرد آنها از این مرحله هم فراتر می‌رود. کمیت‌های الکتریکی و مغناطیسی را می‌توان برحسب قطب‌ها و بارهای واحد بیان کرد. درحقیقت دو سیستم یکاهای اندازه‌گیری داریم که بین آنها نسبت سرعت 3×10^{10} cm/sec برقرار است، و این

1- Andrè Marié Ampére

2- Karl F. Gauss

مقدار با سرعت سیر نور در خلأ معادل است. این نکته مبنای تعمیم گسترده‌ی نظریه‌ی ماکسول واقع شد که در سال ۱۸۷۳ با عنوان نظریه‌ی الکترومغناطیسی نور منتشر شد و بلافاصله حوزه‌ی نورشناخت را به حوزه‌های الکتریکی و مغناطیسی پیوند داد، و بعدها با کار هرتز[1] به این مفهوم انجامید که منشاء امواج نور، نوسان بارهای الکتریکی ـ همان شالوده‌ی رادیو و کلّ ارتباطات بی‌سیم مدرن ـ است.

خود نورشناخت در آغاز سده‌ی نوزدهم پیشرفت گسترده‌یی داشت. یانگ در انگلستان و فرنل در فرانسه، به رجحان نظریه‌ی نور هویگنس و نظریه‌ی ارتعاش، که نظریه‌ی موجی نور خوانده می‌شد، اعتقاد یافتند و نظریه‌ی ذره‌یی نیوتون در حال زوال به نظر می‌آمد. در همین ایّام، فرانهوفر نشان داد که طیف خورشیدی برخلاف تصوّر نیوتون پیوسته نیست و در آن خطوط تیره‌یی دیده می‌شود، که نماینده‌ی پرتوهای جذب شده به وسیله‌ی لایه‌های سطحی خورشید است، و تقریباً همزمان با این کشف معلوم شد که اتمهای برانگیخته‌ی گازها هم قادر به تولید این گونه پرتوها هستند. پاشیدن گرد نمک طعام بر روی شعله، یا سوختن گاز در لامپ‌های سدیمی و جیوه‌یی و مهتابی، صحّت این ادّعا را ثابت می‌کند. لامپ‌های سفید و سرد مهتابی، لامپ‌های داغ و نارنجی رشته‌یی را از میدان به در کرد.

بررسی این پدیده‌ها در آغاز، در حیطه‌ی پژوهش‌های شیمیایی و کاربردهای نجومی صورت می‌گرفت، و شناسایی عناصر موجود در اجرام آسمانی به کمک طیف آنها، نشان داد که عناصر متشکّله‌ی عالم ما در همه جا یکسان است. بررسی طیف‌ها به صورت یک ابزار دقیق و مهم شیمیایی در آمد، و از آن طریق عناصر جدیدی مانند هلیم کشف شد، و مندلیف تا حدودی به‌یاری این روش جدول تناوبی عناصر را تنظیم کرد.

در ضمن این فراز و نشیب‌ها، فارادی کار خود را در دو زمینه ادامه می‌داد،

1- H. Hertz

که برای آینده اهمیّت حیاتی داشت. وی ارتباطهای جدیدی میان الکتریسیته، مغناطیس، و نور پیدا کرد و نشان داد که میدان مغناطیسی هم مانند برخی بلورهای طبیعی چون کوارتز، و برخی مواد آلی نظیر قند، می‌تواند با چرخاندن صفحه‌ی قطبش، بر قطبی شدن نور تأثیر بگذارد. در نیمه‌ی دوّم این قرن، پاستور، شیمی‌دان برجسته‌ی فرانسوی، نشان داد که این خاصیّت در مواد شیمیایی، حاصل وجود نیروهای غیر متقارنی است که به وسیله‌ی اندام‌های زنده ایجاد می‌شود و این کشف مبنای باکتری‌شناسی شد که تأثیر عظیمی بر حوزه‌ی طب و کشاورزی نهاد.

به فیزیک بازگردیم: فارادی در زمینه‌ی پدیده‌ی دیگری که در حوزه‌ی بررسی‌های الکتریسیته ظهور کرده بود، به پژوهش پرداخت. این پدیده آثار درخشش تخلیه‌ی الکتریکی در خلأ، یا بهتر بگوییم، در گازهای کم‌فشار بود. این امر نقطه‌ی شروع سلسله تحقیقاتی را تشکیل داد که به کشف پرتوهای ایکس توسّط رونتگن، و خواصّ ذرّات حامل الکتریسیته، یعنی الکترون‌ها توسّط تامسن انجامید. البتّه فارادی قبلاً نشان داده بود که الکتریسیته در مایعات به صورت کمیت‌های واحد انتقال پیدا می‌کند. وی این واحدها را بار یونی نامید و با حرف e مشخّص کرد، و این مقدار را برای همه‌ی عناصر، یکسان یافت. امّا در آن هنگام تعصّب در مخالفت با نظریه‌ی اتمی، اجازه‌ی مطرح کردن نام یک ذرّه‌ی جدید را نمی‌داد.

بقای انرژی

دوّمین ایده‌ی بزرگ وحدت‌بخشی که در قرن نوزدهم مطرح شد، موضوع بقای انرژی بود. این نکته با توجّه به‌اوضاع و احوال پیشرفته‌ی علوم در قرن نوزدهم، بسیار دیر، یعنی در سال ۱۸۵۰ به منصه‌ی ظهور رسید، و کشف آن هم حاصل کار فیزیک‌دان‌های حرفه‌یی نبود، بلکه نتیجه‌ی کار افراد خارج از این حوزه، یعنی مهندسان و فیزیولوژیست‌ها بود. کارکرد عملی گرمای نهفته در ماشین‌های بخار و لوکوموتیوها از نظریه، بسیار پیش افتاد. مقدار کار حاصل از

همان مقدار سوخت ظاهراً همواره رو به افزایش بود. تکامل ماشین‌های بخار بدان حد رسید که، با استفاده از روش‌های *مناسب*، بازده آنها تا ده برابر افزایش یافت. آیا این افزایش محدودیّت نظری داشت؟ سادی کارنو بازده را در چارچوب گرفتن انرژی از دیگ بخار داغ و تخلیه‌ی آن در چگالنده‌ی سرد، که روندی نظیر جاری شدن آب بود، بررسی کرد و برای آن حدی قائل شد. به‌عقیده‌ی وی برای این روند حدّی وجود داشت، که مقدار آن به اختلاف دمای بین دیگ بخار و چگالنده، محدود می‌شد. بدین‌سان، قانون دوّم ترمودینامیک، در خصوص دسترس‌پذیری گرما، پیش از قانون اوّل که مربوط است به معادل مکانیکی گرما، کشف شد. هرچند که کارنو بعداً پی برد که آنچه در ماشین‌های حرارتی انتقال می‌یابد *کالریک* یا مقدار گرما نیست، بلکه انتروپی است؛ و این امر او را به قبول اصلی واداشت که براساس آن کار داده شده با حدّ میزان گرمای موجود متناظر است. وی قانون اوّل را در سال ۱۸۳۰ به اثبات رسانده بود، امّا یادداشت‌های مربوط به آن در سال ۱۹۲۷ انتشار یافت که امتیازی نصیب نویسنده نکرد.

در این میان، موضوع بقا و انتقال انرژی را با چنان وسعتی موشکافی می‌کردند که سرانجام هم دقیقاً معلوم نشد چه کسی آن را کشف یا اعلام کرد. معمولاً امتیاز آن را به دکتر ی. ر. مه‌یر[1] می‌دهند، که در هند شرقی به‌عنوان پزشک کشتی کار می‌کرد. او دریافت که در این منطقه برای بقای حیات گرمای چندانی لازم[2] نیست که در شمال به آن نیاز هست. وی در ضمن آزمایش‌های خود بالاخره متوجّه این اصل شد که کار و گرما دو صورت از یک کمیّتِ مشترکِ انرژی هستند که قادر است به‌صورت‌های گوناگون بسیاری درآید، و می‌توانند با ضریب ثابتی به‌یکدیگر تبدیل شوند.

این همان معادل مکانیکی گرماست، که بعداً *ژول*[2] آن را در منچستر

1- Dr. J. R. Mayer

2- J.P. Joule

دقیقاً اندازه گرفت. این کار تا سال‌ها از سوی فیزیک‌دان‌های حرفه‌یی با بی‌مهری مواجه بود؛ چون در آثار نیوتون نشانه‌یی از آن نمی‌دیدند. ژول در جریان اندازه‌گیری بازده موتورهای الکتریکی، در ارتباط با مقدار فلزی که در باتری‌ها مصرف می‌شد، به این موضوع برخورد. پس از مدتی، مفهوم بقای انرژی از سوی دانشمندانی چون *هلمهولتز*[1] و *تامسن*[2]، (*لرد کلوین*[3] بعدی)، پذیرفته شد و به صورت یکی از پایه‌های اصلی در فیزیک درآمد.

امّا، براساس قانون دوّم ترمودینامیک، در عالمی که شامل مناطق بسیار وسیع سرد و گرم بود انرژی تبادل می‌یافت و عالم به سمت نیم‌گرم کردن جهان می‌رفت. مفهوم عالمی که در حال افول و از دست دادن انرژی باشد، ناراحت کننده بود، چون نشان می‌داد در عین حال که از عمر عالم چیزی نگذشته است به پایان آن هم چندان زمانی نمانده است، و مرگ گرمایی به زودی عالم را به‌کام خواهد کشید. این نگاه بدبینانه با نظریه‌های داروین، که تکامل جانوران و گیاهان را مستلزم سال‌های دراز دگرگونی می‌دانست، سخت در تعارض بود. این امر به طور غیر مستقیم باعث تحوّلی در فیزیک شد که جستجو برای یافتن منابع جدید انرژی را طلب می‌کرد، و سرانجام به امکان دستیابی بر انرژی حاصل از تبدیلات هسته‌یی منجر شد، که گرمای خورشید هم از آن طریق تولید می‌شود.

ایده‌ی جامعیّت و عمومیّت بقای انرژی، در نیمه‌ی قرن نوزدهم، تأثیر چندجانبه‌یی روی برنامه‌ی فیزیک گذاشت. به نظر می‌رسید که انرژی راه گریزی از مفهوم ماهیّت اتمی واکنش‌های شیمیایی باشد. ناگفته نماند که در پایان قرن هیجدهم و آغاز قرن نوزدهم پیشرفت‌های علم شیمی چندان عظیم بود که کلّ علم فیزیک را تحت‌الشّعاع قرار داد. انقلاب پنوماتیکی به وسیله‌ی پریستلی و لاووازیه، به تأسیس شیمی عقلایی و ایده‌ی بنیادی اکسایش منجر شد

1- Helmholtz
2- Thomson
3- Lord Kelvin

و این مفهوم اخیر نه تنها برای تبیین احتراق به کار گرفته شد بلکه به عنوان منبع انرژی ضروری برای سوخت و ساز اندام‌های زنده، شناخته شد. بعداً دالتون، که خود فیزیک‌دان و هواشناس بود، با مشاهده‌ی برخی واکنش‌های گازها به این نتیجه رسید که بهترین تفسیر این رویدادها به کمک فرضیه‌ی اتمی میسر است. اتم‌ها در این فرضیه، علی‌الاصول همان اتم‌های مورد نظر یونانیان بود، با این تفاوت که هر دسته از آنها سرشت معین و متفاوتی داشتند، و هر یک با وزن خاص خود به نسبت‌های درست با هم ترکیب می‌شدند. در ترکیب اتم‌ها، مقداری گرما آزاد می‌شد، که آن را گرمای احتراق نامیدند و سرمنشأ حرکت و جنبش در صنعت و زیست‌شناختی دانستند. علی‌رغم کامیابی منطقی نظریه‌ی اتمی، خردی و ناپیدایی اتم‌ها به علاوه‌ی تعصّباتی که اندیشه‌های مذهبی حاکم در آن عصر در قبال مادی بودن این پدیده به خرج می‌دادند، باعث تأخیر در پذیرش قطعی آن تا اواخر قرن نوزدهم شد. این تأخیر در مواردی که موازنه‌ی شیمیایی، قابل کاربرد یا قابل درک نبود شدیدتر به چشم می‌آمد، و به عنوان نمونه‌ی بارز آن، می‌توان از کارهای فارادی در زمینه‌ی الکترولیز نام برد.

امّا، مفهوم اتم به عنوان مادّه‌ی تجزیه‌ناپذیر همچنان در اذهان باقی بود، تا هنگامی که کشف رادیواکتیویته توسّط *بکرل*[1] و *خانواده‌ی کوری*[2] و نیز *رادرفورد*[3] در آغاز قرن حاضر، نشان داد که اتم به نوبه‌ی خود از ذرّات بنیادی‌تری متشکّل است. در واقع کشاکش میان نظریه‌ی پیوستگی و اتمی بودن ماهیّت اشیا دنباله‌ی مناقشه‌ی دکارت و نیوتون در قرن هفدهم بود، و هنوز هم در سطوح بالای فیزیک ریاضی ادامه دارد.

1- A.H. Becquerel
2- Pierre and Marie Curie
3- Lord Rutherford

ریشه‌های فیزیک جدید

به‌طور کلّی تکامل فیزیک در سده‌ی نوزدهم تلاشی شکوهمند و هماهنگ بود که کلّ پدیده‌ها را در چارچوب چند تعمیم تجربی محصور می‌کرد. امّا این امر نتوانست آن گونه که هواداران آن در نظر داشتند تصویری مقبول عام عرضه کند. پیشرفت علم مسیر دیگری داشت. کارهای جدید و اندیشه‌های جدید در جاهایی به نحوی انقلابی وارد صحنه می‌شدند که پدیده‌ها با سرسختی و لجاجت از پیروی نظریه سر باز می‌زدند؛ و فیزیک جدید در همین جاها ریشه دارد. چون توضیح این موارد در طرح درس معلمانی که در مورد فیزیک مدرن بحث خواهند کرد، پیش‌بینی شده است، من در اینجا سخنم را در این زمینه کوتاه می‌کنم.

ببینیم نظریه‌ی اتمی بر مباحث نورشناخت و الکتریسیته چه تأثیری نهاد. نظریه‌ی الکترونی الکتریسیته، پرسش‌هایی برانگیخت که معادلات ماکسول قادر به ارائه‌ی پاسخ به آنها نبود. این بن‌بست منجر به پژوهش‌های اینشتین برای دستیابی به پاسخ شد، و او کار خود را با ارائه‌ی اصل تازه‌یی آغاز کرد که براساس آن تعیین سرعت مطلق جسم منفرد و منزوی ناممکن است و تنها تعیین سرعت نسبی امکان دارد. این مفهوم نسبیّت باعث ظهور برداشت نوینی از فیزیک شد، و سرعت سیر نور را به عنوان سرعت عام و سرعتی که در هیچ جای عالم فراتر از آن امکان‌پذیر نیست، شناساند. نخستین دستاوردها، اینشتین را به تدوین نظریه‌ی نسبیت عام و هم‌ارزی واقعی گرانی با حرکت شتابدار هدایت کرد. این مباحث به فیزیک نوین مربوط می‌شوند و در اینجا مجال پرداختن به آنها نیست.

در زمینه نظریه‌ی گرما و توزیع انرژی آن در طیف، نیز در سده‌ی نوزدهم جهشی صورت گرفت. بنابر ایده‌های قدیمی، جسم داغ گرما را طوری از دست می‌دهد که بخش اعظم انرژی را در محدوده‌ی طول موج‌هایی با بسامد (فرکانس)های بالا می‌توان یافت. این ایده ناشی از اعتقاد به پیوستگی شیوه‌ی آزاد شدن گرما بود. پلانک فرضیّه‌ی جسورانه و حتّی محال‌نمای گسستگی

گرما را پیش کشید و ادعا کرد که گرما تنها به صورت بسته‌های مجزا یا کوانتوم‌های کنش، قابل آزاد شدن است و بخش اعظم انرژی در محدوده‌ی بسامدهای پایین قرار می‌گیرد. این فکر معادل بیان همین امر بود که انرژی هم مانند الکتریسیته، اتمی و ناپیوسته است. بدین ترتیب نظریه‌ی اتمی به پیروزی دیگری در قبال نظریه‌ی پیوستگی عالم دست یافت، و مقدمات پیدایش نظریه‌ی کوانتومی را فراهم آورد، که بسیاری از پدیده‌های مبهم شیمیایی، و از آن جمله، گسسته بودن ترازهای انرژی فرایندهای اتمی را توضیح داد. تکمیل این تصویر هم حاصل پژوهش در خطوط طیفی بود. وجود بسامدهای مشخّص و ناپیوسته نشان داد که اتم ساختاری پیچیده و ذره‌های مجزا دارد. در سال ۱۸۸۰، *بالمر*[1] با بررسی ساده‌ترین طیف، یعنی طیف هیدروژن، این ساختار را حدس زده بود. براساس مشاهدات وی، در هر اتم هیدروژن یک الکترون وجود داشت و طیف آن از لایه‌های مشخّصی تشکیل می‌شد که در آنها هر خط نماینده‌ی اختلاف انرژی هر لایه با لایه‌ی دیگر بود. این توضیح تا ظهور نظریه‌ی اتمی بور درسال ۱۹۱۳، غیر قابل درک باقی ماند و پس از آن پیچیدگی عمیق موجود در سایر طیف‌های اتمی در زمین و خورشید و ستارگان قابل فهم شد.

عصر جدید در فیزیک

کلید واقعی ظهور فیزیک جدید، در مطالعات پرتوهای ایکس به دست آمد. کشف رونتگن مبنی بر اینکه تخلیه‌ی الکتریکی باعث ایجاد پدیده‌ی فلوئورسانی می‌شود، تا حدودی تصادفاً به نمودهای فلوئورسانی مشابهی انجامید که به طور همزمان از برخی کانی‌ها، مخصوصاً کانی‌های شامل اورانیوم، تابیده می‌شد. بکرل نخستین شاهد این خاصیّت بود، و مشاهدات او به کشف رادیواکتیویته و ناپایداری اتم‌ها انجامید. نکته‌ی طنزآمیز آنکه اتم

1- J. J. Balmer

درست در همان هنگامی پذیرش عام یافت که معلوم شد ناپایدار است. توضیح این نکته نخست در آزمایش‌های رادرفورد و سپس در آثار مکتوب بور عرضه شد. اساس فیزیک هسته‌یی امروزی در این هنگام فراهم آمد که در آن، موضوع تلاشی اتمی و اصل عدم قطعیّت مورد بحث قرار می‌گیرد: تصویر اتم به مثابه یک منظومه‌ی شمسی ریز عرضه می‌شود که هسته‌یی سنگین و باردار در مرکز دارد و منظومه‌یی از الکترون‌ها در مقام سیّاره در اطراف آن در گردشند. این مفهوم، نخستین بار به صورتی کاملاً فرضی و تمثیلی در آثار نیوتون ارائه شد و به عنوان یک نمونه‌ی اعلی، شروع عصر جدید را در فیزیک رقم زد و کاربرد آن به صورت انرژی هسته‌یی و بمب اتمی چشم‌اندازهای بشریّت را، هم در جهت نیک و هم شیطانی ، به کلّی دگرگون کرد.

این ویژگی‌ها، نشان می‌دهند که چگونه فیزیک کلاسیک در قرن نوزدهم به صورت فیزیک امروزی درآمد.

فهرست راهنما

آب، به‌عنوان عنصر ۸۴
آبیاری، در تمدن‌های اولیه ۵ـ۷۴
آپولونیوس ۱۱۸
آتش، به‌عنوان عنصر ۲ـ۹۰
  نظر وُلتِر درباره‌ی ~ ۲۸۹
آزمایش ۲۶
  ~ مهار شده ۲۸
آزوکا ۱۰۷
آسوان ر.ک. سوئنه
آکادِمی سلطنتی علوم وفنون ۴۱ـ۲۳۹
آکادمی لینکس ۲۳۷
آکادمی، تاسیس در یونان ۵ـ۱۰۴
آگری‌کولا، گِئورگ ۱۶۷، ۱۸۱
آمپر، آندره ماری ۳۷۴
آمون‌تون، قانون اصطکاک ۱۴
آناکساگوراس ۷۶، ۱۱۷
آونگ ۲۲۲، ۲۲۵، ۲۷۵
آینه ۱۳۵
اَبَرخُس ۱۱۲
ابن‌هِیثَم ۱۳۷
ابیغور ر.ک. اِپیکور
اِپیکور (اَبیغور) ۹۸
اتم ۳۳،۱۰۲ـ۹۸، ۸۱ـ۳۷۹
  بمب اتمی ۳۸۲
  نظر نیوتون درباره‌ی ~ ۲۹۵
اَحکام نجوم ر.ک. طالع بینی
اِخوان‌الصفا ۱۳۲
اِدیسُن، توماس ۳۶۹
اِدینبورگ ری‌ویو ۲۸۸
ارابه ۵۸
اراتُستِن ۱۱۵
ارسطو ۶ـ۱۰۵، ۱۰۸، ۱۱۲، ۱۳۹
  عِلم جَوّ ۱۳۳
  نظرِ ~ در باره‌ی دینامیک ۱ـ۲۲۰،۲۱۳
ارشمیدس ۱۱۰، ۹ـ۱۱۱، ۱۳۵
  پیچِ ~ ۶۵، ۱۷۳، ۱۸۰
  رساله‌ی *ماسه‌شمارِ* ~ ۱۱۶
اُرگ آبی ۷۰
اره‌کشی، ماشین ۳ـ۱۴۲
اِریحا ۴۹
اَریستارخوس‌ساموسی ۱۱۷، ۱۹۲
اسپات‌ایسلند ر.ک. اسپار آیسلند
اسپار آیسلند (اسپات‌ایسلند) ۹ـ۲۷۸
اِسپرات، تامس ۲۳۷

اسپینوزا ۲۵۱
اِستراتوس ۱۱۰
اِستِفینوس اهل بروژ ۲۲۳
اِستیفنسون، جُرج ۸ـ۳۳۷
اَسطرلاب ۷ـ۱۵۵
اُسطُقُس ۹۱
اسکندر کبیر ۱۰۵، ۱۱۰، ۱۱۲، ۱۱۴، ۱۱۸، ۱۱۹
اسکیموها ۱۷، ۴۱، ۴۵
اسلام
شیمی در ~ ۱۳۳
علم در ~ ۱۳۰
نجوم در ~ ۱۳۲، ۱۸۲
نظامیه ۱۳۰
نورشناسی در ~ ۵ـ۱۳۴
اِسنِل، قانون ۲۰۸، ۲۶۹
افلاطون ۲۹، ۹۲، ۶ـ۱۰۴، ۲۰۱
اُلُغ‌بیگ ۱۸۳
الکترولیز ۳۷۹
الکترومغناطیس ۳۷۴، ۳۷۵
الکترون، ۳۱، ۳۸۰، ۳۸۲
الکتریسیته ۳۶۸، ۳۴۱
~ آلی و غیرآلی ۳۶۲
~ حیوانی ۳۶۰
برقگیر ۳۵۶
رساناهای ~ ۳۵۱
شوک الکتریکی ۳۵۴
قانون ربایش ۳۵۷
نیز ر.ک. بطری لید، مغناطیس، نیروگاه، خلأ
اِلیزابت اول، ملکه‌ی انگلستان ۱۶۷، ۳۵۱
اِمپدوکلس ۹۱
اَناکسماندر ۸۴
اَنجِلیکا، فِرا ۳۰۳
انجمن‌های علمی ۸ـ۲۳۶
انجمن سلطنتی ۲۳۹، ۲۴۱، ۲۴۸، ۲۵۴، ۳۱۸، ۳۵۵
اندازه‌گیری ۲۲ـ۴، ۵۱
انرژی هسته‌یی ۳۸۲
انسان پکن ۳۸
انقلاب صنعتی ۱۴۸، ۱۶۲، ۱۶۵، ۲۹۷
انقلاب علمی ۶۳، ۶۷ـ۱۵۹، ۲۳۱، ۲۹۷
انقلاب کشاورزی ۴۸، ۴۹، ۱۶۴
اورانی بورگ ۱۹۶، ۱۹۷، ۲۰۰
اورستد، هـ.س. ۳۶۵، ۳۷۳
اهرم ۵۳، ۱۱۱، ۲۲۳
اینشتین، آلبرت ۳۷۲، ۳۸۰
ایرانیان ر.ک. پارسیان
ایزابلا (ایزابل)، ملکه‌ی اسپانیا ۱۸۷
اینرسی ر.ک. لختی
اِئودوکسُوس ۱۰۴

بابل ۷۶، ۷۹
ریاضیات در ~ ۸۰ـ۷۹، ۸۵
محاسبات نجومی در ~ ۲۴، ۲۵۸
مرگ اسکندر در ~ ۱۰۷
نخستین تفکرات علمی در ~ ۷۷
نورشناسی در ~ ۱۳۵
باد ۷۲ـ۶۸
ابزارهای بادی ۷۱ـ۷۰
بارتولین، ی. ۲۷۸
بارو، دکتر ایزاک ۲۳۳
بالمِر، ج.ج. ۳۸۱
بالیستیک ۲۱۶، ۱ـ۲۲۰
براگ، سِرلاورَنس ۲۸۰، ۲۸۳
براهه، تیکو ۱۶۱، ۷ـ۱۹۶، ۲۰۰، ۲۰۴، ۲۴۴، ۲۷۶
برقگیر ۳۵۶

نیز ر.ک. الکتریسیته
برونِکِر، لُرد ۲۴۱
برونو، جیوردانو ۲۲۸
بروهام، لُرد ۲۲۸
بریل، در نخستین عینک‌ها ۱۳۵
بطری‌لید ۵ـ۳۵۲
بطلمیوس ۱۰۸، ۱۱۳، ۱۸۱، ۱۸۴
بقای انرژی ۸ـ۳۷۶
بِکُرِل، ا.هـ ۳۷۹، ۳۸۱
بِلِک، جوزف ۸ـ۳۲۷
بِلِک، ویلیام ۶۷
بور، نیلز ۳۲، ۲۵۶، ۳۸۱
بورباکی ۲۳۸
بُورِلی، زیست‌شناس ایتالیایی ۲۵۸، ۲۵۹، ۲۶۰
بوریدان، .ج. ۲۲۲
بولتُن، ماتیو ۴ـ۳۳۲
بولاس ۴۲
بویل، رابرت ۲۳۷، ۱۵ـ۳۰۷
قانون ~ ۳۱۴،۳۲،۲۹
بینایی ۱۰
بیکن، راجر ۷ـ۱۳۵، ۲۳۸، ۲۴۱، ۳۴۶
بیکُن، فرانسیس ۲۳۸

پارسیان (ایرانیان)
تاریخ ~ ۳ـ۱۰۲
تقدس آتش در نزد ~ ۹۱
پاپن، دِنیس ۹ـ۳۱۵
پارمِنیدُس ۹۷
پاستور، لوئی ۳۷۶
پاسکال، ب. ۳۰۱
پاولینگ، لینوس ۱۳۸
پرتغال
دریانوردی در ~ ۱۸۵
پرتو ایکس ۳۷۱، ۳۷۶، ۳۸۱
پری‌یِه ۳۰۱
پریستلی، جوزف ۴۴، ۳۵۰، ۳۷۸
تاریخچه و وضع کنونی الکتریسته ۳۵۰
پطرُس زائر ۱۵۲، ۳۴۲
پلوتارخ ۱۱۹
پلانک، ماکس ۲۵۶، ۳۷۲، ۳۸۰
پنوماتیک ۷۲ـ۶۸، نیز ر.ک. تلمبه، خلأ
پولی‌نزی ۴۸
پیزا
آزمایش گالیله در ~ ۱۸۰
برج کج ~ ۲۰۶
کلیسای جامع ~ ۲۲۴
پیسِستراتوس ۳ـ۱۰۲
پیشرانش ۷۰
پیکار، ج. ۲۷۶
پیشگویی ۸۸

تارتاگلیا، ن. ۲۱۷
تالسِ ملطی ۷۹، ۹۹
تامسون، بنجامین (کُنت رامفورد) ۳۳۹، ۳۶۴
تامسون، ج.ج. ۳۷۶
تامسون، ویلیام (لُرد کلوین) ۳۷۸
تحلیل هماهنگ ۱۴
تدفین جسد، روش‌های مختلف در دوران باستان ۹۱
ترازو ۳ـ۵۱
ترازوی پیچشی ۹ـ۳۵۸
ترمودینامیک ۳۳۹
قانون دوم ~ ۳۷۲، ۳۷۷
ترِموی‌تیک، ریچارد ۷ـ۳۳۶
تسلیحات ۹ـ۲۱۴

تعادل ۱۲
تقویم ۶ـ۷۴
تلسکوپ ۱۶۱، ۱۰ـ۲۰۷، ۲۴۱، ۵ـ۲۴۴، ۲۶۹، ۲۷۰
تلگراف الکتریکی ۳۶۸
تلمبه ۳۱۴ـ۲۹۸
~ی ضربانی ۳۱۹
تمدّن باستان ۵ـ۷۴
توپ ۹ـ۲۱۴
توریچلی، ایوانجلیستا ۳۰۰
توفان نوح ۷۵، ۱۶۸
توماس آکویناس قدّیس ۱۸۱، ۲۲۲
تئوفراستوس ۱۰۸

جَبّاران ۱۰۲
جدول‌های پروسی ۱۹۵
جُندی‌شاپور ۱۳۰
جنگ سی ساله ۳۰۱
جورج سوم، شاه انگلستان ۳۵۶
جِیپور ۱۳۲

چارلز دوّم، شاه انگلستان ۲۳۹، ۳۰۷، ۳۵۶
چاسر، ج. ۱۵۵
چایلْد، و. گوردون ۱۷
چرتکه ۲۵
چرخ ۸ـ۵۴
افقی ۵۵
توپُر ۵۶
چَرخشت ۶۱
چنگ‌هو، دریادارِ چینی ۱۸۶
چین باستان
ابزارهای موسیقی در ~ ۷۰
پیش‌بینی خسوف و کسوف در ~ ۷۶
تمدّن اوّلیّه در ~ ۶ـ۷۴
فالگیری در ~ ۵۱ـ۱۴۹
ساعت در ~ ۱۷۰
شیمی در ~ ۱۳۴
فلسفه در ~ ۸۵، ۱۱۲
کاربرد زین و یراق اسب در ~ ۱۴۵، ۱۴۶
نجوم و تقویم در ~ ۷۶
نظر فلاسفه‌ی ~ درباره‌ی عناصر ۱۹

حَرّان (مدینه‌القَمَر) ۷۹
حرکت دائمی ۱۵۳، ۱۷۳
حساب دیفرانسیل و انتگرال ۲ـ۲۵۱
حضرت محمّد (ص) ۷۹، ۱۳۰
حلقه‌های رنگی ۵ـ۲۸۳

خاک، به‌عنوان عنصر ۹۰
خراطی ۱۶۹
خشایارشا ۱۰۳
خلأ
الکتریسیته و ~ ۳۴۷
تلمبه‌ی ~ ر.ک. تلمبه
خورشید ۸۱
نیز ر.ک. منظومه‌ی شمسی

دالتون، جان ۳۷۹
دام (برای صید) ۴۳
دان، جان ۲۰۷، ۲۲۹
داروین، چارلز ۱۰۱، ۲۹۵، ۳۷۸
درباره‌ی دوران (نوشته‌ی کپرنیک) ۱۹۳
دریانوردی ۱۲۱، ۱۶۴، ۱۸۵، ۱۸۹
~ در نزد اعراب ۱۸۶
دِکارت، رِنِه ۲۵۹، ۳۰۹
دکارتی، شبکه‌ی ۲۷

دکارتی، مختصاتِ ۱۸
دما، احساسِ ۱۶
دِموکریتوس (ذیمقراطیس) ۹۸، ۲۹۲
دنده‌ی خورشیدی ـ سیاره‌یی (در ماشین بخار) ۳۳۴
دُو اونِکور، ویلار ۲ـ۱۴۰
دوفِه، س.ف. ۳۵۱
دولاند، ج. ۲۷۵
دومینیک قِدیس ۲۲۲
دی، جان ۲۲۸
دیراک ر.ک. *نظریه‌ی کوانتومی*
دیفرانسیل و انتگرال ر.ک. حسابِ ~
دیگبی، سِر کِنِلم ۲۳۹
دینامیک ۲ـ۲۳۱
~ منظومه‌ی شمسی ۶۰ـ۲۵۸
دِیوی، هَمفری ۷ـ۳۶۵

ذیمقراطیس ر.ک. دموکریتوس

رادرفورد، لُرد ۳۷۹، ۳۸۲
رادیو
مبانی ~ ۳۷۵
رادیو اکتیویته ۱۰۱، ۳۷۸، ۳۷۹
رامفورد، کُنت ر.ک. تامسون، بنجامین
راموس، پی‌یر ۲۱۳
راه آهن ۳۳۷
رصدخانه‌ی سلطنتی گرینویچ ۷ـ۲۴۴
رصدخانه‌ی سمرقند ۱۲۲
رصدخانه‌ی مراغه ۱۲۲
رِگیومونتانوس ۱۸۵
رِن، سِر کریستوفِر ۲۶۰، ۲۳۷
رنسانس ۱۶۰، ۱۸۱، ۱۸۵، ۱۸۹
روباک، جان ۳۳۲
رودولف دوم، امپراتور آلمان ۱۸۳
رودولف دوم، امپراتور اتریش ۲۰۰
روم باستان
آبراهه‌های ~ ۱۲۰
جنگ با کارتاژی‌ها ۱۱۸
فلسفه در ~ ۱۰۱ـ۹۹
معدن کاوی در ~ ۱۸۰
معماری در ~ ۱۴۰
میراث ~ ۲۱ـ۱۱۹
رومِر، اولائوس ۲۴۳، ۲۷۶
رونتگن، ویلهلم‌فون ۳۷۶، ۳۸۱
ری ۱۳۱

زحل ۹۳، ۱۱۲، ۲۱۱
زمان، اندازه‌گیریِ ۲۴
زمین
اندازه‌ی ~ ۱۱۵
گردبودن ~ ۱۱۳
زِنون ۹۷
زودپز بخاری ۳۱۵
زهره ۹۲، ۱۹۰، ۱۹۱
زِیج آلفونسی ۱۸۳
زیج ایلخانی ۱۸۳

ژنتیک ۱۰۰
ژوستینین ۱۲۷
ژول، ج.پ. ۳۷۷

ساعت ۱۷۰، ۱۸۰
ساوری، کاپیتان ۲۲ـ۳۱۹
ستاره‌ی قطبی ۱۱۵
سفر پیدایش ۸۳
سُقراط ۱۰۴

سقوط اجسام۲۱۹، ۲۲۲، ۲۲۴
سُلوکوس ۱۰۷
سلاح، تکامل ۲ـ۴۰
سنت آلبنز، هرتفوردشایر ۱۲۴
سنگِ آتشزنه۳۸، ۴۴
سنگِ مغناطیس ۲ـ۳۴۱
سوریه ۱۲۶، ۱۲۷
سوئنه (آسوان) ۱۱۴
سیارات
حرکت ~۳ـ۱۱۲، ۱۹۰، ۲۹۳
~ و عناصر ۹۳
نیز ر.ک. منظومه‌ی شمسی
سیراکوز ۱۱۰، ۱۱۱، ۸ـ۱۱۶

شاینر، کریستوفر ۲۵۱
شبکه‌ی دکارتی ر.ک. دکارتی، شبکه‌ی
شفق‌های شمالی ۳۴۷
شمارش ۲۳
شنوایی ۱۳
شیر اطمینان ۳۱۵
شیمی ۱۳۳

صابئین ۷۹

طاعون اروپا ۱۶۴
طالع‌بینی (احکام نجوم) ۲۵، ۱۱۳
طول جغرافیایی
حل مسئله‌ی تعیین ~ ۲۵۶
طیف ۲ـ۲۷۰، ۳۷۵، ۳۸۱

عدسی ۲۴۸، ۲۵۱
عصر آهن ۷۷
عصر تاریکی ۴ـ۱۲۳
عصر حجر ۵۰
عصر کهن سنگی ۱۸، ۳۵، ۴۰ـ۳۸، ۴۲، ۴۵، ۶۹
عصر مفرغ ۵۸، ۱۲۰
عطارد ۹۳، ۱۱۲، ۱۹۰، ۲۱۱
علم جَو، نوشته‌ی ارسطو ۱۳۳
علوم غریبه ۱۴۸
عناصر ۲۰ـ۱۹، ۸۴، ۱۰۲ ـ۹۸
نظر نیوتون درباره‌ی ~ ۳۷۶
عینک‌های اولیه ۱۳۵

غزالی ۱۱۳

فارادی، مایکل،۳۲، ۳۶۶، ۳۶۷، ۳۷۳، ۳۷۴، ۳۷۵، ۳۷۶،۳۷۹
فرانکلین، بِنجامین ۳۵۰، ۳۵۵، ۳۵۷
فرانهوفر، یوزِف فون ۲۷۰، ۳۷۵
فردریک، شاه دانمارک ۱۹۶
فِرنل، آگوستین ۲۸۸، ۳۷۵
فِرنل، ژان ۱۸۸، ۲۸۸
فرواسار، ف. ۲۱۴
فسفر ۳۷۴
فشارسنج ۳۰۰، ۳۴۷
فلزکاری ۸ـ۱۶۶
فلسفه ۸۵،۹۸،۹۹
فلسفه‌ی نیوتون ۵ـ۲۹۴
فلمستید، منجم سلطنتی ۲۴۴، ۲۴۶
فلوئورسانی ۳۷۵، ۳۸۱
فوتون ۲۷۱
فون کلایست، ی.ک. ۳۵۲
فون گریکه، اتو ۳۰۱، ۳۰۸
فیثاغورث ۸۵، ۸۶، ۸۷، ۸۸، ۹۲
فیزیک

تعریفِ ~ ۵، ۸
جنبه‌های اجتماعی ~ ۱۷
فیزیک خورشید مرکزی ۱۵۹
فیزیک نوین ۳۱
منشاء یونانی ~ ۸ـ۹۵
فیلوک‌تتس ۷۰
فیلیپ مقدونی ۱۰۵
فیلیپینوس، جان ۲۱۳

قانون اِسنِل ۲۰۸، ۲۶۹
قانون اصطکاک آمون‌تون ۱۴
قانون بویل ر.ک بویل
قایق‌های اوّلیّه ۸ـ۴۵
قرقره ۵۹
قسطنطنیه، سقوطِ ۱۶۱، ۱۸۴
قطب‌نما ۱۴۸، ۱۵۱، ۳۴۲
قوّه‌ی محرکه ۲۱۴

کاپیتزا، پ. ۲۹
کاترین، ملکه‌ی روسیه ۳۳۳
کارن، صنایع آهنِ ۳۳۲
کارنو، سادی (سعدی) ۳۳۷، ۹ـ۳۳۸
کاسینی ۲۰۰
کانت، ایمانوئل ۲۹۵
کاوِندیش، هِنْری. ۳۵۸، ۳۶۰
کُپرنیک ۱۶۱، ۱۶۲، ۱۸۵، ۱۸۹، ۱۹۸، ۲۵۵، ۳۷۱
درباره‌ی دوران ۱۹۳
کپلر، یوهان ۲۹، ۱۶۱، ۱۶۲، ۱۸۳، ۲ـ۲۰۰، ۲۳۲، ۲۶۰، ۲۶۴
درباره‌ی حرکت مریخ ۲۰۳
قانون اولِ ~ ۲۰۵
قانون دوم ~ ۲۶۴
قانون سوم ~ ۲۶۰
کتاب بر آورد ۶۷
کرِسی، جنگِ ۲۱۴
کرونومتر ۲۶۵
کسوف و خسوف ۷۹
کلبه‌های اولیه ۴۵
کُلُمب، کریستُف ۷ـ۱۸۶
کِنْدی ۱۳۸
کُنفُوسیوس ۱۱۱
کوری، پی‌یر و ماری ۳۷۹
کولُن، شارل ۶۰ـ۳۵۷
کهربا ۳۷، ۳۴۶

گاسِندی، پ.فون ۲۹۲
گالوانی، لویجی ۲ـ۳۶۰
گالیله، گالیلئو ۷، ۱۶۱، ۱۶۲، ۲۰۶
ابداع دینامیک ۲۱۳، ۲۲۴، ۲۳۲
پیام آور ستارگان ۲۰۷
~ و محکمه‌ی تفتیش عقاید ۲۲۷
گفتار درباب دو نظام عمده‌ی جهان ۲۲۷
مباحثاتی درباب دو علم جدید ۲۲۷
نظر ~ درباره‌ی تلمبه ۲۹۸
نظر ~ درباره‌ی حرکت اجسام ۲۱۹، ۲۲۲، ۲۲۴
نظر ~ درباره‌ی منظومه‌ی شمسی ۲۰۶، ۲۱۲، ۲۵۵، ۲۵۷
گائوس، کارل .ف. ۳۷۴
گرانش ۶۰ـ۲۵۶، ۲۹۴
گرمای نهان و ماشین بخار ۸ـ۳۲۷
گروسه‌تِست، رابرت ۱۴۰
گِری، استیفن ۵۱ـ۳۴۹
گیلبرت، ویلیام ۳۴۴، ۳۷۴
گریمالدی، ف.م. ۲۸۶

گوته، ی.و. فون ۶ـ۲۸۵
گوستاو آدولف، شاه سوئد ۳۰۱
گوین، نِل ۳۰۷

لَختی (اینرسی) ۲۶۳
لک‌های خورشید ۲۵۱
لوکرِتیوس ۹۸
لوکوموتیو ۸ـ۳۳۶
لوکِئوم (لیسه) ۱۰۶
لومباردی ۱۶۶
لوئی چهاردهم، شاه فرانسه ۲۳۹
لی‌ون‌هوک آنتوانی ۲۴۸
لیپرشی، هـ ۲۰۸
لیسه (لوکئوم) ۱۰۶
لئوکیپوس ۹۸
لئوناردو داوینچی ۷۱ـ۱۶۹، ۱۷۷
لاپلاس، پی‌یِر ۲۹۴
لامسه، حسّ ۱۴
لاووازیه، آنتوان ۳۷۸
لایب‌نیتس، گوتفرید ۲۵۲، ۲۶۲

ماشین بخار ۲۹۷
تکامل ~ ۳۶ـ۳۱۵
چگالنده‌های مجزا در ~ ۹ـ۳۲۸
کاربرد دنده‌ی خورشیدی ـ سیاره‌یی ۳۳۴
گرمای نهان و ~ ۸ـ۳۲۷
لوکوموتیو ۹ـ۳۳۶
ماکسْوِل، جیمز کلَرک ۲۵۶، ۳۱۴، ۳۵۹، ۳۷۲، ۳۷۴، ۳۷۵، ۳۸۰
ماه ۹۳، ۱۹۰، ۱۹۸، ۲۰۸، ۲۵۷، ۲۶۴، ۲۶۵
محاسبه ۸۰ـ۷۹
مختصات دکارتی ر.ک. دکارتی، مختصات
مدرسه، در اسلام ۱۳۱
مدینه‌القَمَر ر.ک. حَرّان ۷۹
مِریخ ۹۳، ۱۱۲، ۱۹۰، ۲۰۳، ۲۰۴
مُشتری ۹۳، ۱۱۲، ۱۹۰، ۲۰۷، ۲۱۰، ۲۱۱، ۲۳۱، ۲۵۴، ۲۷۶
مصر باستان
اهرام ۲۶، ۲۷
پیشرفت‌های علمی در ~ ۱۰۷
تفکرات علمی اوّلیّه در ~ ۷۵
طغیان نیل و تقویم ۷۵
نجوم در ~ ۱۱۳
نیز ر.ک. اسکندریه
معدن‌کاوی ۱۸۰
کاربرد تلمبه‌های ضربانی در ~ ۳۱۹
کاربرد راه‌آهن در ~ ۱۳۵
معماری ۱۴۰
مغناطیس ۵۲ـ۱۴۸
در چین ۱۴۹، ۳۴۲
در یونان باستان ۱۴۸
مطالعات اولیه درباره‌ی ~ ۳۴۲
مَک‌کلس‌فیلد، لُرد ۳۵۵
منجنیق پنوماتیکی ۷۱
منجیق بادی ۷۱
مِندلیف، دیمتری ۳۷۵
منشور ۴ـ۲۷۰
منظومه‌ی شمسی ۱۵۹، ۱۶۱، ۱۸۵، ۱۸۹
دینامیک ~ ۶ـ۲۵۸
نظر گالیله در باره‌ی ~ ۸ـ۲۰۶، ۲۱۲
نظر نادرست گیلبرت در باره‌ی ~ ۳۴۶
نظر نیوتون در باره‌ی ~ ۴ـ۲۶۰
منگنه ۵۹
محمّد (ص) ر.ک.حضرت محمّد (ص)
موتور احتراق داخلی ۷ـ۳۱۶
موریس، دوک ناساثو ۲۰۸

موزه ر.ک. موزئوم
موزِئوم (در اسکندریه) ۱۰۸
موسیقی، نظریه‌ی ~ غربی ۶۹
موشِن‌بروک، پیتر وان ۳۵۳، ۳۵۴
مؤسسه‌ی سلطنتی ۳۱۱، ۳۶۴، ۳۶۶
مِه‌یِر، ج.ر. ۳۷۷
میکروسکوپ ۹ـ۲۴۸

نجوم ۵ـ۲۴، ۶ـ۱۵۵
اندیشه‌های جدید در ~ ۱۸۱، ۱۸۹
رصد لک‌های خورشید ۲۵۱
~ اسلامی ۱۳۲
~ در بابل ۲۴،۲۵۸
~ در دوران باستان ۷۴، ۷۹
~ در مصر ۱ـ۸۰
~ در نزد مغولان ۱۲۲
~ در یونان ۷۴، ۲۵۸
نخستین کاربرد تلسکوپ در ~ ۵ـ۲۴۴، ۲۴۷
نیز ر.ک. منظومه‌ی شمسی
نخ‌ریسی ۸ـ۱۴۷
نسبیّت ۲۷۶، ۳۷۹، ۳۸۰
نسطوریان ۱۲۶
نظامیه ۱۳۱
نظریه‌ی کوانتومی ۲۷۰، ۲۷۶، ۳۸۱
نظریه‌ی کوانتومی (نوشته‌ی دیراک) ۳۴
نقشه‌های مقیاس‌دار ۶۳
نور
امواجِ ۸ـ۲۸۰
پراشِ ~ ۸ـ۲۸۶
سرعتِ ~ ۲۷۶
شکستِ ~ ۳۶۹، ۳ـ۲۷۱
نَوَرد ۳ـ۱۷۰
نورشناسی ۵ـ۱۳۴، ۲۶۶، ۲۷۴، ۳۷۵
نورمن، رابرت ۳ـ۳۴۲
نوگِباوئر، ا. ۷۰
نیروگاه ۳۷۰
نیدهام، ج. ۱۷۰
نیرو ۱۲
نیزه‌انداز ۲ـ۴۱
نیل‌سنج ۷۵
نیوتون، ایزاک ۱۶۱، ۱۶۲، ۶ـ۲۳۲، ۳۷۱، ۳۷۵، ۳۷۹
اصول موضوعه‌ی قوانین حرکت ۲۵۸، ۴ـ۲۶۲
پرینکیپیا (پرنسیپیا) ۱۶۱، ۲۵۲، ۲۶۰، ۴ـ۲۶۱، ۲۷۲
تلسکوپ ~ ۴ـ۲۵۲
تولد و زندگی ~ ۶ـ۲۳۲
حلقه‌های ~ ۵ـ۲۸۳
قوانین حرکتِ ~ ۳۲، ۲۳۲
نظر ~ درباره‌ی پیوستگی اجسام ۲۹۲
درباره‌ی اتم ۳ـ۲۹۲
درباره‌ی عناصر ۲۹۲
درباره‌ی فلسفه ۵ـ۲۹۴
درباره‌ی منظومه‌ی شمسی ۲۹۳، ۳۶۰
نورشناخت (اثرِ ~) ۲۶۶، ۲۷۴
~ و امواج نور ۲۷۱
~ و پراش ۹ـ۲۸۶
~ و حساب دیفرانسیل وانتگرال ۲۳۶، ۲۵۱
~ و شکست نور ۲۹۱، ۳ـ۲۷۱
~ و گرانش ۲۵۷، ۳۶۰
~ و مباحثه درباب نور ۲۵۳
~ و نورشناسی ۲۶۷
~ و منشور ۴ـ۲۷۰
نیوکامِن، توماس ۳۲۸، ۶ـ۳۳۲

وات، جیمز ۳۲۸، ۳۳۶
والنشتاین، کنت ۱۸۳
وزن، اندازه‌گیریِ ۲۳
وِسلی، جان ۳۵۵
وُلتا، آلِساندرو ۶ـ۳۶۲
پیل ~ ۳۶۲
وُلتِر ۳۸۹
ویتروویوس ۶۶
ویلیام فاتح ۱۴۶

هابْس، توماس، ۲۳۹
هاروی، ویلیام ۱۶۱
هاکسبی، ف. ۳۴۷، ۳۴۸
هالی، ادموند ۲۶۰
هانتِر، جان ۳۶۰
هانری دریانورد ۱۸۵
هرتز، هـ ۳۷۵
هرون اسکندرانی ۱۱۰
هِلمهُولتز ۳۷۸
هِلِنیسم ۶ـ۱۲۵
هلیوسِکوپ (خورشیدنما) ۲۵۱
هلال خضیب ۷۴
هندوستان
امپراتوری ~ ۱۷۰
فلسفه در ~ ۸۵
هوا، به عنوان عنصر ۲ـ۹۰
فنر ~ ۳۰۹، ۳۱۴
هوک، رابرت ۷، ۲۹، ۲۳۷، ۲۴۱، ۲۶۰، ۳۰۷
هویگِنس، کریستیان ۲۶۹، ۸۳ـ۲۷۶، ۳۱۵، ۳۱۷
هی‌پاتیا ۱۱۹
هیتی، فرهنگِ ۸۱
هیدرواستاتیک ۱۱۱
هیدرودینامیک ۱۱۰
هیرون، شاه سیراکوز ۱۱۶

یانگ، توماس ۲۸۸، ۳۷۵، ۳۸۱
یراق اسب ۱۴۵، ۱۴۶
یونان باستان
آکادمی ۱۰۶
استفاده از آهنربا در ~ ۱۴۸
پیشرفت نجوم در ~ ۱۱۲
تاریخ ~ ۹۲
تفکر علمی در ~ ۹ـ۷۷
جباران ~ ۱۰۲
جنگ تِروُا ۶۸
حساب در ~ ۸۰
فرهنگ ~ ۳ ـ ۸۱
فلسفه در ~ ۸۵، ۹۸
لوکئوم (لیسه) ۱۰۶
معماری در ~ ۱۴۰
منشاء فیزیک در ~ ۹۵
میراثِ ~ ۱۲۲ـ۱۱۹
نظر فلاسفه‌ی ~ درباره‌ی عناصر ۱۹، ۹۲
نورشناسی در ~ ۸ـ۱۳۴