

COLIN BARRAS
SCIENCE HACKS

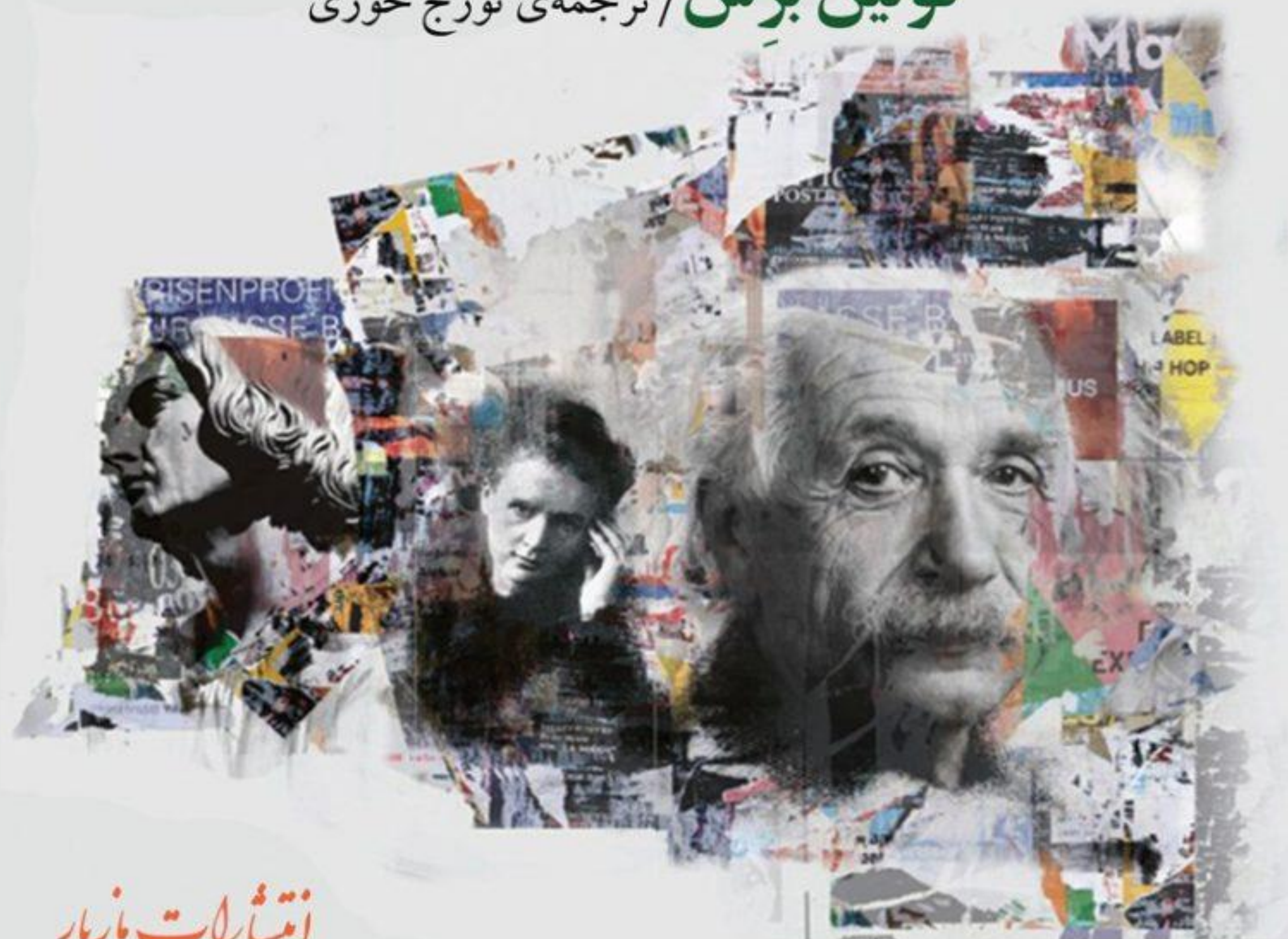
100 clever ways to help you understand and
remember the most important theories

چار علمی

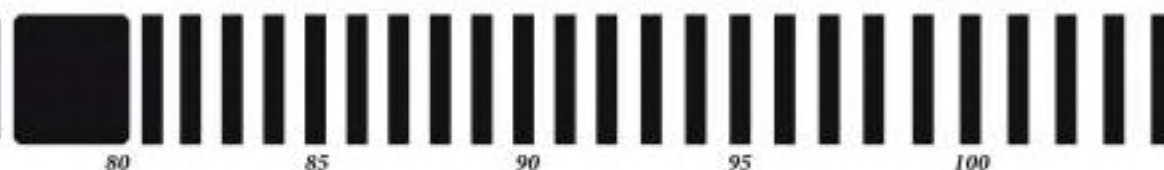


۱۰۰ راه هوشمندانه برای کمک به فهم و
به یاد سپردن مهم ترین نظریه ها

کولین بَرَس / ترجمه ی تورج حوری



زمنشلات مازیار



برای مشاهده و دانلود عکس‌های رنگی کتاب به سایت
مراجعه کرده یا بارکد روبرو را اسکن کنید

آچار علم / قلمرو علم <http://www.mazyarpub.ir/>

آچار علم

۱۰۰ راه هوشمندانه برای کمک به فهم و
به یاد سپردن مهم ترین نظریه ها

کولین برّس

ترجمه ی

تورج حوری

نمات‌الذریعہ

سرشناسه	: برس، کولین، Barras, Colin
عنوان و نام پدیدآور	: آچار علم: ۱۰۰ راه هوشمندانه برای کمک به فهم و به یاد سپردن مهم ترین نظریه ها / کولین برس؛ ترجمه ی تورج حوری.
مشخصات نشر	: تهران: مازیار، ۱۳۹۸.
مشخصات ظاهری	: ۲۹۶ ص.: مصور (رنگی)، نمودار (رنگی).
شابک	: ۹۷۸-۶۲۲-۹۵۰۳۴-۷-۸
وضعیت فهرست نویسی	: فیپا
یادداشت	: عنوان اصلی: Science hacks : 100 clever ways to help you understand and remember the most important theories, 2018.
عنوان دیگر	: ۱۰۰ راه هوشمندانه برای کمک به فهم و به یاد سپردن مهم ترین نظریه ها
موضوع	: Science -- Miscellanea
موضوع	: علوم -- مطالب گونه گون
شناسه افزوده	: حوری، تورج، ۱۳۴۱-، مترجم
رده بندی کنگره	: Q۱۷۳
رده بندی دیویی	: ۵۰۲
شماره کتاب شناسی ملی	: ۵۷۶۵۰۵۹

www.mazyarpub.ir
mazyarpub@yahoo.com

انتشارات مازیار

مقابل دانشگاه تهران، ساختمان ۱۲۹۶ (ظروفچی) طبقه اول، واحد ۴، تلفن ۶۶۴۶۲۴۲۱

آچار علم

۱۰۰ راه هوشمندانه برای کمک به فهم و
به یاد سپردن مهم ترین نظریه ها

کولین برس

ترجمه ی تورج حوری
صفحه آرای مروا ک.

چاپ اول ۱۳۹۸

شمارگان ۱۲۵۰

لیتوگرافی چاووش

چاپ و صحافی طیف نگار

شابک ۹۷۸-۶۲۲-۹۵۰۳۴-۷-۸

حقوق مادی این اثر متعلق به انتشارات مازیار است.

فهرست مطالب

مقدمه

۹

تکامل

۱. نظریه ی تکامل براساس انتخاب طبیعی ۱۱
۲. اصل تکامل توأم ۱۴
۳. نظریه ی توارث لامارک ۱۷
۴. مفهوم زه پایی ۲۰
۵. سنتز مدرن ۲۳
۶. فرضیه ی پسر جنسی ۲۶
۷. مفهوم انتخاب خویشاوندی ۲۹
۸. فرضیه ی ملکه سرخ ۳۲
۹. نظریه ی تعادل نقطه ای ۳۵
۱۰. مفهوم انطباق ثانویه ۳۸
۱۱. فرایند تکامل همگرا ۴۱
۱۲. انتقال افقی ژن ۴۴
۱۳. نظریه ی درون همزیستی ۴۷
۱۴. فرضیه ی لوکا ۵۱
۱۵. فرایند ادغام ژنتیکی ۵۳

ژنتیک

۱۶. نظریه ی توارث مندلی ۵۶
۱۷. کروموزوم نظریه ی توارث ۵۹
۱۸. فرایند رانش ژنتیکی ۶۲
۱۹. مدل مارپیچ دوگانه ۶۵
۲۰. فرضیه ی ساعت مولکولی ۶۷
۲۱. نظریه ی ژن خودخواه ۷۰
۲۲. فرضیه ی حوای میتوکندریال ۷۳
۲۳. فرضیه ی جهان RNA ۷۶

خاستگاه‌های انسان

- ۸۱. حلقه‌ی مفقوده ۲۵.
- ۸۴. فرضیه‌ی میمون مست ۲۶.
- ۸۶. فرضیه‌ی دشت هموار ۲۷.
- ۸۹. فرضیه‌ی مادر بزرگ ۲۸.
- ۹۲. فرضیه‌ی آشپزی ۲۹.
- ۹۵. معضل زایمان ۳۰.
- ۹۸. معمای همه چیز خواری ۳۱.
- ۱۰۰. فرضیه‌ی خروج از آفریقا ۳۲.
- ۱۰۲. فرضیه‌ی زبان پدری ۳۳.

دنیای طبیعی

- ۱۰۴. مسئله‌ی قوی سیاه ۳۴.
- ۱۰۷. مفهوم زمان عمیق ۳۵.
- ۱۱۰. نظریه‌ی کاتاستروفیسم / فاجعه گرایی ۳۶.
- ۱۱۳. مفهوم یکنواختی ۳۷.
- ۱۱۶. نظریه‌ی دینامو ۳۸.
- ۱۱۹. نظریه‌ی رانش قاره‌ای ۳۹.
- ۱۲۲. نظریه‌ی گسترش کف دریاها ۴۰.
- ۱۲۵. نظریه‌ی تکتونیک / زمین ساخت صفحه‌ای ۴۱.
- ۱۲۸. نظریه‌ی میلانکوویچ ۴۲.
- ۱۳۱. فرضیه‌ی زمین گلوله برفی ۴۳.
- ۱۳۴. فرضیه‌ی گایا ۴۴.
- ۱۳۷. فرضیه‌ی مدیا ۴۵.
- ۱۳۹. مفهوم گونه‌ی سنگ سرطاق ۴۶.

پزشکی و فیزیولوژی

- ۱۴۲. فرضیه‌ی پیدایش زیستی ۴۷.
- ۱۴۵. نظریه‌ی میکروبی بیماری‌ها ۴۸.

۱۴۸	۴۹. اثر پلاسبو (دارونما)
۱۵۱	۵۰. مفهوم مقاومت آنتی بیوتیکی
۱۵۳	۵۱. آموزه‌ی نورو
۱۵۶	۵۲. فرضیه‌ی آبشار آمیلوئید
۱۵۹	۵۳. حد هیفلیک
۱۶۲	۵۴. فرضیه‌ی سلول بنیادی سرطان
۱۶۴	۵۵. نظریه‌ی شکلی بویایی

فیزیک

۱۶۷	۵۶. قانون گرانش جهانی نیوتون
۱۷۰	۵۷. قوانین نیوتون در حرکت
۱۷۳	۵۸. نظریه‌ی ذره‌ای نور
۱۷۵	۵۹. نظریه‌ی موجی نور
۱۷۸	۶۰. معادلات مکسول
۱۸۱	۶۱. قانون بویل
۱۸۴	۶۲. قانون اول ترمودینامیک
۱۸۷	۶۳. قانون دوم ترمودینامیک
۱۹۰	۶۴. مفهوم صفر مطلق
۱۹۳	۶۵. فرضیه‌ی اتر
۱۹۶	۶۶. نظریه‌ی نسبیت خاص
۱۹۹	۶۷. $E = mc^2$
۲۰۲	۶۸. نظریه‌ی نسبیت عام

دنیای اتمی

۲۰۴	۶۹. نظریه‌ی اتمی دالتون
۲۰۷	۷۰. نظریه‌ی جنبشی گازها
۲۱۰	۷۱. نظریه‌ی حرکت براونی اینشتین
۲۱۲	۷۲. مدل کیک کشمشی
۲۱۵	۷۳. قانون پلانک
۲۱۸	۷۴. اثر فوتوالکتریک
۲۲۱	۷۵. مدل رادرفورد-بور

۲۲۴	۷۶. اصل عدم قطعیت هایزنبرگ
۲۲۷	۷۷. اصل مکملیت
۲۲۹	۷۸. پارادوکس EPR
۲۳۲	۷۹. گریه‌ی شرودینگر
۲۳۵	۸۰. آزمایش دو- شکاف الکترون
۲۳۸	۸۱. مفهوم پادماده
۲۴۰	۸۲. مفهوم استحاله‌ی هسته‌ای
۲۴۳	۸۳. مفهوم عمرسنجی رادیومتریکی
۲۴۵	۸۴. فرضیه‌ی الکترون هسته‌ای
۲۴۸	۸۵. نظریه‌ی شکافت هسته‌ای
۲۵۱	۸۶. مدل کوارکی
۲۵۴	۸۷. مدل استاندارد
۲۵۷	۸۸. نظریه‌ی ریسمان

فضا

۲۵۹	۸۹. مفهوم فلزی شدن
۲۶۲	۹۰. نردبان فاصله‌ی کیهانی
۲۶۵	۹۱. قانون هابل
۲۶۸	۹۲. نظریه‌ی مهبانگ (انفجار بزرگ)
۲۷۱	۹۳. مفهوم ماده‌ی تاریک
۲۷۴	۹۴. نظریه‌ی جهان شتابان
۲۷۷	۹۵. نظریه‌ی تورم
۲۸۰	۹۶. مفهوم جهان میزان شده
۲۸۳	۹۷. فرضیه‌ی بسگیتی
۲۸۶	۹۸. تفسیر چند جهانی
۲۸۹	۹۹. فرضیه‌ی برخورد (سقوط) بزرگ
۲۹۲	۱۰۰. فرضیه‌ی همه‌گشتی (پان اسپرمیا)

مقدمه

برای بعضی از دانش آموزان در آمریکای شمالی، نخستین درس زمین شناسی درباره‌ی پوکر است. برای دیگران درس روی صدف‌ها تمرکز دارد. معلم زمین شناسی بریتانیایی من بحث درباره‌ی شترها را انتخاب کرد. در هر سه مورد، ایده این است که مطمئن شویم دانش آموزان، تقسیمات زمین شناسی اصلی نیم میلیارد سال گذشته – کامبرین، اردوویسین، سیلورین و غیره را یاد می گیرند. جزئیات تفاوت دارند اما روش انتخاب همان است: کمک حافظه.

روزی پوکر بازی می کنی و می بینی سه سرباز بی بی ها را می برند.
صدف های سرد به ندرت مرواریدهای نفیس می پرورانند، عصاره های آنها
خیلی سریع سفت می شوند.

در بریتانیا که تقسیمات زمین شناسی، اندکی متفاوت انتخاب می شوند، (فن) تقویت حافظه ها گاهی به این صورت هستند: شترها معمولاً با احتیاط می نشینند. شاید مفصل های شان صدا می کند؟ روغن کاری زود هنگام می تواند از روماتیسم دائمی پیشگیری کند.

علم آکنده از این تعابیر است. یادافزا (کمک حافظه)هایی برای به خاطر آوردن ترتیب سیارات منظومه ی شمسی، عناصر جدول تناوبی و سلسله مراتب های گوناگونی برای طبقه بندی ارگانیسم ها وجود دارند. اما این ها، تنها اشارات کوچکی نیستند که دانشمندان و دانشجویان علوم می توانند از آن برای حفظ کردن واحدهای کلیدی اطلاعات استفاده کنند. یکی از مؤثرترین روش های یادآوری یک نظریه ی علمی یا قوانین، تلخیص آن به یک اصطلاح مختصر و پرمعنی است.

طی چندسال پس از انتشار کتاب درباره ی منشأ انواع، نظریه ی تکامل چارلز داروین براساس انتخاب طبیعی به عبارتی ساده تقلیل یافته بود: بقای اصلح.

یکی دیگر از دستاوردهای بزرگ علمی قرن نوزدهم، فرمول بندی قوانین اول و دوم ترمودینامیک بود. امروزه بسیاری از فیزیکدانان و غیرفیزیکدانان، هردوی آنها را در یک کلمه ی قصار قابل حفظ کردن خلاصه کرده اند: نمی توانید برنده شوید، حتی مساوی هم نمی توانید بکنید.

با این همه، فروکاستن بیش از حد یک مفهوم علمی محوری می‌تواند مشکل ساز شود. بعضی از مردم «بقای اصلح» را به این دلیل که همانگویی است رد می‌کنند (آنها می‌گویند که می‌توان آن را به شکل «بقای آن‌هایی که باقی می‌مانند») نوشت. در ضمن، خلاصه کردن قوانین اول و دوم ترمودینامیک در یک جمله برای کسی که از قبل چیزی درباره‌ی دو قانون نمی‌داند سربسته‌تر است. در این کتاب من حالت میانه‌ای را هدف قرار داده‌ام. اشاراتی که به دنبال هر قسمت می‌آیند ممکن است به اندازه‌ی مثال‌های بالا زیرکانه یا قابل حفظ کردن نباشند اما امیدوارم اندکی بیشتر فایده داشته باشند – مخصوصاً برای کسانی که می‌خواهند برای درک بعضی از چالش برانگیزترین مفاهیم علمی، میان‌بری پیدا کنند.

نظریه‌ی تکامل براساس انتخاب طبیعی

چرا داروین مهم است



چارلز داروین (۱۸۰۹-۱۸۸۲)

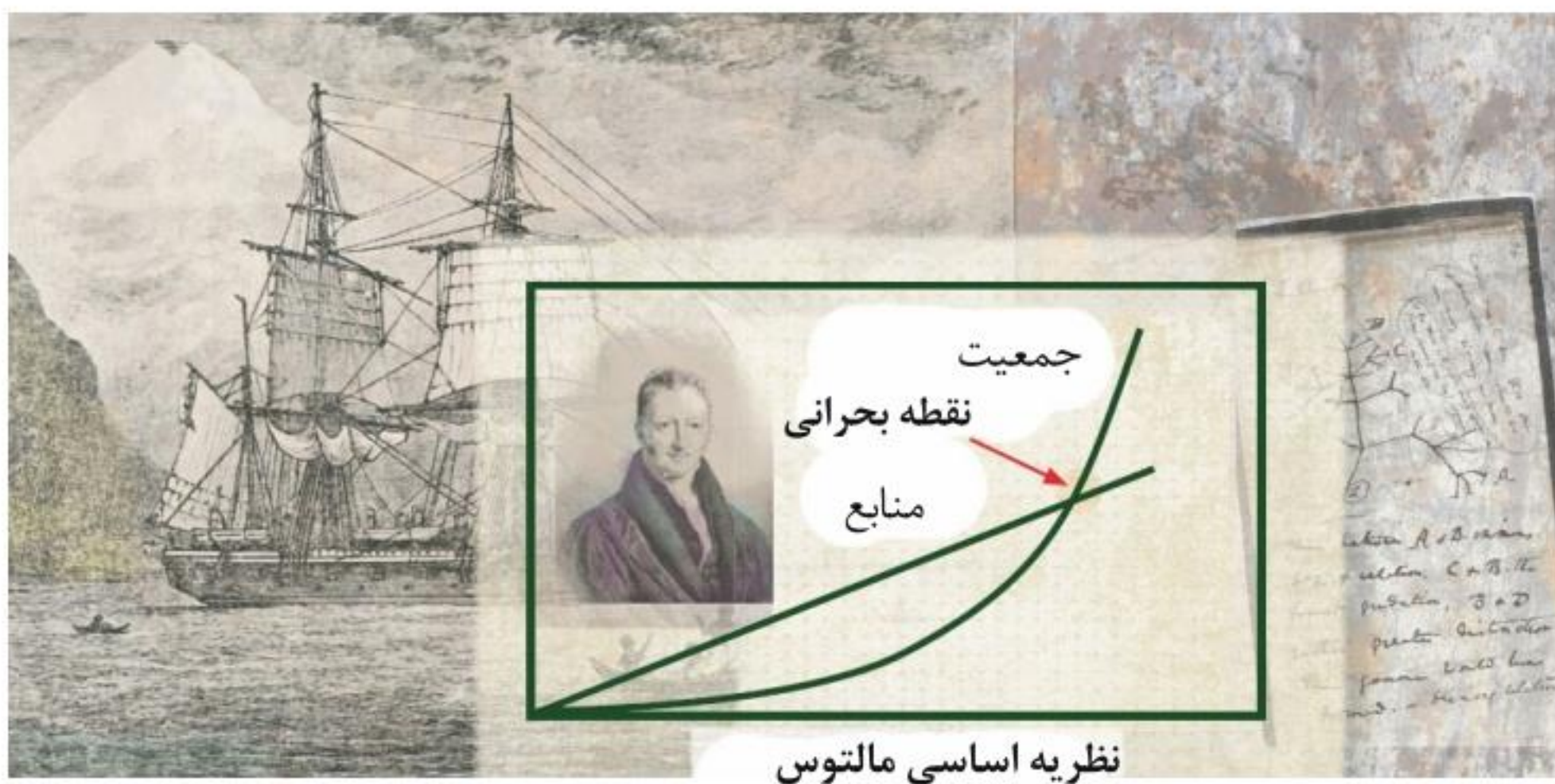
۱/ نگاه هلیکوپتری: بیشتر مردم درباره‌ی چارلز داروین شنیده‌اند. در دهه‌ی ۱۸۳۰ داروین با کشتی سلطنتی اچ. ام. اس بیگل به سرزمین‌های بیگانه سفر کرد. داروین مابین بسیاری از مشاهداتش به تنوع‌پذیری در دنیای طبیعی و تنازع دشواری که ارگانیسم‌های منفرد برای بقا با آن روبرو بودند، توجه کرد. دو سال پس از بازگشت به انگلستان، داروین مقاله‌ای از توماس مالتوس اقتصاددان خواند که آینده‌ی تاریکی را برای بشریت تصویر کرده بود: جمعیت‌ها می‌توانند با گذار از هر نسلی دوبرابر شوند، اما تولید غذا با این سرعت رشد نمی‌کند که نتیجه‌ی



آن، قحطی برای بسیاری از مردم است – تنازع دیگری برای بقا. داروین شک کرد که تنازع مالتوسی در دنیای طبیعی کارکرد داشته باشد و اینکه از دید او، این تنازع می‌تواند مبنایی برای برای سازوکاری باشد که از طریق آن گونه‌های جدید تکامل می‌یابند.

شاید به گونه‌ای تعجب‌آور، داروین در انتشار آن عجله نکرد. او ایده‌های خود را با دوستانش در میان گذاشت و پیشنهاد آنان این بود که استدلال او می‌تواند با بدنه‌ی بزرگی از شواهد تقویت شود. داروین به نصیحت آنان عمل کرد و برای گرد آوردن چنان شواهدی، سال‌های متمادی به مطالعه‌ی گونه‌ها پرداخت.

سپس در دهه‌ی ۱۸۵۰ او از دانشمند دیگری که در اندونزی کار می‌کرد پیامی دریافت کرد. **آلفرد راسل والاس** مستقلاً روی دیدگاه بسیار مشابهی از فرایندهای تکاملی جستجو می‌کرد. در ۱۸۵۸ انجمن علمی‌ای در لندن، نامه‌هایی را از داروین و والاس در توضیح ایده‌ی جدید دریافت کرد. سال بعد داروین کتاب بزرگی برای ارائه شواهد خود در **تکامل براساس انتخاب طبیعی** منتشر کرد که بعدها به، درباره‌ی منشأ گونه‌ها، مشهور شد و شهرت داروین را تضمین کرد.



داروین از سفر با کشتی بیگل و خواندن کار مالتوس تأثیر پذیرفت.

۲/ میان‌بر: داروین دریافت که ارگانیسم‌ها غالباً زاد و ولدهای زیادی دارند و مابین آن‌ها تنوع‌پذیری وجود دارد: مثلاً بعضی از آن‌ها می‌توانند اعضایی بزرگ‌تر یا چشمانی تیزتر داشته باشند. بیشتر افراد درگیر تنازع بقا می‌شوند اما تنها تعداد معدودی شانس برخورداری از جنبه‌هایی را دارند که نشو و نما کردن را آسان می‌کند، بنابراین آن‌ها موفق می‌شوند و زادآوری می‌کنند – آن‌ها به‌طور



فصل ۱: نظریه‌ی تکامل براساس انتخاب طبیعی ۱۳

طبیعی انتخاب می‌شوند. داروین فرض کرد که فرزندان این افراد برخی از جنبه‌های سودمند را به ارث می‌برند و به تدریج این جنبه‌ها در جمعیت‌ها معمول‌تر می‌شوند. به مرور زمان، جمعیت به گونه‌های جدیدی که با این جنبه‌های جدید مشخص می‌شوند، تکامل می‌یابد.

 ۳ / اشاره: بعضی افراد فقط به صورتی نهفته با محیط سازگارتر از بقیه‌اند. احتمال بقا و زادآوری در آن‌ها بیشتر است. در نتیجه آن‌ها تأثیر بیشتری روی مسیر تکاملی دودمان خود دارند.

نیز ← ۲. اصل تکامل توأم (هم فرگشت) ۵. سنتز (نهشت) مدرن

اصل تکامل توأم قدرت پیشگویی حیرت آور داروین



گاستون دو ساپورتا (۱۸۹۵-۱۸۲۳)

✱ / **نگاه هلیکوپتری:** در سال‌های بعد از انتشار کتاب درباره‌ی منشأ گونه‌ها، چارلز داروین به خاطر کارش روی تکامل مشهور شد. اما او به دلیل برخورداری از دانش تخصصی هم – از جمله در زیست‌شناسی ارکیدها – نیز شهرت داشت.

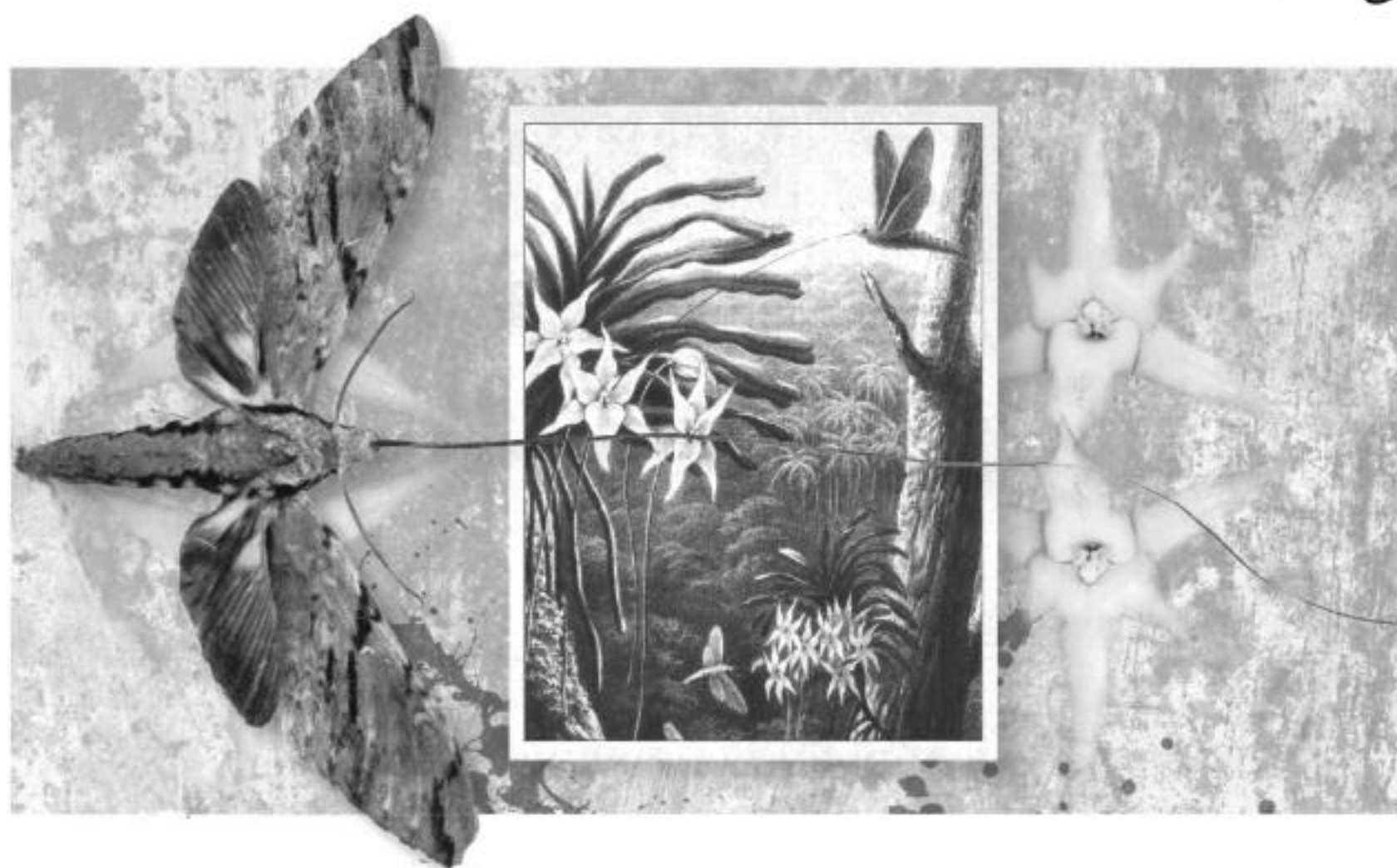
در سال ۱۸۶۲ داروین نمونه‌ای غیرعادی از ارکیدهای ماداگاسکار دریافت کرد که با شهدی که در ته یک شیپوری ۲۵ سانتی متری بود گل‌هایی به بار آورد. داروین پیش‌بینی کرد: ماداگاسکار باید زیستگاهی برای حشراتی با طول زبان ۲۵

فصل ۲: اصل تکامل توأم ۱۵

سانتی متر باشد. پیش‌بینی او براساس این ایده بوده که دو یا چند گونه متفاوت، تکامل یکدیگر را تحت تأثیر قرار می‌دهند یا تکامل توأم دارند—هرچند واژه‌ی تکامل توأم تا دهه‌ی ۱۹۶۰ مصطلح نبوده است. داروین شاید هرگز از این اصطلاح استفاده نکرده باشد اما از اهمیت نقش اصل تکامل توأم در طبیعت آگاه بود.

مثال مشهوری مربوط به گیاهان گل‌دار است. در زمان داروین آثار سنگواره‌ای نشان می‌دادند که ورود گل‌ها به صحنه‌ی طبیعت با مقیاس‌های زمین‌شناختی در چشم به‌هم‌زدنی اتفاق افتاده است. این موضوع داروین را که معتقد بود گونه‌ها به آرامی تکامل می‌یابند، نگران می‌کرد. گاستون دوساپورتا پیشنهاد کرد که شاید بتوان این راز را با چیزی که اکنون دانشمندان آن را تکامل توأم می‌نامند توضیح داد. شاید گل‌ها به این دلیل چنان سریع تکامل یافته‌اند که تکامل آن‌ها با گرده افشانی حشرات توأم بوده است و این، سرعت تحول آن‌ها را از مقدار معمولی بالاتر برده است. داروین ایده‌ی ساپورتا را «تحسین‌انگیز» یافت (هرچند امروزه دانشمندان فکر می‌کنند که این ایده غلط بوده است، مخصوصاً به این دلیل که سنگواره‌های پیدا شده از زمان داروین نشان می‌دهند که تکامل گل‌ها تدریجی‌تر از چیزی است که تصور می‌شده است).

درباره‌ی پیش‌بینی داروین چطور؟ حدود ۲۰ سال پس از مرگ او، زیست‌شناسان گونه‌ای از پروانه ماداگاسکاری یافتند که زبانش به شکلی غیرعادی دراز بود. در سال ۱۹۹۲ زیست‌شناسان تأیید کردند که این پروانه واقعاً از شهد ارکیده‌ی غیرمعمول تغذیه می‌کند.



پروانه‌ی بید مورگان از خرطوم بلند متحیر کننده‌اش برای تغذیه از ارکیده‌ی چشمگیر ماداگاسکاری استفاده می‌کند.

④ **۲/ میان‌بر:** داروین پیشنهاد کرد که بعضی از گونه‌های گیاهان گل‌دار وارد یک «معاهده‌ی تکاملی» با بعضی گونه‌های حشرات شده‌اند. گل‌ها شهد شیرینی تولید می‌کنند که غذای حشرات است، در حالی که حشرات (ندانسته) گرده را با قرار گرفتن روی شهد، بین گل‌ها جابه‌جا می‌کنند و به گیاهان کمک می‌کنند تا یکدیگر را بارور کرده و دانه‌های ماندگارتری تولید کنند. اگر گیاهی گل‌ها را با شهد صعب‌الوصولی تکامل بخشیده است، به این دلیل پایدار مانده که حشره‌ای می‌بایست زبان طویلی برای استفاده از مزیت تغذیه‌ای آن، تکامل داده باشد.

⊞ **۳/ اشاره:** گونه‌های زیست‌شناسی در خلاء تکامل نمی‌یابند. مسیری که تکامل گونه‌ها برمی‌گزیند با تأثیرات محیط اطراف تغییر می‌یابد. این بدان معناست که تکامل دو یا چند گونه در محیط، می‌تواند به تأثیر متقابل تکامل آن‌ها منتهی شود.

نیز ← ۸. قرضیه‌ی ملکه‌ی سرخ

نظریه‌ی توارث لامارک

نگرشی (نه کاملاً) اشتباه به تکامل



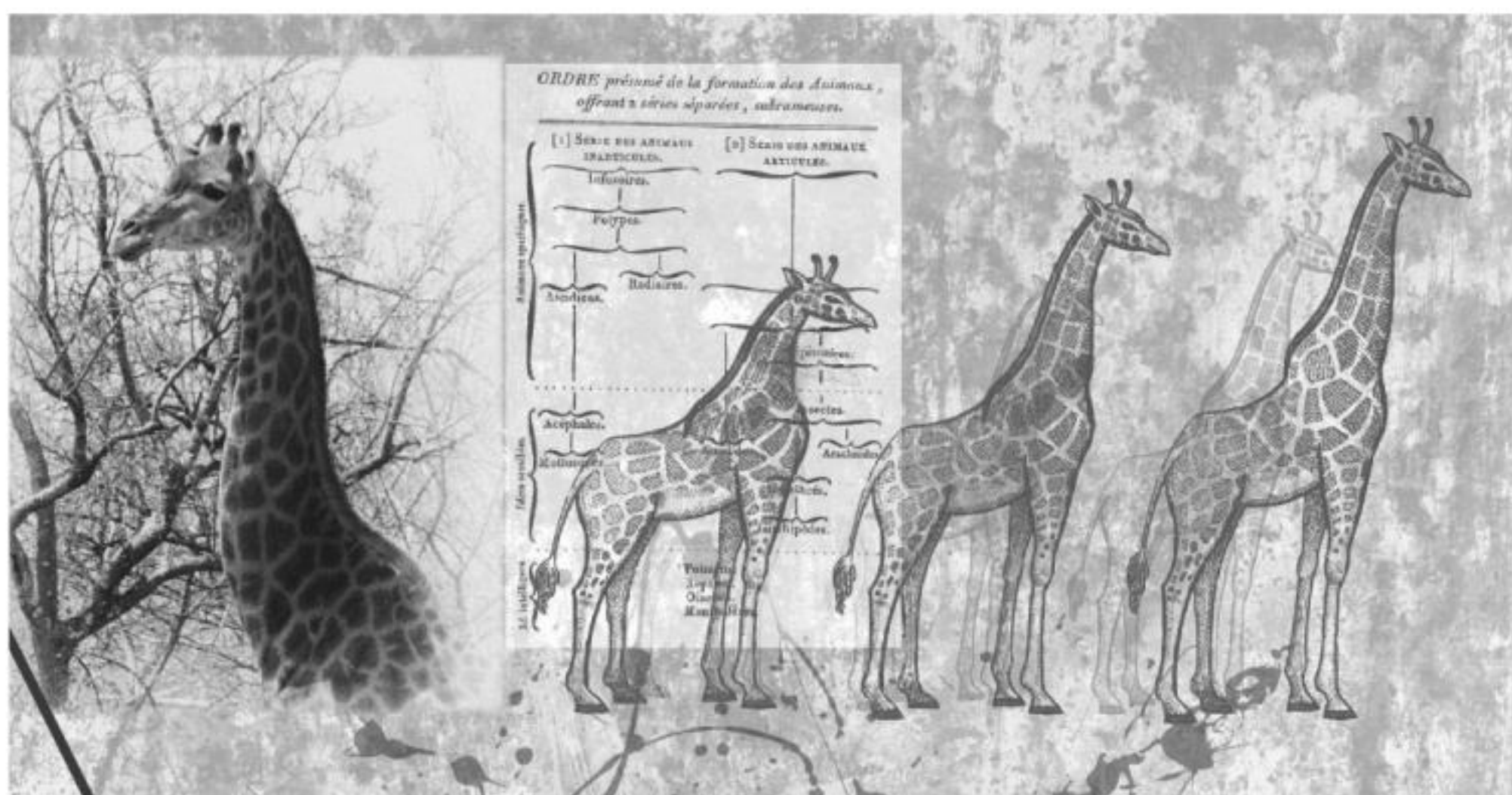
ژان باتیست لامارک (۱۷۴۴-۱۸۲۹)

✱ **۱/ نگاه هلیکوپتری:** چارلز داروین اولین دانشمندی نبود که به تکامل فکر کرد. یکی از پیشینیان او که شهرت خاص دارد ژان باتیست لامارک است. او در اوایل قرن نوزدهم با چارچوب تکاملی پیچیده و مفصلی وارد شد که در آن، گونه‌ها ناگزیر از کسب پیچیدگی در طول زمان بودند. اما از دو مفهوم به عنوان بخشی از نظریه‌اش دفاع کرد که به خاطر آن‌ها مشهور شد. یکی اینکه ارگانیسم‌ها در طول حیات خود در پاسخ به محیط اطراف دستخوش تغییر می‌شوند – آن‌ها مشخصات جدیدی کسب می‌کنند – دوم اینکه اعقاب ارگانیسم‌ها، این تغییرات

اكتسابی را به ارث می‌برند. چند دهه پس از مرگ لامارک، مجموعه‌ی این دو ایده به نظریه‌ی توارث لامارک مشهور شد.

شاید تعجب‌آور باشد که حتی پس از انتشار دوباره‌ی منشأ گونه‌های داروین در ۱۸۵۹، لامارکیسم هنوز متداول بود. در واقع در اواخر قرن نوزدهم و اوایل قرن بیستم، بسیاری از دانشمندان به صحت نظریه‌ی تکامل توسط انتخاب طبیعی داروین شک داشتند. در طول این مدت – که گاهی دوره‌ی «افول داروین» نامیده می‌شود – خیلی‌ها استدلال می‌کردند که تکامل حقیقتاً از طریق توارث صفات اکتسابی پیشرفت کرده است. در اصل، بحث آن‌ها این بود که تکامل، لامارکی است نه داروینی. تنها پس از کشف دوباره‌ی کار گرگور مندل توسط دانشمندان و دیدن تکامل از پشت منشور ژنتیک بود که ایده‌ی انتخاب طبیعی داروین بار دیگر رواج یافت. (سنتز مدرن را ببینید)

برای این داستان پی‌نوشتی هم وجود دارد. اکثر مطالعات ژنتیکی، لامارکیسم را رد کردند. با این همه در چند سال گذشته استثنائات عجیبی بر این قاعده پدیدار شده‌اند. برای مثال بعضی از باکتری‌ها به تجربه‌ی حیات خود از DNA استقلال بخشیده‌اند، به این معنا که تکثیر آن‌ها صفاتی را که توسط سلول مادر کسب شده است به ارث نمی‌برند. تحت شرایط خاصی، لامارکیسم به وضوح اتفاق می‌افتد.



گردن دراز زرافه: معمای‌ای تکاملی که ظاهراً نظریه‌ی لامارک آن را حل می‌کرد.

➡ ۲/ میان‌بر: یک راه تفکر درباره‌ی نظریه‌ی وسیعاً رد شده‌ی لامارک توجه به زرافه‌ها است. اجداد گردن کوتاه زرافه‌ها در طول حیات خود برای خوردن برگ از درختان بلند تحت فشار بودند. ظاهراً این موضوع باعث کش آمدن گردن

حیوان شده و آن را اندکی بلندتر کرده است. لامارکیسم می‌گوید اعقاب زرافه‌ها این تغییر را به ارث برده‌اند: یعنی هنگام تولد گردن آن‌ها اندکی بلندتر از گردن والدین آن‌ها در هنگام تولد بوده است. نسل بعدی هم برای به چنگ آوردن غذا در تقلا بوده و گردن آن‌ها هم کمی بیشتر کشیده شده است. تأثیر این فرایند روی نسل‌های بی‌شمار منجر به زرافه‌ی مدرن شده است، با گردنی به طول تقریبی دو متر.

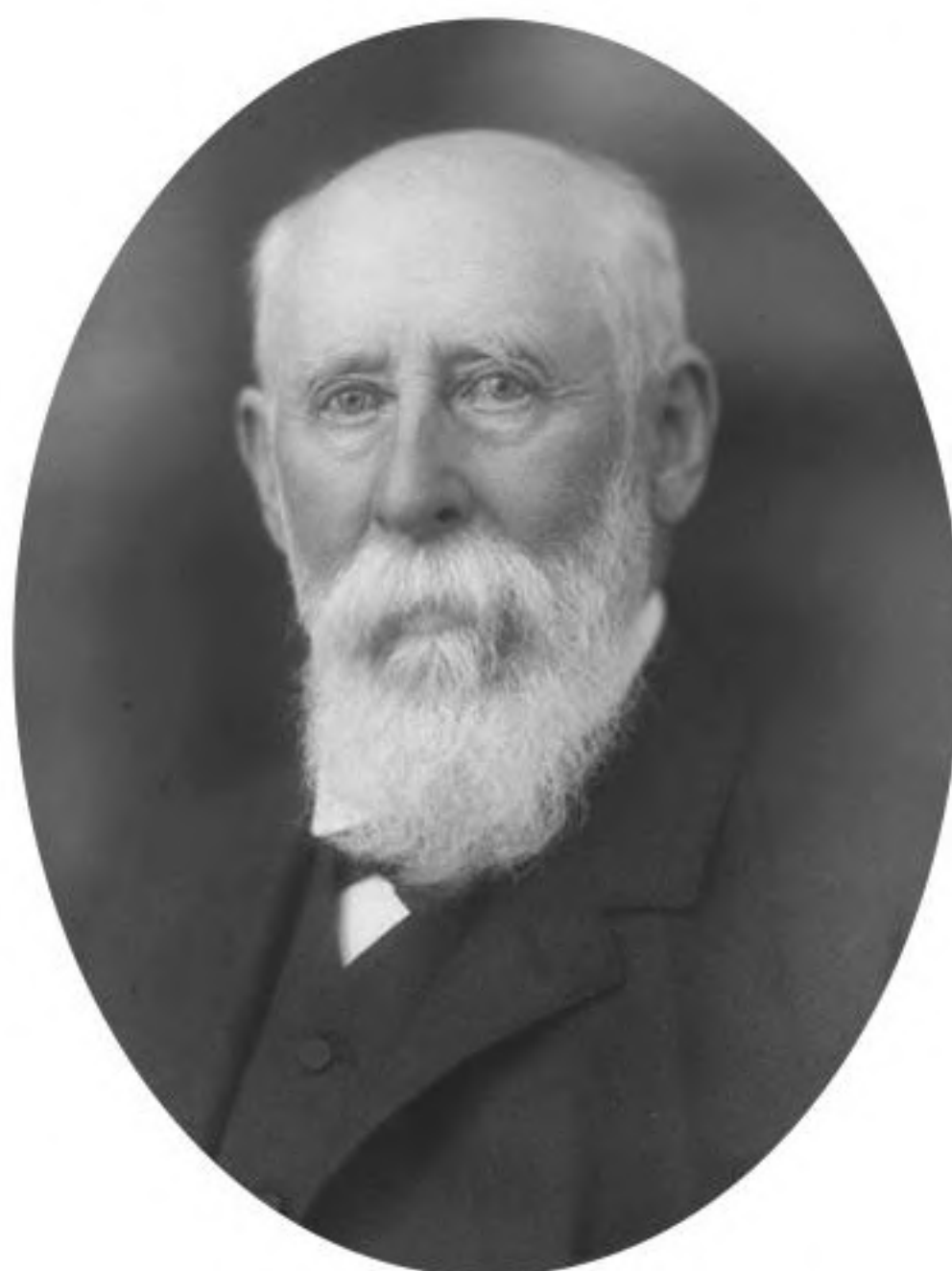
 **۳/ اشاره:** نظریه‌ی لامارکیسم، که از سوی بسیاری از زیست‌شناسان رد شده است، پیشنهاد می‌کند که ارگانیسم‌ها در طول حیات خود با محیط اطراف خود تطبیق می‌یابند، سپس این تغییرات اکتسابی را به نسل بعدی منتقل می‌کنند. لامارکیسم می‌گوید که تکامل توسط تجارب کسب شده در طول حیات به جلو رانده می‌شود.

نیز ← ۱. نظریه‌ی تکامل توسط انتخاب طبیعی ۱۶. نظریه‌ی توارث مندلی

مفهوم زه پای چرا انسان‌ها همیشه جوان‌اند



آگوست دومریل (۱۸۱۲-۱۸۷۰)

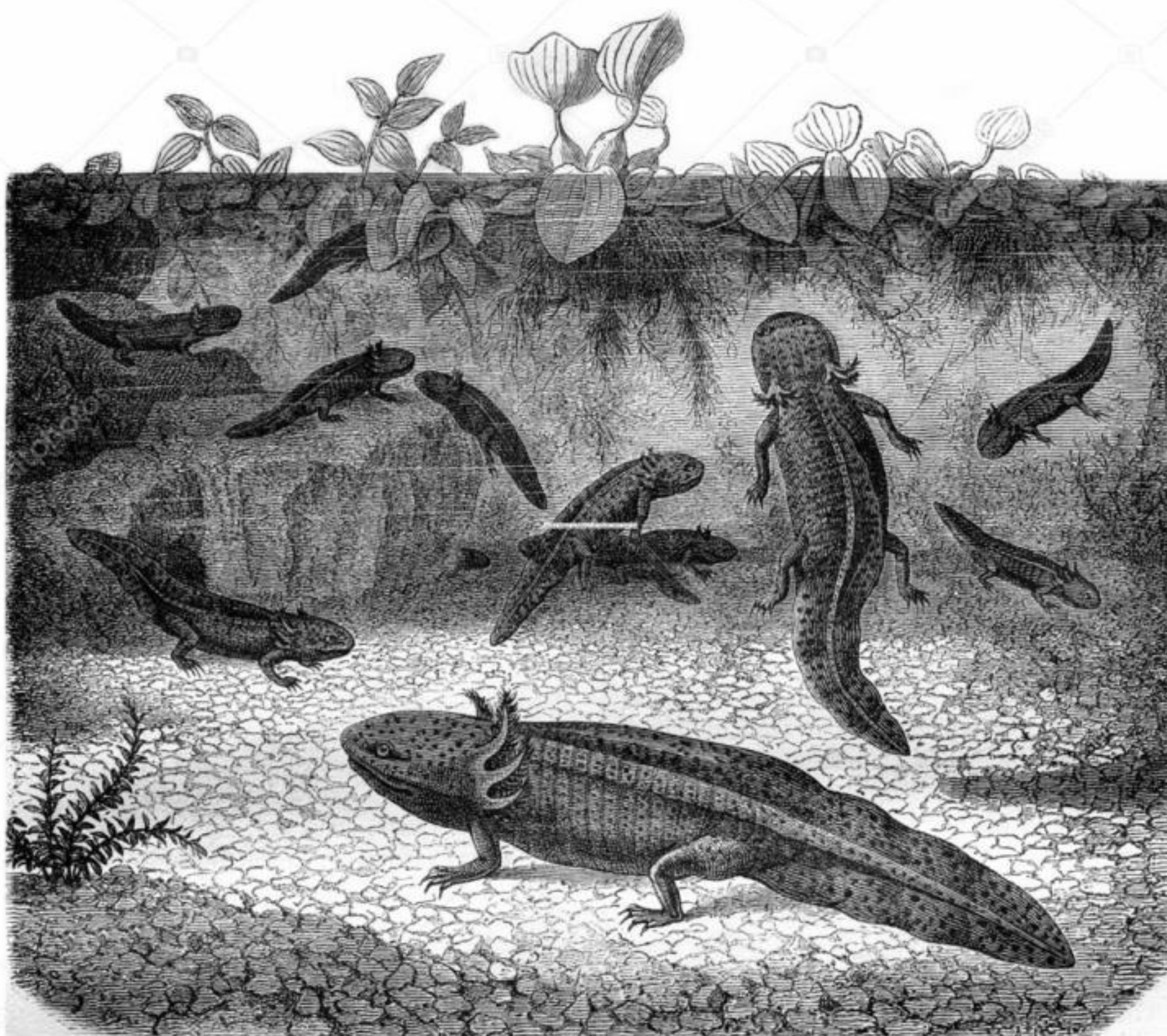


یولیوس کولمان (۱۸۳۴-۱۹۱۸)

۱/ نگاه هلیکوپتری: در دهه‌ی ۱۸۶۰ آگوست دومریل کشف حیرت‌انگیزی کرد. او محموله‌ای از دوزیستان عجیب از مکزیک دریافت کرده بود. دانشمندان می‌دانستند که سمندر مکزیکی به گونه‌های آبی خاصی تحول می‌یابد: آنچه که دومریل کشف کرد این بود که اگر جانور مجبور به زیستن در محیط‌های خشک‌تر شود به چیزی که بیشتر شبیه سمندر است دگردیسی می‌کند، با ریه‌هایی به جای آبشش. کار دومریل گامی به‌سوی شناسایی یک عامل مهم در تکامل بود. تقریباً در همان ایام که دومریل مشغول انجام آزمایشات خود بود، ادوارد درینکر کوپ در حال بررسی نقش توسعه‌ی تسریع شده یا کند شده در منشأ گونه‌های جدید بود. ارگانیس‌ها با رسیدن به بلوغ جنسی می‌توانند ظاهر خود را به‌طور چشم‌گیری تغییر دهند. کوپ پیشنهاد کرد که شاید تعدادی از گونه‌های جدید

بتوانند به‌طور ساده با جابه‌جایی‌های تصادفی در این شیوه از توسعه، تکامل پیدا کنند. چارلز داروین مقاله‌ی کوپ را درباره این مفهوم خواند و به وضوح تحت تأثیر قرار گرفت. او این ایده را در ششمین و آخرین ویرایش کتاب درباره‌ی منشأ انواع خود گنجانده است.

یک دهه بعد یولیوس کولمان دریافت که کار دومریل روی سمندر مکزیکی مثال عملی محکمی از مفهوم کوپ است. دومریل به نشان دادن این امر کمک کرده بود که اگر سمندر در حالت تحول کند شده، تمام عمر خود را در آب سپری کند، ظاهراً دچار وقفه می‌شود؛ این جانور شش‌ها و دیگر جنبه‌های جدید خود را حتی در بلوغ کامل جنسی نگه می‌دارد. کولمان این نگرانی مشیخصات جدید را تا پس از بلوغ جنسی مفهوم زه‌پایی می‌نامد. امروزه بسیاری از زیست‌شناسان متوجه شده‌اند که زه‌پایی نقش مهمی را در تکامل گونه‌ها - از جمله خود ما - ایفا کرده است.



رشد دادن سمندر مکزیکی در آب باعث می‌شود که این جانور صفات دوزیستی جدید را تا سنین بالا حفظ کند.

④ ۲ / میان‌بر: زیست‌شناسان اغلب از انسان به عنوان نمونه‌ای کلاسیک از زه‌پایی استفاده می‌کنند. نزدیک‌ترین خویشاوندی‌های زیستی ما یعنی شامپانزه‌ها و بونوبوها (شامپانزه‌های کوتوله) بچه‌هایی تولید می‌کنند که نسبتاً به بچه‌ی انسان شبیه‌اند. اما شامپانزه‌ها و بونوبوها در اثنای رشد، صفات جدیدی را توسعه می‌دهند: برای مثال موهای بیشتری در می‌آورند از فک بزرگ و بازوهای عضلانی بلندی برخوردار می‌شوند. انسان‌ها نیز به همراه رشد، صفات بچه‌گانه‌ی زیادی را نگه می‌دارند: موی کم، فک کوچک و ضعیف، بازوهای نسبتاً کوتاه و غیره. انسان‌ها مسلماً پیر می‌شوند اما از جنبه‌های خاصی همیشه جوان می‌مانند.

⊞ ۳ / اشاره: تکامل همیشه مربوط به پیدایش نشانه‌های مشخصات جدید نیست.
گاهی به‌طور ساده درباره‌ی کند کردن (یا تسریع) آهنگ توسعه‌ی صفات موجود است.

نیز ← ۱. نظریه‌ی تکامل توسط انتخاب طبیعی

سنتز مدرن

تکامل به صورتی که آن را می‌شناسیم



جی. بی. اس. هالدین (۱۸۹۲-۱۹۶۴)

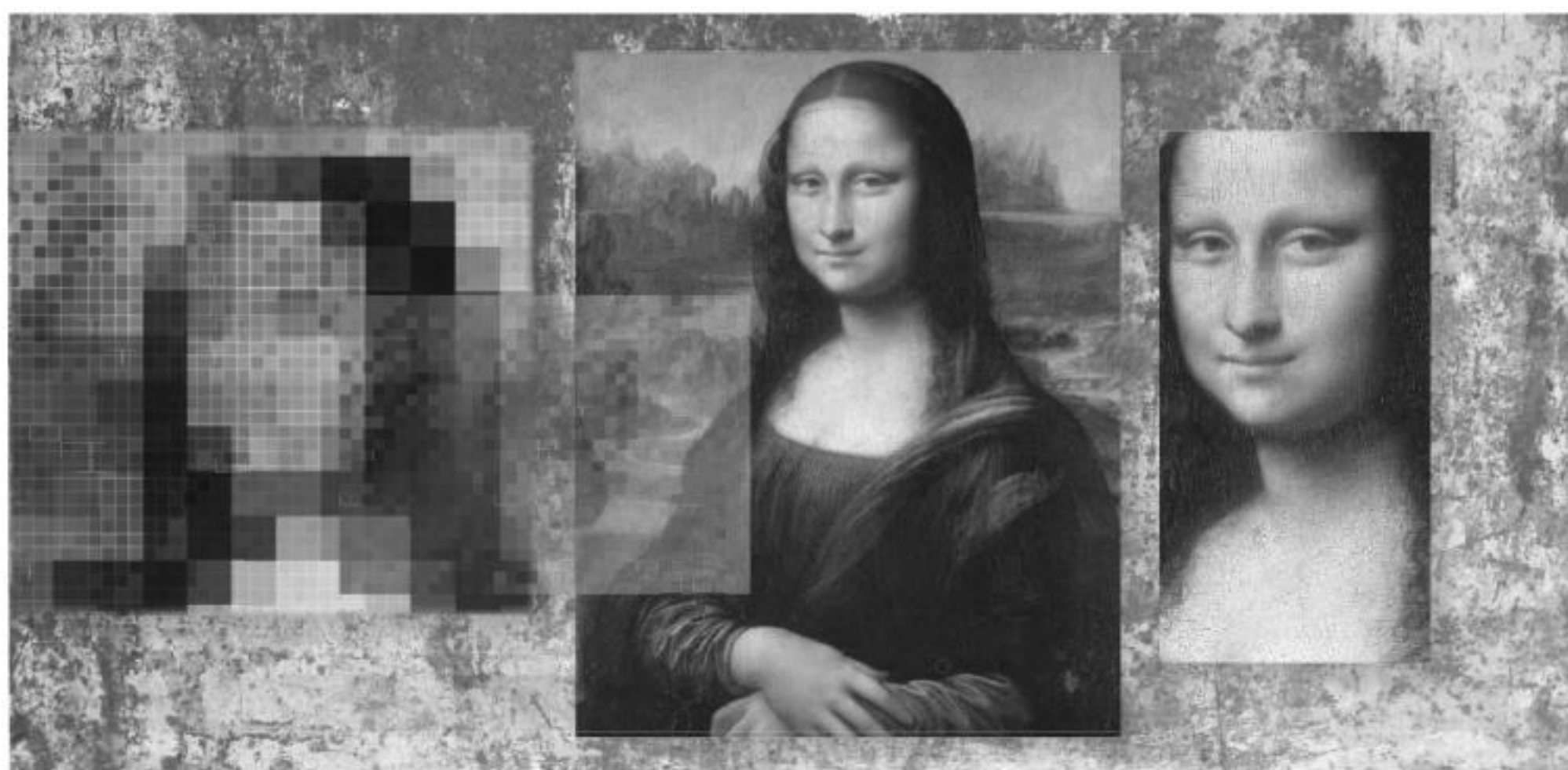
✱ / نگاه هلیکوپتری: چارلز داروین نخستین بار نظریه‌ی تکامل توسط انتخاب طبیعی را به اجمال در دهه‌ی ۱۸۵۰ مطرح کرد اما چهل سال بعد زیست‌شناسان هنوز درباره‌ی ارزش‌های آن بحث می‌کردند. در آغاز قرن بیستم زیست‌شناسان شروع به شناسایی نقش مهم ژنتیک در تکامل کردند و نهایتاً به این نتیجه رسیدند که ژن‌ها از دیدگاه‌های داروین در خصوص تکامل حمایت می‌کنند و به چیزی رسیدند که اکنون سنتز مدرن نام دارد.

چند سال پس از انتشار کتاب درباره‌ی منشأ انواع، گرگور مندل آزمایش‌های خود

را درباره‌ی گیاه نخود و کاوش طریقه‌هایی که ارگانیسم‌ها صفات را از والدین خود به ارث می‌برند، شروع کرد. مندل از زمان خود جلوتر بود - تنها در قرن بیستم بود که دانشمندان کارهای او را جدی گرفتند و مطالعه‌ی ژنتیک با جدیت آغاز شد.

اما آنچه آنان انجام دادند حیاتی بود. ژنتیک بخش گم شده‌ای از نظریه‌ی داروین را فراهم کرد - مکانیزمی که صفات می‌توانستند از طریق آن به ارث برده شوند. با این وجود بسیاری از ژنتیک‌دانان اولیه در واقع با کارهای خود ایده‌های داروین را رد کردند. ژن‌ها تکه‌های مجزایی از اطلاعات قابل توارث بودند و به نظر می‌رسید که وجود آن‌ها دلالت بر وقوع تکامل از طریق جهش‌های ناگهانی دارد: مثلاً اگر ژنی برای «بلندی قامت» پدیدار شود، یک جمعیت می‌تواند سریعاً به گونه‌ای بلند قامت متحول شود. داروین تأکید کرده بود که تکامل آهسته و پایدار است و گونه‌های جدید تکامل تدریجی را تجربه می‌کنند (نظریه‌ی تعادل نقطه‌ای را ببینید).

اما ژنتیک‌دانان با آغاز کاوش عمیق‌تر، عقیده خود را تغییر دادند. در دهه‌ی ۱۹۲۰ آنان کشف کردند که صفتی مانند بلندی قامت معمولاً با چند دوجین ژن کدگذاری می‌شود نه یک ژن منفرد. دانشمندانی مانند رونالد فیشر، جی. بی. اس هالدین و سیوال رایت شروع به ایجاد مدل‌هایی ریاضی کردند تا نحوه‌ی تحول احتمالی جمعیت‌ها را در صورت بروز جهش سودمند در یک یا چند فرد بررسی کنند. آن‌ها دریافتند که پیچیدگی ژنتیکی به الگو و سرعتی از تکامل منجر می‌شود که کاملاً با مفهوم انتخاب طبیعی داروین سازگار است. بیش از شصت سال پس از انتشار درباره‌ی منشأ گونه‌ها، زیست‌شناسان سرانجام ایده‌های داروین را پذیرفتند.



تصاویر دیجیتالی از دور هموار به نظر می‌رسند حتی اگر از نزدیک بلوکه باشند.

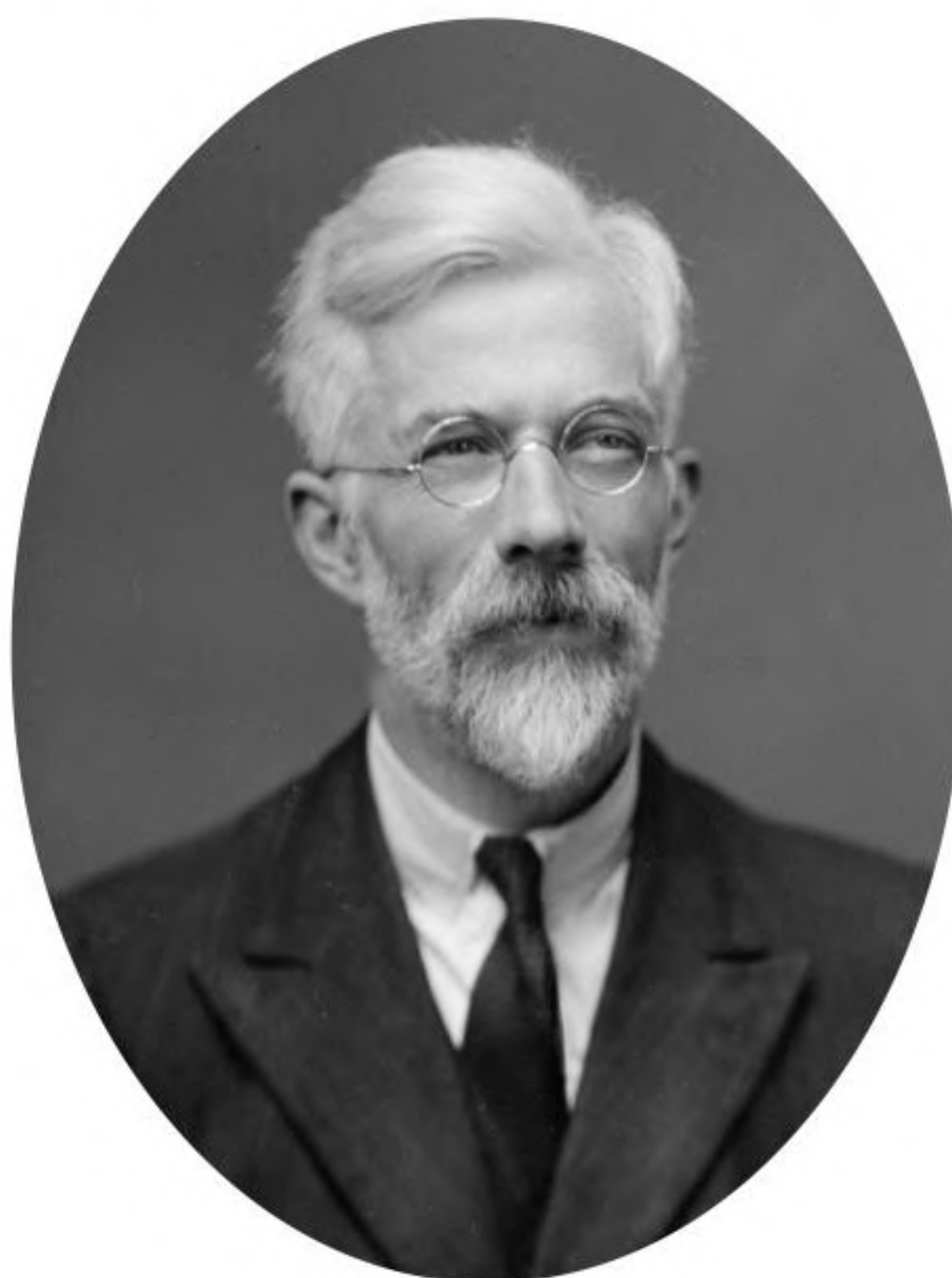
⦿ ۲ / میان‌بر: یکی از کشفیات مهم سنتز مدرن این بود که صفات زیست‌شناختی غالباً با ده‌ها ژن کنترل می‌شوند نه با یکی. این کشف ساده به شرح این واقعیت کمک کرد که ژن‌های دوگانه‌ی گسسته، چگونه می‌توانند ارگانیسم‌هایی را پدید آورند که مانند آمیزه‌ی یکپارچه‌ای از صفات والدین به نظر برسند و به تدریج به اشکال جدیدتر متحول شوند. تصویر یک شخصیت در بازی رایانه‌ای با شبکه‌ای ۱۲ در ۱۶ پیکسلی، شطرنجی است اما با هزاران پیکسل کاملاً هموار به نظر می‌رسد: به طریق مشابه یک ارگانیسم – و تکامل – دارای جلوه‌ای پیوسته است چرا که ارگانیسم‌ها معمولاً با هزاران ژن ساخته می‌شوند نه فقط با تعداد انگشت شماری از آنها.

⦿ ۳ / اشاره: سنتز مدرن نشان داد که تکامل توسط انتخاب طبیعی چگونه از طریق توارث ژنتیکی کار می‌کند. سنتز مدرن نشان‌دهنده‌ی این نکته است که زیست‌شناسان درباره‌ی چستی تکامل و چگونگی وقوع آن توافق دارند.

نیز ← ۱. نظریه‌ی تکامل توسط انتخاب طبیعی ۱۶. نظریه‌ی توارث مندلی

فرضیه‌ی پسر جنسی

چرا ماده‌ها نرهای فریب‌کار را جذاب‌تر می‌یابند



رونالد فیشر (۱۸۹۰-۱۹۶۲)

۱ / نگاه هلیکوپتری: در قرن نوزدهم چارلز داروین و آلفرد راسل والاس هر دو شیفته‌ی پدیدار شدن قابل توجه بعضی از جانوران مخصوصاً از جنس نر شدند. به نظر می‌رسید که **نظریه‌ی انتخاب طبیعی** نمی‌تواند توضیح دهد که چرا طاووس‌های نر دم‌هایی چنان پر نقش و نگار یا گوزن‌های نر چنان شاخ‌های بزرگی دارند. می‌بایست چیز دیگری در کار باشد.

تا دهه‌ی ۱۸۷۰ داروین به فرضیه‌ی مؤثری دست یافته بود: چنان ویژگی‌هایی پیامد نوع خاصی از انتخاب طبیعی است که انتخاب جنسی نام دارد. انتخاب طبیعی

بر این ایده استوار بود که یک گونه برای این تکامل می‌یابد که از پس فشارهای محیط اطراف خود برآید. برای مثال بعضی از جانوران با بدن‌هایی لاغرتر و عضلانی‌تر تکامل می‌یابند تا از یک شکارچی طبیعی سریع‌تر باشند. انتخاب جنسی پیشنهاد می‌کند که فشار (تنگنا) در درون خود گونه نیز وجود دارد. مثلاً اگر ماده‌های یک گونه ترجیح دهند با نرهایی جفت‌گیری کنند که موها یا پروبال‌های روشن‌تری دارند، این ترجیح می‌تواند نهایتاً به تکامل نرهای روشن‌تر منجر شود.

نکته‌ی مهم این جاست که فشار، برای اینکه از نظر جنسی مؤثر واقع شود، می‌تواند چنان قوی باشد که نرها مجبور به تکامل دادن به صفاتی شوند که شانس بقای آن‌ها را کاهش می‌دهد. برای یک پرنده‌ی نر، تکامل رنگ قرمز که برای شکارگران انگشت‌نماست، عجیب به نظر می‌رسد. اما کفهی طرفداران جذابیت جنسی و فرصت‌های جفت‌گیری بر مخالفین احتمال بیشتر برای خورده شدن، سنگینی می‌کند.

رونالد فیشر این ایده را در سال ۱۹۳۰ پیراسته کرد. در این مرحله، مفاهیم انتخاب طبیعی و توارث ژنتیکی در یک مدل قدرتمند تکاملی در هم آمیخته بودند. این بدان معنا بود که زیست‌شناسان شروع به تفکر درباره‌ی ارگانیسم‌ها و تکامل، برحسب ژن‌ها کرده بودند. فیشر دریافت که ماده‌ها می‌توانند شانس بقای ژن‌های خود را بالا ببرند و تنوع آن‌ها را با انتخاب نرهای جذاب‌تر زیادتر کنند، دقیقاً به این دلیل که هر ماده‌ای که از این پیوند حاصل می‌شود، می‌تواند جذابیت پدر خود و احتمال یافتن فرصت‌های بیشتر برای جفت‌گیری را به ارث ببرد. این شکل به روز شده‌ی انتخاب جنسی، به **فرضیه‌ی پسر جنسی** معروف شد.



طاووس نر ممکن است دم پرزرق و برق خود را به‌طور ساده برای جذب ماده‌ها تکامل داده باشد.

⊕ ۲ / میان‌بر: فرضیه‌ی پسر جنسی فیشر به یکی از رازهای دیرپای زندگی معنا می‌دهد: چرا غالباً به نظر می‌رسد که جنس ماده در گونه‌ها (از جمله در نوع انسان) جذب نرهای سست‌پیمان می‌شوند. ظاهراً ماده‌های بسیاری از گونه‌ها پذیرفته‌اند که برای بزرگ کردن بچه‌های خود باید وقت صرف کنند. این بدان معناست که آن‌ها بچه‌های نسبتاً کمتری خواهند داشت و زن‌های آن‌ها به دوردست‌ها پخش نخواهد شد. اما اگر بچه‌های ماده، خواست پدران خود را برای برقراری رابطه‌ی جنسی با بیش از یک فرد و همین‌طور جذابیت آن‌ها را به ارث ببرند، این شانس را خواهند داشت که چند دو جین نواده داشته باشند. نهایتاً زن‌های آن‌ها (که تعداد زیادی از آن‌ها توسط پسر جنسی حمل می‌شود) نیز تکثیر خواهند یافت.

⊞ ۳ / اشاره: ماده‌ها با نرهای جذاب اما بدقول جفت‌گیری می‌کنند، با این چشم‌داشت که پسرهای ناشی از این پیوندها جذابیت پدر و هرزه‌گردی او را به ارث ببرند. این «پسرهای جنسی» زن‌های خود را (که شامل تعدادی از زن‌های مادران آن‌هاست) به‌طور وسیعی منتشر می‌کنند.

نیز ← ۷. مفهوم انتخاب خویشاوندی ۲۸. فرضیه‌ی مادر بزرگ

مفهوم انتخاب خویشاوندی

چرا افراد کمتر از آنچه فکر می کنید اهمیت دارند



جان مینارد اسمیت (۱۹۲۰-۲۰۰۴)

۱ / نگاه هلیکوپتری: چارلز داروین به واقع می دانست که بعضی از جانوران در دید اول به گونه ای رفتار می کنند که با نظریه ی تکامل توسط انتخاب طبیعی او در تضاد است. حشرات اجتماعی مورد توجه خاص بودند. تعداد زیادی از مورچه ها و زنبورها در یک کلنی معمولاً نازا هستند. اگر انتخاب طبیعی براساس ایده عبور خصائص از نسل ها باشد، خصیصه ی نازایی چگونه باقی می ماند و پیشرفت می کند؟ داروین در کتاب درباره منشأ گونه ها توضیحی ارائه کرد.

داروین با این تصور شروع کرد که بعضی از جانوران زایا حامل چیزی هستند

که در صورت نیاز بتوانند فرزند نازا تولید کنند. سپس پیشنهاد کرد که این فرزند نازا می‌توانند با فعالیت‌های‌شان به بقای همتایان زایا کمک کنند. اگر آن‌ها چنین کنند جمعیت جانور در کل می‌تواند زیاد شود و تکامل یابد. مورچه‌های کارگر عقیم از یک راه عجیب و غیرمستقیم، برای همیشه بقای خود را با استفاده از مورچه‌های زایا به عنوان یک واسطه، تضمین می‌کنند.

در دهه‌ی ۱۹۳۰ زیست‌شناسان با پیوند دادن علم ژنتیک و علم انتخاب طبیعی (سنتز مدرن را ببینید) این ایده را اندکی تغییر دادند. **رونالد فیشر و جی. بی. اس. هالدین** استدلال کردند که تکامل بیشتر مربوط به بقای ژن‌ها است تا افراد (نظریه‌ی ژن خودخواه را ببینید). حشرات در یک کلنی ارتباط نزدیکی با هم دارند که به این معناست که افراد نازا ژن‌هایی بسیار شبیه به ژن‌های خویشاوندان زایای خود حمل می‌کنند. اگر کارگران نازا، به صورتی هم‌نوع پرستانه، افراد زایا را کمک می‌کنند تا بقا و تکامل داشته باشند خودشان نیز برنده می‌شوند – ژن‌های شبیه به ژن‌های خود آنان از طریق همتایان زایا تکرار می‌شوند و باقی می‌مانند. این مفهوم به تدریج رایج شد. در دهه‌ی ۱۹۶۰ **جان مینارد اسمیت** نامی به آن داد: **انتخاب خویشاوندی**.



انتخاب خویشاوندی، برای راز نازا متولد شدن بعضی از مورچه‌ها، راه‌حلی ارائه می‌کند.

۲/ میان‌بر: برای درک انتخاب خویشاوندی ممکن است نگاه به بدن انسان از چشم‌اندازی دیگر کمک‌کننده باشد. فرض کنید یکی از انگشتان پای شما دچار یک بیماری خطرناک شود. پزشکان انتخابی به شما می‌دهند: انگشت را قطع کنید یا اجازه دهید که بیماری گسترش پیدا کند و زندگی شما را به مخاطره اندازد. واضح است که قطع کردن انگشت بهترین انتخاب است حتی اگر لازمه‌ی آن

فداکردن همه‌ی سلول‌های انگشت باشد. حال تصور کنید که هر یک از آن سلول‌ها جانوری است که در یک گروه خویشاوندی منسجم زندگی می‌کند. برای بعضی از جانوران این گروه، فدا شدن اگر منجر به بقای کل گروه شود معنایی تکاملی دارد.

 ۳/ اشاره: آنچه در درون و ژن‌ها نهفته است اهمیت دارد. اگر دو یا چند فرد تعداد زیادی ژن مشترک داشته باشند، از دیدگاه تکاملی این افراد به‌طور مؤثر یک موجود واحد هستند — یک گروه منسجم.

نیز ← ۱. نظریه‌ی تکامل توسط انتخاب طبیعی



فرضیه‌ی ملکه سرخ تکامل برای تداوم



لی ون والن (۱۹۳۵-۲۰۱۰)

۱ / **نگاه هلیکوپتری:** تکامل درباره‌ی بقا است. بدین لحاظ می‌توانیم انتظار داشته باشیم که با گذشت زمان با داشتن بقا «بهتر» شویم. به بیان دیگر، گونه‌ها با اجتناب از انقراض بهتر می‌شوند. این ایده‌ای است که **لی ون والن** در دهه‌ی ۱۹۷۰ آن را بررسی و چیز غیرمنتظره‌ای کشف کرد.

هنگامی که او به سنگواره‌ها و رویدادهای انقراض کاهشی شگرف نگاه می‌کرد، دریافت که آهنگ‌های انقراض در هر گروهی از جانوران کم و بیش یکسان مانده است. برای مثال، این بدان معناست که احتمال رو به انقراض رفتن گونه‌های

پستاندار، همان است که چهل میلیون سال قبل بود. گونه‌های پستاندار در اثنای بقا حتی با میلیون‌ها سال تکامل به وضوح بهتر نشده‌اند. ون والن در جستجوی یک توضیح بود. توضیحی که بدان دست یافت **فرضیه‌ی ملکه‌ی سرخ** بود.

فرضیه‌ی ون والن بر این ایده تکیه داشت که گونه‌ها در خلأ زندگی نمی‌کنند. دو یا چند گونه در یک اکوسیستم، برهمکنش دارند و بر تکامل یکدیگر تأثیر می‌کنند. **تکامل توأم**، غالباً فرایندی رقابت‌آمیز است: یک گونه به بهای گونه‌ی دیگر خوب عمل می‌کند و برعکس. این بدان معناست که اگر گونه‌ای با تکامل بخشیدن به یک خصیصه جدید، مزیت بقا را به چنگ آورد، گونه‌ی دیگر احتمالاً به عنوان یک پیامد، فرصت‌های بقای آن را یک کاستی خواهد یافت. به دیگر سخن فرصت‌های بقا برای یک گونه به‌طور دائم توسط نوآوری‌های تکاملی رخ داده در گونه‌ی دیگر، تحلیل برده می‌شوند. گونه‌ی اول برای نگه داشتن فرصت اجتناب فعلی از انقراض باید به تکامل دادن صفات جدید ادامه دهد. این موضوع، ون والن را به یاد گفته‌ی ملکه‌ی سرخ در کتاب از طریق آینه لوئیس کارول انداخت: بهای ماندن در یک جا، تمام قدرت دویدن تو است. او پیشنهاد کرد که گونه‌ها برای ماندن در وضعیتی که هستند، به‌طور مؤثر تکامل می‌یابند.

این ایده میان زیست‌شناسان متداول شده اما به دور از انتقاد هم نیست. اواخر دهه‌ی ۱۹۹۰ **آنتونی بارنوسکی** پیشنهاد کرد که تکامل اغلب با فشارهای فیزیکی و غیرزیست‌شناختی هدایت می‌شود — مثلاً تغییر در شرایط اقلیمی — نه به‌وسیله‌ی رقابت بین گونه‌ها. بدین لحاظ **فرضیه‌ی ملکه‌ی سرخ** همیشه درست نیست. بارنوسکی این برداشت جایگزین از تغییرات تکاملی را شاید در ارجاع به نقش عجیب و مختل‌کننده‌ی جوکر در یک دسته کارت، **فرضیه‌ی کورت ژستر** نامید.

⌚ **۲/ میان‌بر: ملکه‌ی سرخ ون والن** درباره‌ی بقای گونه‌هاست اما راحت‌تر این است که به این ایده برحسب بقای جمعیت‌ها فکر کنیم. فرض کنید یک جمعیت گیاه‌خوار در کنار جمعیتی از شکارچیان زندگی می‌کند. هر سال شکارچیان به‌طور تقریبی یک هزار رأس از گیاه‌خواران را می‌کشند. گیاه‌خواران هم صفاتی را تکامل می‌بخشند که آسیب‌پذیری آن‌ها را کمتر کند: مثلاً پوست‌هایی ضخیم‌تر و بدن‌هایی چالاک‌تر. در اصل آهنگ شکار باید پایین‌تر بیاید. اما شکارچیان نیز خصائصی را تکامل می‌دهند که شانس کشتن را افزایش دهد: مثلاً آرواره‌های قوی‌تر و چشم‌های تیزبین‌تر. چون هر دو گونه به‌طور پایدار تکامل می‌یابند هیچ یک دست بالا را نخواهند داشت و شکارچیان همچنان هر سال در شکار یک هزار گیاه‌خوار موفق خواهند بود.



ماندن بر سر جای اول، تمام انرژی دویدن تو را می طلبد.

با کمال تعجب ملکه‌ی سرخ آلیس، نقش ارزشمندی در زیست‌شناسی تکاملی است.

➡ ۳ / اشاره: مابین موفقیت نسبی و مطلق تفاوتی وجود دارد: یک گونه در یک اکوسیستم صفاتی را پرورش می‌دهد که شانس باقی ماندنش را افزایش می‌دهد. اما گونه‌های دیگر اکوسیستم نیز چنین می‌کنند. به بیان تقریبی آهنگ بقا تغییر نمی‌کند.

نیز ← ۲. اصل تکامل توأم

نظریه‌ی تعادل نقطه‌ای

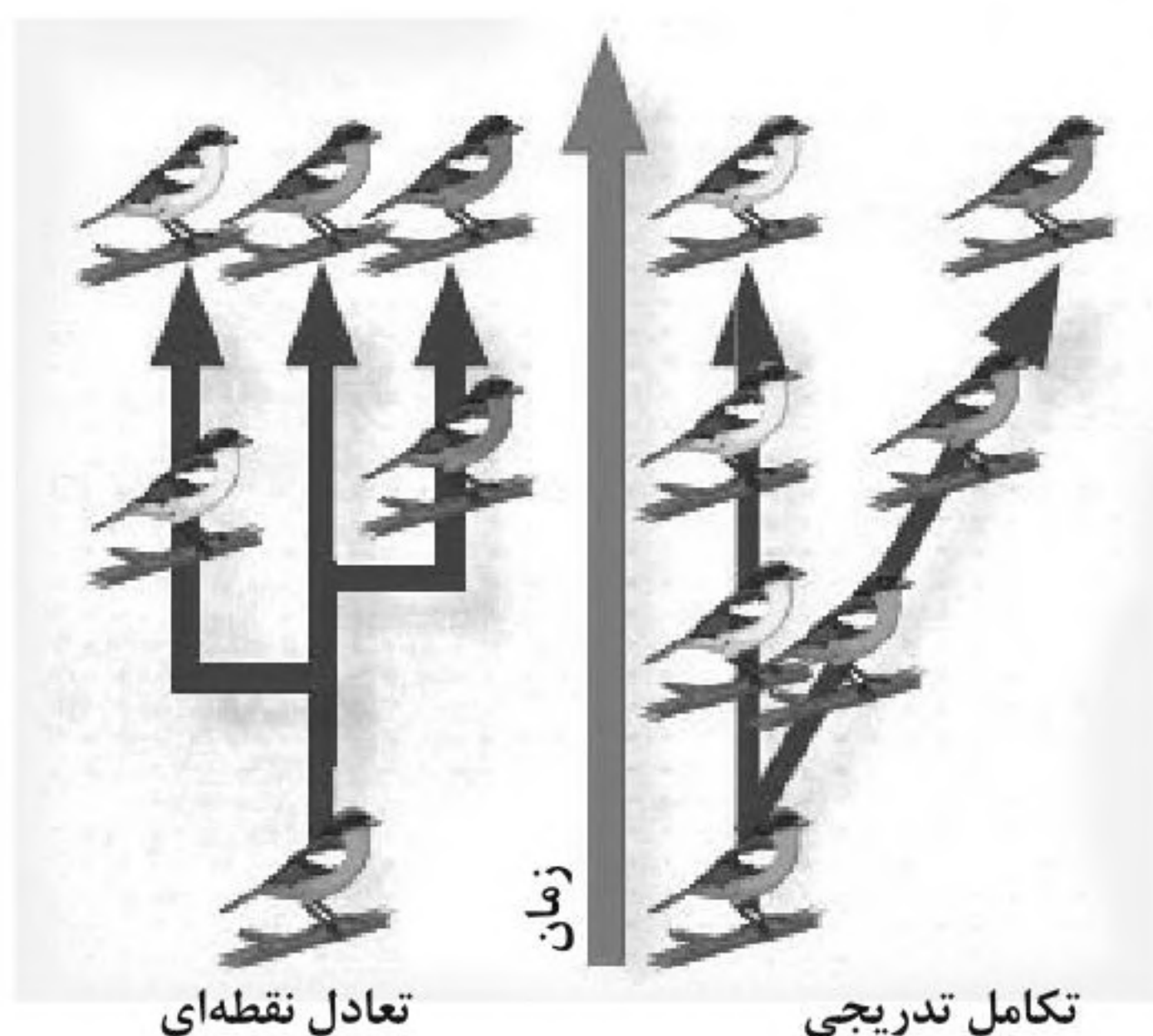
تکامل مورد بازاندیشی بنیادین قرار می‌گیرد

✱ ۱ / نگاه هلیکوپتری: در هسته‌ی تفکر داروین درباره‌ی تکامل، این ایده وجود دارد که گونه‌ها به تدریج تکامل می‌یابند. در دهه‌ی ۱۹۷۰، استیون جی گولد و نیلز الدریج جرأت کردند تا دیدگاه دیگری را مطرح کنند. آن‌ها استدلال کردند که تکامل گونه‌های جدید معمولاً ناگهانی و شگرف است.

ایده‌ی گولد و الدریج در حقیقت چند دهه جلوتر با کار ارنست مایر شروع شد. مایر در تحقیقات خود پیشنهاد کرد که جریان اطلاعات ژنتیکی از طریق جمعیت بزرگی از ارگانیسم‌ها در اصل باید مانند حائلی عمل کند که نوآوری را فرو می‌نشاند و از پیدایش گونه‌های جدید جلوگیری می‌کند. اما وقتی چند فرد از جمعیت اصلی منزوی می‌شوند، وضعیت عوض می‌شود. از آنجا که این جمعیت سفینه‌ای کوچک است، احتمال مؤثر بودن نوآوری‌های ژنتیکی مفید بیشتر از کنار زده شدن آن‌ها است: احتمال تکامل یافتن جمعیت به گونه‌ای جدید بیشتر است.

گولد و الدریج این ایده را پسندیدند. آن‌ها سال‌های زیادی به مطالعه‌ی سنگواره‌ها پرداختند و دریافتند که در طول تاریخ زمین‌شناسی، به نظر می‌رسد که پیدایش گونه‌های جدید ناگهانی بوده و این گونه‌ها برای هزاران و بلکه میلیون‌ها سال تغییر اندکی کرده و ناگهان از میان رفته‌اند. این ایده با نظریه‌ی تکامل تدریجی داروین ناسازگار به نظر می‌رسد اما با ایده‌ی مایر مبنی بر پیدایش سریع گونه‌ها در جمعیت‌های کوچک سفینه‌ای هم‌سو تر است.

گولد و الدریج نظریه‌ای ارائه کردند که تحقیقات مایر را با ژن‌ها و تحقیقات خودشان را با سنگواره‌ها ترکیب می‌کرد. یک گونه‌ی جدید ناگهان از یک جمعیت بنیانگذار کوچک پدید می‌آید. با موفق‌تر شدن گونه، جمعیت آن افزایش می‌یابد — و این امر، قابلیت گونه را برای تکامل و تغییر ظاهر فرو می‌نشاند. سرانجام گونه قدرت رقابت را از دست داده و ناپدید می‌شود. گولد و الدریج این نگاه به تکامل را تعادل نقطه‌ای نامیدند.



تعادل نقطه‌ای استدلال می‌کند که گونه‌های جدید ناگهان پدیدار می‌شوند نه به‌طور تدریجی.



استیون جی گولد (۱۹۴۱-۲۰۰۲)

④ ۲ / میان‌بر: تعادل نقطه‌ای درباره‌ی قدرت جمعیت‌های کوچک است. فرض کنید پیمانه‌ای شیر، یک بطری تقریباً خالی از رنگ خوراکی قرمز و دستور مکتوبی برای ساختن یک پیمانه شیر صورتی دارید. در بهترین حالت چند قطره رنگ موجود در داخل بطری به یک پیمانه شیر ظاهری صورتی خواهد داد. اما

با ریختن مقدار کمی از شیر به بطری رنگ به چالش می‌افتید: مقدار کمی از شیر در بطری رنگ، صورتی روشن است. تعادل نقطه‌ای بحث می‌کند که گونه‌ها تنها زمانی تغییر می‌کنند که زیر مجموعه‌ی کوچکی از جمعیت اصلی «ریخته» شود و در این صورت می‌تواند تحت تأثیر جهش ژنتیکی جدید قرار گیرد. برای بیشتر زمان‌ها، جمعیت‌ها چنان بزرگ هستند که به سختی تحت تأثیر واقع می‌شوند - و به نظر می‌رسد که گونه‌ها چندان تغییر نمی‌کنند.

 ۳ / اشاره: یک فرض معمول این است که تکامل تماماً درباره‌ی تغییر است.
نظریه‌ی تعادل نقطه‌ای تأکید می‌کند که تکامل به تعادل (ایستایی) نیز مربوط است.

نیز ← ۳۶. فرضیه‌ی کاتاستروفیسم

مفهوم انطباق ثانویه^۱

چرا نیمی از یک بال مفیدتر از چیزی است
که به نظر می‌رسد



سنت جورج جکسون میوارت (۱۸۲۷-۱۹۰۰)

✱ ۱ / نگاه هلیکوپتری: حدود یک دهه پس از انتشار درباره‌ی منشأ گونه‌ها چارلز داروین، نظریه‌ی تکامل توسط انتخاب طبیعی او مورد انتقاد سنت جورج جکسون میوارت قرار گرفت. میوارت استدلال کرد که مشکل انتخاب طبیعی این است که تکامل گونه‌ها را بسیار آرام می‌پندارد. اما چیزی مانند یک چشم یا یک

1. exaptation

بال تنها در شکل کامل آن مفید واقع می‌شود. نیمی از یک بال به چه دردی می‌خورد و چرا باید انتخاب طبیعی جانوری را با چنان صفت بی‌فایده‌ای ترجیح دهد؟ احتمالاً خود داروین این مسئله را در نخستین ویرایش از کتابش مورد ملاحظه قرار داده بوده است، اما آن را به‌طور کامل‌تر در ویرایش آخر کتاب در دهه‌ی ۱۸۷۰ مورد بحث قرار داد. او نوشت: حل مسئله این است که تکامل در گذشته‌ی دور هیچ بینشی درباره‌ی شکل ظاهر جانداران امروزمین نداشته است. نیمی از یک بال به این دلیل بی‌فایده به نظر می‌رسد که ما فرض می‌کنیم بال «عمداً» فقط برای کمک به پرواز ساخته شده است. اما اگر بال‌های پر دار مقدماً به درد مقاصد دیگری می‌خورده‌اند، نیمی از یک بال نیز مفید بوده است. بال‌ها چه‌بسا به تدریج بزرگ شده باشند چرا که استفاده‌های دیگری برای جانوران داشته‌اند، تا اینکه روزی بر حسب اتفاق به نشانه‌ای برای یک کارکرد جدید تحول یافتند: پرواز.

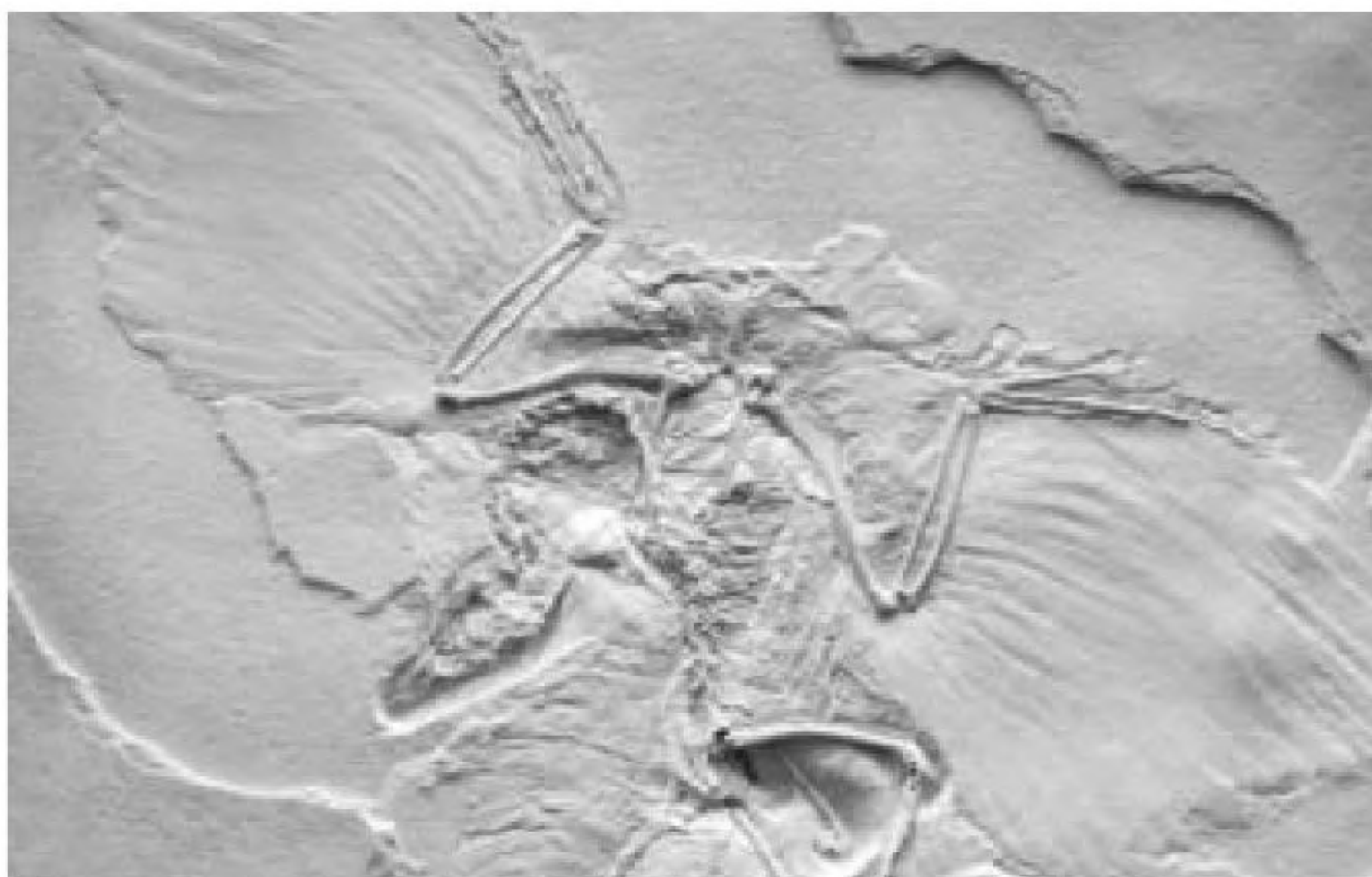
این ایده به پیش‌انطباق (preadaptation) معروف شد اما زیست‌شناسان از این اصطلاح نفرت داشتند. به نظر می‌رسید اصطلاح به این معناست که به طریقی هدف‌دار است: یعنی اینکه گونه‌ها را به‌طور جداگانه برای چالشی که پیش روی آن‌هاست آماده می‌کند. با شناسایی این مسئله‌ی معنایی، استیون جی گولد و الیزابت وربا در سال ۱۹۸۲ پیشنهاد کردند که زیست‌شناسان می‌توانند از اصطلاح انطباق ثانویه به‌جای پیش‌انطباق استفاده کنند و جامعه‌ی علمی آن را پذیرفت.



سینورینتوسوروس مراحل تکامل پرها را آشکار می‌کند.

⌂ ۲ / میان‌بر: گولد و وربا استدلال کردند که گونه‌ها پیوسته در حال انطباق و انطباق ثانویه هستند. برای مثال در گذشته‌های دور پرنده‌های اولیه ممکن

است پره‌های کوتاهی را برای به‌دام انداختن گرما و گرم نگه داشتن خود، تکامل داده باشند – یک انطباق. سرانجام پرها چنان بلند شدند که می‌توانستند به پرنده‌های اولیه یک امتیاز غیرمنتظره بدهند: آن‌ها به تورهای فی‌البداهه‌ای برای گرفتن حشرات به عنوان غذا تبدیل شدند – یک انطباق ثانویه. سپس انتخاب طبیعی جانورانی را برگزید که پره‌های پیچیده‌تری داشتند و دام‌های بهتری برای حشرات بودند – یک انطباق. سرانجام پرها چنان پیچیده‌تر شدند که پرنده‌های اولیه به مزیت غیرمنتظره‌ی دیگری دست یافتند: پرها به آنان کمک می‌کرد تا مسافت‌های کوتاهی را روی هوا سُر بخورند – یک انطباق ثانویه و الی آخر.

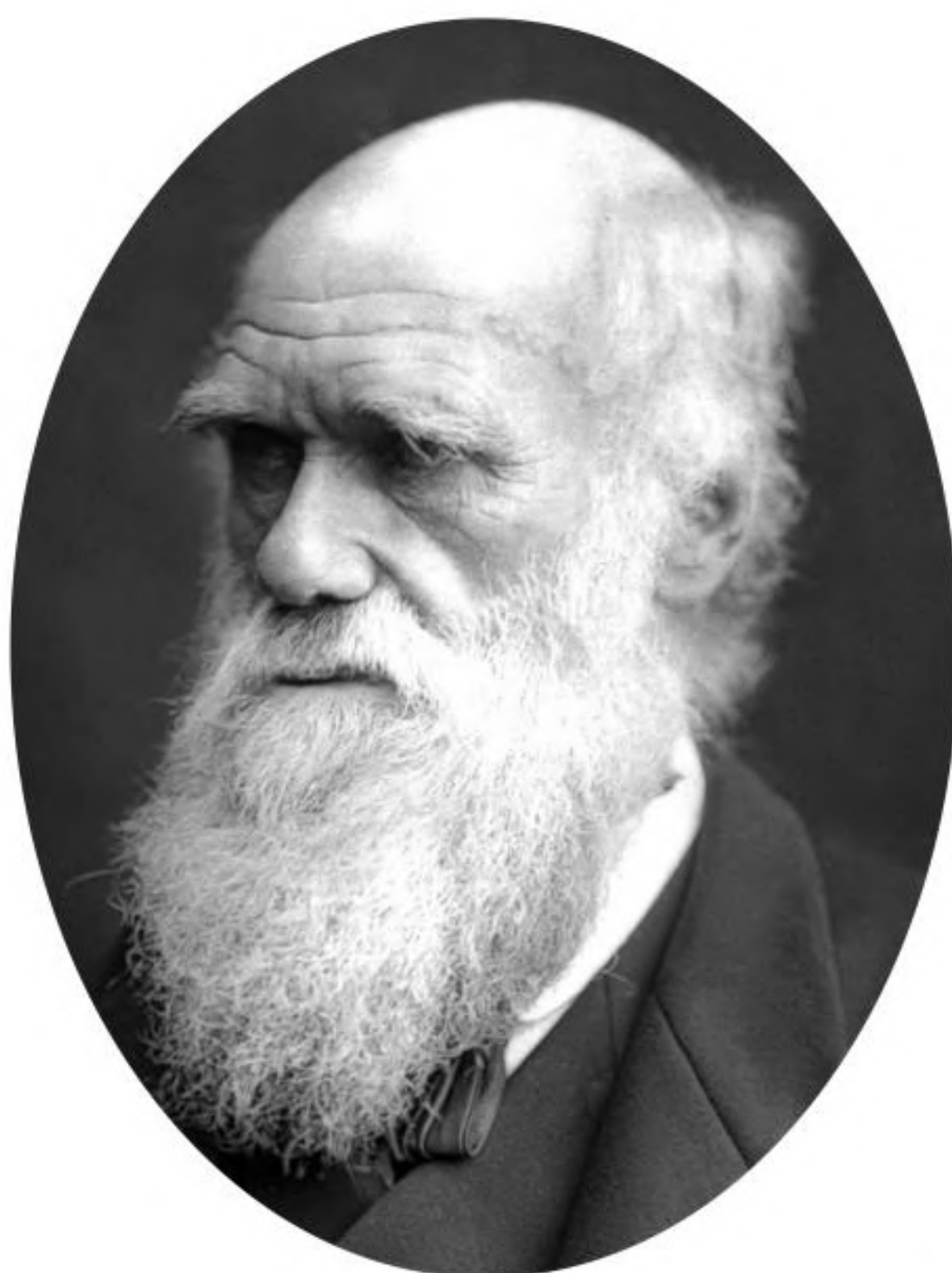


آرکئوپتریکس.

۳/ اشاره: تکامل، جاده جلوی خود را نمی‌بیند. تکامل، گونه‌ها را برای محیط اطراف فعلی شکل می‌دهد.
اما گونه‌ها گاهی صفاتی را تکامل می‌دهند که در نهایت به‌طور پیش‌بینی نشده‌ای مفید از کار در می‌آیند.

نیز ← ۱. نظریه‌ی تکامل توسط انتخاب طبیعی ۱۵. فرایند ادغام ژنتیکی

فرایند تکامل همگرا چیزی که قبلاً تجربه شده است



چارلز داروین (۱۸۰۹-۱۸۸۲)

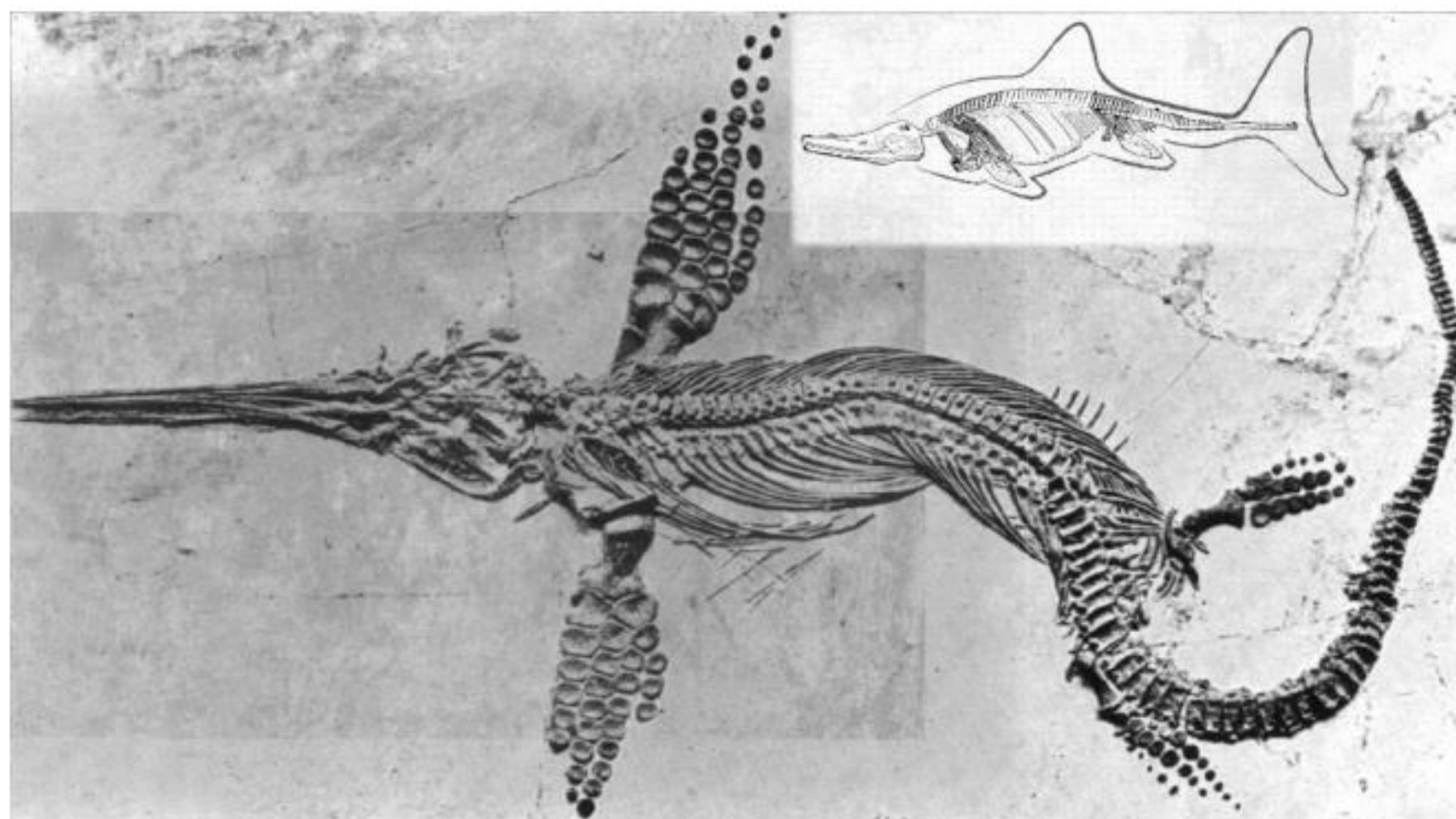
۱ / نگاه هلیکوپتری: در سال ۱۸۵۹ چارلز داروین با جزئیات کامل درباره‌ی مدارکی که به نفع ایده‌ی تکامل از طریق انتخاب طبیعی گرد آورده بود نوشت. جمله‌ی آخر کتاب مشهور او درباره‌ی منشأ گونه‌ها بیان می‌کند که این فرایند نسبتاً ساده «اشکال بی‌پایانی را به زیباترین و عجیب‌ترین صورت» تولید کرده است. تنها یک مشکل با این نتیجه‌گیری وجود دارد. به نظر نمی‌رسد که تکامل گونه‌های نامتناهی تولید کند.

در واقع دنیای طبیعی سرشار از تکرار است. ارگانیسم‌ها معمولاً راه یکسانی را

مستقل از هم برای «حل» یک مسئله‌ی بوم‌شناختی معین تکامل می‌دهند – و در نتیجه در پایان راه خیلی شبیه هم به نظر می‌رسند. این فرایند به عنوان **تکامل همگرا** شناخته شده است. در سال ۲۰۱۱ **جورج مک گی** پیشنهاد کرد که در قدردانی از اکوسیستم‌های امروزی و به دلیل آنچه که از بررسی سنگواره‌ها برمی‌آید کلام داروین را به این شکل تغییر دهیم «اشکال محدود به زیباترین صورت».

کلید درک اینکه چرا تکامل همگرا به فراوانی روی می‌دهد باید در ژنتیک نهفته باشد. می‌توانیم به‌طور ساده فرض کنیم که جهش‌های DNA که به کنترل تکامل کمک می‌کنند، می‌توانند در همه جای ژنوم اتفاق بیفتند. در واقع احتمال وقوع جهش در بعضی از نواحی ژنوم بیشتر از جاهای دیگر است.

از این گذشته جهش‌های DNA «مولودهای یکسانی» نیستند. بعضی می‌توانند عملکرد یک ژن را در هر سلول منفرد در بدن تغییر دهند که می‌تواند چنان اساسی باشد که به مرگ ارگانیسم منجر شود. جهش‌های دیگر، عملکرد ژن را تنها در بعضی از سلول‌های ارگانیسم تحت تأثیر قرار می‌دهند. این جهش‌ها کمتر حاد هستند و بیشتر، این احتمال وجود دارد که به سود ارگانیسم باشند به گونه‌ای که بتوانند به تکامل کمک کنند (پرسش DNA نامرغوب را ببینید). در حقیقت، تاحدی به دلیل وجود قیدهایی از این دست، تکامل نمی‌تواند کاملاً تصادفی و غیرقابل پیش‌بینی باشد.



ایختوزوروس باستانی به‌طور چشم‌گیری شبیه دلفین‌های امروزی بوده است.

➡ **۲ / میان‌بر:** تاریخ حیات بر روی کره‌ی زمین سرشار از نمونه‌هایی از تکامل همگرا است. برای مثال، صدها میلیون سال قبل گروهی از خزندگان

خشکی به تدریج به شکارچیان دریایی ترسناکی تکامل یافتند: ایختیوزوروس. چند ده میلیون سال قبل گروهی از پستانداران خشکی نیز به شکارچیان دریایی تحول یافتند: دلفین‌ها. برای چشم ناآزموده، ایختیوزوروس و دلفین خیلی شبیه هم هستند هر چند کاملاً مستقل از هم و از اجداد مختلفی تکامل یافته‌اند.

 ۳ / اشاره: گونه‌های جدید، بخشی به دلیل قیود ژنتیکی، بسیار شبیه گونه‌های دیگری هستند که قبلاً از میان رفته‌اند. چنان است که گویی تکامل به‌طور دائم کاتالوگ پیشین خود را بازبینی می‌کند و به جای تجربه‌های جدید، نسخه‌های جدیدی از موفقیت‌های قدیمی را تولید می‌کند.

نیز ← ۲۴. پرسش DNA نامرغوب

انتقال افقی ژن

تکامل اما نه به گونه‌ای که داروین پیشگویی کرد



اُسوالد آوری (۱۸۷۷-۱۹۵۵)

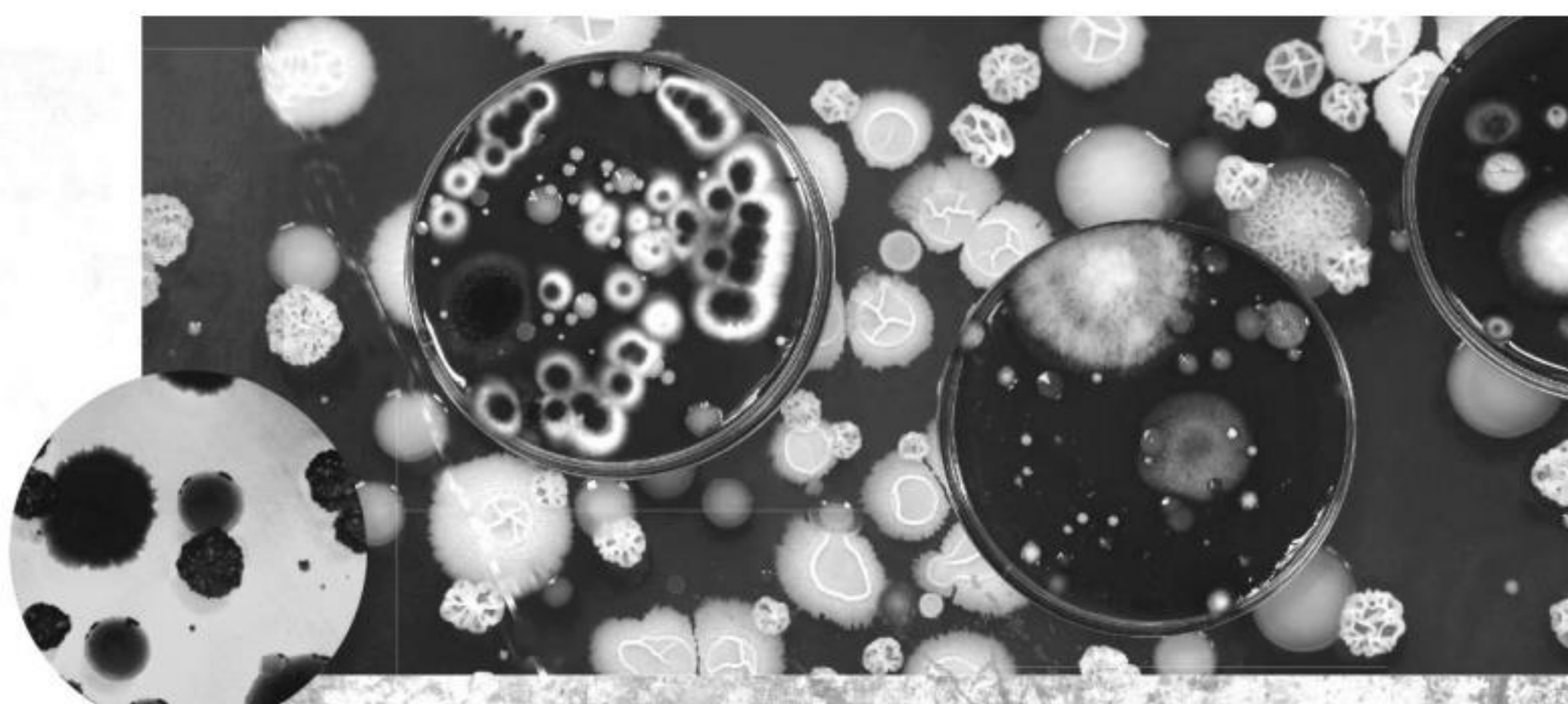
✱ ۱/ نگاه هلیکوپتری: در سال ۱۹۲۸ فردریک گریفیث کشفی حیرت‌آور و نگران‌کننده کرد. او در حال بررسی دو صفت موروثی گونه‌ای از باکتری‌ها بود. صفت A وقتی به موش آزمایشگاهی تزریق می‌شد بی‌ضرر بود اما صفت B در جوندگان، پنومونیای مرگباری را سبب می‌شد. او دریافت که دمیدن باد گرم به باکتری نوع B برای کشتن آن‌ها کافی است و آن‌ها را مانند باکتری A بی‌خطر می‌کند. سپس به یافته‌ی غیرمنتظره‌ای رسید: او باکتری‌های زنده‌ی A را با باکتری‌های مرده‌ی B مخلوط و به موش تزریق کرد. هر دو صفت به‌طور جداگانه بی‌خطر بودند — اما

در کنار هم موش را کشتند. کار گریفیث نخستین شاهد بر این حقیقت بود که تکامل می‌تواند کارکردی کاملاً پیش‌بینی نشده داشته باشد.

گریفیث نتیجه گرفت که باکترهای مرده باید به طریقی «پتانسیل کُشدگی» خود را به میکروب‌های زنده انتقال داده باشند. اما این پیشنهاد بسیار بحث برانگیز بود. در بازگشت به چارلز داروین دانشمندان فرض کرده بودند که صفات منحصرأ مابین والدین (زنده) و اولاد آن‌ها جابه‌جا می‌شوند – چیزی که توارث عمودی نام داشت. قدرت کشتن جانداران باید با مرگ آن‌ها از بین رفته باشد.

اسوالد آوری یافته‌های گریفیث را مطالعه کرد و تصمیم به بررسی گرفت. در ۱۹۴۴ او یک کشف کلیدی کرد: او مولکولی را شناسایی کرد که از باکتری مرده به باکتری زنده منتقل شده بود و احتمالاً صفت «کُشنده» را به همراه داشت. این مولکول DNA بود. مطالعه‌ی آوری برجسته و تاریخی بود: کار او نه تنها به توضیح نتایج گریفیث کمک کرد بلکه به دانشمندان ژنتیک نیز کمک کرد تا DNA را مولکول اصلی در توارث فرض کنند و این، پیامدهای وسیعی برای مطالعات علمی آینده در قرن بیستم داشت.

آوری و گریفیث در یک کار مهم، به‌طور مشترک نشان داده بودند که توارث همیشه کاملاً عمودی و بین والدین و اولاد نیست. گاهی ماده‌ی ژنتیکی می‌تواند به‌طور افقی و مابین ارگانیسم‌های کاملاً بدون ارتباط که فقط در یک محیط زندگی می‌کنند گذار داشته باشد. هیچ کس حتی خود داروین فرایند انتقال افقی ژن را پیش‌بینی نکرده بود.



سلول‌های باکتری در یک کلنی می‌توانند بسته‌های DNA را با هم مبادله کنند.

⌂ ۲/ میان‌بر: ما با توارث عمودی آشنا هستیم: بچه‌های انسان ژن‌ها و صفات فیزیکی کدگذاری شده توسط آن‌ها را به ارث می‌برند. میکروب‌ها به گونه‌ای متفاوت رفتار می‌کنند. بسیاری از آن‌ها می‌توانند بسته‌های کوچکی، حاوی نسخه‌هایی از مولکول‌های DNA تولید کنند که می‌تواند مستقل از اینکه رابطه‌ای نزدیک با هم داشته باشند، هنگام تماس بین آن‌ها منتقل شود. اینکه تا چه گستره‌ای انتقال افقی ژن درست مانند میکروب‌ها، بین جانوران نیز روی می‌دهد، هنوز مورد بحث است.

⌂ ۳/ اشاره: ماده‌ی ژنتیکی تاحدی شبیه یک شایعه‌ی آبدار است: گاهی بهتر است بین خانواده نگه داشته شود. اما به‌طور «افقی» به بیگانه‌های جامعه نیز سرایت می‌کند.

نیز ← ۱۹. مدل ماریپیچ دو گانه ۵۰. مفهوم مقاومت آنتی‌بیوتیکی

نظریه‌ی درون همزیستی کار گروهی چگونه حیات پیچیده به جهان می‌بخشد

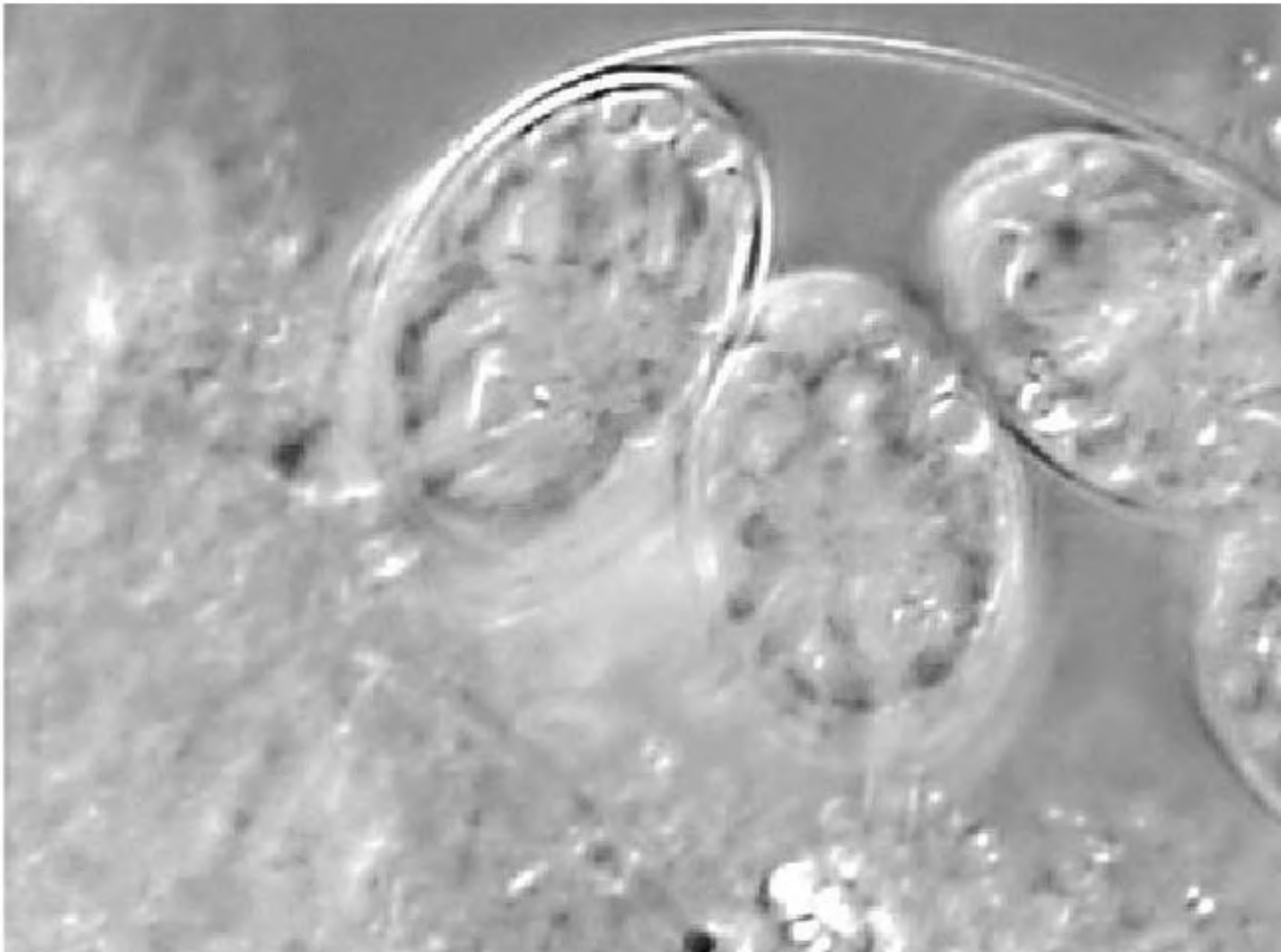


آندریاس شیمپر (۱۸۵۶-۱۹۰۱)

✱ / **نگاه هلیکوپتری:** در قرن نوزدهم کیفیت میکروسکوپ‌ها به‌طور اساسی اصلاح شد و به زیست‌شناسان این مکان را داد تا سلول‌ها و درون آن‌ها را بهتر نگاه کنند. در ۱۸۸۳ **آندریاس شیمپر** متوجه شد که ساختارهای ریزی به نام کلروپلاست در داخل سلول‌های گیاهی، به طرز عجیبی آشنا هستند. آن‌ها در واقع خیلی شبیه به عضوی از باکتری‌ها بودند که می‌توانستند غذای خود را از طریق فوتوسنتز تولید کنند. شیمپر فکر کرد که گیاهان می‌توانند از نوعی اتحاد بیولوژیکی شامل باکتری‌ها ناشی شده باشند. این ایده که دیوانه‌وار به نظر می‌رسید در طول یک

قرن به یک وفاق علمی تبدیل شد.

در اوایل قرن بیستم، کنستانتین مرشکوسکی، آگاه از مشاهدات شیمپر، ایده را با جزئیات بیشتری مطرح کرد. اکنون زیست‌شناسان می‌دانستند که دو ارگانیسم بی‌ارتباط گاهی وارد رابطه‌ای متقابلاً مفید (همزیستی) می‌شوند. مرشکوسکی استدلال کرد که یک نسخه‌ی حدی از این رخداد در گیاهان اتفاق افتاده بوده است. او تصور کرد (شاید به اشتباه) که حیات بر روی زمین دو بار تکامل یافته است: یک شکل آن به باکتری‌ها و شکل دیگر آن به سلول‌های آمیب مانند منجر شد. در مقطعی از تکامل، دو شکل از حیات یکدیگر را ملاقات کردند: نیروهای آمیبی با یک باکتری فوتوسنتزی به هم پیوستند و یک آلگای تک سلولی به وجود آمد که نیاکان دور گیاهان هستند. زیست‌شناسان برای چندین دهه این ایده را انکار کردند.



کلروپلاست‌های درون سلول گیاهی سابقاً می‌توانسته‌اند میکروب‌های آزاد زی باشند.

تا دهه‌ی ۱۹۵۰ دانشمندان ژنتیک شروع به پذیرش این حقیقت کردند که DNA مولکولی کلیدی است که ارگانیسم‌ها از آن برای تکرار خود استفاده می‌کنند. آن‌ها کشف غیرمنتظره‌ای کردند: کلروپلاست‌های داخل سلول‌های گیاهی بسته‌ی DNA خاص خود را دارند که مستقل از DNA گیاه است. این یافته اشاره داشت که حق با مرشکوسکی بود. کلروپلاست‌ها سابقاً میکروب‌های مستقل آزاد زی بودند و از DNA خود برای تکرار خود استفاده می‌کردند هر چند امروز نمی‌توانند بدون سلول‌های گیاهی عمل کنند (و سلول‌های گیاهی نمی‌توانند بدون کلروپلاست‌ها

عمل کنند). تقریباً در همان زمان، زیست‌شناسان کشف کردند که ساختارهای کوچکی در درون سلول‌های گیاهی، جانوری و قارچی که میتوکندری نام دارند نیز DNA خاص خود را دارند. در سال ۱۹۶۷ لین مارگولیس ایده‌ی مرشکوسکی را احیا کرد. نظریه‌ی درون همزیستی می‌رفت تا مقبولیت عام پیدا کند.



کنستانتین مرشکوسکی (۱۸۵۵-۱۹۲۱)

➡ **۲/ میان‌بر:** نظریه‌ی درون همزیستی مارگولیس نشان می‌دهد که در دوران ماقبل تاریخ دور چیزی طبق انتظار پیش نرفت. یک میکروب، میکروب دیگری را بلعید (مثلاً برای شام) اما سلول کوچکتر به طریقی از هضم شدن گریخت. به جای آن وارد رابطه‌ای سودمند با سلول بزرگ‌تر شد. سلول بزرگ‌تر از سلول کوچک‌تر مراقبت کرد و به آن غذا داد و سلول کوچکتر نیز مقادیر زیادی انرژی برای سلول بزرگ‌تر فراهم کرد. سرانجام این دو سلول مانند یک ارگانیسم پیچیده عمل کردند و به جانوران و قارچ‌ها تکامل پیدا کردند. نواده‌های آنها نیز به گیاهان متحول شدند – البته تنها بعد از اینکه یک شام نگون‌بخت دیگر به اضافه شدن میکروب سوم به سیستم منجر شد و این یکی نهایتاً به کلروپلاست‌های فوتوسنتزی تبدیل شد.



۳ / اشاره: شراکت و همکاری می‌آید و می‌رود اما بر طبق نظریه‌ی درون همزیستی یکی از مأنوس‌ترین آن‌ها زمان زیادی دوام آورده است. این همکاری‌های میکروبی مسئول تمام انواع حیات پیچیده بر روی زمین هستند.

نیز ← ۱۴. فرضیه‌ی لو کا LUCA

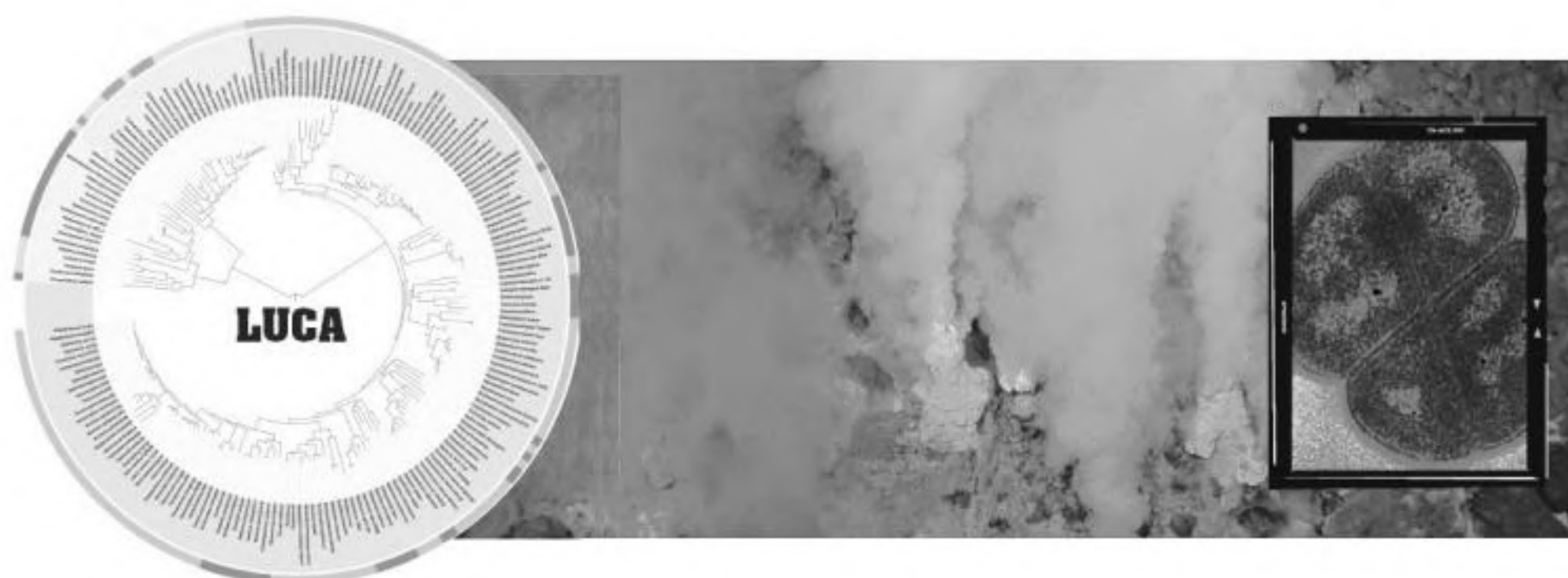
فرضیه‌ی لوکا

میکروب باستانی با ارثیه‌ای حیرت‌انگیز

✱ / **نگاه هلیکوپتری:** در سال ۱۸۵۹ چارلز داروین یکی از مشهورترین کتاب‌های علمی همه‌ی زمان‌ها را منتشر کرد: درباره‌ی منشأ گونه‌ها. در این کتاب داروین نظریه‌ی تکامل توسط انتخاب طبیعی خود را مطرح ساخت که توصیف‌کننده‌ی فرایندی است که از طریق آن گونه‌های جدید می‌توانند بر روی زمین پدیدار شوند. داروین پیش‌بینی جسورانه‌ای هم کرد: او چنین اندیشید که همه‌ی موجودات زنده، اعقاب چند – حتی یک – گونه هستند که زمان درازی جلوتر می‌زیسته‌اند. امروزه دانشمندان در صحت ادعای او تردید دارند. مدت‌ها پس از زندگی داروین، دانشمندان رفته رفته تشخیص دادند که تمام حیات سلولی (همه‌چیز از باکتری‌ها گرفته تا فیل‌ها) در یک خصلیه مشترک هستند: یک کد ژنتیکی که از مولکولی به نام DNA ساخته شده است. این DNA در تمام اشکال حیات سلولی تشابه بنیادین دارد که قویاً پیشنهاد می‌کند که تمام گونه‌های زنده، DNA خود را از یک نیای مشترک به ارث برده‌اند. گونه‌ای فرضی که دانشمندان آن را **آخرین نیای مشترک جهانی یا لوکا (LUCA)** می‌نامند.

لوکا اولین گونه بر روی زمین نبود. در واقع تا زمان زندگی آن، سیاره‌ی ما احتمالاً با آرایه‌ی عظیمی از گونه‌ها انباشته شده بود. اما از طریق یک تغییر ناگهانی در سرنوشت، اعقاب تمام گونه‌ها که در دنیای لوکا مشارکت داشتند، سرانجام ناپدید شدند.

گفتن اینکه لوکا به چه چیزی شبیه بوده و در کجا زندگی می‌کرده، غیرممکن است. دلیل آن این است که فقط گونه‌های معدودی رد و اثری در سنگواره‌ها بجا می‌گذارند و این، یافتن مدرک سنگواره‌ای برای لوکا را بسیار غیرمحتمل می‌کند. اما بسیاری از زیست‌شناسان شک دارند که لوکا میکروبی تک سلولی در ۳/۸ میلیارد سال پیش بوده است. بعضی مطالعات ژنتیکی اظهار می‌کنند که لوکا در منافذ آب گرمایی (hydrothermal) کف دریا زندگی می‌کرده است.



تمام حیات بر روی زمین از یک میکروب باستانی که در اعماق دریاها زندگی می‌کرده، سرچشمه گرفته است.

⌚ / ۲ **میان‌بر:** فرضیه‌ی لوکا احتمالاً با تشابه بهتر فهمیده می‌شود. یکصد نهال را در نظر بگیرید که هر کدام تنها یک شاخه دارند و در زمین کوچکی کنار هم کاشته شده‌اند. با گذشت سال‌ها نهال‌ها رشد می‌کنند و شاخه‌های جدیدی می‌رویند. بعضی با قدرت زیادتری رشد می‌کنند. — ضعیف‌ترها خفه می‌شوند و می‌میرند. بعد از یک قرن تنها یکی باقی می‌ماند و به درخت باشکوهی با هزاران شاخه تبدیل می‌شود. این را درخت زندگی فرض کنید که هر شاخه‌اش یکی از گونه‌های متعددی است که امروز روی زمین زندگی می‌کنند. با این اوصاف می‌توانیم لوکا را نهال تک شاخه‌ی اولیه فرض کنیم. لوکا تنها نهال زنده‌ای نبود که همه‌چیز از آن شروع شود اما در نهایت فقط شاخه‌هایی که از آن رویدند باقی ماندند.

⌚ / ۳ **اشاره:** دانشمندان می‌پذیرند که تمام موجودات زنده به یکدیگر مربوط‌اند. بنابراین از نظر منطقی همه‌ی آن‌ها باید در گونه‌های اجداد اجداد اجداد (به همین منوال) شان شریک باشند. این همان لوکا است.

نیز ← ۱. نظریه‌ی تکامل توسط انتخاب طبیعی

فرایند ادغام ژنتیکی بازگشت تکامل به جلو



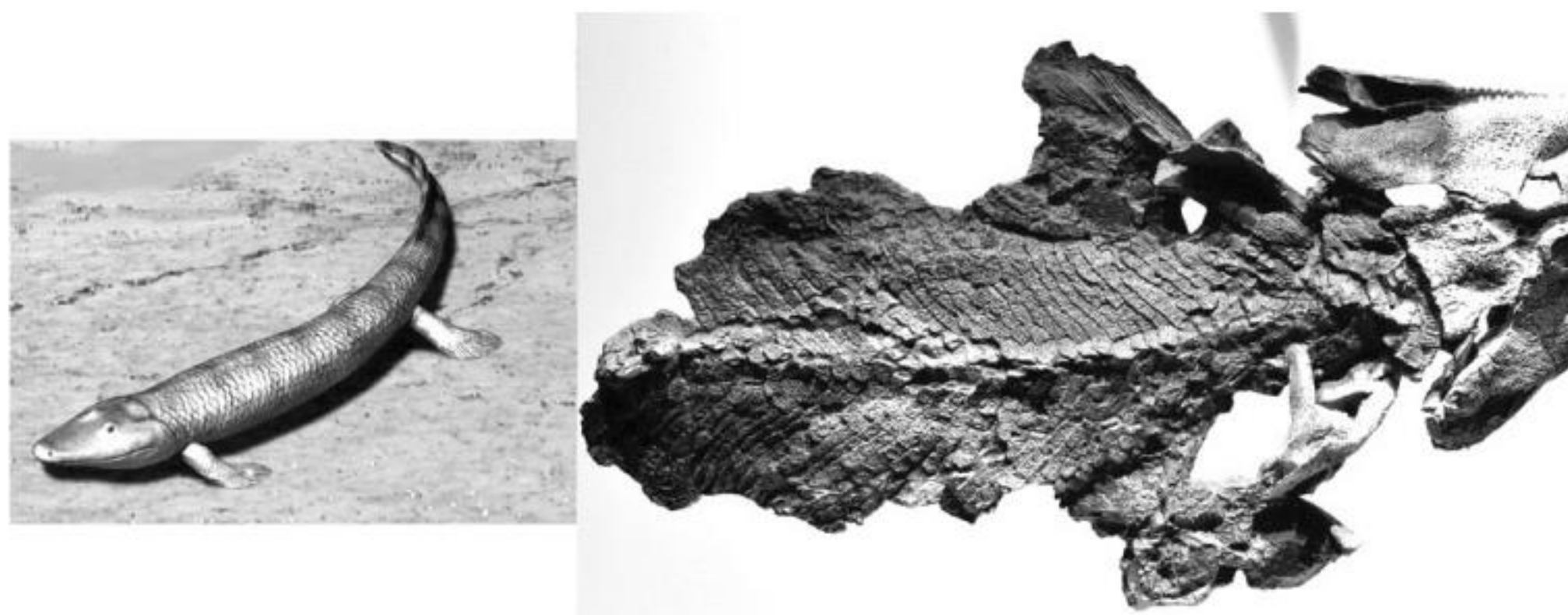
کنراد هال ودینگتون (۱۹۰۵-۱۹۷۵)

✱ / **نگاه هلیکوپتری:** در اوایل دهه‌ی ۱۹۵۰ کنراد هال ودینگتون یک کشف جدی به عمل آورد. او با انجام آزمایش‌هایی روی مگس میوه این واقعیت را بررسی می‌کرد که حشرات در صورتی که در هوای گرم‌تر از معمول رشد کنند بال‌های غیرعادی در می‌آورند. پس از رشد دادن چندین نسل متوالی در شرایط گرم‌تر، ودینگتون دما را پایین آورد. مگس‌ها به درآوردن بال‌های غیرعادی ادامه دادند. ودینگتون تکامل را راه‌اندازی کرده بود — اما نه به طریقی که بیشتر زیست‌شناسان انتظار وقوع آن را داشتند.

نتایج ودینگتون در زمان بسیار مهمی از تاریخ زیست‌شناسی به دست آمد. تنها چند سال قبل دانشمندان برای نخستین بار دریافته بودند که مولکول DNA مسئول توارث است. منشأ گونه‌های جدید به‌طور بنیادینی درباره‌ی توارث است. از این رو ارتباط دادن پیدایش گونه‌های جدید به کسب جهش‌های (قابل توارث) جدید در DNA، بدیهی به نظر می‌رسید. آزمایش مگس میوه با این روایت نمی‌خواند.

برای چندین دهه زیست‌شناسان فهمیده بودند که ارگانیسم‌ها می‌توانند ظاهر و رفتار خود را در صورت تغییر محیط اطراف، به گونه‌ی شگرفی تغییر دهند. این فرایند **انعطاف تکاملی** نام دارد. اما از آنجا که انعطاف تکاملی شامل DNA جهشی نیست، منجر شدن آن به تغییرات قابل توارث که تکامل را هدایت می‌کنند، غیرمحتمل به نظر می‌رسید. اما آزمایش‌های ودینگتون اشاره می‌کرد که **انعطاف تکاملی** تحول را در مگس‌های میوه راه‌اندازی کرده است.

ودینگتون این اثر را **ادغام ژنتیکی** نامید. در دهه‌ی ۱۹۵۰ این ایده به عنوان یک کنجکاوی صرف رد شده بود – اما امروز این گونه نیست. کوین لالند و دیگران فکر می‌کنند که ادغام ژنتیکی می‌تواند نقشی کلیدی در تکامل گونه‌های جدید داشته باشد. این دانشمندان ایده‌ی ودینگتون را در قلب یک «سنتز تکاملی تعمیم یافته» جای داده‌اند که مفروضات اصلی دیدگاه ژن – مرکزی از تکامل را که برای تقریباً یک قرن غلبه و رجحان داشته است، مورد پرسش و تردید قرار می‌دهد. تفکر تکاملی هنوز در حال تحول است.



تیک تالیک، گونه‌ای که ۳۷۵ میلیون سال قبل منقرض شده، باله‌هایی شبیه به پا داشت.

④ **۲/ میان‌بر:** ادغام ژنتیکی پیشنهاد می‌کند که تکامل می‌تواند به طریقی غیرمعمول رخ دهد. مگس‌های میوه‌ی ودینگتون بال‌هایی غیرعادی رشد دادند، چون در شرایط گرم ظاهر شده بودند. این تغییر وراثتی نبود اما چون

ودینگتون چندین نسل «گرم» تولید کرده بود، تمام مگس‌ها همان بال‌های غیرعادی را رشد دادند.

پس از چند نسل، DNA مگس‌ها به‌طور طبیعی جهش‌های تازه‌ای را انتخاب کرد. بعضی از آن‌ها با ایجاد بال‌های غیرعادی، زندگی را برای مگس‌ها راحت‌تر کردند، در نتیجه این جهش‌ها در میان جمعیت معمول‌تر شدند. زمانی که ودینگتون دما را پایین آورد، تعدادی از این جهش‌ها (قابل توارث) برای عملکردی مانند چوب بست ژنتیکی که مگس‌ها را مقید به رشد بال‌های غیرعادی می‌کرد، آماده بودند. آزمایش‌های اخیر نشان می‌دهند که ادغام ژنتیکی می‌توانسته است میلیون‌ها سال قبل رخ داده باشد، زمانی که ماهی‌ها برای نخستین بار به خشکی آمدند و باله‌های آن‌ها به پا تبدیل شد.

 **۳/ اشاره:** بیشتر زیست‌شناسان می‌پندارند که منشأ گونه‌های جدید، تغییر است در DNA است – ادغام ژنتیکی ایده‌ی جایگزینی را مطرح می‌کند. ممکن است در ابتدای مسیر رشد ارگانیسم به بزرگسالی، انعطاف غیرقابل توارثی وجود داشته باشد.

نیز ← ۴. مفهوم زه‌پایی ۵. سنتز مدرن

نظریه‌ی توارث مندلی رفتار غریب نخودهای فرنگی



گرگور مندل (۱۸۲۲-۱۸۸۴)

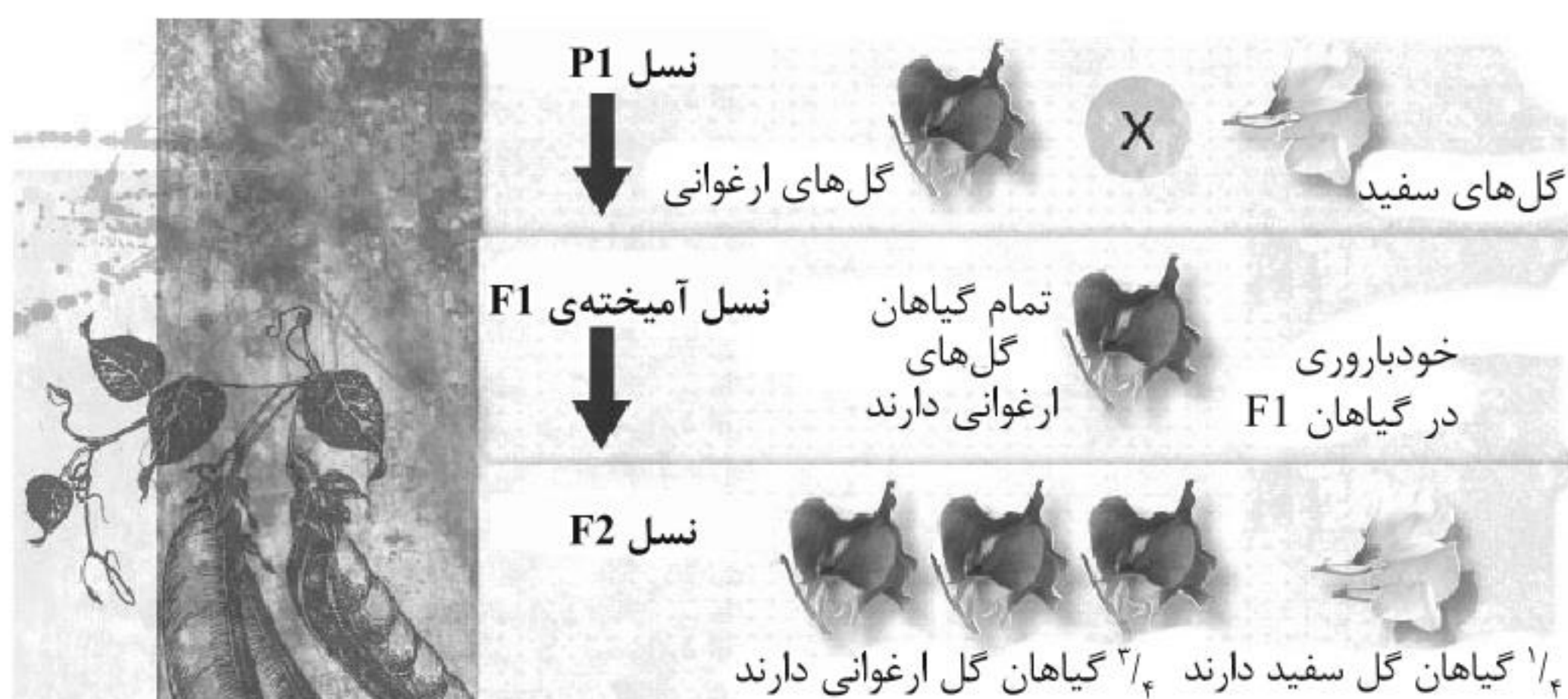
✱ / **نگاه هلیکوپتری:** در نیمه‌ی قرن نوزدهم گرگور مندل از باغ صومعه‌ی اتریشی خود به عنوان صحنه‌ای برای انجام آزمایش‌های پیوند زدن‌های اساسی استفاده کرد - و کشفی کرد که به راه‌اندازی یک زمینه‌ی تحقیقات علمی جدید کمک کرد: ژنتیک.

مندل نخود گل‌های سفید را انتخاب و آن‌ها را با نخود گل‌های ارغوانی پیوند داد. به‌طور دور از انتظاری دانه‌های پیوندی به گیاهانی با گل سفید مایل به ارغوانی رشد نکردند. به‌جای آن، همه آن‌ها دارای شکوفه‌های ارغوانی یکدست شدند. مندل

سپس این نخودهای گل ارغوانی پیوندی را با نمونه‌ی دیگری بارور کرد تا دسته دیگری از دانه‌ها را تولید کند. سه چهارم گیاهان حاصل از این دانه‌ها نیز دارای گل‌های ارغوانی روشن بودند اما یک چهارم دیگر گل‌های سفید به بار آوردند، درست مانند نیمی از نخودهایی که مندل با آن‌ها شروع کرده بود.

مندل دریافت که در این میان چیزی درست نیست، و نظریه‌ی وراثت را برای دلالت بر نتایج مشاهدات خود ارائه کرد. به زبان ساده او پیشنهاد کرد که مشخصاتی مانند رنگ گل در سیطره‌ی تکه‌های گسسته‌ای از اطلاعات قابل توارث هستند که او آن‌ها را عامل نامید (که امروزه به ژن معروف‌اند). مندل استدلال کرد که لااقل در بعضی موارد، یک مشخصه‌ی زیست‌شناختی باید توسط دو نسخه از یک عامل (که اکنون آن‌ها را آلل می‌نامیم) کنترل شود. او همچنین پیشنهاد کرد که یکی از این دو فاکتور غالب است، به این معنا که در صورت حضور، چگونگی تجلی مشخصات زیست‌شناختی در ارگانیسم نهایی را تعیین می‌کند.

با این ایده‌های ساده، مندل توانست نتایج دور از انتظار آزمایش‌های خود را بر روی گیاهان توضیح دهد. متأسفانه دانشمندان آن زمان عمدتاً یافته‌های او را رد کردند. دیدگاه رایج این بود که توارث، شامل آمیزه یا پوششی از مشخصات هردوی والدین است، هر چند این دیدگاه در قالب یک نظریه صورت‌بندی نشده بود. مندل به ایده‌ی توارث آمیخته شک کرد چون نخودهای فرنگی او یا ارغوانی بودند یا سفید اما هرگز سفید مایل به ارغوانی نبودند— اما پذیرش این ایده‌ها از سوی زیست‌شناسان، چندین دهه به طول انجامید.



علم ژنتیک با گیاه نخود شروع شد.

۲ / میان‌بر: مندل با دو گونه‌ی گیاه نخود اصیل شروع کرد. یکی گل‌های ارغوانی داشت به این دلیل که دو نسخه‌ی غالب از الل «رنگ گل» را به همراه داشت – PP (سرنام کلمه‌ی purple به معنای ارغوانی) و دیگری با گل‌های سفید به این دلیل که دو نسخه‌ی مغلوب حمل می‌کرد – pp. از نظر منطقی وقتی این دو گیاه پیوند می‌خورند، نسل بعدی آن‌ها یک الل از هر یک از والدین را به ارث می‌برند. از نظر ژنتیکی همه‌ی آن‌ها Pp هستند و گل‌های ارغوانی به بار خواهند آورد چرا که همه‌ی آن‌ها نسخه‌ای از الل «رنگ گل» غالب P را حمل می‌کنند. وقتی گل‌های Pp آمیخته می‌شوند چهار ترکیب ژنتیکی امکان دارد: PP، pP، Pp و pp. سه تا از این‌ها حامل الل غالب (P) هستند و رنگ ارغوانی تولید خواهند کرد. یکی فقط الل‌های مغلوب (pp) حمل می‌کند، و گل‌های سفید خواهد داشت.

۳ / اشاره: گرگور مندل نخستین کسی بود که دریافت والدین بسته‌های گسسته‌ای از اطلاعات را به بچه‌های خود منتقل می‌کنند. او عملاً وجود ژن‌ها را تشخیص داده بود.

نیز ← ۵. سنتز مدرن ۲۱. نظریه‌ی ژن خودخواه

کروموزوم نظریه‌ی توارث چگونه ژنتیک مسیر اصلی را عوض کرد

✱ ۱ / نگاه هلیکوپتری: در دهه‌ی ۱۸۶۰ گرگور مندل پیشنهاد کرد که فرزندان، بسته‌های گسسته‌ای از اطلاعات (که اکنون دانشمندان آن‌ها را ژن می‌نامند) را از والدین به ارث می‌برند. اما حتی تا ۴۰ سال پس از این ایده، تعداد انگشت‌شماری از دانشمندان آن را جدی گرفتند. مشکل اصلی، نبود یک سازوکار واضح بود که از طریق آن یک فرد می‌توانست نیمی از ژن‌های خود را از یکی از والدین و نیم باقیمانده را طبق ایده‌ی مندل، از دیگری به ارث ببرد. سرانجام دانشمندان دریافتند که کروموزوم‌ها این سازوکار را فراهم می‌کنند.



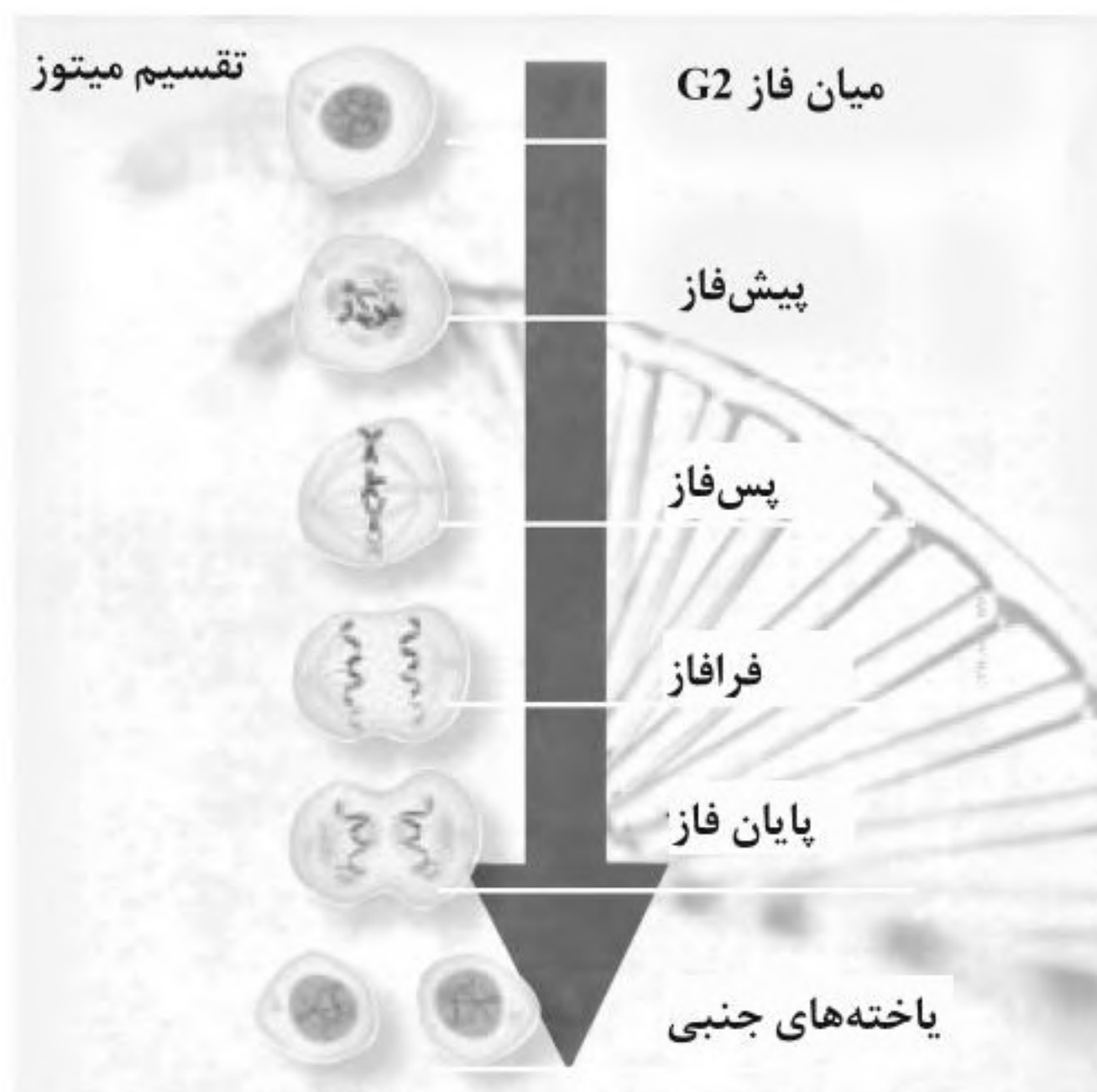
تئودور بووری (۱۸۶۲-۱۹۱۵)

در قرن نوزدهم، کیفیت میکروسکوپ‌ها بالا رفته بود و این به دانشمندان اجازه می‌داد تا تأیید کنند که بسیاری از سلول‌ها شامل یک ساختار درونی کوچک هستند: هسته‌ی سلول. مشاهدات بیشتر نشان داد که درست قبل و بعد از تقسیم

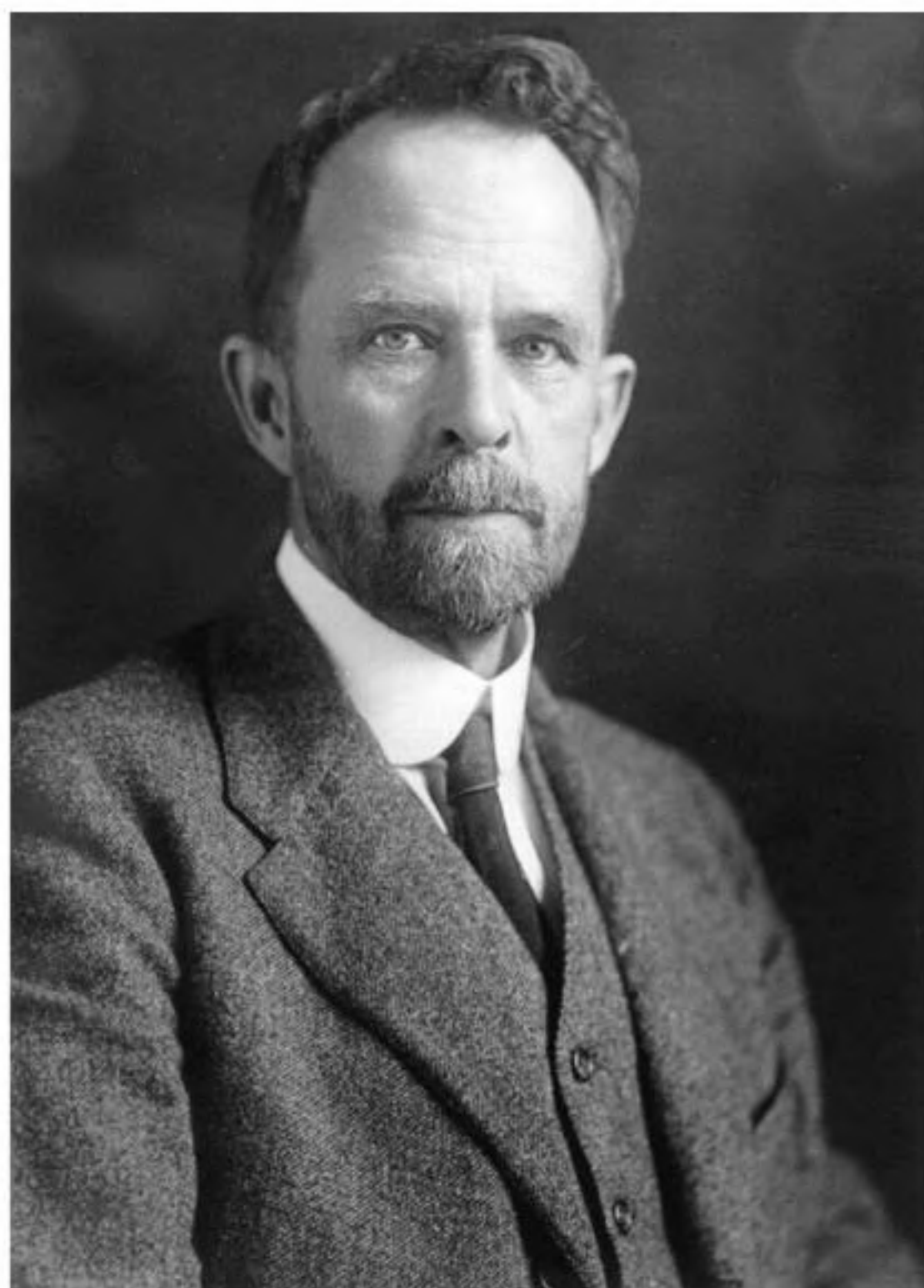
سلول، رشته‌های اسرارآمیزی در درون هسته قابل رؤیت می‌شوند. این رشته‌ها به کروموزوم‌ها معروف شدند.

در دهه‌ی ۱۸۸۰ **تئودور بووری** شروع به مطالعه‌ی کروموزوم‌ها کرد و متقاعد شد که آن‌ها باید نقش مهمی در فرایند توارث داشته باشند. تعدادی از مهم‌ترین کشفیات او با تخم توتیاهای دریایی مرتبط بود. این تخم‌ها گاهی می‌توانند به‌جای یک سلول اسپرم، با دو تا از آن‌ها بارور شوند: بووری فهمید که چنان تخم‌هایی معمولاً بیش از ۳۶ کروموزوم استاندارد توتیاهای سالم دریایی را حمل می‌کنند. تخم‌ها در چنین حالتی از رشد مناسب بازمی‌ماندند. این امر پیشنهاد می‌کرد که تکامل جنین سالم تنها زمانی رخ می‌دهد که تخم بارور تعدادی برابر از کروموزوم‌های والدین را حمل کند. چند سال بعد مقالات مندل درباره‌ی توارث دوباره کشف شدند. بووری دریافت که تحقیقات او درباره‌ی کروموزوم‌ها با ایده‌های مندل سازگار است. به‌طور اخص او استدلال کرد که «عامل‌های» مندل (ژن‌ها) برای توارث باید روی کروموزوم‌ها قرار داشته باشند. دانشمند دیگری به نام **والتر ساتون** تقریباً در همان زمان به نتیجه‌ی مشابهی دست یافت.

در سال ۱۹۱۵ **توماس هانت مورگان** همه‌ی قطعه‌های معما را در کتاب تأثیرگذاری کنار هم قرار داد و بدین‌سان مطالعه‌ی ژنتیک از حواشی علمی به جریان اصلی راه یافت.



کروموزوم‌ها فشرده شده و هنگام تقسیم سلول، زیر یک میکروسکوپ استاندارد قابل مشاهده می‌شوند.



توماس هانت مورگان (۱۸۶۶-۱۹۴۵)

⤵ ۲ / میان‌بر: در درون سلول‌ها، ارگانیسم‌ها دو نسخه از هر کروموزوم را حمل می‌کنند. بدین معنا ارگانیسم‌ها از هر ژن دو نسخه دارند – همان‌طور که مندل گمان می‌کرد – که مستقر در طول کروموزوم‌هاست. اما گاهی اتفاقات عجیب و غریبی به هنگام تولیدمثل می‌افتد. سلول‌های تخم و اسپرم تنها یک کپی از هر کروموزوم را دارند. وقتی آن‌ها در مدت لقاح ترکیب می‌شوند، تخم بارور نتیجه شده یک کپی از هر یک از ژن‌ها پدر و مادر را حمل می‌کند، درست به طریقی که مندل آن را تئوریزه کرده بود.

⏏ ۳ / اشاره: ژن‌ها در کروموزوم‌ها هنگام تقسیم سلول به سختی فشرده می‌شوند که به این معناست که خود کروموزوم‌ها از طرق یک میکروسکوپ استاندارد قابل رؤیت می‌شوند. مطالعه‌ی رفتار کروموزوم‌ها نخستین بینش را از سازوکار توارث ژنتیکی به زیست‌شناسان ارزانی داشت.

نیز ← ۱۶. نظریه‌ی مندلی توارث

فرایند رانش ژنتیکی نقشی که شانس در تکامل دارد



سیوال رایت (۱۸۸۹-۱۹۸۸)

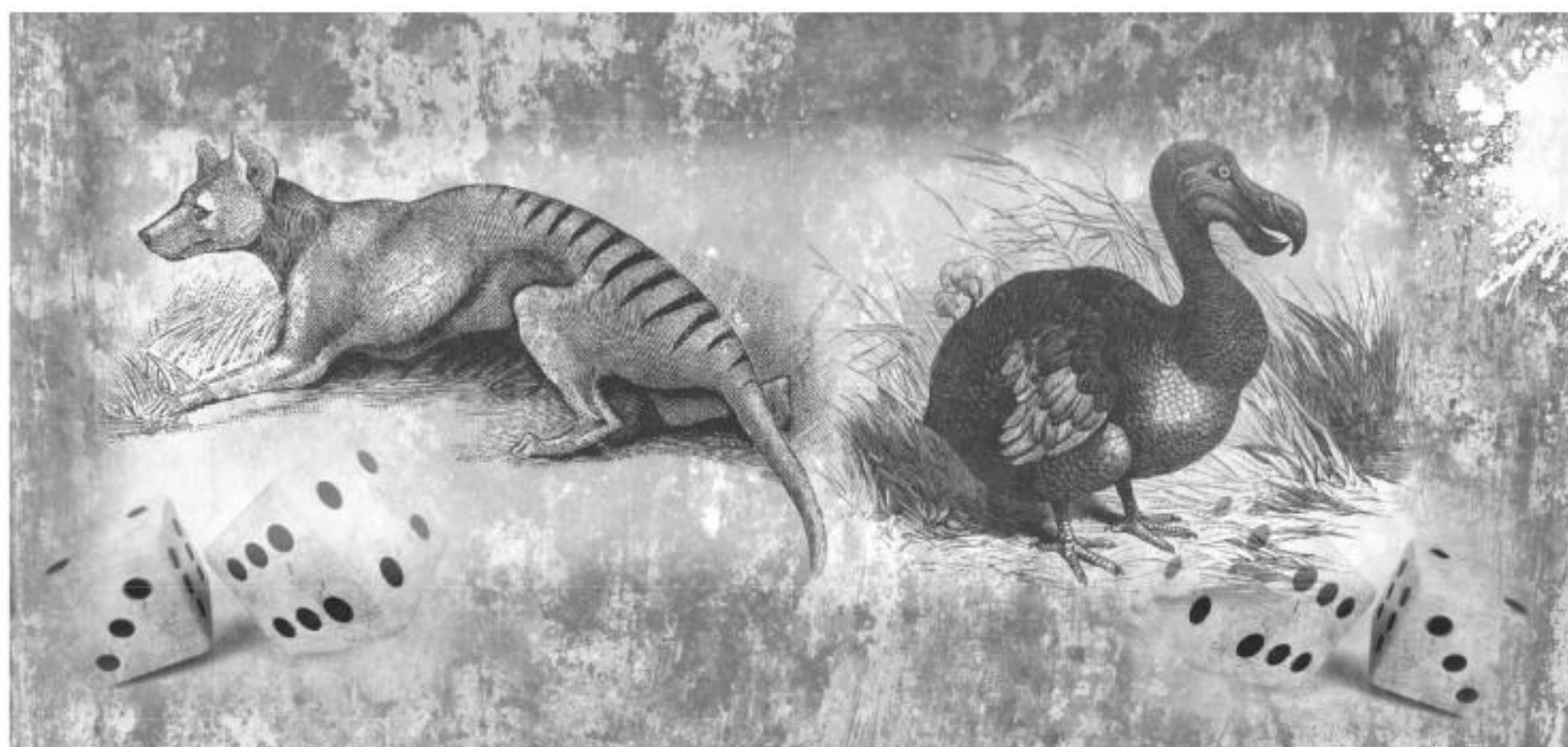
✱ **۱ / نگاه هلیکوپتری:** در دهه‌ی ۱۹۲۰ زیست‌شناسان شروع به ترکیب ایده‌های داروین درباره‌ی انتخاب طبیعی با ایده‌های گرگور مندل در زمینه‌ی توارث کردند. اما در انجام این کار آنان کشف کردند که فرایند تکامل می‌تواند تصادفی‌تر از چیزی باشد که پیش‌بینی کرده بودند.

مسئله زمانی آغاز شد که سیوال رایت رفتار جمعیت‌هایی از ارگانیسم‌ها را در سطح ژنتیکی مورد توجه قرار داد. عمده‌ی همکاران رایت فرض کردند که افرادی که بیشترین فرزندان را به بار می‌آورند، دارندگان مشخصه‌ها (ژن‌ها)یی هستند که

به بهترین وجه با محیط سازگار است. رایت مدعی شد که شانس و اتفاق ساده هم می‌تواند دخیل باشد.

او تصور کرد که این امر به‌طور خاص می‌تواند در جمعیت‌های کوچک که در آن یک فرد تأثیر بیشتری در تکامل آتی جمعیت دارد، روی دهد. می‌توان فرض کرد که یک ارگانیسم «خوش شانس» است و تعداد فرزندان آن دوبرابر تعدادی است که از کیفیت ژن آن انتظار می‌رود. DNA این ارگانیسم نه به این دلیل که برای گونه‌ها مفیدتر است بلکه به صورتی کاملاً اتفاقی در نسل بعدی متداول‌تر خواهد بود. اگر این اتفاق نسل به نسل ادامه داشته باشد می‌تواند تکامل جمعیت و گونه‌ها را به عنوان یک کل، تحت تأثیر قرار دهد. رایت این مفهوم را رانش ژنتیکی نام نهاد.

کار رایت بحث داغی را به راه انداخت. تعدادی از هم‌تایان او از جمله رونالد فیشر پذیرفتند که رانش ژنتیکی می‌تواند روی دهد اما اصرار داشتند که تکامل عمدتاً با انتخاب طبیعی به پیش رانده می‌شود. اما ایده‌ی رایت در دهه‌ی ۱۹۶۰ با پیشرفت همراه شد. موتو کیمورا به‌طور ریاضی نشان داد که رانش تصادفی باید نقش مهمی در تکامل داشته باشد. تا امروز دانشمندان بر سر اهمیت نسبی رانش ژنتیکی و انتخاب طبیعی در هدایت تکامل، به اتفاق نظر نرسیده‌اند.



شانس و اتفاق می‌تواند بعضی گونه‌ها را تسلیم انقراض کند.

➡ **۲/ میان‌بر:** رانش ژنتیکی اظهار می‌کند که تکامل تصادفی‌تر از آن است که داروین گمان می‌کرد. جمعیتی از جانوران را در نظر بگیرید که در آن یک ژن به دو طریق جهش می‌کند: یکی به نفع حاملین آن و دیگری چالش برانگیزترکننده‌ی زندگی برای حاملین آن. از نظر منطقی جهش مفید متداول‌تر و جهش مضر نادرتر خواهد شد. اما براساس شانس خالص، تمام حاملین جهش مفید ممکن است روزی

در دره‌ای ساکن شوند که یک فاجعه‌ی طبیعی را تجربه می‌کند – مثلاً جریان مواد مذاب را. تعدادی از حاملین جهش مضر می‌مانند و با رشد جمعیت، این ژن‌های آن‌هاست که متداول می‌شود. ژن مضر، نه به این دلیل که مزیتی را به دارندگانش می‌دهد، بلکه به‌طور ساده به دلیل شرایط مساعد اتفاقی، برنده می‌شود.

۳ / اشاره: بعضی افراد ممکن است به دلیل بخت و اقبال خوب و نه با دلیل متولد شدن با تطابق‌های سودمند، زندگی جنسی موفق‌تری داشته باشند (و این به ژن‌های آن‌ها منتقل شود). این، بقای خوش‌شانس‌ترین به‌جای بقای اصلح است.

نیز ← ۵. سنتز مدرن ۹. نظریه‌ی تعادل نقطه‌ای

مدل مارپیچ دوگانه

DNA سرانجام قابل درک شد

✱ ۱ / نگاه هلیکوپتری: در اوایل دهه‌ی ۱۹۵۰ دانشمندان زیادی به‌طور غیررسمی وارد مسابقه‌ای دیوانه‌وار برای تعیین ساختمان مولکول DNA شدند. برندگان این مسابقه یعنی فرانسیس کریک و جیمز واتسون به شهرت جهانی رسیدند.

مطالعه‌ی DNA به قرن نوزدهم برمی‌گردد. فردریک میشر تنها یک دهه بعد از اینکه چارلز داروین کتاب درباره‌ی منشأ گونه‌ها را منتشر کرد، مولکول را شناسایی کرد — هر چند ارزش کشف میشر برای چند دهه بدرستی درک نشد. این تعجبی نداشت. تعداد معدودی از دانشمندان گمان می‌کردند که DNA در توارث نقش دارد. با بیان دیگر تعداد کمی فکر می‌کردند که ژن‌ها در DNA کدگذاری شده‌اند. در سال ۱۹۴۴ وقتی اسوالد آوری شواهد محکمی به دست آورد که ژن‌ها از DNA ساخته شده‌اند، تعجب بسیاری را برانگیخت. ناگهان دانشمندان متوجه شدند که برای درک کامل توارث، نیاز به استخراج ساختار دقیق DNA دارند. اروین شارگاف در سال ۱۹۵۰ به پیشرفت مهمی دست یافت: او دریافت که ساختارهایی در DNA با نام «بازها» در تعادل هستند. در هر مولکول DNA مقدار بازی به نام آدنین تقریباً برابر مقدار بازی به نام تیمین است در حالی که مقدار گوانین با مقدار سیتوزین برابر است. در مدت سه سال، کریک و واتسون مدلی از مولکول DNA داشتند که مشاهدات شارگاف را توضیح می‌داد. با برداشتی تمام و کمال از تحقیقات انجام شده توسط روزالیند فرانکلین، موریس ویلکینز و لینوس پائولینگ، کریک و واتسون مدل مارپیچ دوگانه از مولکول DNA را ارائه دادند. این مولکول سرانجام در قلب نظریه‌ی تکامل معنا گرفت.

⌚ ۲ / میان‌بر: مدل مارپیچ دوگانه‌ی کریک و واتسون برای DNA یکی از مشهورترین تصاویر کل علم است. دلیل آن به‌طور ساده زیبایی این تصویر نیست. مارپیچ دوگانه همانندسازی ژن‌ها و عبور آن از نسل‌ها را نیز توضیح می‌دهد.

مدل مانند یک نردبان پیچیده شده است که در آن «بازهای» DNA به صورت جفت به هم می‌پیوندند تا پله‌های نردبان را شکل دهند. آدنین همیشه با تیمین (A-T) و سیتوزین همیشه با گوانین (C-G) جفت می‌شود. نکته‌ی مهم این است که اگر زیپ DNA در طول آن باز شود و هر یک از دو پیوند A-T و C-G میان بازها شکسته شود، هر یک از دو نصف مولکول می‌تواند مانند چوب بستنی عمل کند که نیمه‌ی دیگر روی آن بنا شود. ساختار DNA در تناسبی ایده‌آل با همانندسازی است.



سه چهره‌ی شاخص در مسابقه‌ی کشف ساختمان DNA از راست به چپ: جیمز واتسون (متولد ۱۹۲۸)، فرانسیس کریک (۱۹۱۶-۲۰۰۴)، روزالیند فرانکلین (۱۹۲۰-۱۹۵۸).

۳ / اشاره: کریک و واتسون DNA را کشف نکردند. اما مدل مارپیچ دوگانه‌ی آن‌ها رازی را برملا کرد که تا داروین به عقب برمی‌گشت. آن‌ها نشان دادند که DNA چگونه می‌تواند برای ایجاد سازوکاری برای توارث، خود را کپی کند.

نیز ← ۱۲. انتقال افقی ژن

فرضیه‌ی ساعت مولکولی

اندازه‌گیری زمان تکاملی



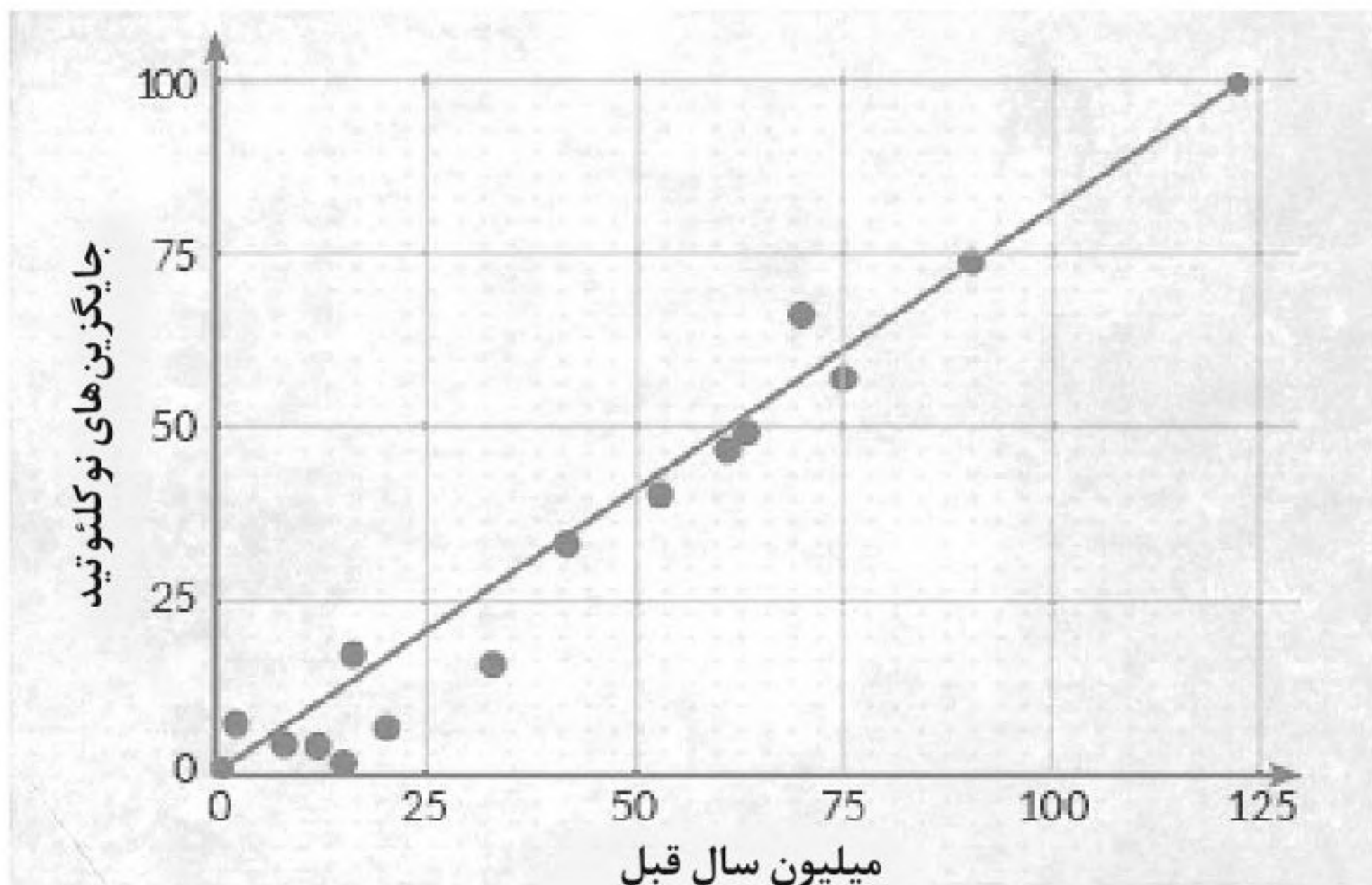
لینوس پائولینگ (۱۹۰۱-۱۹۹۴)

✱ / **نگاه هلیکوپتری:** در سال ۱۹۶۰، از لینوس پائولینگ خواسته شد تا مقاله‌ای در ویژه‌نامه‌ای در بزرگداشت آلبرت سنت گیورگی که ویتامین C را در دهه‌ی ۱۹۳۰ کشف کرده بود ارائه کند. پائولینگ و همکار او امیل زاکرکندل در آن مقاله ایده‌ای را مطرح کردند که انقلابی در علوم تکاملی به پا کرد. پائولینگ و زاکرکندل در ایده‌ای بجامانده از اوایل قرن بیستم مبنی بر اینکه مولکول‌های پیچیده (پروتئین‌ها و DNA) در درون سلول‌های زیستی، به تدریج اما به‌طور دائم ظاهر خود را تغییر می‌دهند، تجدید نظر کردند. این دو دانشمند دریافتند

که این مولکول‌ها عملاً گاه شمارهایی هستند که می‌توانند زمانی را استخراج کنند که آخرین بار دو سلول یا به‌طور مفیدتر، دو گونه نیای مشترک داشته‌اند.

این ایده‌ای فوق‌العاده و بحث برانگیز بود. در آن زمان بیشتر دانشمندان فکر می‌کردند که آثار سنگواره‌ای به تنهایی می‌توانند به تعیین زمان دقیق نخستین پیدایش گونه‌ها کمک کنند. پائولینگ و زاکرکندل با شهادت نشان دادند که مولکول‌های درون ارگانیسم‌های زنده نیز می‌توانند این کار را انجام دهند. فراتر از این، وقتی دو دانشمند از ایده‌ی خود برای محاسبه‌ی زمان انشعاب انسان‌ها و گوریل‌ها از یک نیای مشترک استفاده کردند - یازده میلیون سال قبل - جواب با یافته‌های سنگواره‌ای آن زمان در تناقض بود.

با گذشت سال‌ها، سنگواره‌های بیشتری پیدا شدند و عدد یازده میلیون سال پائولینگ و زاکرکندل باورپذیرتر شد. **فرضیه‌ی ساعت مولکولی** آزمون سختی را پشت سر گذاشت و مقبولیت عام یافت.



دو گونه‌ی جداشده توسط چندین جهش ژنتیکی (جایگزین‌های نوکلئوتید) در گذشته‌ی دور نیای مشترکی داشته‌اند.

⌚ **۲/ میان‌بر:** مولکول‌های ارگانیک پیچیده مانند DNA، شکننده‌اند. سلول‌ها هنگام تقسیم - و همانندسازی DNA - به‌طور اجتناب‌ناپذیری دچار خطاهای کوچک می‌شوند. مانند بازی نجوای چینی یا تلفن، با هر همانندسازی، خطاهای بیشتر و بیشتری تجمع می‌کنند. ساعت مولکولی پائولینگ و زاکرکندل

با این فرض کار می‌کند که آهنگ تجمع این خطاها تقریباً ثابت است. این بدان معناست که اگر دو گونه، ده میلیون سال قبل نیای مشترک داشته‌اند، DNA آن‌ها در مقایسه با دو گونه‌ای که فقط پنج میلیون سال قبل نیای مشترک داشته‌اند، باید دو برابر خطاهای ثبت شده را آشکار کند.

 ۳/ اشاره: دانشمندان زمانی تصور می‌کردند که فقط سنگواره‌ها می‌توانند زمان انشعاب گونه‌های ماقبل تاریخ را از یکدیگر آشکار کنند. ساعت مولکولی به زیست‌شناسان این امکان را می‌دهد که از جانوران زنده به عنوان ابزاری جایگزین برای کاوش در زمان‌های باستان استفاده کنند.

نیز ← ۲۲. فرضیه‌ی حوای میتو کندریال

نظریه‌ی ژن خودخواه

دیدگاه جدیدی از تکامل



ریچارد داکینز (متولد ۱۹۴۱)

۱ / نگاه هلیکوپتری: در سال ۱۹۷۶، ریچارد داکینز کتابی منتشر کرد که مانند کتاب درباره‌ی منشأ گونه‌های داروین، هم برای خوانندگان متخصص و هم برای عامه‌ی مردم جذاب بود و همانطور که داروین روی جهت تحقیقات علمی آینده تأثیر گذاشت، داکینز نیز با کتاب ژن خودخواه^۱ چنان کرد. ژن خودخواه نتیجه‌ی نهایی یک سفر علمی بود که احتمالاً در دهه‌ی ۱۸۶۰ با



۱. این کتاب با ترجمه‌ی دکتر جلال سلطانی از سوی انتشارات مازیار منتشر شده است. ناشر

کار گرگور مندل در توارث آغاز شد. تا دهه‌ی ۱۹۳۰، دانشمندان اهمیت تکاملی کار مندل را تشخیص داده بودند که نشان می‌داد اطلاعات (ژن‌ها) اساساً بدون تغییر به نسل‌های بعد منتقل می‌شوند.

در دهه‌های ۱۹۴۰ و ۱۹۵۰ پیشرفت‌های مهمی در این زمینه رخ داد. ژنتیک‌دانان دریافتند که مولکول DNA مسئول توارث است و این قویاً نشان می‌داد که ژن‌ها در DNA کدگذاری شده‌اند. آن‌ها همچنین نحوه‌ی خود همانندسازی DNA را هنگام ایجاد سلول‌ها و ارگانیسم‌های جدید با دقت استخراج کردند.

تمام این کشفیات، دانشمندانی مانند جورج ویلیامز و جان مینارد اسمیت را به سمت دیدگاهی ژن – مرکزی از تکامل هدایت کرد. در سطحی بنیادین، آنان اعتقاد داشتند که تکامل درباره‌ی بقای ژن‌ها است نه گونه‌ها – و مطمئناً نه درباره بقای ارگانیسم‌های منفرد. در طول میلیون‌ها سال تکامل، افراد می‌میرند و گونه‌ها منقرض می‌شوند اما ژن‌ها ایستادگی می‌کنند. این طرز تفکر به توضیح چند مورد عجیب در زیست‌شناسی، از جمله رفتار نوع دوستانه کمک کرد و موضوع اصلی کتاب مشهور داکینز شد. نظریه‌ی ژن خودخواه که از این کتاب پدیدار شد، بسیار تأثیرگذار بوده و هست.



یک ورزشکار کایاک، راه ساده‌ای را برای درک ماهیت «خودخواه» ژن‌ها نشان می‌دهد.

۲ / میان‌بر: با اقتباس از یکی از تشبیهات داکینز، حرفه‌ی کایاک سوار المپیکی را در نظر بگیرید که نشان‌دهنده‌ی حیات بر روی زمین است. کایاک سوار با آموزش و ارتقای مهارت خود از کایاک‌های متفاوتی استفاده می‌کند. بعضی از آن‌ها در اثر استفاده‌ی زیاد در جریان‌های تند رودخانه‌ها در هم می‌شکنند و تعدادی دیگر با نسخه‌های جدیدتر و بهتر جایگزین می‌شوند. نویسندگان ورزشی تشخیص می‌دهند که تنوع کایاک‌ها مهم است اما می‌دانند آنچه که در درون کایاک

هست اهمیت اصلی را دارد: خود کایاک سوار. به طریق مشابه، هنگام مستندسازی تاریخ حیات بر روی زمین، خود افراد و گونه‌ها حائز اهمیت اصلی نیستند بلکه مهم ژن‌هایی هستند که از جسمی به جسم دیگر می‌روند.

۳ / اشاره: ژن‌ها در حقیقت خودخواه نیستند — آن‌ها با خودآگاهی آمیخته به خودپسندی عمل نمی‌کنند. اما ژن‌ها با تأثیر روی رفتار ارگانیسم‌ها، بقای دراز مدت خود را تضمین می‌کنند. از دید انسانی ما، این نوعی خدمت به خود است.

نیز ← ۷. مفهوم انتخاب خویشاوندی ۱۶. نظریه‌ی توارث مندلی ۱۹. مدل مارپیچ دو گانه

فرضیه‌ی حوای میتو کندریال

مادر بشریت



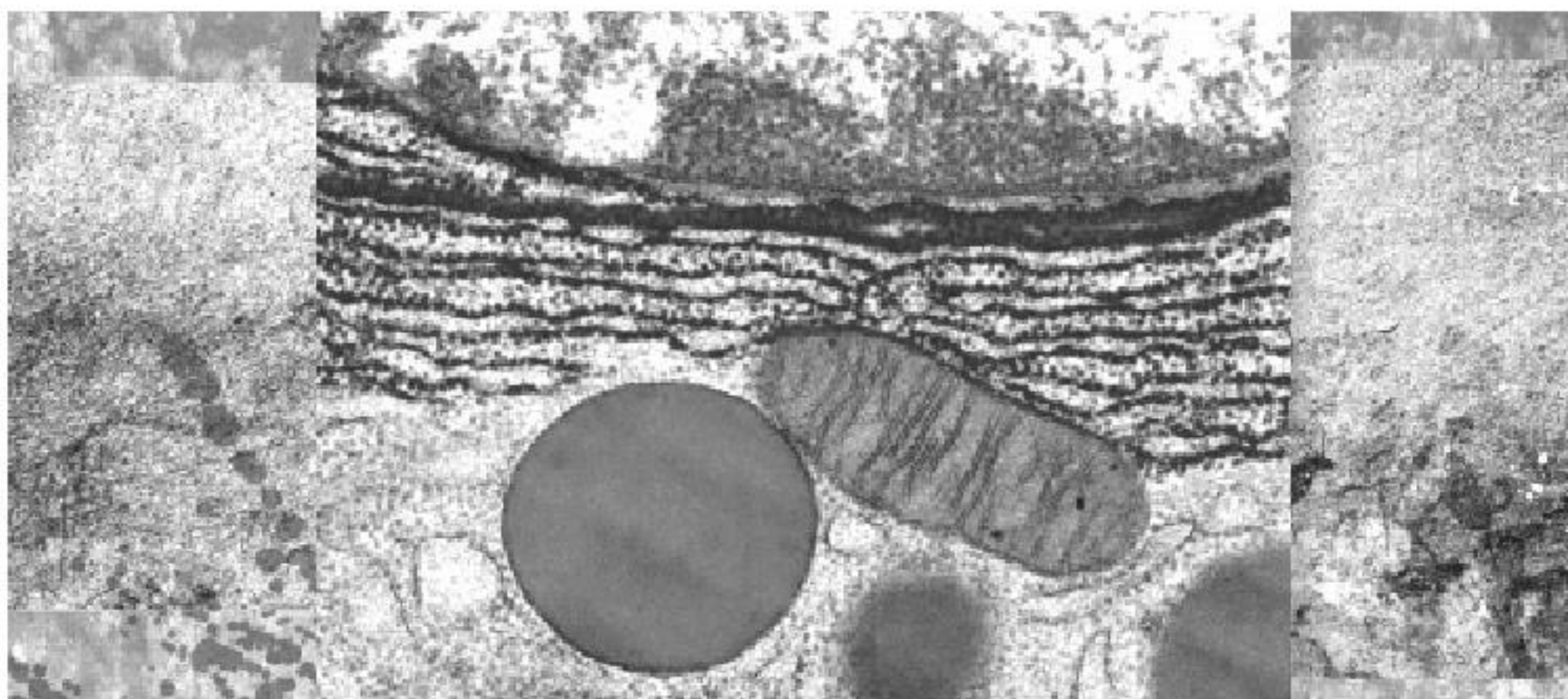
ربکا کان (متولد ۱۹۵۱)

۱ / نگاه هلیکوپتری: در سال ۱۹۸۷ سه زیست‌شناس – ربکا کان، مارک استونکینگ و آلن ویلسون – مقاله‌ای منتشر کردند با مضامینی که توجه همگان را برانگیخت. آن‌ها نمونه‌هایی از DNA انسان را تحلیل و این پیشنهاد جسورانه را مطرح کردند که هر مرد، زن و بچه‌ای که امروز زندگی می‌کند، تکه‌ی خاصی از DNA خود را از یک نیای مشترک واحد به ارث برده است. از زنی که در گذشته‌ی دور در آفریقا زندگی می‌کرده است. روزنامه‌ها ایده را پسندیدند و او را «حوّا» نامیدند.

کشف این حوای خاص حداقل از دو پیشرفت علمی قبلی نتیجه شده بود. اولین کشف که در دهه‌ی ۱۹۵۰ حاصل شد این بود که ساختارهای کوچکی در سلول‌های انسان به نام میتوکندری‌ها تکه‌ای کوچک از DNA خاص خود را حمل می‌کنند که مستقل از ژنوم انسان عمل می‌کند. DNA میتوکندریال رفتار عجیبی دارد: وقتی کودکی متولد می‌شود، نیمی از ژنوم انسانی خود را از پدر و نیم دیگر را از مادر به ارث می‌برد. اما DNA میتوکندریال کودک همیشه منحصراً از مادر گرفته می‌شود.

کشف مهم دوم که به دهه‌ی ۱۹۶۰ بازمی‌گردد، این است که مولکول‌های زیست‌شناختی به تدریج و به‌طور دائم ظاهر خود را از نسلی به نسل دیگر تغییر می‌دهند، به این معنا که ژنتیک‌دانان می‌توانند زمان مشارکت مردم در آخرین نیای مشترک شان را به‌طور ساده با شمارش تفاوت‌های ژنتیکی کوچک در DNA آن‌ها، استخراج کنند.

سه دانشمند یاد شده، نمونه‌های DNA میتوکندریال ۱۴۷ زن داوطلب از سراسر دنیا را تحلیل کرده و یک درخت خانوادگی فراگیر بزرگ ساختند. آن‌ها متوجه شدند که ریشه‌ی این درخت به ۱۴۰,۰۰۰ تا ۲۹۰,۰۰۰ سال قبل در آفریقا بازمی‌گردد. در نقطه‌ای از این پنجره‌ی زمانی، زنی زندگی می‌کرد که با خوش‌شانسی، DNA میتوکندریال خود را به تمام افراد زنده‌ی حاضر انتقال داد. ویلسون دوست داشت این زن را «مادر خوش‌شانس» بنامد. اما در سال ۱۹۸۷ این ایده به دلایل رسانه‌ای نام‌انگیزی فرضیه‌ی حوای میتوکندریال را به خود گرفت.



میتوکندری‌ها DNA خاص خود و داستان خاص خود را درباره‌ی گذشته‌ی انسان دارند.

❖ **۲/ میان‌بر:** حوای میتوکندریال را می‌توان به ساده‌ترین شکل ممکن با تشبیه درک کرد. فرض کنید شما و بهترین دوست شما نمایشی از جمعیت جهانی

فصل ۲۲: فرضیه‌ی حوای میتو کندریال ۷۵

انسانی هستید. هر یک از شما DNA خود را از چهار پدر بزرگ و مادر بزرگ خود، از هشت پدر و مادر آنها و الی آخر، گرفته‌اید. اما DNA میتو کندریال منحصر بفرد است زیرا به‌طور خاص از شجره‌نامه‌ی مادری عبور می‌کند: این بدان معناست که شما هر کدام DNA میتو کندریال را تنها از یک مادر بزرگ، از یک مادر مادر بزرگ والی آخر به ارث برده‌اید. اگر خط مادری خودتان و دوست‌تان را تا حد کافی به گذشته امتداد دهید، به مادر مشترکی خواهید رسید. نه شما و نه دوست شما تمام DNA خود را از این مادر نگرفته‌اید – هر یک از شما منابعی از نیاکان پدری و مادری دیگر نیز داشته‌اید. اما نهایتاً همین زن است که DNA میتو کندریال را به هردوی شما داده است. او حوای میتو کندریال مشترک شما است.



۳/ اشاره: با همه‌ی تفاوت‌هایی که هست، مردم حقیقتاً به یک خانواده‌ی جهانی با نیاکان مشترک تعلق دارند. حوای میتو کندریال تجسمی از این ایده است.

او یک فرد ماقبل تاریخی است که بخشی از DNA خود را به افراد زنده‌ی کنونی ارزانی کرد.

نیز ← ۱۳. نظریه‌ی درون همزیستی ۲۰. فرضیه‌ی ساعت مولکولی

فرضیه‌ی جهان RNA

سپیده‌دم علم ژنتیک؟



والتر گیلبرت (متولد ۱۹۳۲)

۱ / نگاه هلیکوپتری: تا نیمه‌ی دوم قرن بیستم، دانشمندان شروع به درک این موضوع کرده بودند که سیستم مورد استفاده‌ی تمام موجودات زنده برای همانندسازی خود، به طرز شگفت‌انگیزی بغرنج است. این سیستم شامل سه نوع مولکول ارگانیکی پیچیده است: DNA، RNA و پروتئین‌ها. این موضوع دانشمندان را با معمایی مواجه کرد: سیستمی تا این اندازه پیچیده و تودرتو چگونه در جایگاه نخست قرار گرفته است؟

در دهه‌ی ۱۹۶۰، لُزلی اورگل و فرانسیس کریک به همراه چند زیست‌شناس

دیگر، استدلال کردند که این سیستم، پیش ماده‌ی ساده‌تری داشته است. در آستانه‌ی آغاز حیات بر روی زمین باید سیستمی در کار بوده باشد که در آن فقط یک نوع مولکول پیچیده درگیر همانندسازی بوده است. به گمان آن‌ها این مولکول RNA بود. امروزه تصور بر این است که RNA نقشی نسبتاً فرعی در همانندسازی دارد. کد ژنتیکی برای ساختن یک ارگانیسم جدید در DNA ذخیره شده است. از این کد برای ساختن «خشت‌ها»ی بیولوژیکی – پروتئین‌ها – سازنده‌ی ارگانیسم‌ها استفاده می‌شود. به نظر می‌رسد که RNA تنها اندکی بیش از یک پیک است که پیام‌های ژنتیکی را مابین DNA و ماشین‌های سلولی سازنده‌ی پروتئین‌ها حمل می‌کند. اما به گمان اورگل و کریک، در نخستین مراحل آغاز حیات بر روی زمین، نقش RNA خیلی فراتر از این‌ها بوده است.

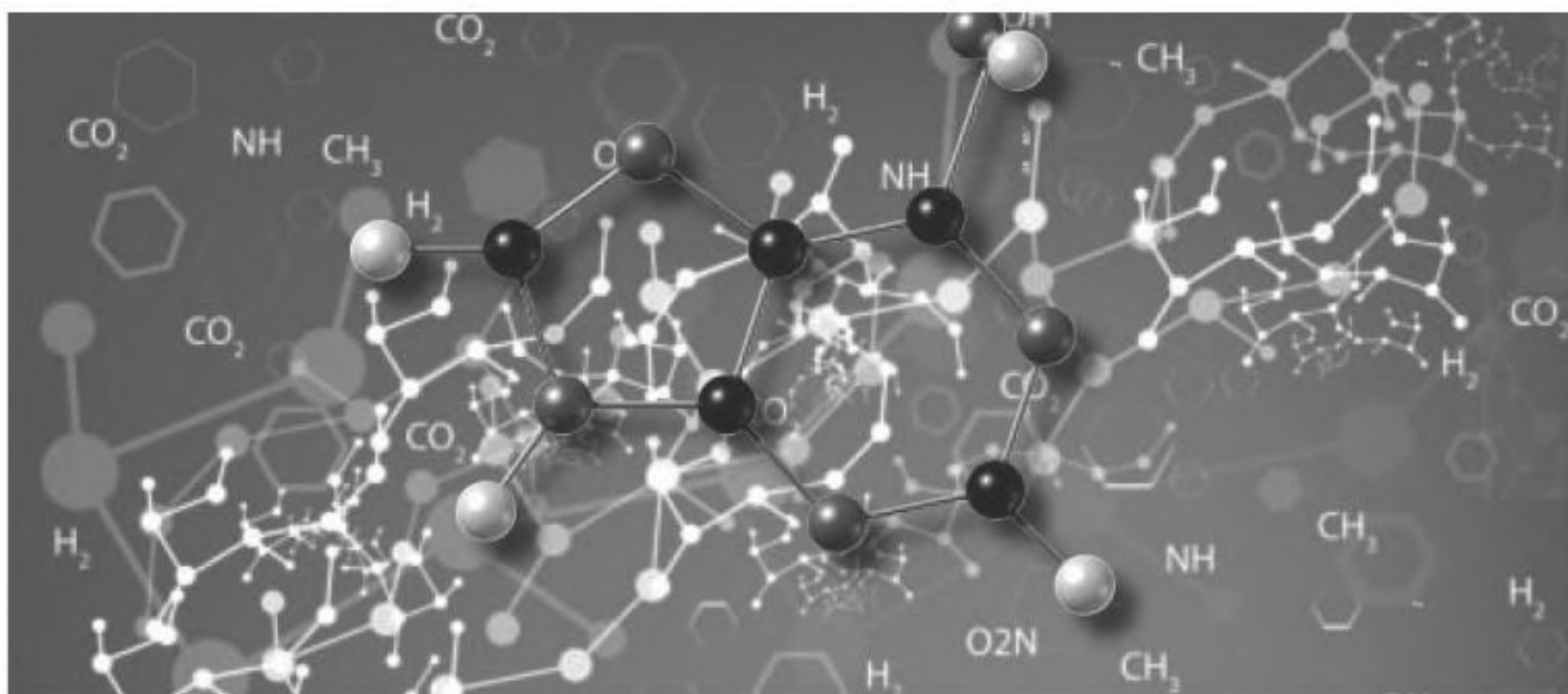
به‌طور مشخص، محققان استدلال کردند که RNA نهایتاً می‌توانسته است هم به عنوان یک ذخیره‌ی ژنتیکی – مانند DNA – و هم مانند سنگ بناهای زیست‌شناختی – مانند پروتئین‌ها – عمل کند. نیمه‌ی اول استدلال آن‌ها قبلاً تأیید شده بود. واضح بود که RNA می‌تواند اطلاعات ژنتیکی را حمل کند چرا که مبادله‌کننده‌ی اطلاعات بین DNA و ماشین‌های ساخت پروتئین‌ها است.

چند سال بعد در اوایل دهه‌ی ۱۹۸۰ **توماس چک**، قسمت دوم استدلال اورگل و کریک را تأیید کرد. او دریافت که RNA واقعاً می‌توانسته است مانند یک پروتئین عمل کند.

هر چند این به تنهایی نمی‌تواند کل جامعه‌ی علمی را مجاب کند که حیات با RNA آغاز شده است، اما این ایده هنوز یکی از فرضیه‌های پیشرو به شمار می‌رود. در ۱۹۸۶ **والتر گیلبرت** نام جالبی به آن داد. از آن زمان این ایده که اولین موجودات زنده تنها با استفاده از RNA عمل می‌کرده‌اند، **فرضیه‌ی جهان RNA** نامیده شده است.

⌚ / ۲ **میان‌بر:** مولکول DNA مانند یک نردبان بسیار کوچک تاب خورده است. کد ژنتیکی روی پله‌های نردبان قرار دارد. پروتئین‌ها خیلی متفاوت‌اند: آن‌ها پیچ و تاب‌های مولکولی بزرگی هستند – و این قابلیت آن‌ها که می‌توانند با تا شدن و پیچ خوردن اشکال سه بعدی ایجاد کنند به آن‌ها خاصیت سنگ بنا بودن را می‌دهد. RNA هردوی این جنبه‌ها را دارد و شبیه نیمی از یک مولکول DNA است که هنوز پله‌های نردبان را که اطلاعات ژنتیکی روی آن ذخیره می‌شوند، با خود دارد. اما از آنجا که این پله‌ها به جای دو قطب تنها به یک قطب وصل هستند، کل مولکول RNA بسیار انعطاف‌پذیرتر از DNA است. این بدان معناست که RNA

درست مانند پروتئین‌ها می‌تواند به اشکال سه بعدی درآید. به دیگر سخن RNA می‌تواند تاحدی مانند DNA و تا حدی مانند پروتئین‌ها عمل کند.



ساختار مولکولی RNA نشان می‌دهد که این مولکول می‌توانسته است به ساخته شدن و همانندسازی نخستین موجودات زنده کمک کند.

۳ / اشاره: ساختن یک ارگانیسم جدید شامل سیستم پیچیده‌ای از سه مولکول متمایز و بسیار تخصصی (DNA، RNA و پروتئین‌ها) است. اما چه بسا که نخستین موجودات زنده فقط با RNA همه فن حریف، خود همانندسازی کرده باشند.

نیز ← ۱۴. فرضیه‌ی لو کا ۱۰۰. فرضیه‌ی همه گشتی

پرسش DNA نامرغوب واقعاً در سلول‌های ما چه می‌گذرد؟

✱ ۱ / نگاه هلیکوپتری: در اوایل دهه‌ی ۱۹۷۰ ژنتیک‌دانان کم و بیش روشی را که طبق آن ارگانسیم‌ها با استفاده از DNA موفق به ساخت و بازتولید خود می‌شوند، استخراج کرده بودند. اما هنوز اسرار ناگشوده‌ای باقی بود. برای مثال سی‌ای توماس جونیور با دیدن این واقعیت که گاهی ارگانسیم‌های نسبتاً ساده، DNA بیشتری نسبت به ارگانسیم‌های نسبتاً پیچیده دارند، دچار سردرگمی شد. او آن را پارادوکس مقدار-C نامید. تقریباً در همان زمان ساسامو اونو راه‌حل بحث‌انگیزی از راز را در معرض فهم عموم قرار داد. شاید اندازه‌ی ژنوم‌ها به این دلیل به روشی گمراه‌کننده تغییر می‌کنند که بیشتر DNA موجود در سلول‌ها به درد هیچ هدف مفیدی نمی‌خورند. شاید آن‌ها فقط نامرغوب‌اند.

بسیاری از زیست‌شناسان با این ایده راحت نبودند. روی جان بریتن و دیوید کوهن آن را چون ایده‌ای «زننده» توصیف کردند. با این تفاسیر اگر مقدار زیادی از DNA درون سلول‌ها واقعاً هیچ هدفی ندارند ارگانسیم‌ها طی میلیون‌ها سال تکامل باید از شر آن‌ها خلاص شده باشند.

اما در نخستین سال‌های قرن بیست و یکم معلوم شد که ایده می‌تواند درست باشد. متخصصین ژنتیک سال‌ها با دقت تمام برای «خواندن» ژنوم انسان – مولکول عظیم DNA که به ساخته شدن بدن‌های ما کمک می‌کند – وقت گذاشتند. تصور بسیاری از ژنتیک‌دانان این بود که ساختن بدن پیچیده‌ی انسان به عملکرد بیش از یک صد هزار ژن که هر کدام پروتئین متمایزی را کدگذاری می‌کند، نیاز دارد. در واقع معلوم شد که ژنوم انسان حاوی بیست هزار تا سی هزار ژن است و این ژن‌ها جمعاً فقط یک تا دو درصد کل ژنوم را دربر می‌گیرد. این تأیید هیجان‌انگیزی بر این حقیقت بود که حجم بزرگی از ژنوم انسان برای کدگذاری پروتئین‌ها نیستند. بیشتر مولکول‌های DNA ی ما غیرکدی هستند – و بسیاری از زیست‌شناسان بر این باورند که بخش قابل توجهی از آن بنجل و به درد نخور هستند.



چه مقدار از DNA موجود در سلول‌های ما بلااستفاده هستند؟

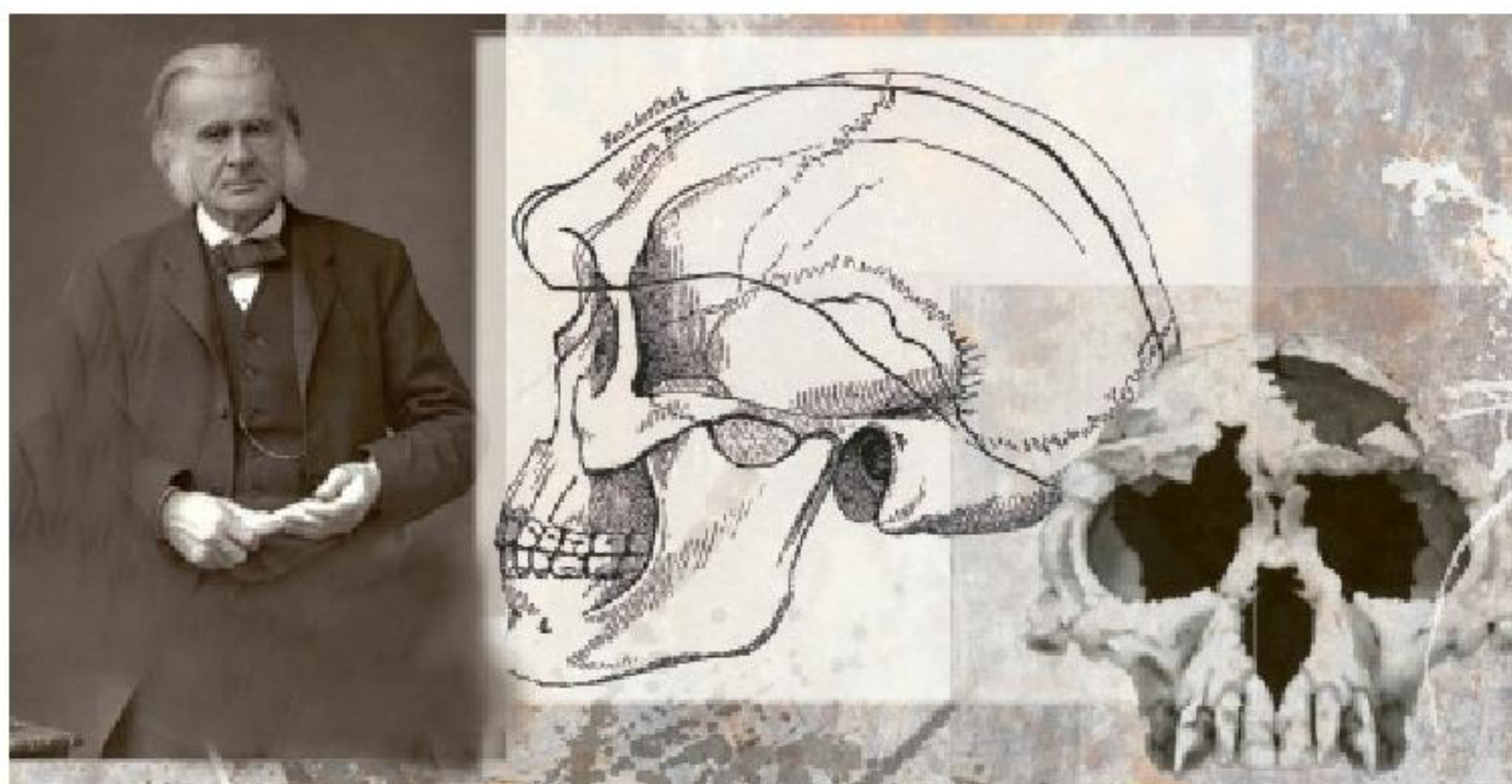
۲/ میان‌بر: جر و بحث‌های مربوط به پرسش DNA بدون استفاده هنوز ادامه دارد. دانشمندان می‌توانند بپذیرند که تنها کسر کوچکی از ژنوم انسان به شکل ژن‌هایی است که سنگ بناهای زندگی، یعنی پروتئین‌ها را کدگذاری می‌کنند. دانشمندان دیگری فکر می‌کنند که بخش اعظم – یا حتی همه‌ی – DNA‌های غیرکدی هنوز مهم‌اند: آن‌ها می‌توانند روش عملکرد DNAی کدگذار را در هر سلول کنترل کنند. عده‌ی دیگری معتقدند که مقدار زیادی از DNA غیرکدی بلا استفاده‌اند. آن‌ها طی میلیون‌ها سال در سلول‌های ما تجمع کرده‌اند و برای سلول‌های ما نمی‌ارزد که دنبال ژن بنجل باشند و تکامل از دست آن‌ها خلاص نشده است.

۳/ اشاره: تکامل مصلحت‌اندیشانه است: زحمت دور انداختن DNA زائد بیشتر از نگه داشتن آن است. ژنوم‌ها می‌توانسته‌اند از تجمع ژن‌های غیرمفید جلوگیری کنند.

نیز ← ۱۱. فرایند تکامل همگرا

حلقه‌ی مفقوده

چرا هرگز پیدا نخواهد شد



توماس هاکسلی (۱۸۲۵-۱۸۹۵)

✱ / **نگاه هلیکوپتری:** در ۱۸۵۹ چارلز داروین کتاب درباره‌ی منشأ گونه‌ها را منتشر کرد که توضیح می‌داد که انتخاب طبیعی این اجازه را به یک گونه‌ی «والدین» می‌دهد تا به دو یا چند گونه‌ی «دختری» تکامل یابند. داروین در اوایل کار از به‌کار بردن مفهوم گونه‌سازی خود در مورد انسان، شاید به دلیل پرهیز از ستیزه و مشاجره اجتناب می‌کرد اما همکار او **توماس هاکسلی** چنان تردیدهایی نداشت: در ۱۸۶۳ هاکسلی کتابی منتشر کرد که جایگاه انسان غرق در قلمرو جانوران شد. هاکسلی اشاره کرد که به زبان آناتومی، انسان‌ها بسیار شبیه شامپانزه‌ها و گوریل‌ها هستند. او پیشنهاد کرد که هر سه گونه از یک گونه‌ی والدین سرچشمه گرفته‌اند (هر چند امروزه توافق عمومی بر این است که گوریل‌ها خویشاوندی‌های نسبتاً دورتری هستند اما شامپانزه‌ها و انسان‌ها در والدین موخرتری شریک‌اند). دانشمندان این گونه‌ی والدین فرضی را «آخرین نیای مشترک» نامیده‌اند. با واژگانی که کمتر علمی هستند آن را **حلقه‌ی مفقوده** می‌نامند.

واژه‌ی «حلقه‌ی مفقوده» احتمالاً از زمانی بجا مانده است که بیشتر مردم فرض می‌کردند زنجیره‌ی بزرگی وجود دارد که تمام ماده و حیات، از خدایان جاودان در قله‌ها گرفته تا صخره‌های پایین دست را به هم پیوند می‌دهد. در این مدل انسان‌ها بالاتر از دیگر حیوانات قرار می‌گیرند، بنابراین گونه‌ای که بر شکاف بین حیوانات شناخته شده و انسان‌ها پل می‌زند باید به‌طور تحت اللفظی، حلقه‌ی مفقوده‌ای در این زنجیره باشد.

به هر حال این طرز تفکر معیوب است زیرا به مردم القا می‌کند که حلقه‌ی مفقوده را چون تکامل از شامپانزه به انسان تفسیر کنند. در دهه‌ی ۱۹۹۰ تیم وایت و همکار او سنگواره‌ی گونه‌ای را پیدا کردند که نشان می‌داد حلقه‌ی مفقوده می‌توانسته است شباهتی به شامپانزه یا انسان نداشته باشد. آردیپیتکوس از سوی بسیاری چون جد انسان فرض شد که ۴/۴ میلیون سال قبل می‌زیسته است. آناتومی آردیپیتکوس نشان می‌داد که این موجود برخلاف انسان، بیشتر عمر خود را بر درختان می‌گذرانده است. اما برخلاف شامپانزه‌ها فاقد صفات لازم برای تاب خوردن در زیر شاخه‌ها بوده است.



آردیپیتکوس (جمجمه‌ی سمت راست) برخلاف سنگواره‌ی تقلبی مرد پیل داون (گوریل‌نما)، اطلاعات جدیدی را درباره‌ی حلقه‌ی مفقوده آشکار کرد.

➡ ۲/ میان‌بر: دیدگاه داروین از دنیای طبیعی پیشنهاد می‌کرد که تمام گونه‌های زنده — از جمله انسان — با هم رابطه دارند. دانشمندان به تدریج پی بردند که انسان‌ها بیشترین شباهت (آناتومیک و ژنتیکی) را به شامپانزه‌ها دارند. قدیمی‌ترین

سنگواره‌های انسان گونه در آفریقا پیدا شدند. آن‌ها هفت میلیون سال قدمت دارند و این بدان معناست که مسیر تکامل انسان درست پیش از این زمان، از مسیر تکامل شامپانزه جدا شد. اما علی‌رغم علم به اینکه کجا و کی باید دنبال حلقه‌ی مفقوده باشیم – در صخره‌های آفریقا که حدود هفت میلیون سال قبل شکل گرفته‌اند – دانشمندان احتمالاً هرگز موفق به یافتن این حیوان نخواهند شد. سنگواره‌های میمون انسان‌نما در چنان صخره‌های باستانی بسیار نادرند.

 ۳ / اشاره: شجره‌نامه‌های تکاملی مانند شجره‌نامه‌های خویشاوندی شخصی ما هستند، اما در مقیاسی بسیار وسیع‌تر. زیست‌شناسان، انسان‌ها و شامپانزه‌ها را خویشاوندانی می‌بینند که از یک گونه‌ی اجدادی پدردار شده‌اند. این نیا حلقه مفقوده است.

نیز ← ۱. نظریه‌ی تکامل توسط انتخاب طبیعی ۱۴. فرضیه‌ی لوکا

فرضیه‌ی میمون مست

آیا مست شدن فایده‌ی تکاملی دارد؟

✱ ۱ / نگاه هلیکوپتری: در آغاز قرن بیست و یکم، تعدادی از زیست‌شناسان و پزشکان شروع به تلاش برای درک سلامتی انسان از دیدگاه تکاملی کردند. ظاهراً موضوع اعتیاد نیز در این دیدگاه مدنظر بود: گونه‌ی ما در مدت تکامل خود، کمتر در معرض داروهای روان-گردان قرار داشت که این می‌تواند امروزه ما را در سوءمصرف آن‌ها مستعدتر کند. اما رابرت دادلی استدلال می‌کند که یک دارو می‌تواند این قاعده را درهم بشکند.

انسان‌ها از راسته‌ی نخستیان هستند، و تا جایی که دانشمندان می‌توانند با توجه به آثار سنگواره‌ای سخن بگویند، میوه برای میلیون‌ها سال جزئی از رژیم غذایی نخستیان بوده است. این یک واقعیت بوده است، حتی اگر یافتن میوه در محیط‌های جنگلی که نخستیان معمولاً ساکن آن بوده‌اند، دشوار بوده باشد. زمانی که درخت میوه‌ای به بار می‌نشیند، میوه‌های آب‌دار و سالم سریعاً خراب و فاسد می‌شوند. طبق نظر دادلی این می‌تواند یک نکته‌ی کلیدی باشد. وقتی میوه‌ای فاسد و تخمیر می‌شود، قند موجود در آن به الکل تبدیل می‌شود که می‌تواند در هوا به حرکت درآید. جذب شدن به بوی الکل که نخستیان را به درختانی که هنوز ممکن بود چند میوه‌ی سالم داشته باشند، می‌توانسته است برای آن‌ها از جنبه‌ی تکاملی یک امتیاز به شمار آید. دادلی استدلال می‌کند که در واقع، با فرض اینکه میوه‌ی سالم مقداری الکل نیز در خود داشته است، آموزش لذت بردن از مصرف آن – و تسلیم شدن به آثار روان-گردان آن در این فرایند، می‌توانسته است برای نخستیان سودمند باشد.

فرضیه‌ی میمون مست دادلی بری از انتقاد و ایراد نیست، اما برطبق چند مدرک ژنتیکی ممکن است حق با دادلی باشد. در سال ۲۰۱۴ متیو کاریگان و همکاران او کشف کردند که یک جهش ژنتیکی در ده میلیون سال قبل به نیاکان دور ما کمک کرد تا الکل را در رژیم غذایی خود به‌طور بسیار کارآمدتری تجربه کنند که با این ایده که مست کردن حتی در زمان‌های دور ماقبل تاریخ سودمند بوده است، همخوانی دارد.



علاقه ما به الکل می‌تواند ریشه‌های عمیق ماقبل تاریخی داشته باشد.

۲ / میان‌بر: میلیون‌ها سال قبل یافتن غذای باکیفیت چالشی مهم برای نیاکان ما بوده است. دادلی استدلال می‌کند که الکل (هم‌بو و هم‌طعم آن) باید به سرنخ مهمی تبدیل شده باشد که آن‌ها را متوجه امکان یک وعده‌ی غذایی مغذی کند. بدین لحاظ انسان‌ها پیشاپیش مهبای مصرف الکل شده‌اند زیرا بدن ما هنوز براساس این فرض کار می‌کند که غذای آمیخته به الکل یک لذت نادر است.

۳ / اشاره: فرضیه میمون مست دیدگاهی ماقبل تاریخی برای یک مسئله‌ی مدرن اتخاذ می‌کند. علاقه به الکل در جوامع امروزی زیان بخش است. اما می‌توانسته است در جنگل‌هایی که نیاکان ما می‌زیسته‌اند سودمند باشد.

نیز ← ۳۰. معمای (قیاس دو حدی) زایمان‌شناسی

فرضیه‌ی دشت هموار

چرا ما یک نخستی راست قامت هستیم؟



۱ /  **نگاه هلیکوپتری:** ممکن است انسان‌ها از رده‌ی نخستیان باشند، اما ظاهر و رفتار ما تفاوت بسیاری با شامپانزه‌ها و گوریل‌ها دارد. زیست‌شناسان قرن‌ها سعی کرده‌اند توضیح دهند که چرا گونه‌ی ما راست راه رفتن را شروع کرد. بیشتر اوقات دشت‌های هموار در فکر آنان بزرگ جلوه می‌کرد.

در ۱۸۰۹ ژان باتیست لامارک نشان داد که نیاکان دور ما قبل از آنکه شرایط اسرارآمیزی آن‌ها را تشویق به ترک آنجا و تطبیق یافتن با زندگی در علفزارهای باز کند، در جنگل‌ها زندگی می‌کرده‌اند. چارلز داروین نیز این احتمال را رد نکرد. شصت سال بعد از لامارک تصور او چنین بود که در واقع، این، تغییر در شرایط محیطی بود که با کاهشی در پوشش درختی، انگیزه‌ای برای جابه‌جا شدن به ساواناها شد. ایده‌ی داروین این بود که در نبود درختی برای بالارفتن از آن، اجداد ما باید به خوبی با راه رفتن با قامت راست بر روی دوپا تطابق یافته باشند.

این ایده‌ها چنان شهودی بودند – و از چنان شاخص‌های معتبر علمی نتیجه می‌شدند – که بسیاری از زیست‌شناسان احساس کردند که حتی نیازی نیست آن‌ها چون فرضیه‌هایی علمی فرموله شوند. اما در سال ۱۹۶۰ آلیستر هاردی روایت دیگری را ارائه کرد. هاردی فکر کرد که داشتن موی کم، لایه‌ای از چربی زیر پوست و قابلیت طبیعی شنا کردن در زیر آب، برای انسان‌ها اهمیت زیادی داشته است – صفاتی که معمولاً در پستانداران آبری دیده می‌شوند. پیشنهاد او این بود که بخشی از تکامل ما به‌جای جنگل‌ها و علفزارها، در رودخانه‌های عمیق یا دریاچه‌ها صورت گرفته و بعضی از صفات ما با زندگی در آب سازگار است. این ایده به فرضیه‌ی انسان اولیه‌ی آبری شهرت یافت.

ایده‌ی هاردی با استقبال کمی از سوی دیگر دانشمندان مواجه شد، اما به‌طور قابل بحثی به آن‌ها کمک کرد تا متوجه باشند که لااقل از جنبه‌ی صوری به بیان مدل جایگزین «از درختان تا علفزارها» نیاز دارند. تا اواخر قرن بیستم، فرضیه‌ی علفزار به عنوان روشی استاندارد برای توضیح منشأ سبک راه رفتن غیرعادی ما بر روی دوپا، کامل شده بود.



رد پاهای باستانی نشان می‌دهند که نیاکان ما برای سازگار شدن با زندگی در دشت‌ها و علفزارها، میلیون‌ها سال بر روی دو پا راه می‌رفته‌اند.

⊕ ۲ / میان بر: با اینکه فرضیه‌ی ساوانا متداول است، اما بعضی از دانشمندان نگران این هستند که فرضیه بیشتر یک داستان باشد تا ایده‌ای قابل آزمایش. مثلاً فرضیه اشاره به این دارد که نیاکان ما به این دلیل شروع به راست راه رفتن کردند که حیوانات درنده را در سطوح صاف بهتر ببینند. این در عوض دست‌های آن‌ها را برای وظایف دیگری مانند ساختن ابزار آزاد گذاشت که می‌توانسته است به تکامل مغزهای بزرگ‌تر برای استفاده‌ی بهتر از این ابزارها منجر شده باشد. اما قسمت اعظم این‌ها گمان‌پردازی است. شواهد سنگواره‌ای اخیر با ایجاد تردید برای فرضیه فوق، این پیشنهاد را مطرح می‌کنند که نیاکان ما در حالی آغاز به راه رفتن بر روی دو پا کردند که هنوز در محیط‌های جنگلی می‌زیسته‌اند. ممکن است در سال‌های آینده فرضیه‌ی ساوانا رد شود.

⊞ ۳ / اشاره: فرضیه‌ی ساوانا ایده‌ای رایج (اما عمدتاً گمان‌پردازانه) است: این فرضیه پیشنهاد می‌کند که اجداد ما برای بقا در علفزارهای مسطح و دشمن‌خیز، مجبور بودند بر روی دو پا راه بروند.

نیز ← ۲۵. حلقه‌ی مفقوده

فرضیه‌ی مادر بزرگ

تقدیس نقش مادر بزرگ

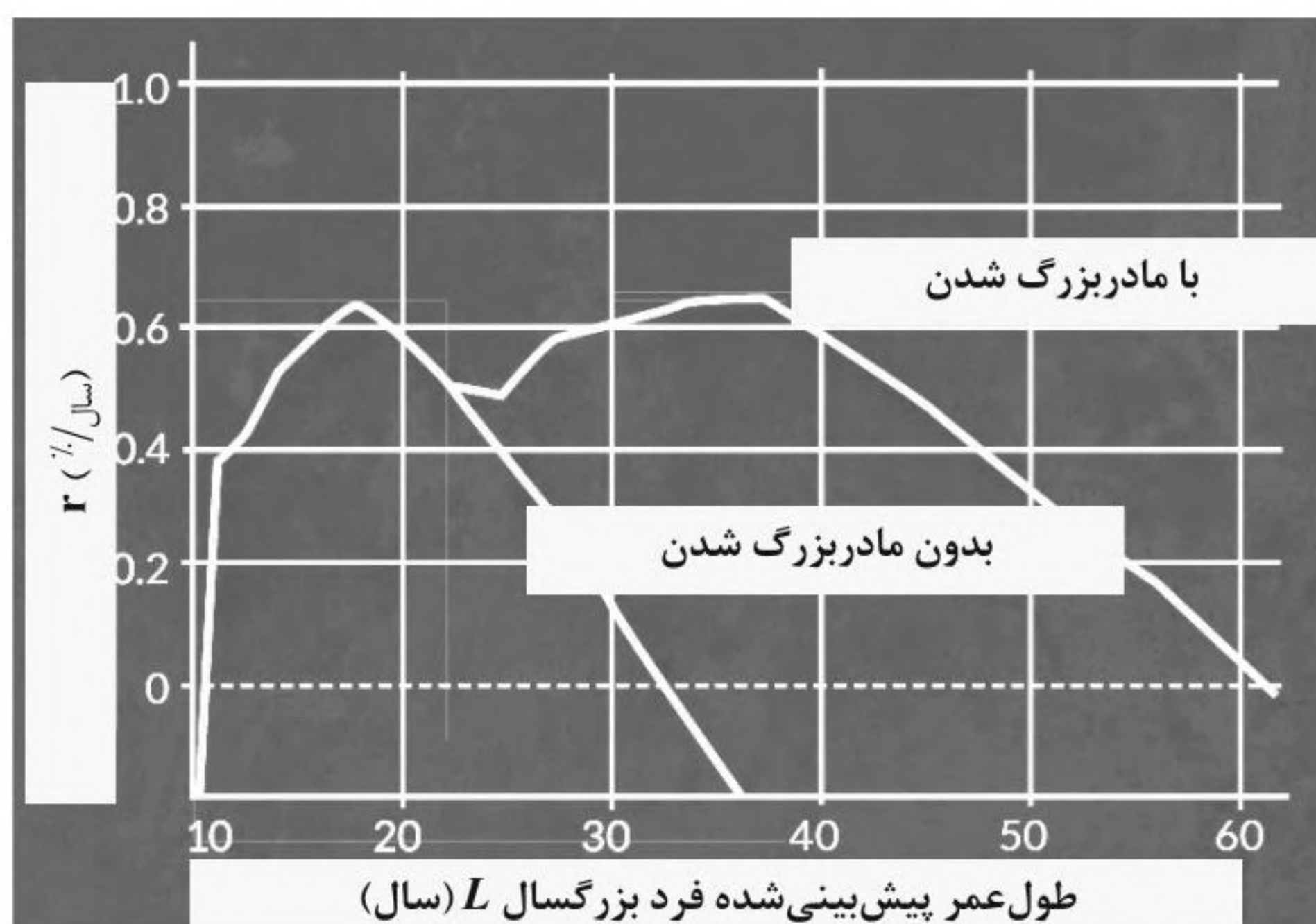
✱ ۱ / نگاه هلیکوپتری: در سال ۱۹۷۵ جورج کریستوفر ویلیامز مقاله‌ی بسیار تأثیرگذاری درباره‌ی تخریب فیزیکی منتشر کرد که به‌طور اجتناب‌ناپذیری با بالا رفتن سن حادث می‌شود. قطع‌نظر از چیزهای دیگر، ویلیامز یائسگی را مورد توجه قرار داد. بسیاری از گونه‌ها تقریباً تا پایان عمر بارور باقی می‌مانند: انسان‌ها از این نظر خیلی غیرعادی هستند چرا که زنان در حدود چهل سالگی برای چند دهه وارد دوره‌ی پساباروری می‌شوند. چرا چنین است؟

ویلیامز استدلال کرد که یائسگی باید در متن زمان‌درازی دیده شود که برای رشد بچه‌ها لازم است. از یک لحاظ، برای یک زن تمرکز روی مراقبت از بچه‌ها معنای تکاملی عمیق‌تری نسبت به زایمان‌های بیشتر دارد.

در کتابی به سال ۱۹۸۹، کریستن هاوکس و همکار او گام دیگری در برنامه‌ی ویلیامز برداشتند. آن‌ها مدتی را در مطالعه‌ی یک گروه بومی از مردم تانزانیا به نام هادزا گذراندند و دریافتند که زنان در دوران پسایائسگی برای جمع‌آوری غذا، سخت‌تر از زنان دوران باروری کار می‌کنند.

هاوکس و همکار او این ایده را مطرح کردند که زنان پسایائسه نقش مهمی ایفا می‌کنند. غذای حاصل از کار آن‌ها با بچه‌های بزرگ سالی (مخصوصاً دختران) که شدیداً مشغول بزرگ کردن نوزادان هستند، تقسیم می‌شود. اگر مادر بزرگ‌ها شانس بقای نوه‌های خود را بهبود ببخشند، تأثیر تعیین‌کننده‌ای در رشد جمعیت خواهند داشت. و اگر فرض کنیم این نوه‌ها ژن طول عمر مادر بزرگ‌ها را حمل می‌کنند، خواهند توانست به سن پیری رسیده و نقش مادر بزرگ را تقویت کنند. و بدین‌سان فرضیه‌ی مادر بزرگ زاده شد.

این فرضیه به ایده‌ای بسیار تأثیرگذار تبدیل شده است، اما به دور از انتقاد هم نیست. روشن نیست که طول عمر انسان چه زمانی به حدی رسید که مادر بزرگ‌ها بتوانند سال‌ها پس از یائسگی فعال بمانند. بعضی محققین اعتقاد دارند که این تحولی نسبتاً جدید است و بنابراین مادر بزرگ‌ها نمی‌توانند عاملی کلیدی برای بقای کودکان



با «مادر بزرگ شدن»، یک زن می‌تواند حتی تا پنجاه سالگی روی رشد جمعیت (r) اثرگذار باشد. در اثنای تکامل باشند.

۲/ میان‌بر: بزرگ کردن بچه‌ها، مخصوصاً در جوامع سنتی، مشغله‌ای طولانی و دشوار برای مادران است: آن‌ها باید با تردستی، وظیفه‌ی مراقبت

از کودک را همزمان با جستجو برای غذا عهده‌دار شوند. هاوکس و همکاران او فکر می‌کنند که در مراحل اولیه‌ی تکامل انسان، مادران برای کمک‌های ضروری‌تر به مادران خود وابسته بودند. مادر بزرگ‌هایی که عمر طولانی و فعال داشتند در این تلاش موفق‌ترین بودند و در نتیجه احتمال بقای بچه‌ها و نوه‌های آنها (که ژن طول عمر مادر بزرگ را حمل می‌کردند) از همه بیشتر بود. به تدریج طول عمر انسان‌ها زیادتر شد.

 **۳ / اشاره:** مادر بزرگ‌های انسانی معمولاً بیرون از سن باروری هستند، اما فرضیه‌ی مادر بزرگ پیشنهاد می‌کند که آنها در طول تکامل انسان مهم بوده‌اند. با جستجوی غذا آنها قادر بوده‌اند شانس بقای نوه‌های خود را زیادتر کنند.

نیز ← ۷. مفهوم انتخاب خویشاوندی ۲۲. فرضیه‌ی حوای میتو کندریال

فرضیه‌ی آشپزی

آیا این آتش بود که از ما انسان ساخت؟



ریچارد رینگهام (متولد ۱۹۴۸)

✱ / **نگاه هلیکوپتری:** در سال ۱۹۹۹، ریچارد رینگهام، توضیحی نوین و بحث‌انگیز از اینکه چرا نیاکان نخستین ما مغزهای بزرگ‌تر و پیچیده‌تر را توسعه دادند، ارائه کرد. رینگهام استدلال کرد که آن‌ها به‌طور ساده چنین کردند تا پختن را بیاموزند.

داستان تکامل انسان سرشار از معماهایی است که هنوز بی‌پاسخ مانده‌اند. یکی از مهم‌ترین آن‌ها این است که چرا میلیون‌ها سال بعد از اینکه اجداد ما با زندگی در علفزارهای نسبتاً باز تطبیق یافته بودند، ناگهان نگاه و رفتار آن‌ها عوض شد.

گونه‌های انسان نمای اولیه که استرالوپیت‌ها نام دارند، روی دو پا راه می‌رفتند و ابزارهایی به کار می‌بردند که ما به کار می‌بریم. اما آن‌ها بازوهای قدرتمند شامپانزه مانند، مغزهای کوچک شامپانزه مانند و دندان‌های بزرگ شامپانزه مانند هم داشتند. حدود دو میلیون سال قبل نخستین انسان‌های «واقعی» ظهور کردند و بسیار متفاوت بودند. آن‌ها بازوهای کوتاه، مغزهای بزرگ و دندان‌های کوچکتر داشتند.

رنگهام تصور می‌کند که راه‌انداز این رویداد تکاملی، استفاده‌ی مهار شده از آتش و به‌ویژه یک نوآوری مهم وابسته به آن بود: پختن. او استدلال می‌کند که این انقلاب آشپزی زودهنگام، به تغییر هیجان‌انگیزی در عملکرد بدن انسان‌ها منجر شد و به مغز آن‌ها اجازه‌ی رشد داد.

در حدود پانزده سال گذشته، رنگهام و همکاران او مدارک بسیاری به نفع فرضیه‌ی آشپزی جمع کرده‌اند اما یک مسئله‌ی مهم باقی است. ایده‌ی آن‌ها پیش‌بینی می‌کند که دانشمندان مدرک دال بر آتش مهار شده را در موقعیت‌هایی باستانی پیدا خواهند کرد که به دو میلیون سال قبل برمی‌گردد. تاکنون مدارک محیطی مهار آتش تنها به یک میلیون سال قبل برمی‌گردد و مدارک قوی‌تر به ۷۰۰,۰۰۰ سال قبل اشاره دارند.



سلسله جنبان تکامل در سپیده دم زندگی انسان، می‌توانسته است آشپزی باشد.

➡ **۲ / میان‌بر:** جویدن و هضم کردن گیاهان فیبردار و گوشت خام سخت است. آشپزی اساساً راهی برای پیش هضم غذا است حتی قبل از اینکه با لب‌های ما تماس پیدا کند، بنابراین انسان‌هایی که پختن را یاد گرفتند نیازی به دندان‌های بزرگ و آرواره‌های قوی برای جویدن غذای خام نداشتند. تغییرات مهمی

در شکم نیز پدید آمد. روده‌های ما برای حیوانی با اندازه‌ی ما نسبتاً کوتاه است، شاید به این دلیل که رژیم غذایی پخته شده آسان‌تر جذب جریان خون می‌شود. اگر انسان‌های اولیه احشاء کوچک‌تری را توسعه دادند می‌توانسته‌اند مزاد انرژی آن را صرف رشد اندام‌های دیگر و از همه مهم‌تر، صرف مغز خود کنند.

 ۳/ اشاره: دانشمندان و فلاسفه در کشمکش تعریف دقیق چیزی هستند که از ما انسان می‌سازد. پاسخ تعجب‌آور ممکن است آشپزی باشد.

نیز ← ۲۷. فرضیه‌ی ساوانا

معضل زایمان

توضیح درد زایمان



✱ / **نگاه هلیکوپتری:** تولد یکی از بنیادی‌ترین جنبه‌های زندگی است، اما وضع حمل برای انسان در بهترین حالت دردناک و در بدترین حالت (هم برای مادر و هم برای نوزاد) کشنده است. با آغاز نگاه نزدیک دانشمندان به وضع حمل در پستانداران، آن‌ها دریافتند که در انسان درد زایمان از بسیاری از گونه‌ها بیشتر است. در ۱۹۶۰ **شروود واشبرن** توضیحی برای آن ارائه داد. شروودبه خصائصی نگاه کرد که گونه‌ی ما را تعریف می‌کنند. او چنین گفت که برخلاف دیگر نخستیان، انسان‌ها در راه رفتن بر دوپا از همه راحت‌ترند. به گمان واشبرن، با مهارت یافتن نیاکان ما در ابزارسازی، آن‌ها یک صفت منحصر به فرد

انسانی کسب کردند - یک مغز بزرگ.

واشبورن نشان داد که این دو خصیصه در اثنای تکامل انسان، وارد نبرد با یکدیگر شدند. پدیدار شدن خصیصه‌ی راه رفتن راست قامت، موجب باز-سازماندهی لگن خاصره‌ی انسان شد، با این پی آمد ناخواسته که کانال زایمان را تنگ‌تر کرد. در همان حال، پیدایش مغز بزرگ مستلزم رشد سر بزرگ در جنین انسان حتی قبل از تولد بود. تکامل، هر دو خصیصه را انتخاب می‌کرد - چرا که هردوی آن‌ها به انسان فرصت بالیدن می‌دادند.

اما این دو صفت هنگام زایمان با هم تصادم داشتند: زنان، در حالی که بچه‌های آن‌ها از سرهای بزرگی برخوردار می‌شدند، کانال زایمان منقبضی را تکامل بخشیدند. در نتیجه، وضع حمل از آغاز تکامل انسان و تا به امروز به فرایندی دشوار و دردناک تبدیل شد. واشبرن آن را به عنوان **معضل زایمان** توصیف کرد.

این ایده‌ای عامه‌پسند اما با درک عالی‌تری از فرایند وضع حمل است که با شروع پرسش بعضی از دانشمندان از فرضیه‌ی واشبرن که به‌طور ساده‌ای زیباست، همراه شده است. برای مثال شواهد پیدا شده نشان می‌دهند که زنانی با لگن‌های پهن‌تر که زایمان نسبتاً آسان‌تری دارند به خوبی زنانی با لگن کوچک‌تر راه می‌روند.



درد زایمان در انسان از میلیون‌ها سال قبل با او همراه بوده است.

④ **۲/ میان‌بر:** انتخاب طبیعی مانند نیرویی نامرئی است که گونه‌ها را وادار به تظاهر و رفتار خاصی می‌کند - برای نمونه غزال‌ها را تشویق می‌کند تا بدنی کشیده‌تر و پاهایی عضلانی‌تر داشته باشند به‌طوری که حیوان علف‌خوار بتواند صیادان را جا بگذارد. واشبرن اشاره کرد که در مدت وضع حمل، انتخاب طبیعی

به طور مؤثر در یک زمان در دو جهت مخالف عمل می کند: احتمال بقای نیاکان ما نه تنها به دلیل داشتن سر بزرگ، بلکه به دلیل برخورداری از حفره ی لگن خاصره ی تنگ تر، بیشتر می شده است و دلیل زایمان دردناک در انسان همین است.



شرود واشبرن (۱۹۱۱-۲۰۰۰)

➡ ۳ / اشاره: ایده ی معضل زایمان، توضیحی برای دشواری های وضع حمل ارائه می کند. ممکن است زایمان مرگ بار که گاهی رخ می دهد با تکامل در تعارض به نظر برسد. با این وجود، بقای نوزادان برای ادامه ی رشد جمعیت کافی بوده است.

نیز ← ۲۷. فرضیه ی ساوانا ۲۹. فرضیه ی آشپزی

معمای همه چیز خواری

توضیحی معقول برای رفتاری نامعقول؟

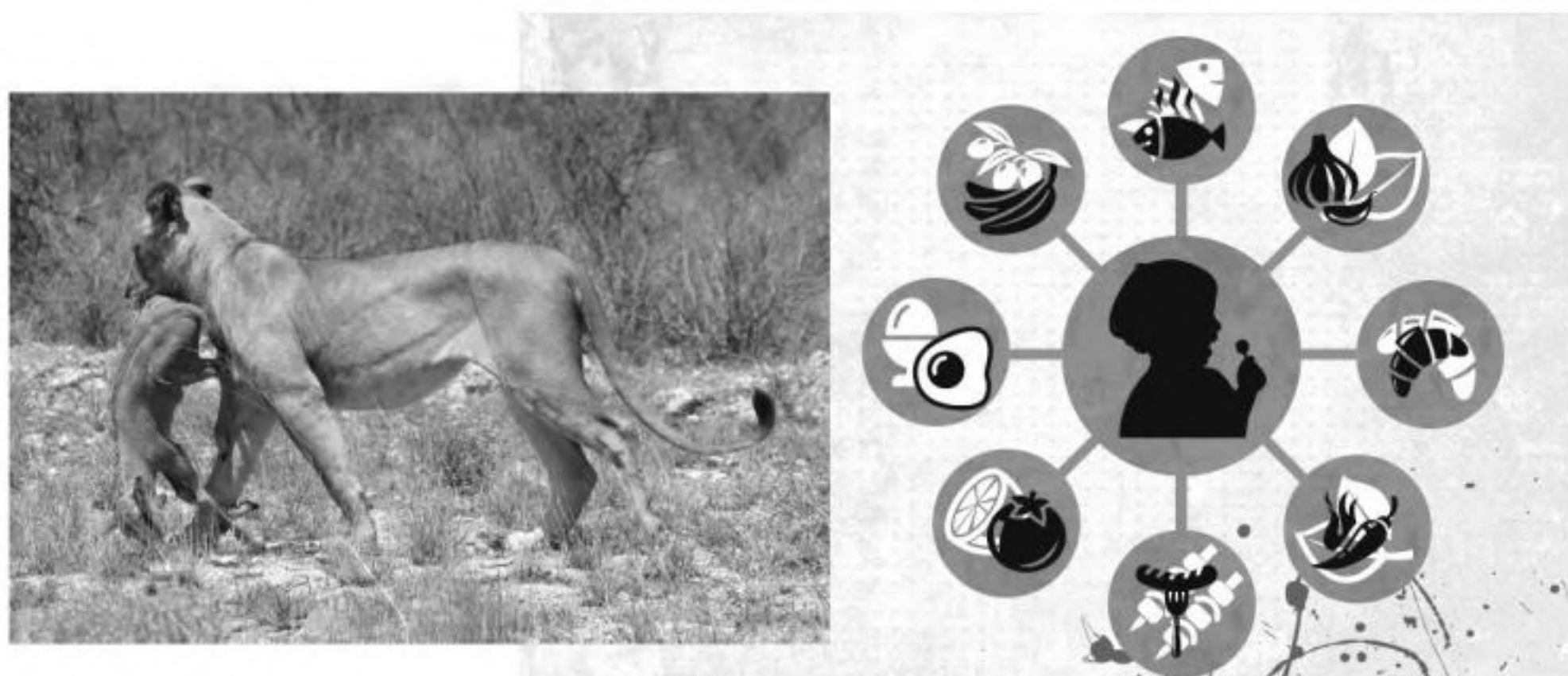
✱ ۱ / نگاه هلیکوپتری: در مواردی، والدین کودکان نوپا هر روز با این کشمکش مواجهند که فرزند خود را تشویق به خوردن کنند. سال ۱۹۷۶ پاول روزین توضیحی تکاملی برای این بی میلی به غذا ارائه کرد.

روزین استدلال کرد که حیوانات به یکی از دو گروه رژیم غذایی تعلق دارند: متخصص و کل گرا. یک متخصص – مثلاً یک شیر – حس خیلی محدودی از یک وعده‌ی غذایی دارد. در طول نسل‌ها، انتخاب طبیعی، شیرهایی را برگزیده است که غزال را به عنوان یک غذا می‌شناسند.

اما کل گراها با مشکلی مواجه‌اند. آن‌ها برای برآورده کردن نیازهای تغذیه‌ای خود، باید تنوع وسیعی از غذاها را مصرف کنند. آن‌ها باید یک خواست و اراده‌ی ذاتی به تکامل داده باشند تا گیاهان یا حیوانات جدید در محیط اطراف‌شان را بخورند. اما این گیاهان یا حیوانات می‌توانسته‌اند سمی باشند – بنابراین، همه‌چیزخواران باید یک رویگردانی ذاتی از خوردن بعضی گیاهان و حیوانات را نیز تکامل داده باشند. این دوغریزه‌ی همه‌چیزخواران در تعارض با یکدیگرند. روزین آن را **معمای همه‌چیزخواری** نامیده است.

روزین دریافت که موش‌ها با این مشکل مواجه‌اند. براساس مشاهدات دیگر محققان، روزین نشان داد که جوندگان این مشکل را با آزمایشگاه فرض کردن بدن خود حل کرده‌اند: یک موش مقدار کمی از یک غذای تازه را می‌خورد و منتظر نتیجه می‌ماند. اگر غذای جدید مشکل ساز شد، موش یاد می‌گیرد که دیگر هرگز سراغ آن نرود – و این توضیح می‌دهد که چرا مسموم کردن موش‌ها دشوار است.

انسان‌ها نیز همه‌چیزخوارند، بنابراین ما نیز با همین معما مواجه می‌شویم. در اواخر دهه‌ی ۱۹۹۰، الیزابت کشدن شروع به طرح این ایده کرده بود که این امر می‌تواند به‌طور اخص در کودکان کم سن و سال بحرانی‌تر باشد چرا که آن‌ها فرصت کافی برای یادگرفتن این که چه چیزی برای خوردن بی‌خطر و چه چیزی خطرناک است، نداشته‌اند. کودکان نوپای بهانه گیر می‌توانند به سادگی از غرایز خود پیروی کنند.



شیرها دقیقاً می‌دانند که چه چیزی را باید بخورند، اما انسان‌ها و دیگر همه چیزخواران گزینه‌های تقریباً نامحدودی دارند.

۲ / میان‌بر: کودکان نوپا فقط آموخته‌اند که چگونه راه بروند و در موارد محدودی مستقل از والدین خود باشند تا این فرصت را به دست آورند که محیط اطراف را به تنهایی کاوش کنند. اما آن‌ها تجارب کافی در این خصوص که چه گیاهان و حیواناتی در این محیط برای خوردن مطمئن و کدامیک سمی هستند، کسب نکرده‌اند. طبق نظر کشدان، برای کودکان سودمندتر این بوده است که از تلاش برای امتحان کردن غذاهای جدید اجتناب کنند. این رویگردانی هنوز می‌تواند در کودکان وجود داشته باشد.

۳ / اشاره: همه چیزخواری پیشنهاد می‌کند که ما برای رژیم غذایی گسترده‌ی خود بهایی می‌پردازیم: این رژیم ما را وادار می‌کند که در امتحان غذاهای جدید و به‌طور بالقوه مسموم، محتاط باشیم. کودکان نوپا به‌طور اخص نسبت به این خطرات حساس‌اند.

نیز ← ۲۶. فرضیه‌ی میمون مست

فرضیه‌ی خروج از آفریقا

ادراکی تکاملی از سرچشمه‌های بشریت

✱ ۱ / نگاه هلیکوپتری: بعد از فرموله شدن نظریه‌ی تکامل توسط انتخاب طبیعی از سوی چارلز داروین، زیست‌شناسان رفته رفته پذیرفتند که بشریت باید دارای گذشته‌ای تکاملی باشد. در مدت ۱۵۰ سالی که از انتشار نظریه‌ی داروین سپری شده است، شواهد سنگواره‌ای فراوانی آشکار شده‌اند که به ساختن درخت تکاملی انسان و پی بردن به منشأ گونه‌ی ما کمک می‌کنند.

بقایای سنگواره‌ای نشان می‌دهند که نخستین مراحل تکامل انسان در آفریقا اتفاق افتاده است. قدیمی‌ترین و شبیه‌ترین موجودات به انسان‌های نخستین حدود پنج میلیون سال قبل در شرق و مرکز آفریقا زندگی می‌کرده‌اند. بین دو تا سه میلیون سال قبل این نخستیان به گونه‌هایی تکامل یافتند که به‌طور متمایزی انسان بودند. مدتی بعد، این انسان‌های اولیه شروع به خروج از آفریقا و مهاجرت در عرض اوراسیا کردند.

اینجاست که بحث و جدل شروع می‌شود. بر طبق مدلی که مابین همه، میلفورد ولپوف از آن دفاع می‌کرد، این جمعیت‌های انسانی در تماس باهم باقی ماندند و پیوندهای نژادی مابین آن‌ها ادامه یافت به‌طوری که گونه‌ی ما – هوموساپینس – همزمان از آفریقا و اوراسیا پدیدار شد. این ایده به فرضیه‌ی چند ناحیه‌ای معروف است.

دیدگاه جایگزین که از طرف دانشمندانی چون کریس استرینگر حمایت می‌شد این است که تمام انسان‌های زنده به گروه تعریف شده‌ی بسته‌ای که چند صد هزار سال قبل در آفریقا تکامل یافتند تعلق دارند و سپس در همه جای دنیا پراکنده شدند و جای انسان‌های باستانی را که مناطق دیگر را اشغال کرده بودند، گرفتند. این به فرضیه‌ی خروج از آفریقا مشهور است.

دانشمندان اکنون می‌توانند با استفاده فناوری ارزان‌تر ترتیب‌گذاری ژنتیکی، از پس مطالعه‌ی ژن‌های مردم در سراسر جهان برآیند. این مطالعات نشان می‌دهند که همه‌ی مردمان زنده رابطه‌ی بسیار نزدیکی باهم دارند – و همه‌ی آن‌ها در تباری

فصل ۳۲: فرضیه‌ی خروج از آفریقا ۱۰۱

که متعلق به چند صد هزار سال گذشته است شریک‌اند. در نتیجه، بیشتر محققان طرفدار فرضیه‌ی خروج از آفریقا هستند.



گونه‌ی ما حدود سیصد هزار سال قبل در آفریقا تکامل یافت و بعد در دنیا پراکنده شد.

۲ / میان‌بر: دو روش تفکر درباره‌ی درخت تکاملی انسان وجود دارند. اولی قراردادن هر چیز کاملاً شبیه به انسان در یک گونه‌ی بزرگ است که دو میلیون سال قبل پدیدار شدند و به تدریج به هیئت انسان امروزمین درآمدند. دومی تشخیص این نکته است که انسان‌ها از جنبه‌ی آناتومیک و رفتاری از انسان‌های باستانی مانند نئاندرتال‌ها متمایزند و قراردادن آن‌ها در گونه‌ای است که تکامل نسبتاً مؤخرتری در دوران ماقبل تاریخ داشتند. امروزه بیشتر دانشمندان طرفدار شق دوم هستند.

۳ / اشاره: انسان‌ها برای تقریباً دو میلیون سال در پهنه‌ی آفریقا و اوراسیا حضور داشته‌اند اما اینکه چگونه این انسان‌های باستانی به مردمان زنده‌ی کنونی مربوط می‌شوند زمانی مبهم بود. فرضیه‌ی خروج از آفریقا استدلال می‌کند که انسان‌های امروزمین از گروهی ناشی شدند که فقط چند صد هزار سال قبل در آفریقا پدیدار شد.

نیز ← ۲۲ فرضیه‌ی حوای میتو کندریال

فرضیه‌ی زبان پدری

چگونه زبان‌ها در دنیا پراکنده شدند

✱ ۱/ نگاه هلیکوپتری: در سال ۱۹۹۷، لوران اگزوفیر و استلا پولونی کشف کردند که DNA انسان می‌تواند بینش جدیدی در خصوص چگونگی پراکنده شدن زبان‌ها در دنیا ایجاد کند.

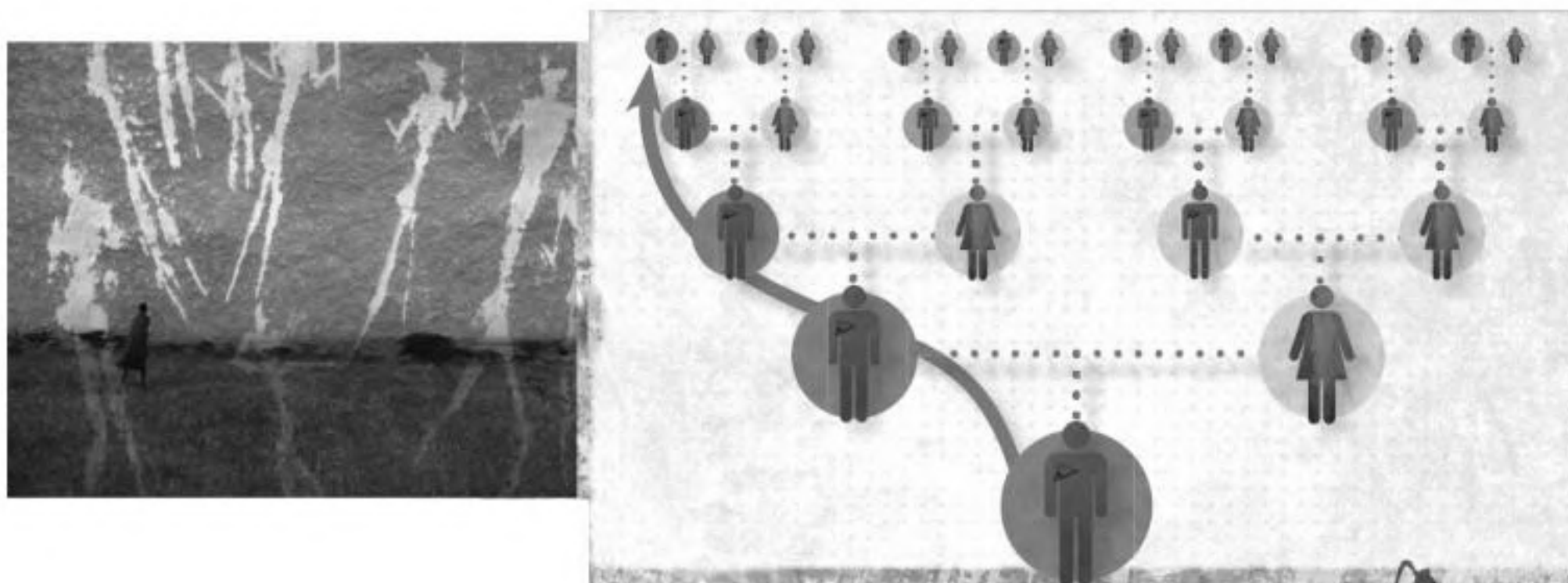
دانشمندان زیادی امروز بر این باورند که گونه‌ی ما – هوموساپینس – در گذشته‌ای نسبتاً نزدیک در آفریقا ظهور و ۱۰۰,۰۰۰ سال قبل شروع به مهاجرت به مناطق دیگر دنیا کردند. این بدان معناست که هر تفاوتی – از جمله در زبان – مابین مردمی که اکنون در مناطق مختلف جهان زندگی می‌کنند، باید در حین این مهاجرت‌ها اتفاق افتاده باشد.

زبان‌شناسان یک «درخت خانوادگی» پایه‌گذاری کرده‌اند که همه‌ی زبان‌ها را دربر می‌گیرد. برای مثال انگلیسی و آلمانی در شاخه‌ی ژرمنی جای می‌گیرند و ارتباط دورتری با اسپانیولی و فرانسوی در شاخه‌ی لاتین دارند. اما هر چهار زبان در سطحی عمیق‌تر مشابه‌اند: آن‌ها در یک خانواده‌ی زبانی وسیع هند-اروپایی جای می‌گیرند که بیشتر زبان‌های مدرن اروپایی و زبان‌های زنده‌ی آسیایی را شامل می‌شود.

اگزوفیر و پولونی این پرسش را مطرح کردند که آیا ژن‌ها برای درک چگونگی انشعاب زبان‌ها از یکدیگر راه جدیدی عرضه می‌کند. آن‌ها رشته‌ای از DNA را از کروموزوم Y ترتیب دادند، تکه‌ی کوچکی از ماده‌ی ژنتیکی که فقط در جنس نر یافت می‌شود و منحصراً از پدرها به پسرها منتقل می‌شود. یک نقشه‌ی کلی از رشته‌های کروموزومی Y می‌تواند به آشکار شدن نحوه‌ی مهاجرت ماقبل تاریخی مردان (و نه ضرورتاً زنان) کمک کند. نوع دیگری از DNA در سلول‌های انسان – DNA میتوکندریال – از مادران به بچه‌ها منتقل می‌شود و می‌تواند سرنخی از مهاجرت ماقبل تاریخی زنان به دست دهد.

شاید تعجب‌آور باشد که نقشه‌های مهاجرت «نر باستانی» و «ماده‌ی باستانی» شباهتی بنیادین به هم دارند. اما تفاوت‌هایی هم وجود دارند – و اگزوفیر و پولونی دریافتند که نقشه‌ی مهاجرت جنس نر، توزیع زبان در اروپا و قسمت‌هایی از آفریقا

را بهتر توضیح می‌دهد. به بیان ساده‌تر به نظر می‌رسد که مردم بیشتر تمایل داشتند با زبان پدری سازگار شوند تا زبان مادری. این ایده به عنوان فرضیه‌ی زبان پدری شناخته شد.



زبان‌ها غالباً از خط والدین می‌گذرند و پایین می‌آیند.

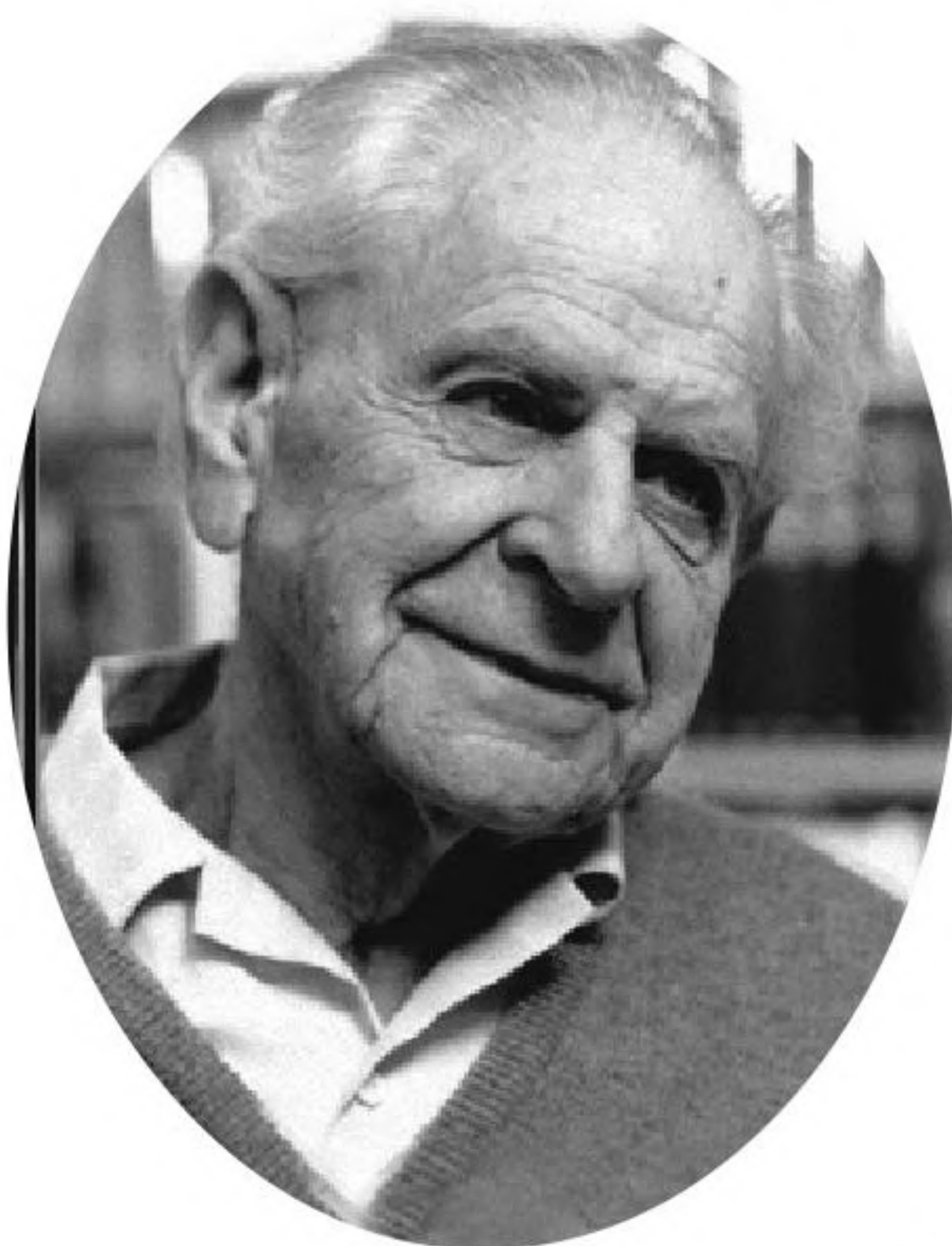
۲ / میان‌بر: مطالعه بر روی DNA نشان می‌دهد که مردان و زنان ماقبل تاریخ به طریقه‌های کاملاً یکسانی در دنیا پراکنده نشدند. برای مثال گاهی گروه‌هایی از مردان به قصد غارت می‌رفتند. آن‌ها نیاز به استقرار در سرزمین‌های جدید و گرفتن زنان بومی به همسری داشتند. اگزوفیر و پولونی پژواک‌های ظریف این اپیزودها را در DNA مدرن یافتند: نشانه‌هایی که گروه‌های مهاجر یا مهاجمی از مردان، زنان بومی را «به‌کار می‌گرفتند» که بعداً با فرهنگ و زبان مهاجمان سازگار می‌شدند. بچه‌های ناشی از این پیوندها، فرهنگ پدران (مهاجم) خود را نیز گرفتند و به پاگرفتن آن در ناحیه کمک کردند. آن‌ها با زبان پدری تطبیق یافتند.

۳ / اشاره: فرضیه‌ی زبان پدری، درک ما از انتشار زبان را به چالش می‌کشد.

این فرضیه نشان می‌دهد که خانواده‌ی اروپایی زبان‌ها، مقدمتاً توسط مردان به این قاره آورده شد.

نیز ← ۲۲. فرضیه‌ی حوای میتو کندریال ۳۲. فرضیه‌ی خروج از آفریقا

مسئله‌ی قوی سیاه آیا فردا واقعاً خواهد آمد؟



کارل پوپر (۱۹۰۲-۱۹۹۴)

✱ / **نگاه هلیکوپتری:** برطبق گزارشات، شهروندان قرن ۱۶ لندن علاقه داشتند رویدادهای غیرممکن را به عنوان «قوی سیاه» توصیف کنند. این اصطلاح کاملاً قابل توجه بود: اروپا پر از قو بود و همه‌ی آن‌ها سفید بودند. سپس در سال ۱۶۹۷ کاوشگران هلندی هنگامی که سوار قایقی بادبانی در رودخانه‌ای در غرب استرالیا بودند، کشف حیرت‌انگیزی کردند: یک قوی سیاه. در سالنامه‌ی تحقیقات علمی، کشف قوی سیاه صرفاً یک پاورقی بود. اما در قرن بیستم به خاطر نور افکندن به مسئله‌ای در قلب تمام کوشش‌های علمی مشهور شد: مسئله استقراء.

قرن‌ها بود که فلاسفه از مسئله‌ی استقراء و تهدید آن علیه علم، آگاهی داشتند. در اصل، استقراء روشی را توصیف می‌کند که ما طبق آن از تجارب گذشته برای توجیه پیشگویی‌هایی درباره‌ی آینده استفاده می‌کنیم: خورشید همیشه در سحرگاه طلوع می‌کند، پس ما فرض می‌کنیم که فردا نیز طلوع خواهد کرد. دانشمندان برای شکل دادن به قوانین کلی یا نظریه‌ها به استقراء تکیه می‌کنند. اما آیا این راهبرد معتبر است؟ در قرن ۱۸، دیوید هیوم به این نتیجه رسید که چنین است. او قبول داشت که ما واقعاً نمی‌توانیم ثابت کنیم که تعمیم‌های ما درباره‌ی جهان درست‌اند – مثلاً اینکه برف همیشه سرد است – اما به دلیلی اسرارآمیز، فطرت ما، ما را تشویق می‌کند که این تعمیم‌ها را بپذیریم. و این برای توجیه استفاده‌ی مستمر از استدلال استقرایی کافی است.

در دهه‌ی ۱۹۵۰ کارل پوپر این نتیجه‌گیری را رد کرد. او نشان داد که ما نمی‌توانیم از مسئله‌ی استقراء چشم پوشی کنیم. راه‌حل او این پیشنهاد بود که تحقیق علمی در حقیقت راجع به فرمول‌بندی نظریه‌هایی است که می‌توانند ابطال شوند – ایده‌ای که ادعا می‌کند علم، حقایق بنیادین را وضع نمی‌کند و نمی‌تواند این کار را انجام دهد. او به **مسئله‌ی قوی سیاه** به عنوان روشی برای تشخیص اینکه چه چیزی علم است و چه چیزی نیست، رجوع می‌کند. کار پوپر با اینکه خیلی تأثیرگذار بود اما مقبولیت عام نیافت. مسئله‌ی استقراء هنوز هم مطرح است.



قوهای سیاه نمادی از یک مسئله‌ی مرکزی در علم هستند.

۲/ **میان‌بر:** طبق نظر پوپر، دانشمندان باید تلاش خود را معطوف ارائه‌ی نظریه‌هایی ابطال‌پذیر کنند نه رسیدن به حقایق جهانشمول. یک واکنش



غیرعلمی به این مشاهده که قوهای اروپایی سفیدند این نتیجه‌گیری است که: یک قوی غیر-سفید غیرممکن است. واکنش علمی، فرمولبندی کردن یک نظریه‌ی تحقیق‌پذیر (و ابطال‌پذیر) است: من فرض می‌کنم که تمام قوهایی که در آینده پیدا خواهند شد، سفید خواهند بود. پوپر گفت که نظریه‌های علمی به‌خودی‌خود معتبر باقی می‌مانند تا اینکه نادرستی آن‌ها اثبات شود – به بیانی دقیق‌تر، آن‌ها هرگز نمی‌توانند اثبات شوند.

 ۳/ اشاره: مسئله‌ی قوی سیاه پوپر درباره‌ی ماهیت بنیادین علم است. تحقیق علمی نمی‌تواند درستی یک نظریه را اثبات کند، فقط می‌تواند نادرستی آن را تأیید کند، البته این جای بحث دارد.

نیز ← ۳۷. مفهوم یکنواختی ۱۰۰. فرضیه‌ی همه‌گشنی

مفهوم زمان عمیق

سیاره‌ی ما چه زمانی شروع به نشان دادن سن خود کرد



جیمز هاتن (۱۷۹۷-۱۷۲۶)

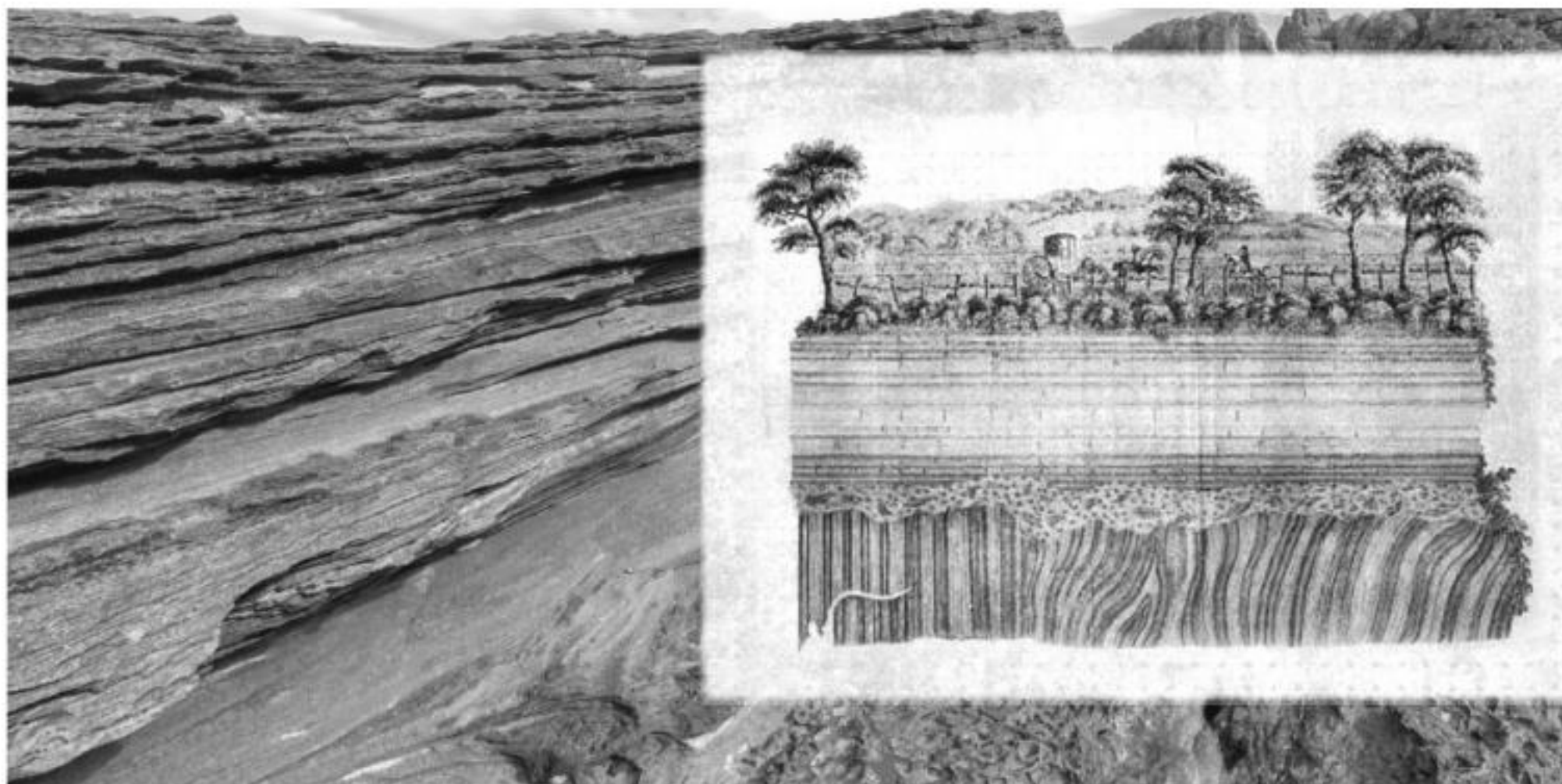
✱ ۱ / نگاه هلیکوپتری: در یک صبح بهار ۱۷۸۸، جیمز هاتن و جان پلی فیر در سفری روزانه از ادینبرو به ساحل پرویک شایر رفتند تا زمین‌شناسی آنجا را مطالعه کنند. نزدیک موقعیتی به نام سیکار پوینت آن‌ها آنچه را که می‌خواستند یافتند - آرایشی از صخره‌ها که جیمز هاتن را کمک کرد تا نشان دهد که زمین بسیار قدیمی‌تر از چیزی است که بیشتر مردم تصور کرده بودند.

دیدگاه رایج در قرن ۱۸ اروپا که ملهم از باورهای دینی بود، این بود که عمر زمین بیش از چند هزار سال نیست. هرچند بسیاری از زمین‌شناسان شروع به زیر

سوال بردن این سن کرده بودند، تفکرات هاتن در این موضوع، سرانجام تأثیرگذارتر از همه شد. این عمدتاً به این دلیل است که هاتن از نخستین کسانی بود که به درک مدرنی از روش‌های گوناگون تشکیل سنگ‌ها رسیده بود. او نظر داد که زمین پیوسته در حال ساختن و تخریب قاره‌هاست. نیروهای خورنده، صخره‌ها را تخریب می‌کنند و آن‌ها را مانند رسوبات به دریا برمی‌گردانند. این رسوبات لایه‌های افقی کف دریا را می‌سازند و به صخره‌ها تبدیل می‌شوند. فرایندی که در اصل می‌تواند هزاران سال به طول انجامد. نهایتاً توده‌ی سنگ رسوبی چنان ضخیم و سنگین می‌شود که لایه‌های زیرین، تحت فشار آن داغ و ذوب می‌شوند و مواد مذاب شناوری را شکل می‌دهند که صخره‌های بالایی را برای تشکیل قاره‌ای جدید به حرکت در می‌آورند.

این دقیقاً چرخه‌ی سنگی نیست که زمین‌شناسان امروزی می‌شناسند اما فرایندی دوره‌ای است که به باور هاتن می‌توانست به‌طور نامحدود ادامه یابد. طبق نوشته‌های خود هاتن «نه نشانی از یک آغاز نه چشم‌اندازی از یک پایان».

هاتن در ۱۷۸۵ نظریه‌ی خود را به نخستین انجمن علمی ادینبرو ارائه کرد. مشاهدات زمین‌شناسی دقیق او در سال‌های بعد - از جمله سفر او به سیکار پوینت - مدارکی تجربی فراهم آورد که از نظریه‌ی او پشتیبانی می‌کردند. با این وجود وقتی هاتن در سال ۱۷۹۷ در گذشت، ایده‌های او به‌طور وسیع شناخته نشده بودند. پلی فیر در سال ۱۸۰۲ ایده‌های هاتن را با تجدید نظر باز نویسی کرد و تأثیر آن‌ها شروع به رشد کرد. مفهوم **زمان عمیق** در مسیر پذیرش گسترده بود.



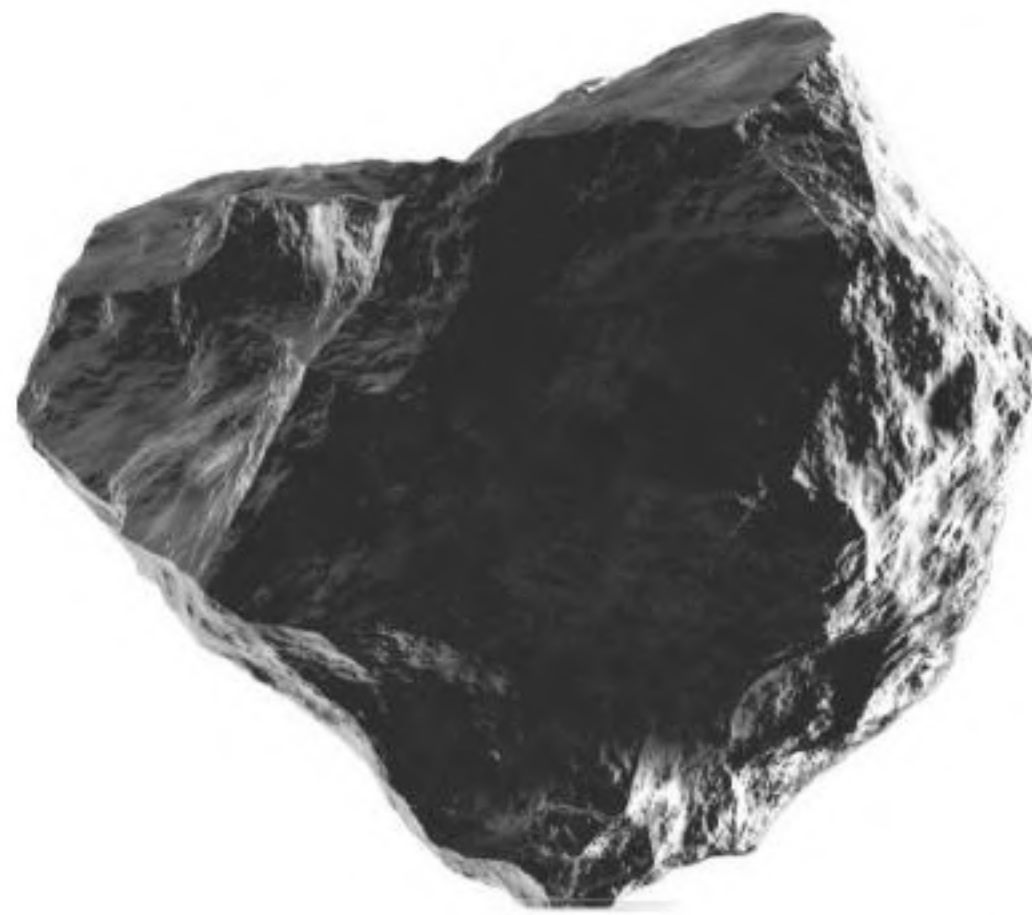
در بعضی صورت‌های صخره‌ای، لایه‌های افقی سنگ بالای لایه‌های عمودی قرار می‌گیرند.

⊕ ۲ / میان‌بر: در سیکار پوینت لایه‌هایی از ماسه سنگ هست که ظاهراً اندکی خم شده‌اند. آن‌ها روی دنباله‌ی دیگری از این لایه‌ها هستند که تقریباً عمودی‌اند. هاتن اندیشید که ماسه سنگ‌ها در ابتدا به صورت لایه‌های افقی در آب شکل می‌گیرند – فرایندی که می‌تواند هزاران سال طول بکشد. او دریافت که زمین‌شناسی سیکار پوینت باید دو اپیزود مختلف از تشکیل ماسه سنگ را به نمایش بگذارد. پس از تشکیل اولین لایه‌ها، آن‌ها بشدت چرخیدند (تا حد عمود شدن) و سطوح بالا را برای تشکیل زمین خشک به بالا راندند. سپس سطح این زمین قبل از اینکه دوباره زیر آب برود، هموار شد – که اپیزود دوم تشکیل لایه‌های افقی را ممکن می‌کرد. سرانجام کل رشته بازهم به بالای امواج رانده شد و اندکی کج شد تا چشم‌انداز نوین را خلق کند.

⊞ ۳ / اشاره: دانشمندان پیشین براساس باورهای دینی تصور می‌کردند که سیاره‌ی ما بسیار جوان است. کار هاتن آن‌ها را متقاعد ساخت که زمین به طرز شگفت‌آوری دیرینه است.

نیز ← ۳۷. مفهوم یکنواختی ۸۳. مفهوم عمرسنجی رادیومتریکی

نظریه‌ی کاتاستروفیسم / فاجعه‌گرایی وقتی زمین یک شبه تغییر می‌کند

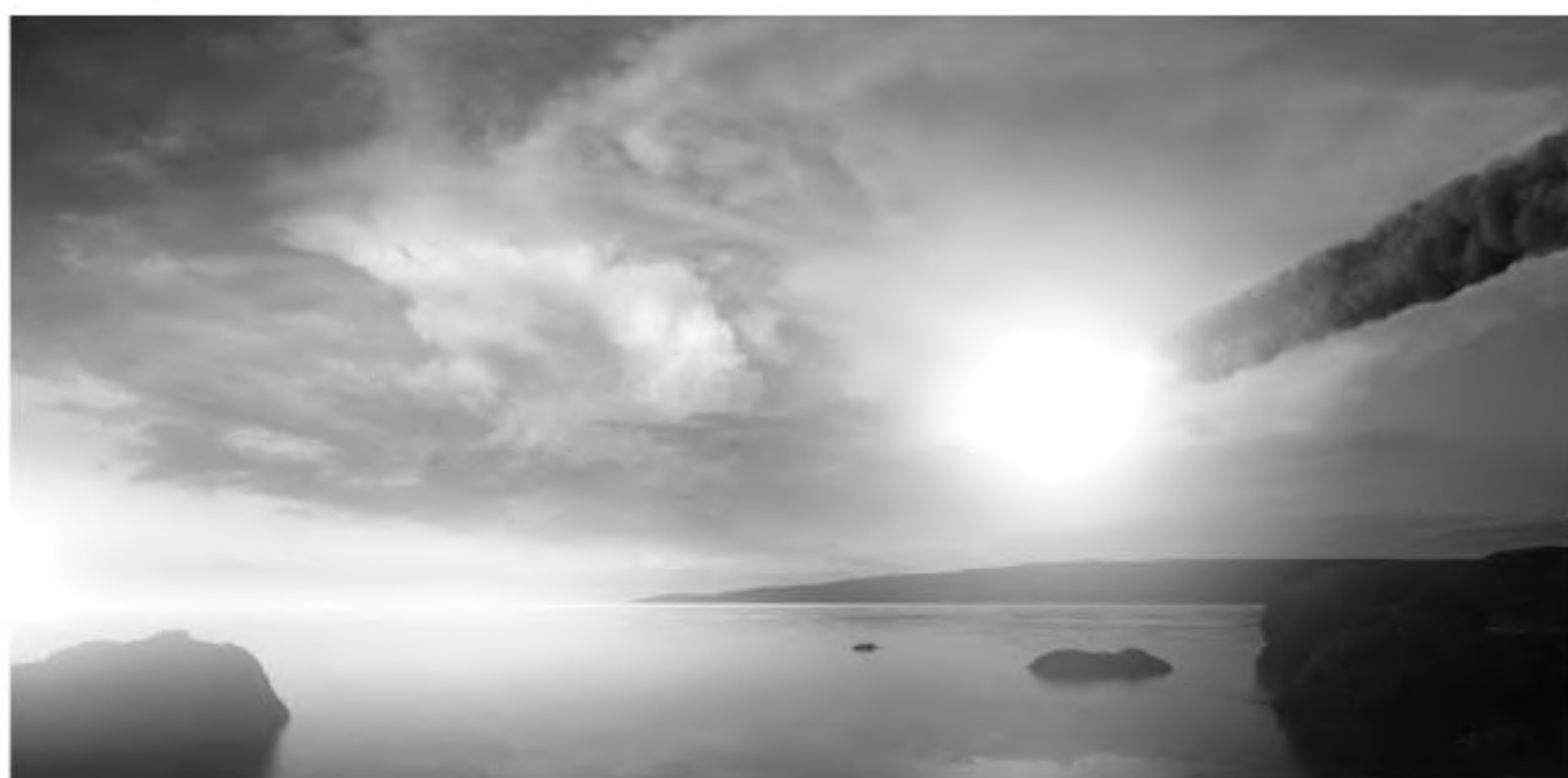


۱ / نگاه هلیکوپتری: زمین‌شناسان در اوایل قرن ۱۹ می‌دانستند که اتفاق هراس‌انگیزی در گذشته‌ی سیاره‌ی ما رخ داده است، اما فرض عمومی بر این بود که زمین تنها چند هزار سال عمر دارد. چگونه چنان تاریخ پرفراز و نشیب زمین‌شناختی می‌توانسته است در زمانی این‌چنین کوتاه فشرده شود؟ علم اروپایی در آن زمان بر فرضیات انجیلی استوار بود – مابین آن‌ها این ایده وجود داشت که انجیل قدیم تاریخی دقیق از جهان است و این تاریخ تقریباً به ۶۰۰۰ سال می‌رسد. اما بعضی از مدارکی که زمین‌شناسان در آثار سنگواره‌ای پیدا می‌کردند با باورهای دینی در تعارض بود. برای مثال در اواخر قرن ۱۸ **جورج کوویه** این بحث را مطرح کرد که گونه‌ها می‌توانسته‌اند منقرض شده باشند، چیزی که معلمان مذهبی آن را غیرممکن می‌دانستند.

برداشت کوویه از آثار سنگواره‌ای نشان می‌داد که انقراض‌های متعددی در کار بوده‌اند. از این گذشته، رویدادهای انقراض فاجعه‌آمیز به نظر می‌رسیدند که نه فقط یک گونه که تمام اکوسیستم را تحت تأثیر قرار می‌داده‌اند. او استدلال کرد که زمین به صورت دوره‌ای، یک رویداد بوم‌شناختی سریع و شگرف را تجربه می‌کند که در مدت کوتاهی، بیشتر گونه‌ها را محو می‌کند و زمین را برای تجمع اندک باقی

ماندگان، کم و بیش خالی می کند. این نظریه، راه مناسبی را برای فشرده کردن تاریخ پرماجرای حیات بر روی زمین به چند هزار یا چند میلیون سال فراهم می کند. ویلیام ویول نام کاتاستروفیسم را به نظریه ی کوویه داد.

کاتاستروفیسم علی رغم رواج اولیه، بعدها در قرن ۱۹ از محبوبیت افتاد. در واقع بخش اعظم قرن ۲۰ نیز دچار پژمردگی بود. در دهه ی ۱۹۸۰ لوئیز و والتر آلوارز مدرکی یافتند که سرنوشت نظریه را تغییر داد: حدود ۶۶ میلیون سال قبل و همزمان با انقراض انبوهی که کل اکوسیستم را نابود کرد و تمام دایناسورهای عظیم الجثه را کشت، یک برخورد سیارکی مصیبت بار روی داده بود. کار آن ها توجه تازه ای را معطوف کاتاستروفیسم کرد.



یک برخورد سیارکی می تواند به فاجعه ای آنی و فراگیر منجر شود.



جورج کوویه (۱۷۶۹-۱۸۳۲)

⤵ ۲ / میان‌بر: کوویه به همراه الکساندر برانگنیر، زمانی را برای مطالعه‌ی زمین‌شناسی اطراف پاریس گذراند. تحقیق آن‌ها جزء نخستین کارها برای پایه‌گذاری علم چینه‌شناسی بود – این ایده که به طور کلی، لایه‌های قدیمی‌تر سنگ در زیر رشته و لایه‌های جدیدتر، بالای آن یافت می‌شوند. کوویه و برانگنیر متوجه شدند که یک لایه از صخره، سنگواره‌هایی به کلی متفاوت با لایه‌ی بالایی و پایینی آن دارند. تغییرات بوم‌شناختی ناگهانی بودند. کوویه نتیجه گرفت که این مدرک، وقوع فجایع بوم‌شناختی کوتاه و واضحی را فاش می‌کند.

⤵ ۳ / اشاره: بیشتر زمین‌شناسان معتقدند که تغییرات سنجش‌پذیر زیست کره‌ی زمین، میلیون‌ها سال طول می‌کشد. اما کاتاستروفیسم پیشنهاد می‌کند که جهان، گاهگاهی تغییرات شگرف یک شبه را تجربه می‌کند.

نیز ← ۳۷. مفهوم یکنواختی

مفهوم یکنواختی رمزگشایی از گذشته



سر چارلز لایل (۱۷۹۷-۱۸۷۵)

✱ ۱ / نگاه هلیکوپتری: در دهه‌ی ۱۸۳۰ چارلز لایل، انقلابی در مطالعه‌ی زمین‌باستانی به پا کرد. لایل به خاطر حامیان‌ش، از جمله چارلز داروین رشته‌ی زمین‌شناسی را که گرفتار جزم اندیشی دینی شده بود برگزیده و آن را به یک رشته‌ی علمی عقلانی تبدیل کرده بود.

لائل از دیدگاه ویلیام باکلند، مدافع این ایده بود که گذشته‌ی زمین گاهی بسیار خشن بوده است. اما لایل از چنین ایده‌ای سرخورده شد مخصوصاً وقتی که باکلند ادعا کرد که سیل ثبت شده در انجیل باعث آخرین فاجعه در تاریخ زمین بوده است.

اندیشه‌ی لایل این بود که زمین‌شناسی نباید به نیروهای مافوق طبیعی متوسل شود. او شدیداً تحت تأثیر ایده‌های زمین‌شناسی جیمز هاتن در دهه‌ی ۱۷۸۰ قرار گرفت که می‌گفت، آثار زمین‌شناسی به‌طور بالقوه حکایت از یک چرخه‌ی پایان‌ناپذیر از فرایندهای زمین‌شناختی دارد. به نظر می‌رسید ایده‌های هاتن از یکسان بودن نیروهایی بحث می‌کند که در طول زمان روی زمین تأثیرگذار بوده‌اند – ایده‌ای که با نظریه‌ی موفق آیزاک نیوتون در یگانه بودن نیروها در فضا، هم راستا بود.

لائل این ایده را جالب یافت. او همچنین کارهای فلسفی دیوید هیوم را نیز پسندید – مخصوصاً این ایده را که دانشمندان باید با استدلال استقرایی پیش بروند، یعنی قواعد عام را از مجموعه‌ی محدودی از مشاهدات واقعی استنتاج کنند. لایل با ترکیب جنبه‌هایی از کارهای هیوم و هاتن، روش تفکر نوینی را درباره‌ی آثار سنگواره‌ای زمین‌شناسی ابداع کرد. ایده هاتن معمولاً با استفاده از این عبارت خلاصه می‌شود: «زمان حال کلیدی برای زمان گذشته است» ویلیام ویول – که در واقع منتقد سرسخت مفهوم لایل بود – این نام را به ایده هاتن داد: اصل یکنواختی.



اصل یکنواختی می‌گوید، فرایندهای زمین‌شناسی امروزی می‌توانند تمام تاریخ زمین را توضیح دهند.

④ **۲/ میان‌بر:** لایل این باور محکم را داشت که ماقبل تاریخ زمین، دارای ماهیت دوره‌ای است – ویژگی‌های چشم‌انداز زمین، به تدریج شکل می‌گیرند و به تدریج ناپدید می‌شوند. او ادعا کرد که شواهد این فرایندِ حدوث و زوال تناوبی، در اطراف ما وجود دارند. برای مثال لایل از وجود زلزله‌ها و اینکه

چگونه می‌توانند با بالا راندن زمین و ایجاد صخره‌ها و تپه‌ها، چشم‌اندازها را دچار تغییر کنند، آگاه بود. او این را نیز می‌دانست که خورندگی می‌تواند به آرامی موجب فرسایش این صخره‌ها و تپه‌ها شود تا جایی که دیگر قابل تشخیص نباشند. لایل توضیح داد که فرایندهای این چینی که در مقیاس‌های زمانی بسیار طولانی رخ می‌دهند، می‌توانند به تمام آثار زمین‌شناسی دلالت کنند.

 **۳ / اشاره:** بر طبق آراء لایل، تمام رویدادهای پر آشوب که در آثار زمین‌شناسی مستندسازی شده‌اند می‌توانند با استفاده از فرایندهای آهسته‌ی زمین‌شناسی زمان حاضر زمین، توضیح داده شوند: برای درک گذشته‌ی زمین، فقط به اطراف خود نگاه کن.

نیز ← ۳۴. مسئله‌ی قوی سیاه ۳۵. مفهوم زمان عمیق ۳۶. نظریه‌ی کاتاستروفیسم ۵۶. قانون گرانش جهانی نیوتون



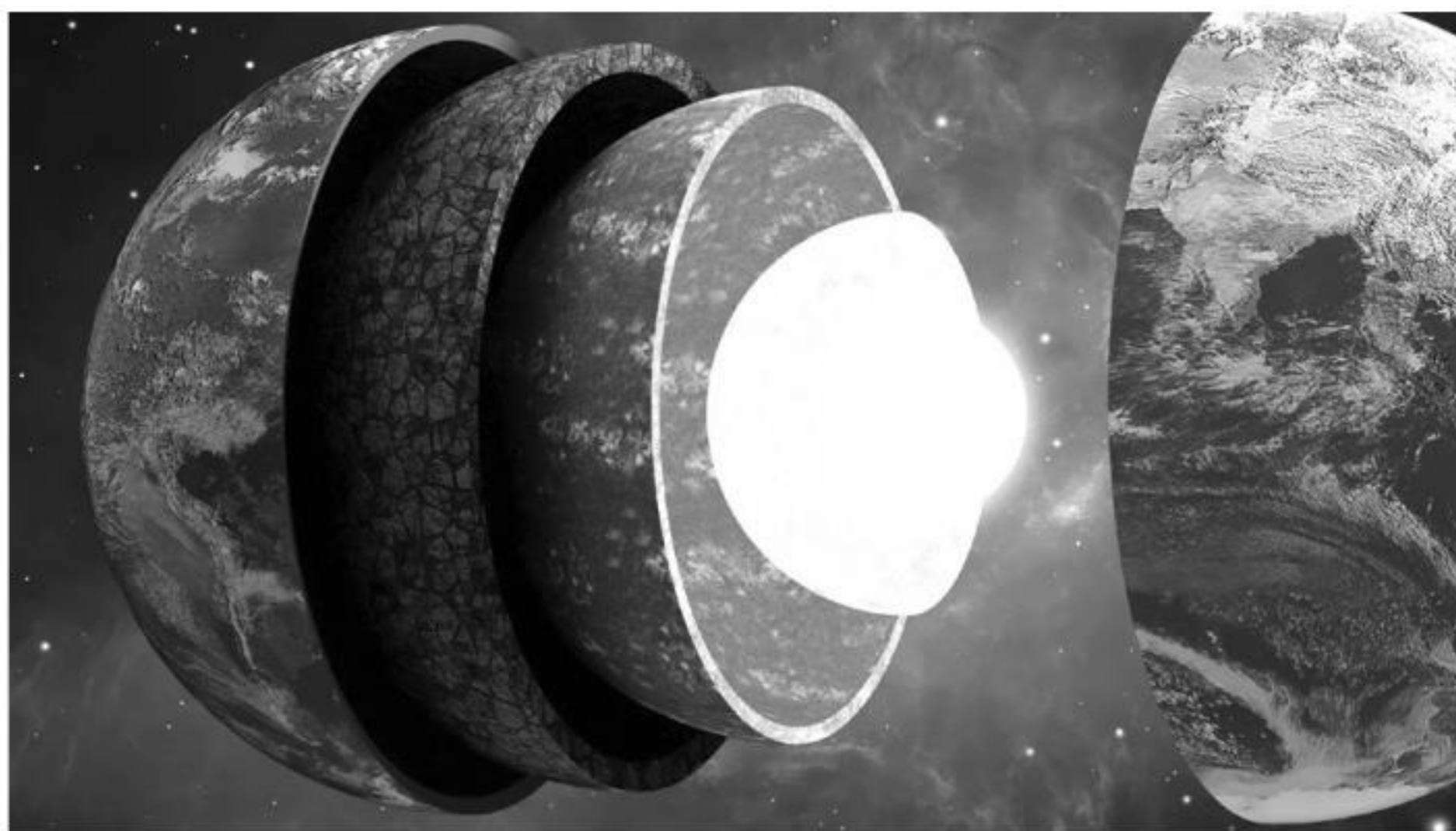
ژوزف لارمور (۱۸۵۷-۱۹۴۲)

✱ / **نگاه هلیکوپتری:** برای قرن‌ها دریانوردان به خواص مغناطیسی زمین تکیه کرده‌اند – اما تا زمانی که دانشمندان شروع به کاوش در اعماق درون زمین نکردند دقیقاً معلوم نشد که چرا زمین مغناطیسی است.

در سال ۱۶۰۰، ویلیام گیلبرت می‌دانست که برخی مواد معدنی زمین خاصیت مغناطیسی دارند. او به این نتیجه رسید که زمین باید عملاً یک آهنربای دائمی عظیم باشد. بعداً در قرن ۱۷ دانشمندان حدس زدند که چیزها پیچیده‌تر از آن هستند که به نظر می‌رسند مخصوصاً به این دلیل که میدان مغناطیسی زمین از روزی به روز دیگر اندکی تغییر می‌کند – چیزی که برای یک آهنربای دائمی اتفاق نمی‌افتد. از

این گذشته به تدریج روشن شد که درون زمین داغ است و گرما آهنربای دائمی را خراب می‌کند.

در یک قرن گذشته حقایق روشن‌تر شدند. با تجزیه و تحلیل عبور امواج زلزله از درون زمین، ریچارد اولدهام در سال ۱۹۰۶ نتیجه گرفت که بخش بیرونی هسته‌ی زمین باید مایع باشد – به احتمال قریب به یقین آهن مذاب. در سال ۱۹۳۶ ایننگه لمان با استفاده از فنون مشابه به این نتیجه رسید که هسته‌ی داخلی زمین جامد است. جوزف لارمور قبل از آن زمان، نشان داده بود که هسته چگونی می‌تواند میدان مغناطیسی زمین را تولید کند. گرمای ناشی از هسته‌ی داخلی می‌توانست در هسته‌ی مایع بیرونی جریان‌های همرفتی ایجاد کند. این آهن مذاب زیر و رو شونده به‌طور طبیعی جریان الکتریکی ایجاد می‌کرد. با توجه به رابطه‌ی الکتریسیته و مغناطیس، جریان الکتریکی میدان مغناطیسی ایجاد می‌کند که می‌تواند موجب چرخش بیشتر آهن مذاب (مغناطیسی) و میدان مغناطیسی خاص خودش شود و الی آخر. این حلقه‌ی بازخورد نهایتاً منجر به یک میدان مغناطیسی بسیار نیرومند می‌شود. والتر الساسر و ادوارد بولارد، این ایده را در دهه‌های ۱۹۴۰ و ۱۹۵۰ توسعه‌ی بیشتری دادند. کار آن‌ها، نظریه‌ی دینامو را به خط فکر اصلی بدل کرد.



نظریه‌ی دینامو میدان مغناطیسی زمین را به هسته‌ی غنی از آهن سیاره‌ی ما ربط می‌دهد.

۲/ میان‌بر: هسته‌ی زمین تقریباً مانند یک لامپ گدازه‌ی کروی رفتار می‌کند. یک هسته‌ی جامد بسیار داغ درونی از طریق ایجاد جریان‌های همرفتی، به داغ شدن مایع بیرونی هسته کمک می‌کند. این یک لامپ گدازه است با

این تفاوت: مایع در حال حرکت، سرشار از آهن و رسانا است – و با حرکت خود، جریان الکتریکی ایجاد می‌کند که این جریان نیز موجد میدان‌های مغناطیسی است. به عنوان پیامدی از چرخش زمین، این جریان‌ها (و میدان‌های مغناطیسی وابسته به آن‌ها) همراه شده و با هم ترکیب می‌شوند: این میدان مرکب آنقدر قوی است که ما آن را در سطح زمین، از عمق ۳۰۰۰ کیلومتری، احساس می‌کنیم.

۳ / اشاره: نظریه‌ی دینامو پیشنهاد می‌کند که گرمای ناشی از هسته‌ی درونی باعث جاری شدن آهن مذاب در هسته‌ی بیرونی می‌شود. این جریان، نهایتاً میدان مغناطیسی قدرتمند زمین را ایجاد می‌کند.

نیز ← ۶۰. معادلات مکسول

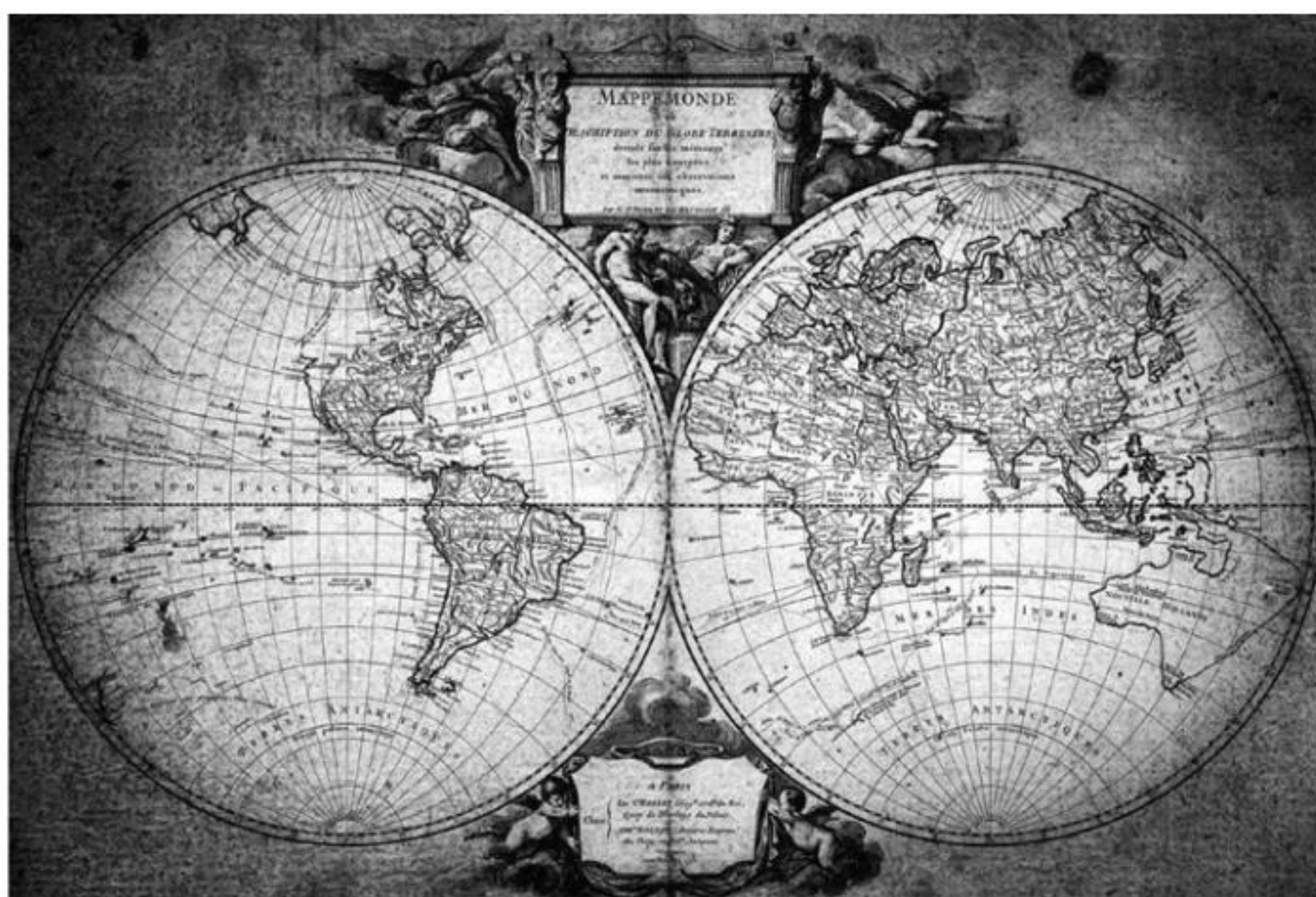
نظریه‌ی رانش قاره‌ای دنیا شروع به حرکت می‌کند



آلفرد وگنر (۱۸۸۰-۱۹۳۰)

۱ / نگاه هلیکوپتری: در طول قرن شانزدهم، تهیه کنندگان نقشه زمین متوجه شباهت خط ساحلی شرق قاره‌ی آمریکا با خط ساحلی غرب اروپا و آفریقا شدند. آبراهام اورتلیوس اندیشید که سرزمین‌ها زمانی متصل بوده‌اند و سپس در اثر زلزله‌ها و سیل‌ها از هم جدا شده‌اند. در قرن ۲۰ این ایده مورد تجدید نظر قرار گرفت و نوسازی شد و نهایتاً پذیرفته شد. این سفر علمی با آلفرد وگنر آغاز شد. وگنر بیشتر یک هواشناس و کاوشگر قطب بود تا یک زمین‌شناس صرف. اما مطالعات خوبی داشت و می‌دانست که دانشمندان دیگر، از شباهت‌های دنیای قدیم

با دنیای جدید دچار سردرگمی شده‌اند مخصوصاً از این واقعیت که سنگواره‌های بسیار مشابهی از حیوانات خشکی در غرب آفریقا و برزیل پیدا شده‌اند. او از نظریه اولیه‌ی اتصال سرزمین‌ها از طریق پل‌های بزرگ زمینی، برای توضیح این معما آگاه بود، پل‌هایی که مدت‌ها قبل در آب‌های اقیانوس اطلس غرق شده بودند. وگنر درباره تحقیقات جاری روی چگالی انواع سنگ‌ها مطالعه کرد و دریافت که نظریه‌ی پل‌های زمینی غلط‌اند. او در سال ۱۹۱۲ این ایده را مطرح کرد که قاره‌ها متحرک بوده‌اند، چیزی که اورتلیوس و چند نفر دیگر نیز مطرح کرده بودند. به نظر می‌رسید که این ایده، اسرار زمین‌شناسی زیادی را حل می‌کند. با این وجود زمین‌شناسان ایده‌ی وگنر را رد کردند. به‌ویژه اینکه وگنر در کتاب منشأ قاره‌ها و اقیانوس‌ها به سال ۱۹۱۵، از ارائه‌ی سازوکار متقاعدکننده‌ای برای توضیح اینکه قاره‌های وسیع چگونه می‌توانند حرکت کنند باز مانده بود. امروزه از وگنر به عنوان آرمان‌گرایی یاد می‌شود که جامعه‌ی علمی را به‌سوی یکی از بزرگ‌ترین پیشرفت‌های زمین‌شناسی سوق داد. اما در زمان مرگ او در سال ۱۹۳۰ هنوز تعداد کمی از زمین‌شناسان آماده‌ی پذیرش نظریه‌ی رانش قاره‌ای وگنر بودند.



ساحل شرقی آمریکا شبیه ساحل غربی اروپا و آفریقا است.

➡ **۲/ میان‌بر:** در اوایل قرن ۲۰، بسیاری از زمین‌شناسان تصور می‌کردند که تشابه چشمگیر آثار سنگواره‌ای آفریقای غربی و آمریکای جنوبی می‌تواند با ایده‌ی پلی زمینی که زمانی این دو را به هم پیوند داده و امکان مهاجرت جانوران

و گیاهان را بین قاره‌ها فراهم کرده بود، توضیح داده شود. در سال ۱۹۱۲ وِگنر می‌دانست که این ایده نمی‌تواند کار کند. سنگ زیرین اقیانوس‌ها خیلی متراکم‌تر از سنگ‌های تشکیل دهنده‌ی قاره‌هاست. فرورفتن همیشگی پل زمینی مابین قاره‌ای به ته اقیانوس عاقلانه نبود. این اختلاف در چگالی، در قلب مکانیکی نظریه‌ی وِگنر نیز جای داشت. او قاره‌ها را چون الوارهایی کم چگالی در نظر گرفت که می‌توانستند به آهستگی روی پوسته‌ی سخت اقیانوس‌ها حرکت کنند. ایده‌ای که بیشتر زمین‌شناسان آن را محمل خواندند.

 ۳/ اشاره: رانش قاره‌ای می‌گوید قاره‌های وسیع زمین به آهستگی در حال حرکت هستند.
اما این نظریه نتوانست توضیح قانع‌کننده‌ای از چگونگی رانش قاره‌ها ارائه دهد.

نیز ← ۴۰. نظریه‌ی گسترش کف دریاها

نظریه‌ی گسترش کف دریاها

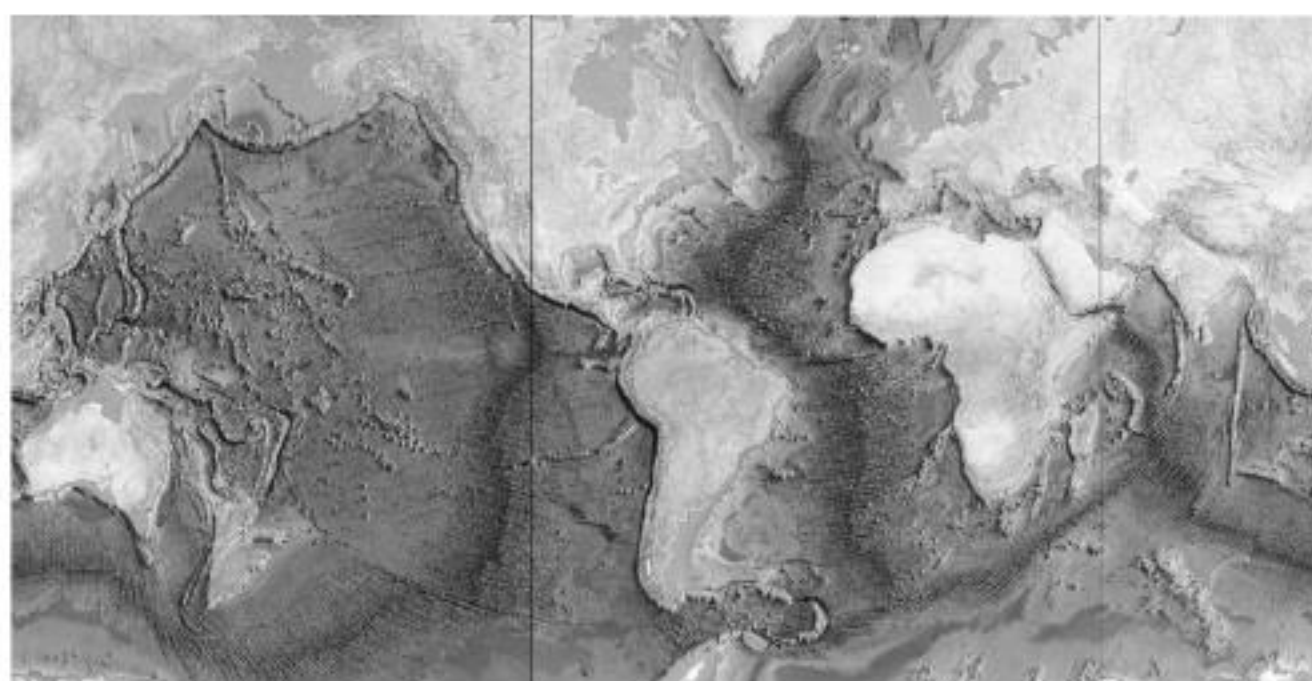
کف اقیانوس رازهای خود را آشکار می‌کند

✱ ۱ / نگاه هلیکوپتری: در اوایل قرن ۲۰ بیشتر زمین‌شناسان پذیرش حرکت قاره‌های عظیم را بر سطح زمین دشوار یافتند. تحقیقی که آنان را در تغییر نظرشان کمک کرد درباره‌ی جای غیرمنتظره‌ای بود: مطالعه‌ی کف اقیانوس‌ها. در این زمان تعدادی از دانشمندان بر پایه‌ی این فرض کار می‌کردند که کف اقیانوس‌ها صاف و بدون مشخصات است و چیزی ندارد که به‌طور خاص جذاب باشد – هرچند سفرهای علمی در قرن ۱۹ اشاراتی به تصاویر متنوع داشت. تنها در دهه‌ی ۱۹۵۰ بود که معلوم شد کف اقیانوس‌ها واقعاً چقدر متغیر هستند. با استفاده از داده‌های جمع‌آوری شده توسط نیروی دریایی ایالات متحده، ماری تارپ و بروس هیزن اقدام به تهیه‌ی نخستین نقشه از کف اقیانوس‌ها کردند. این کار، وجود رشته کوه‌های زیردریایی بسیار طولی را که تقریباً در مرکز اقیانوس‌های هند و اطلس کشیده شده‌اند، آشکار کرد. این‌ها به رشته کوه‌های میان-اقیانوسی معروف شدند. عجیب‌تر اینکه در مجاورت مرکز هر رشته کوه میان-اقیانوسی، یک دره‌ی عمیق وجود داشت: یک گسل. هیزن و دیگر دانشمندان که روی زمین‌شناسی اقیانوسی کار می‌کردند – و به‌ویژه هری هس – متقاعد شدند که ماگمای اعماق زمین به‌طور پیوسته به سطح زمین نقب می‌زند و پس از سرد شدن، پوسته‌های اقیانوسی سنگی جدیدی در گسل‌های رشته کوه‌های میان اقیانوسی ایجاد می‌کند. از آنجا که پوسته‌ی اقیانوسی به‌طور دائم در حال خلق شدن هستند، اقیانوس‌ها رشد می‌کنند: آن‌ها پهن‌تر می‌شوند و این به نظریه‌ی گسترش کف دریا معروف است.

هس متوجه شد که این فرایند می‌تواند ساز و کار قانع‌کننده‌ای برای توضیح رانش قاره‌ای فراهم کند. آلفرد وگنر نشان داده بود که قاره‌ها با رانشی فعال از طریق اقیانوس‌ها حرکت می‌کنند. هس ایده‌ی جایگزینی را مطرح کرد. او گفت خود قاره‌ها غیرفعال هستند: تمام پویش فعالی که وگنر در نظریه‌ی رانش قاره‌ای خود تشخیص داده بود در واقع زیر اقیانوس رخ می‌دهد. به بیان دیگر، رانش قاره‌ها به

دلیل گسترش کف دریاهاست.

④ **۲/ میان بر:** تصور رشته کوه های میان اقیانوسی به صورت پرینت های سه بعدی غول آسا ممکن است مفید باشد. یک رشته کوه میان اقیانوسی با روند شمال- جنوب به طور دائم در حال چاپ کردن پوسته به شرق و به غرب است. گسلی که در راستای طول رشته کوه جلو می رود منبع جوهر چاپگر - یا ماگمای داغ - است. این جوهر، سرد می شود تا پوسته ی جدید را تشکیل دهد. نیمی از ورقه ی پوسته به شرق و نیم دیگر آن به غرب رشته کوه متصل می شود. نیروهای تکتونیک به تدریج این دو ورقه را در راستای دور از هم می رانند تا ماگمای بیشتری بیرون زده و پوسته ی بیشتری تولید کند و الی آخر.



رشته کوه های میان اقیانوسی
در مرکز اقیانوس ها از جمله در
اقیانوس اطلس.



ماری تارپ (۱۹۲۰-۲۰۰۶)

۳ / اشاره: گسترش کف دریا پیشنهاد می‌کند که اقیانوس‌ها می‌توانند به آرامی پهن‌تر شوند. آن‌ها می‌توانند با انجام این کار، قاره‌ها را در هر دو سوی اقیانوس فشار داده و از هم دور کنند. گسترش کف دریا توضیحی برای رانش قاره‌ها را ارائه می‌کند.

نیز ← ۳۹. نظریه‌ی رانش قاره‌ها

نظریه‌ی تکتونیک / زمین ساخت صفحه‌ای

نظریه‌ی وحدت بزرگ زمین‌شناسی

۱ / نگاه هلیکوپتری: انقلابی علمی که در دهه‌ی ۱۹۱۰ با آلفرد وگنر شروع شده بود در نیمه قرن ۲۰ به اوج خود رسید: زمین‌شناسان پذیرفتند که سطح زمین در حال حرکت دائمی است.

وگنر تأکید کرده بود که قاره‌ها حرکت می‌کنند هر چند نتوانسته بود مکانیزم متقاعدکننده‌ای از اینکه چگونه این کار را انجام می‌دهند ارائه کند. تا دهه‌ی ۱۹۵۰ زمین‌شناسان درباره‌ی جوابی که با رشته کوه‌های میان اقیانوسی – که در خط مرکزی بیشتر اقیانوس‌ها امتداد دارد – داده می‌شد، شروع به شک و تردید کرده بودند. اما مدارک بیشتری لازم بود که خیلی زود به دست آمد.

در راستای پیمان منع آزمایش‌های هسته‌ای سال ۱۹۶۳، مسئولین ذیربط یک شبکه‌ی جهانی پایش زمین لرزه برای ثبت آثار چنین آزمایش‌هایی ترتیب دادند. این شبکه به زمین‌شناسان نیز این امکان را داد تا نقشه‌ای سرتاسری از زلزله‌های طبیعی تهیه کنند. این نقشه آشکار کرد که زلزله‌ها توزیع تصادفی ندارند و خطوط درازی را دنبال می‌کنند که بعضی با رشته کوه‌های میان اقیانوسی و بقیه با خندق‌های عمیقی که در اقیانوس‌ها وجود دارند، تلاقی می‌کنند. چنان می‌نمود که گویی زمین دارای یک جغرافیای پنهان است. مجموعه‌هایی از «صفحات» وجود داشت که به نظر می‌رسیده حاشیه‌های خود تنه می‌زنند و زلزله‌های بزرگی ایجاد می‌کنند.

تقریباً در همان زمان کیث رانکورن و دیگران مشغول تهیه مجموعه‌ی دیگری از شواهد بودند. ماگما معمولاً حاوی مواد معدنی مغناطیسی است و با سرد شدن و تبدیل شدن آن به سنگ، مواد مغناطیسی با میدان مغناطیسی زمین هم راستا و تثبیت می‌شوند. نگاه کردن به این هم راستایی در سنگ‌هایی با عمرهای متفاوت معمایی را طرح کرد: به نظر می‌رسید که تمام قاره‌ها در گذشته حرکت کرده و حتی چرخیده‌اند، درست به همان صورتی که وگنر چند دهه قبل توصیف کرده بود. تا اواخر دهه‌ی ۱۹۶۰ تنها چند زمین‌شناس بدنه‌ی در حال رشد شواهد را انکار می‌کردند. **نظریه‌ی تکتونیک / زمین ساخت صفحه‌ای** به علمی با مقبولیت عام تبدیل شده بود.



سلاح‌های هسته‌ای ندانسته به درکی از صفحات تکتونیکی زمین منجر شدند.

④ **۲/ میان‌بر:** پوسته‌ی زمین مانند یک معمای اره‌ای پیچیده است که در حال حاضر از هفت قطعه‌ی بزرگ (صفحات) و چند قطعه‌ی خیلی کوچک‌تر ساخته شده است. با گذشت زمان و با تشکیل پوسته‌ی جدید در رشته کوه‌های میان اقیانوسی، تعدادی از این تکه‌ها بزرگ‌تر می‌شوند. با رشد آن‌ها، تکه‌های دیگر باید برای جا گرفتن فشرده شوند. این زمانی اتفاق می‌افتد که دو صفحه به هم برسند: یکی باید در زیر دیگری فشار داده شده و به درون زمین فرو برود، فرایندی که به آرامی صفحه را نابود می‌کند. قاره‌ها – که به‌طور ساده قسمت‌های ضخیم‌تر صفحات هستند، با تنه زدن صفحات به یکدیگر کشیده شدند و چرخیدند. گاهی قاره‌ها با یکدیگر برخورد می‌کنند و کوه‌های بلند به وجود می‌آورند و زمانی پاره شده و در طول شکاف‌های دره‌ای بزرگ گسسته می‌شوند که نهایتاً به تشکیل اقیانوس‌های جدید می‌انجامد.

 ۳ / اشاره: تقریباً تمام چیزهایی که زمین‌شناسان مشاهده می‌کنند — از کوه‌های بلند تا اقیانوس‌ها و توزیع سنگواره‌ها — از طریق منشور تکتونیک صفحه‌ای معنا می‌یابند. تکتونیک صفحه‌ای، نظریه‌ی وحدت بزرگ برای زمین‌شناسی است.

نیز ← ۳۸. نظریه‌ی دینامو ۳۹. نظریه‌ی رانش قاره‌ای ۴۰. نظریه‌ی گسترش کف دریاها

نظریه‌ی میلانکوویچ

تغییرات اقلیمی طبیعی توضیح داده می‌شوند

✱ / ۱ نگاه هلیکوپتری: دانشمندان اروپایی اوایل قرن ۱۸ با مسائل عجیب زیادی دست به گریبان بودند. یکی از آن‌ها توضیح وجود سنگ‌های بزرگی بود که در چشم‌انداز پراکنده شده بودند، مخصوصاً در مناطق آلپی.

در دهه‌ی ۱۷۴۰، پیتر مارتل به دره‌ای در آلپ رفت و نظر ساکنان آنجا را جویا شد. به او گفته شد که رودخانه‌ی یخی دره، زمانی بسیار بزرگ بوده است. سابقاً تخته سنگ‌های بزرگی در یخ گیر افتاده بوده‌اند که باید مسئول جابه‌جایی آن‌ها بوده باشند. مارتل یکی از نخستین محققانی بود که امکان وجود دوره‌های انجماد را در سیاره‌ی ما تشخیص داد.

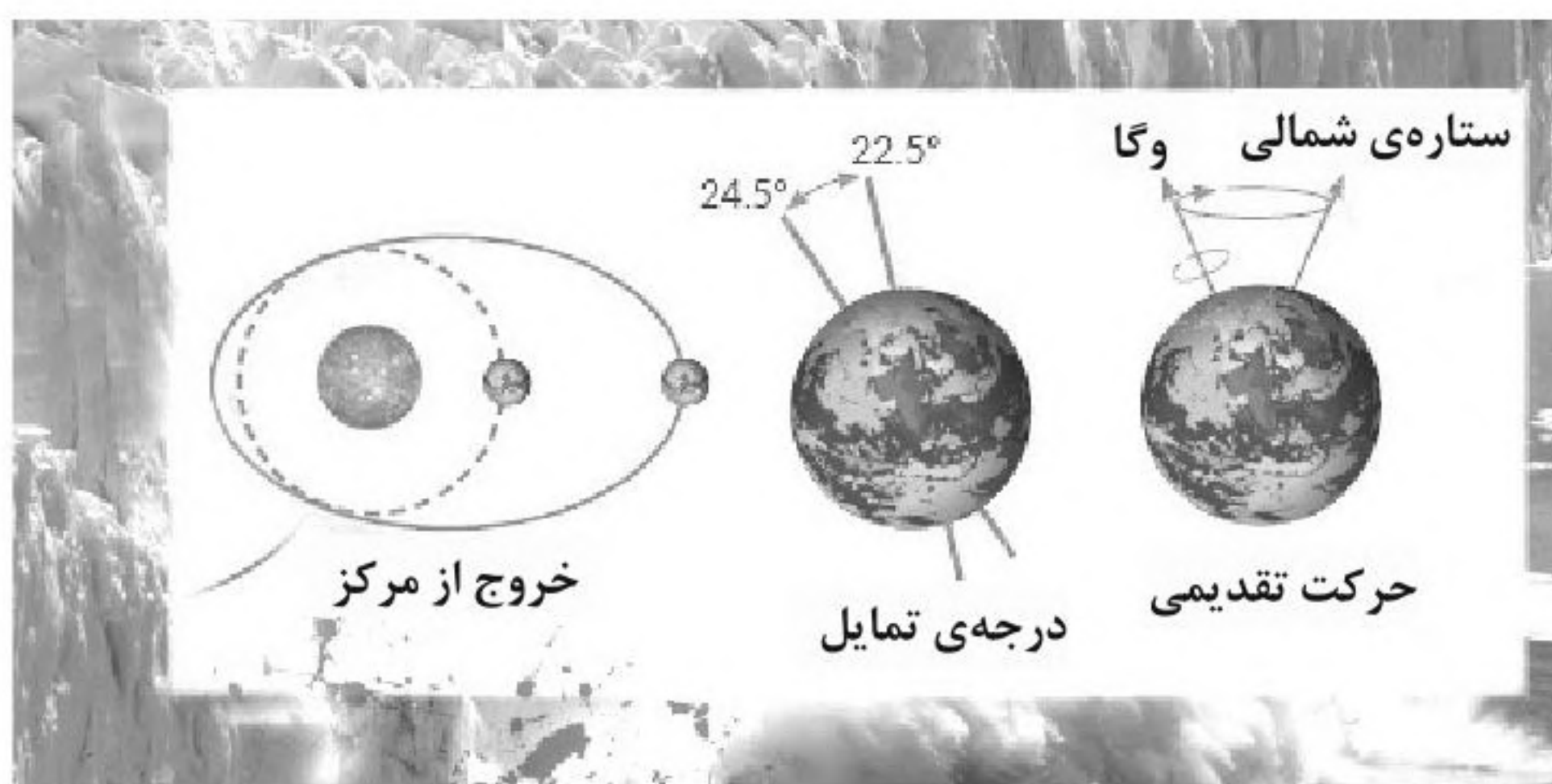
تا قرن ۲۰، زمین‌شناسان فهمیده بودند که چندین دوره انجماد وجود داشته‌اند. آخرین آن‌ها شناخته شده‌ترین آن‌ها شد. این دوره حدود ۲/۵ میلیون سال قبل شروع شد و به نظر می‌رسید که با چند دوره‌ی سردتر (یخبندان) مشخص می‌شد که با بازه‌های زمانی گرم‌تر (مابین یخبندان) از هم جدا می‌شدند. چرا باید چنین الگوی پیچیده‌ای وجود داشته باشد؟

میلوتین میلانکوویچ تصمیم به حل این معما گرفت. در دهه‌ی ۱۹۲۰ او شروع به فرمول‌بندی نظریه‌ای کرد که نشان می‌داد، تغییرات ظریف اما منظمی در حرکت زمین به دور خورشید منجر به تغییرات کوچکی در میزان دریافت انرژی خورشیدی توسط زمین می‌شود. او استدلال کرد که این اختلاف‌ها برای عبور از دوره‌های یخبندان به دوره‌های مابین یخبندان کافی بوده‌اند.

محاسبات میلانکوویچ مفصل بودند اما پنجاه سال کسی به معنای آن‌ها پی نبرد. در نیمه‌ی دهه‌ی ۱۹۷۰، سه دانشمند به نام‌های جیمز هایز، نیکولاس شاکلتون و جان ایمبری تصمیم به رمزگشایی از محاسبات او کردند. آن‌ها گل و لایی را که در ته اقیانوس هند تجمع کرده بود با استفاده از شیمی آن و ریزسنگواره‌های آن مطالعه کردند تا نحوه‌ی تغییرات اقلیمی زمین در ۴۵۰,۰۰۰ سال گذشته را استخراج کنند. الگوی تغییرات به نحو چشم‌گیری با الگوی میلانکوویچ که به‌طور نظری پیشگویی



میلوتین میلانکوویچ (۱۸۷۹-۱۹۵۸)



سه طریقه‌ای که حرکت زمین طبق آن‌ها تغییر می‌کند.

شده بود مشابهت داشت. بسیاری از زمین‌شناسان با نظریه‌ی او مجاب شدند.

④ **۲/ میان‌بر:** میلانکوویچ می‌دانست که حرکات زمین به آرامی اما به‌طور منظم در سه مقیاس زمانی تغییر می‌کند: یک چرخه‌ی ۲۱۰۰۰ ساله، یک چرخه‌ی ۴۱,۰۰۰ ساله و یک چرخه‌ی ۹۶,۰۰۰ ساله. ترکیبی از این سه چرخه، فاصله‌ی بین زمین و خورشید و جهت‌گیری دقیق زمین نسبت به خورشید را به صورتی قابل پیش‌بینی عوض می‌کند. میلانکوویچ محاسبه کرد که در نقاط خاصی از این چرخه‌ها، جهت‌گیری و موقعیت سیاره‌ی ما به گونه‌ای است که تابش خورشیدی

دریافت شده در عرض جغرافیایی زیر مدار قطبی حتی در تابستان نیز آنقدر نیست که باعث ذوب شدن یخ‌های آنجا شود. این بدان معناست که هر زمستان یخ‌های بیشتر و بیشتری تجمع می‌کنند و یک اپیزود یخبندان را راه‌اندازی می‌کنند. در نقاط دیگر چرخه، تابش خورشیدی زیادتری به این عرض جغرافیایی می‌رسد و با ذوب کردن یخ‌ها به یک دوره‌ی مابین یخبندان منجر می‌شود.

۳ / اشاره: فعالیت انسان نیز می‌تواند موجب تغییرات آب و هوایی شود. اما نظریه‌ی میلانکوویچ نشان می‌دهد که این تغییرات می‌تواند عامل دیگری هم داشته باشد: تغییرات تدریجی در حرکت زمین در فضا می‌تواند سیاره‌ی ما را در دوره‌های انجماد فرو برد.

نیز ← ۵۷. قوانین نیوتون در حرکت

فرضیه‌ی زمین گلوله برفی وقتی مناطق استوایی یخ می‌زنند



سر داگلاس ماسون (۱۸۸۲-۱۹۵۸)

۱ / نگاه هلیکوپتری: داگلاس ماسون می‌دانست چگونه شواهد فعالیت یخبندان قبلی را در سنگ‌ها شناسایی کند. بنابراین وقتی او چنان مدرکی را در سنگ‌های باستانی جنوب استرالیا پیدا کرد، به‌طور طبیعی نتیجه گرفت که آن ناحیه باید زمانی در یخ پوشانده شده باشد. تنها یک مسئله با این ایده وجود داشت: مجاورت نسبی جنوب آفریقا به خط استوا. در دهه‌ی ۱۹۴۰ ماسون نشان داد که زمانی یک دوره‌ی انجماد چنان شدیدی وجود داشته که مناطق حاره را نیز تحت تأثیر قرار داده است.

همتایان ماسون ایده‌ی او را رد کردند مخصوصاً با شواهد فزاینده‌ای که از رانش قاره‌ها حمایت می‌کردند. این انتقاد به سادگی به ایده‌ی ماسون وارد بود که استرالیا زمانی که نزدیک قطب بوده این آثار را در خود ثبت کرده است.

اما در دهه‌ی ۱۹۶۰ و پس از مرگ ماسون، مطالعه‌ی تکتونیک صفحه‌ای مدارکی تعیین‌کننده به نفع دوره‌ی انجماد جهانی او ارائه کردند. زمین‌شناسان آغاز به استفاده از مواد معدنی مغناطیسی سنگ‌ها در زمان‌های مختلف کردند تا تعیین کنند که قاره‌ها در گذشته‌های دور در کجا بوده‌اند. سال ۱۹۶۴، برایان هارلند نشان داد که رسوبات دوره‌ی انجماد حدود ۶۵۰ میلیون سال قبل در نزدیکی‌های مناطق استوایی رخ داده است – هم سن با سنگ‌های استرالیایی ماسون.

هنوز معلوم نبود که چگونه یک انجماد سراسری می‌توانست اتفاق بیفتد – یا چگونه به پایان برسد – اما در سال ۱۹۹۲، جوزف کرشونیک، سازوکاری نشان داد و درباره‌ی نوع شواهد زمین‌شناختی که می‌توانست با شکل‌گیری و ذوب شدن یک «زمین گلوله برفی» – اصطلاح او برای انجماد جهانی – بجا بماند، پیشگویی‌هایی انجام داد. در سال ۱۹۹۸، طی یک مطالعه‌ی تأثیرگذار توسط پل هافمن و همکاران او، شواهد متعددی از پیش‌بینی‌های کرشونیک پیدا شد. اکنون زمین‌شناسان زیادی فرضیه‌ی زمین گلوله برفی را پذیرفته‌اند.



برخی زمین‌شناسان معتقدند که زمین گاهی می‌تواند به یک گلوله‌ی برفی غول‌آسا تبدیل شود.

⬅️ **۲/ میان‌بر:** کرشونیک نشان داد که برای تشکیل یک زمین گلوله برفی لازم است تمام قاره‌ها در نزدیکی خط استوا تجمع کنند. این باعث سرد شدن سیاره می‌شود چراکه زمین نسبتاً بی‌رنگ می‌شود و مقدار زیادی از انرژی خورشید را به فضا برمی‌گرداند. اما یک‌بار که زمین گلوله برفی شکل می‌گیرد، به گفته‌ی کرشونیک می‌تواند سبب نابودی خود شود. تکتونیک صفحه‌ای به کارکرد خود ادامه می‌دهد و این به معنای فوران دی اکسید کربن به اتمسفر توسط آتشفشان‌ها

خواهد بود. اما در زمین گلوله برفی، این دی اکسید کربن توسط ارگانیسم‌های فوتوسنتزکننده که بیشترشان با انجماد زمین از بین رفته‌اند، پاکسازی نمی‌شود. با بالا رفتن سطح دی اکسید کربن، یک اثر گلخانه‌ای نیرومند وارد عمل می‌شود و زمین گلوله برفی بار دیگر ذوب می‌شود.

 ۳ / اشاره: براساس فرضیه‌ی زمین گلوله برفی مجموعه‌ی نادری از شرایط طبیعی می‌تواند موجب یک سرمایش غیرعادی در مقیاس جهانی شود. در مدت این بازه‌های سرمایش، حتی مناطق حاره‌ای هم می‌توانند منجمد شوند.

نیز ← ۴۰. نظریه گسترش کف دریاها ۴۱. نظریه‌ی تکتونیک صفحه‌ای

فرضیه‌ی گایا

سیاره‌ای که برای (و توسط) حیات شکل گرفته است.



جیمز افریم لاولاک (متولد ۱۹۱۹)

۱ / نگاه هلیکوپتری: در سال ۱۹۶۵ جیمز لاولاک در حالی که در ناسا کار می‌کرد، این فرصت را داشت تا بعضی از نخستین داده‌ها را درباره‌ی ترکیب اتمسفر مریخ بررسی کند. نتیجه این مطالعه تفاوت واضحی را بین زمین و دو همسایه‌اش زهره و مریخ، آشکار کرد. در حالی که جو زمین حاوی تقریباً ۲۱ درصد اکسیژن و تنها ۰/۰۴ درصد دی اکسید کربن است، جو این دو سیاره غالباً از دی اکسید کربن ساخته شده است. به گمان لاولاک این نتایج، پرسشی را پیش می‌کشند: چرا جو زمین اینگونه متفاوت است؟

به بیان نظری، اکسیژن نباید در جو یک سیاره پایدار بماند: این گاز در اثر واکنش شیمیایی با گازهای دیگر از بین می‌رود.

لاولاک می‌دانست که دلیل فراوانی اکسیژن در جو زمین، تولید شدن پیوسته‌ی آن توسط موجودات زنده است: زیست کره‌ی زمین تأثیری به گستردگی سیاره روی جو آن داشته است. ناگهان او برای نخستین بار متوجه شد که عملاً این ارگانیسم‌های زنده هستند که ترکیب جو را تنظیم می‌کنند.

لاولاک هرچه بیشتر روی موضوع فکر می‌کرد، بیشتر مجاب می‌شد که حیات با نگاه داشتن جو در یک حالت نسبتاً پایدار که دال بر بقای ادامه‌دار حیات بر روی زمین است، سیاره‌ی ما را تحت تأثیر قرار می‌دهد. این ایده‌ای است که می‌تواند حداقل تا اواخر قرن ۱۸ به عقب برگردد: مثلاً **جیمز هاتن** متقاعد شده بود که بین فرایندهای زیستی‌شناختی و زمین‌شناختی ارتباطی بنیادین وجود دارد.

لاولاک در همان دهکده‌ی انگلیسی زندگی کرده بود که **ویلیام گولدینگ** داستان نویس می‌زیسته است، کسی که نام **فرضیه‌ی گایا** را برای ایده نشان داد. ایده‌ی لاولاک در دهه‌ی ۱۹۶۰ مورد مناقشه بوده و هنوز هم چنین است. به دلایلی، روشن شده است که بازه‌هایی در ماقبل تاریخ بوده‌اند که حیات به‌طور بی‌نظیری از حفظ شرایط زمین در حالتی پایدار برای ادمه‌ی خود باز مانده است. ایده‌ی لاولاک حتی فرضیه‌های مخالفی را نیز موجب شده است. با این وجود فرضیه‌ی گایا در بیرون از جامعه‌ی علمی محبوبیت خود را حفظ کرده است.



آیا حیات بر روی زمین با سیاره‌ی ما تکامل یافته است؟

④ **۲ / میان‌بر:** یکی از اسرار مهم که لاولاک از طریق فرضیه‌ی گایا از پس آن برآمد، «پارادوکس خورشید جوان بی‌رمق» بود. در اوایل تاریخ زمین، خورشید با شدت کمتری می‌سوخت اما زمین‌شناسی دوره‌های آغازین زمین نشان می‌دهد که بر سطح زمین آب جاری بوده است و این بدان معناست که دمای سطح سیاره با دمای امروزمین آن یکی بوده است. بسیاری از دانشمندان این پارادوکس را با این استدلال حل می‌کنند که جو اولیه‌ی زمین سرشار از گازهای گلخانه‌ای بوده است که می‌توانسته‌اند گرما را به دام اندازند. اما حیات، تمایل به مصرف این گازها دارد که می‌توانسته است آثار گلخانه‌ای را تضعیف و زمین را سرد کند. لاولاک نشان داد که حیات باید راهی برای تنظیم جو پیدا کرده باشد به طوری که بتواند دمای زمین را تثبیت کرده و آن را برای میلیاردها سال «مناسب زندگی» نگه دارد.

⑤ **۳ / اشاره:** فرضیه‌ی گایا استدلال می‌کند که حیات به همراه سیاره‌ی ما تکامل یافته است.
بر طبق نظر طرفداران این ایده، حیات، شرایط فیزیکی ایده‌آل زمین را برای سکونت، پایدار نگه داشته است.

نیز ← ۴۳. فرضیه‌ی زمین گلوله برفی ۴۵. فرضیه‌ی مدیا

فرضیه‌ی مدیا پادزهری برای گایا

✱ ۱ / نگاه هلیکوپتری: تا اوایل سال ۲۰۰۰، فرضیه‌ی گایا در برخی محافل تقریباً تا حد یک باور دینی ارتقا یافته بود. با اینکه دانشمندان به مباحثه در شایستگی‌های آن ادامه دادند، شاهدی از آغاز تردیدهای جدی در درستی ایده در حال شکل گرفتن بود. در سال ۲۰۰۹ پیتر وارد نظر داد که این شاهد، فقط لطمه‌ای ساده به فرضیه‌ی گایا نیست – بلکه در واقع نشان می‌دهد که زمین «ضد-گایایی» بوده است.

توانایی اولیه‌ی فرضیه‌ی گایا در این بود که به نظر می‌رسید پایدار ماندن شرایط زمین و قابل سکونت ماندن آن را برای میلیاردها سال توضیح می‌دهد. کشفیات چند دهه‌ی آخر قرن ۲۰ با این ایده سازگار بودند. برای مثال در دهه‌ی ۱۹۸۰ زمین‌شناسان شواهدی یافتند که انقراض مشهور سراسری که دایناسورهای عظیم الجثه را کشت، ممکن است با برخورد سیارک‌ها به راه افتاده باشد. این ایده با فرضیه‌ی گایا جور در می‌آمد چون پیشنهاد می‌کرد که انقراض‌های انبوه اساساً نتیجه‌ی کنش تصادفی خدا بودند – زمین (و گایا) به هیچ وجه مسئول آن‌ها نبودند.

اما در سپیده دم قرن ۲۱ عقاید در حال جابه‌جا شدن بودند. زمین‌شناسان این ایده را که انقراض‌های انبوه همیشه با سیارک‌ها شروع می‌شوند، رها کردند: اما آن‌ها مدرکی برای فرضیه نیافتند. دانشمندان این بحث را مطرح کردند که انقراض‌های انبوه معمولاً با رویدادهای خود زمین راه‌اندازی می‌شوند. این موضوع قویاً به وارد اشاره می‌کرد که حیات می‌تواند در راه‌اندازی فجایع بوم‌شناختی نقش داشته باشد. فرضیه‌ی گایا بر این ایده استوار است که گونه‌های زیستی به قابل سکونت ماندن زمین کمک می‌کنند. وارد عکس آن را مطرح کرد: گونه‌های زیستی می‌توانند در واقع زمین را ناپایدار و غیرقابل سکونت کنند و انقراض‌های بزرگ را موجب شوند. او این ایده را **فرضیه‌ی مدیا** نامید – مدیا اسطوره‌ای یونانی است که به خاطر کشتن بچه‌های خود مشهور است.



فرضیه‌ی مدیا می‌گوید حیات گاهی بر ضد خود عمل می‌کند.

۲ / میان‌بر: اکنون بسیاری از زمین‌شناسان بر این باورند که یک یا بیش از یک بار، زمین چنان سرد شد که سیاره به کلی یخ زد و احتمالاً موجب انقراض گونه‌ها شد. وارد اشاره می‌کند که هریک از زمین‌های گلوله برفی پیشنهاد شده، چند صد میلیون سال بعد از پیدایش اشکال جدید حیات فوتوسنتزی رخ داده‌اند که می‌توانسته‌اند دی اکسید کربن جو را به‌طور کارآمدی بیرون بکشند. دی اکسید کربن یک گاز گلخانه‌ای قدرتمند است: وقتی سطح آن در جو پایین می‌آید، سیاره سرد می‌شود و ورقه‌های یخ شکل می‌گیرند. به بیان دیگر، وارد استدلال می‌کند که حیات محیط را ناپایدار کرد و یک انقراض سراسری را راه انداخت.

۳ / اشاره: برطبق فرضیه‌ی مدیا، محو شدن گونه‌ها از روی زمین در اثر عملکرد ارگانیسم‌های دیگر، بسیار محتمل‌تر از نابودی آن‌ها توسط برخورد سیارک‌ها یا بلایای طبیعی دیگر است. به دیگر سخن خطر درونی است.

نیز ← ۳۶. نظریه‌ی کاتاستروفیسم / فاجعه گرایی ۴۳. فرضیه‌ی زمین گلوله برفی

مفهوم گونه‌ی سنگ سر طاق

همه‌ی گونه‌ها از نظر بوم‌شناختی یکسان نیستند



رابرت پاین (۱۹۳۳-۲۰۱۶)

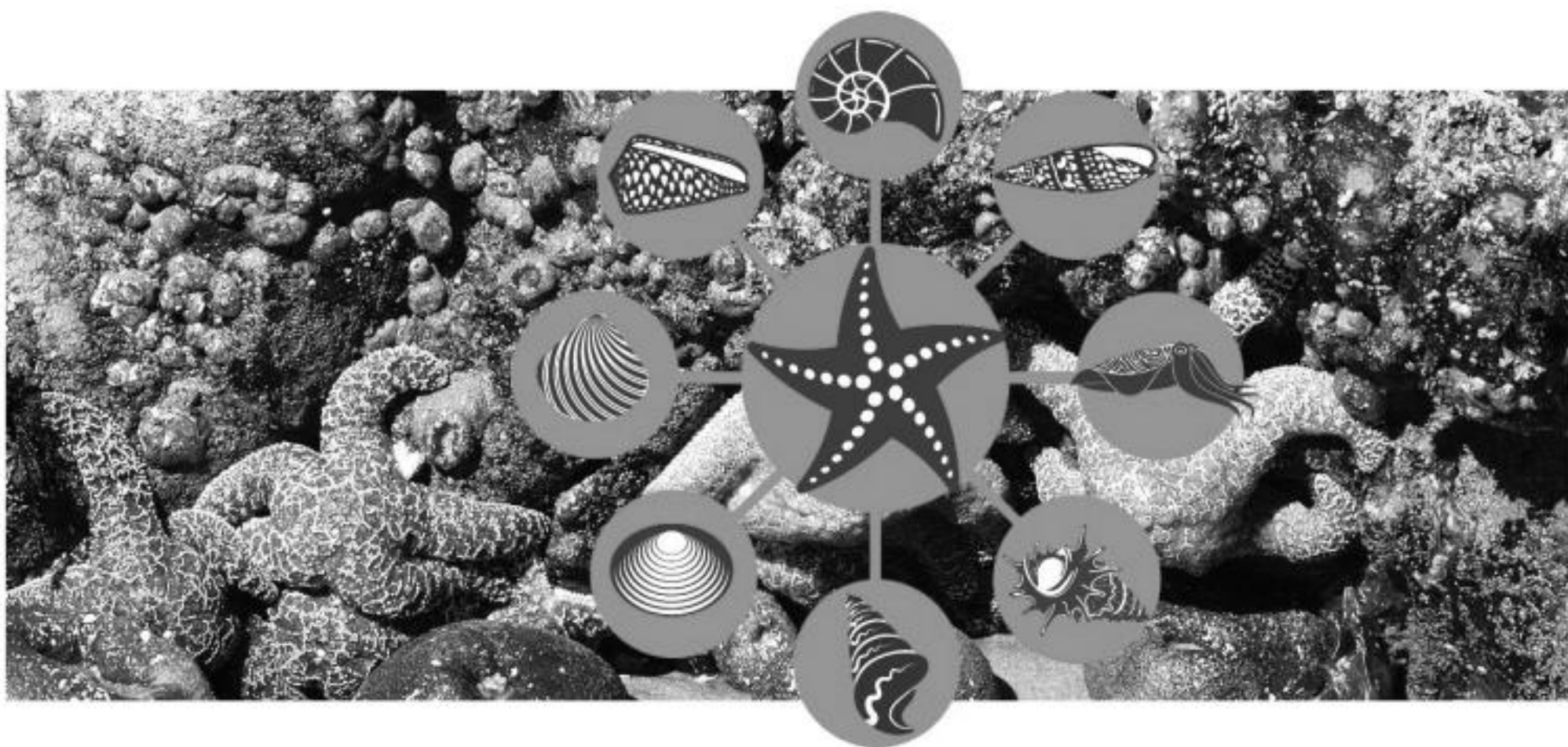
۱ / نگاه هلیکوپتری: بوم‌شناسانی که در دهه‌ی ۱۹۶۰ کار می‌کردند می‌دانستند که اکوسیستم‌های طبیعی می‌توانند به‌طور شگفت‌انگیزی پیچیده باشند: ده‌ها گونه‌ی مختلف می‌توانند به تمام روش‌های ممکن برهمکنش داشته باشند. فرض بر این بود که این پیچیدگی به پایداری ختم می‌شود. سال ۱۹۶۹، رابرت پاین این فرض را زیر سؤال برد. به گفته‌ی او حتی سیستم‌های پیچیده نیز می‌توانستند با حذف تنها یکی از گونه‌ها، دچار تغییرات شگرف شوند. دیدن اینکه چرا بوم‌شناسان اکوسیستم‌های پیچیده را پایدار فرض می‌کردند،

آسان است. زنجیره‌ی غذایی اکوسیستمی، شبکه‌ای تقریباً شبیه اینترنت است. اگر یکی از کابل‌های اینترنت خراب شود، اطلاعات می‌توانند راه دیگری برای انتقال از رایانه‌ی A به رایانه‌ی B پیدا کنند. به طریق مشابه، اگر گونه‌ای در یک اکوسیستم ناپدید شود، انرژی هنوز هم می‌تواند کم و بیش مانند قبل از طریق زنجیره‌ی غذایی منتقل شود. اکوسیستم به عنوان یک کل، نباید تغییر کند.

کار بوم‌شناختی پایین نشان داد که این نتیجه‌گیری ضرورتاً درست نیست. او دریافت که حذف گزینشی گونه‌ای خاص از یک جامعه‌ی بوم‌شناختی، چهره‌ی کلی اکوسیستم را تغییر می‌دهد. پایین به اهمیت این گونه‌ها پی برد و به آن‌ها نامی خاص داد: گونه‌های سنگ سرطاق.

در دهه‌های پس از انتشار ایده‌ی پایین، مفهوم گونه‌های سنگ سرطاق بسیار تأثیرگذار شده است. بسیاری از پروژه‌ها، مخصوصاً در اقدامات حفاظتی روی مواظبت از این گونه‌ها تمرکز می‌کنند چرا که طبق فرض، از دست رفتن آن‌ها می‌تواند به تغییرات فاجعه‌باری در بوم‌شناسی محلی منتهی شود.

اما اخیراً تعدادی از بوم‌شناسان مطرح می‌کنند که این مفهوم می‌تواند خیلی ساده لوحانه به کار گرفته شود. مثلاً گونه‌ای که در شرایط محیطی مختلف زیست می‌کند می‌تواند در جایی سنگ سرطاق باشد و در جای دیگر نه. علی‌رغم این اختلافات مختصر، مفهوم گونه‌های سنگ سرطاق همچنان پُر اهمیت باقی می‌ماند.



حذف ستاره‌ی دریایی اُخرایی از استخرهای سنگی و فروپاشی اکوسیستم.

۲ / میان‌بر: پایین بیشتر مطالعات بوم‌شناسی خود را در استخرهای سنگی جزر و مدی در ساحل غربی ایالات متحده انجام داد. او کشف کرد که گونه‌ای از ستاره‌ی دریایی – نوع اُخرایی – تأثیر بزرگی روی اکوسیستم دارد. هر

جا که ستاره‌ی دریایی حضور دارد، استخرهای سنگی زیستگاه تنوعی از نرم تنان صدف‌دار و گونه‌های دیگر است. پاین ستاره‌ی دریایی را از بعضی استخرها حذف و مشاهده کرد که در مدت کمی بیش از یک سال، اکوسیستم ناهمگون از هم فرو پاشید: گونه‌ای از صدف‌های دریایی بر اکوسیستم مسلط شد. شواهد محیطی، آثار شگرف بسیار کمتری را برای حذف گونه‌های صیاد دیگر نشان داد. ستاره‌ی دریایی اخراجی با خوردن صدف‌ها سعی در حفظ اکوسیستم ناهمگون می‌کند. این یک گونه‌ی سنگ سرطاق است.

 ۳ / اشاره: مفهوم گونه‌های سنگ سرطاق صریحاً پیشنهاد می‌کند که بعضی گونه‌ها اهمیت بوم‌شناختی بیشتری نسبت به بقیه دارند. انقراض هر گونه‌ای خبری ناگوار است — اما از دست رفتن گونه‌های سنگ سرطاق می‌تواند یک مصیبت باشد.

فرضیه‌ی پیدایش زیستی موجودات زنده از کجا می‌آیند؟



لویی پاستور (۱۸۲۲-۱۸۹۵)

۱ / نگاه هلیکوپتری: برای تقریباً ۲۰۰۰ سال، دانشمندان اروپایی تصور می‌کردند که درک قابل اطمینانی از اینکه ارگانیسم‌های جدید چگونه به وجود می‌آیند، دارند: آن‌ها به سادگی، به طور خود به خود از ماده غیرزنده پدیدار می‌شوند. تعجب‌آور است که این ایده تا ۱۵۰ سال پیش و تا چندین سال پس از انتشار کتاب درباره‌ی منشأ گونه‌های داروین، هنوز طرد نشده بود.

نظریه‌ی خلق الساعه می‌گفت حیات از غبار پدید می‌آید و ارگانیسم‌های پیچیده‌تر از ارگانیسم‌های ساده‌تر به وجود می‌آیند. برای نمونه **یان بابتیست وان**

هلمونت در قرن ۱۷ متقاعد شده بود که موش می‌تواند از واکنشی بین پیراهن‌های کثیف و دانه‌های گندم رشد کند.

فرانسیسکو ردی با انجام یکی از نخستین آزمایش‌هایی که پیدایش خود به خودی حیات را به چالش می‌کشید، اعتبار یافت: او دریافت که اگر گوشت در ظرفی که برای مگس‌ها غیرقابل دسترس است نگه داری شود، خود به خود کرم نمی‌زند. اما با وجود چنان آزمایش‌های مجاب‌کننده‌ای عده‌ای تا لحظه‌ی آخر و حتی تا قرن ۱۹ به نظریه‌ی خلق الساعه چسبیده بودند. در دهه‌ی ۱۸۶۰ دانشمند تأثیرگذار، لویی پاستور نتایج آزمایش‌های خود را که بر نظریه‌ی خلق الساعه، بی‌هیچ شک و تردیدی، خط بطلان می‌کشید، منتشر کرد. کار پاستور به بنا نهادن فرضیه‌ی پیدایش زیستی کمک کرد. این ایده – که اکنون به‌طور گسترده‌ای پذیرفته شده است – به‌طور ساده نشان می‌دهد که حیات از حیات برمی‌خیزد (اما، فرضیه‌ی همه‌گشی / پان اسپرمیا را ببینید). فرضیه‌ی پیدایش زیستی نقطه‌ی عطف مهمی در تاریخ علم بود و به دلیل پیامدهایی که داشت، در تاریخ پزشکی هم ایده‌ای محوری به شمار می‌رفت.



آزمایش‌های پاستور بسیاری را متقاعد کرد که ارگانیسم‌هایی مانند کرم‌های حشرات خود به خود به وجود نمی‌آیند.

⌂ ۲ / میان‌بر: پاستور نخستین کسی نبود که نشان داد حیات خود بخود به وجود نمی‌آید، اما شهرت علمی شگفت‌انگیز او – و ماهیت مجاب‌کننده‌ی آزمایش‌های او – به تحقیقات او اهمیت می‌بخشد. او نشان داد که غذا، اگر در محفظه‌ای که از هوای محیط اطراف آن درزبندی شده است گرما داده شود، فاسد نخواهد شد. اگر به هوا اجازه‌ی ورود به محفظه داده شود در مدت چند روز غذا

فاسد خواهد شد. این نتیجه نشان می‌دهد که میکروب‌های مسئول گندیدگی باید از طریق هوا حمل شوند. آن‌ها در اثر تخریب شیمیایی گوشت، خود به خود سر از هستی در نمی‌آورند.

۳ / اشاره: فرضیه‌ی پیدایش زیستی نشان می‌دهد که حیات، حیات را ایجاد می‌کند.

به بیان دیگر، تمام موجودات زنده روی زمین از موجودات زنده‌ی دیگر به وجود آمده‌اند.

نیز ← ۴۸. نظریه‌ی میکروبی بیماری‌ها

نظریه‌ی میکروبی بیماری‌ها توضیح بیماری‌های واگیردار



روبرت کخ (۱۸۴۳-۱۹۱۰)

۱ /  **نگاه هلیکوپتری:** در دهه‌ی ۱۸۵۰ شیوع وبا در مرکز لندن تقریباً امری عادی بود. جان اسنو متوجه شد که منشأ نوع خاصی از شیوع، یک پمپ آب عمومی است. در اوج تحقیقات او مسئولین محلی دسته‌ی پمپ آب را برداشتند. انتشار بیماری متوقف شد. این بازگشت شاهده‌ی از انقلاب نیمه‌ی قرن نوزدهمی بود که به درک بیماری‌های مشترک منجر شد.

برای قرن‌ها پزشکان اروپایی تصور می‌کردند (همانطور یونانیان باستان گفته‌اند) که بیماری‌های مشترک زیادی با هوای سمی غیرارگانیک – بخار بد بو – شایع

می‌شوند. در دهه‌ی ۱۵۴۰، گیرولامو فراکاستورو، ایده‌ی جایگزینی را مطرح کرد: بیماری می‌تواند به شکل دانه‌هایی که توسط هوا جابه‌جا می‌شود، وارد شود یا از طریق تماس از کسی به کس منتقل گردد، اما فراکاستورو راهی برای تعیین شکل این دانه‌های فرضی و اساساً نامرئی نداشت.

هرچند دیگران هم به توسعه‌ی ایده‌ی فراکاستورو ادامه دادند اما این ایده برای قرن‌ها مورد بی‌اعتنایی قرار گرفت، حتی پس از کشف باکتری در دهه‌ی ۱۶۷۰. اما در قرن ۱۹ همه‌چیز عوض شد.

لویی پاستور به بحث علمی درباره‌ی پوسیدگی و تعفن علاقمند شد. خیلی‌ها به خلق الساعه اعتقاد داشتند – این ایده که میکروب‌های مسئول پوسیدگی، از غبار غیرزنده پا به هستی می‌گذارند. در دهه‌ی ۱۸۶۰ پاستور نشان داد که این ایده غلط است. پاستور متقاعد شد که میکروب‌های مسئول تعفن باید توسط هوا جابه‌جا شوند – ایده‌ای که در رابطه‌ی بین میکروب‌ها و دانه‌های بیماری زای فراکاستورو مطرح شده بود.

با این حال، شواهد قوی برای یک ارتباط مستقیم بین باکتری‌ها (میکروب‌ها) و بیماری‌های مسری باید چند سال دیگر منتظر می‌ماندند. روبرت کخ نخستین کسی بود که چنین ارتباطی را در سال ۱۸۷۶ از طریق مطالعاتش روی سیاه زخم به‌طور واقعی نمایش داد. نظریه‌ی میکروبی بیماری‌ها در مسیر مقبولیت قرار داشت.



کار کخ مدرک مستقیمی را از ارتباط بیماری‌ها با باکتری‌ها فراهم کرد.

۲ / میان‌بر: شواهد فرعی زیادی به نفع نظریه‌ی میکروبی بیماری‌ها وجود داشت، اما کخ اولین مدرک مستقیم را به دست آورد. او در ناحیه‌ای زندگی می‌کرد که سیاه زخم شایع بود. او با بررسی دقیق میکروسکوپی، دریافت که حیوانات مبتلا شده، حامل ساختارهای میله‌ای شکلی در خون خود هستند که حیوانات سالم آن را ندارند. او نشان داد که این ساختارها باکتری هستند و متوجه شد که وقتی خون آلوده به این باکتری به حیوانات سالم تزریق می‌شود، آن‌ها بلافاصله دچار بیماری می‌شوند، که اشاره به رابطه‌ی مستقیمی بین باکتری و بیماری داشت.

۳ / اشاره: برای دانشمندان شکاک، قرن‌ها طول کشید تا نظریه‌ی میکروبی بیماری‌ها را بپذیرند.
اما امروزه ما این ایده را که بیماری‌های واگیردار اغلب با میکروب‌ها منتقل می‌شوند، بدیهی فرض می‌کنیم.

نیز ← ۴۷. فرضیه‌ی پیدایش زیستی

اثر پلاسبو (دارونما)

یک راز پزشکی



جان هایگارت (۱۷۴۰-۱۸۲۷)

✱ **۱/ نگاه هلیکوپتری:** در آغاز قرن ۱۹ عده‌ای متقاعد شده بودند که میله‌های فلزی – مشهور به کَشَنده‌های پرکینز – می‌توانند تمام انواع بیماری‌ها را تسکین دهند. تنها کافی بود بیماران میله را روی بدن خود قرار دهند تا به زودی احساس خوبی داشته باشند. **جان های گارت** مجاب نشد: در سال ۱۸۰۱ او چند کَشَنده پرکینز قلبی از چوب طراحی کرد تا پنج بیمار را با آن‌ها درمان کند. چهار نفر از آنان بعد از درمان حال بهتری داشتند.

آزمایش هایگارت ممکن است نخستین مطالعه‌ی صوری اثر پلاسبو در تاریخ

پزشکی بوده باشد. او بحث کرد که امید بیمار به درمان شدن چقدر می‌تواند اهمیت داشته باشد. با این وجود، جزم‌اندیشی غالب قرن ۱۹ این بود که پلاسبوها نوعی دغلکاری هستند. شرایط بیماران می‌تواند پس از دریافت پلاسبو بهبود یابد اما دلیل آن به‌طور ساده این است که آن‌ها حتی پیش از شروع «درمان» در مسیر بهبودی بوده‌اند.

در واقع تنها در دهه‌ی ۱۹۳۰ بود که دانشمندان حدس زدند باید چیز بیشتری در کار باشد. در حین امتحان یک واکسن برای سرماخوردگی معمولی، هارولد دایل و همکاران او دریافتند که پاسخ‌دهی کسانی که دارونما دریافت کرده بودند بهتر از آن‌هایی بود که آن را دریافت نکرده بودند. تا دهه‌ی ۱۹۵۰، اثر دارونما به پدیده‌ای مورد قبول تبدیل شده بود.

از آنجا که اثر دارونما به طریقه‌های متفاوتی رخ می‌دهد – حتی دارونماهای جراحی هم وجود دارند – بسیاری از محققان پزشکی تصور می‌کنند که باید اثرهای دارونمای متنوعی وجود داشته باشند که هرکدام در مسیر متمایزی عمل می‌کنند. برای مثال ممکن است در مواردی اثر دارونما یک واکنش آموخته شده باشد: تجربه به مردم می‌آموزد که یک درمان مؤثر است و بدن آن‌ها نیز طبق آن پاسخ می‌دهد. دیگران از جمله نیکولاس همفری، بر این باورند که اثر دارونما رازی است که فقط در یک متن تکاملی معنا می‌یابد. یک جواب کامل به معمای دارونما به گریز از علم ادامه می‌دهد.



علی‌رغم دو‌یست سال مطالعه، دانشمندان هنوز اثر دارونما را به درستی درک نکرده‌اند.

⦿ ۲ / میان‌بر: همفری در سال ۲۰۰۲ بحث کرد که اثر دارونما می‌تواند در متن تکامل درک شود. سیستم‌های موجود در بدن ما که مسئول سلامتی ما هستند طوری تکامل یافته‌اند که بر ضد بیماری‌ها مبارزه کنند یا قسمت آسیب دیده را در اولین فرصت، التیام دهند. برای مثال، حیوانی که در حین فرار از چنگال یک شیر، میچ پایش پیچ می‌خورد، درد را فراموش کرده و به دویدن ادامه می‌دهد. یک دارونما می‌تواند این محاسبه را تغییر دهد: بدن فکر می‌کند که درمان قلبی، واقعی است و بیماری را تخفیف می‌دهد. سیستم سلامتی بدن به‌خودی خود می‌تواند برای استفاده از مزیت ضعف احساس شده، وارد عمل شود.

⦿ ۳ / اشاره: اثر دارونما شهرت جهانی دارد، متداول است، به خوبی مورد مطالعه قرار گرفته است و...
اما اینکه دقیقاً چرا وجود دارد، هنوز یک معمای علمی است.

نیز ← ۱. نظریه‌ی تکامل توسط انتخاب طبیعی

مفهوم مقاومت آنتی بیوتیکی

یک مسئله‌ی پیش‌بینی‌شده

✱ ۱ / نگاه هلیکوپتری: در ۲۸ سپتامبر سال ۱۹۲۸ الکساندر فلمینگ از خواب بیدار شد – همانطور که بعدها نوشت – و انقلابی در پزشکی به پا کرد. به عنوان نتیجه‌ای از یک خطا، یکی از کشت‌های باکتریایی که او در آزمایشگاه خود رشد می‌داد به نوعی قارچ آلوده شده بود. باکتری‌هایی که در مجاورت قارچ بودند بلافاصله از بین رفتند. فلمینگ متوجه شد که قارچ (با نام پنسیلیوم) باید ماده‌ای شیمیایی با قدرت کشتن باکتری تولید کرده باشد. چندین سال بعد دانشمندان نحوه‌ی استخراج و تولید انبوه این ماده‌ی شیمیایی را یاد گرفتند. پنی سیلین آغازگر دوران آنتی بیوتیک شد.

اما حتی در اوایل این دوره در دهه‌ی ۱۹۴۰ نیز، فلمینگ متوجه بود که باکتری‌ها می‌توانند به حالت مقاوم نسبت به آنتی بیوتیک تکامل یابند. او حق داشت که نگران باشد. امروزه **مقاومت آنتی بیوتیک** یکی از فوری‌ترین تهدیدات در علم پزشکی است. هشدار فلمینگ عمده‌تاً با استفاده‌ی بی‌جا از آنتی بیوتیک ارتباط داشت. برای مثال اگر باکتری‌ها به‌طور منظم در معرض دُزهای غیرکشنده از آنتی بیوتیک‌های معمولی قرار گیرند می‌توانند نسخه‌های جدیدی از ژن‌ها را توسعه دهند که آن‌ها را در برابر داروها مقاوم کند.

متأسفانه این استفاده‌ی غلط در نیمه‌ی دوم قرن ۲۰ معمول شد. مابین بسیاری از مسائل، مردم از آنتی بیوتیک‌ها برای بیماری‌های ویروسی استفاده می‌کنند که از نظر زیست‌شناسی با باکتری‌ها بسیار متفاوتند و به درمان آنتی بیوتیکی جواب نمی‌دهند. این مشکل به دلیل وجود عامل دیگری تشدید شد. تقریباً در همان زمان که فلمینگ درباره‌ی مقاومت آنتی بیوتیکی هشدار می‌داد دانشمندان در حال پی بردن به این حقیقت بودند که باکتری‌ها توانایی خاصی در معاوضه‌ی ژن‌ها با دیگر میکروب‌ها دارند (انتقال افقی ژن را ببینید) امروزه محققان دریافته‌اند که این فرایند به ژن‌های مقاوم به دارو این امکان را می‌دهد تا سریعاً از طریق جمعیت‌های میکروبی انتشار یابند.



کار فلمینگ روی پنی‌سیلوم، انقلاب
آنتی‌بیوتیک را به راه انداخت.



الکساندر فلمینگ (۱۸۸۱-۱۹۵۵)

⌂ / ۲ میان‌بر: باکتری‌ها با فشارهای بی‌شماری در محیط اطراف خود روبرو هستند و به‌طور دائم سازوکارهایی را برای دور زدن مشکلات و اصلاح شرایط بقای خود ابداع می‌کنند. آنتی‌بیوتیک‌ها نیز فشار دیگری هستند. اگر داروها برای مدت زیادی به مقادیر کم وجود داشته باشند، مقاوم شدن تعدادی از باکتری‌ها در جمعیت آن‌ها و انتشار این مقاومت کمابیش اجتناب‌ناپذیر خواهد بود. آنتی‌بیوتیک، صرف‌نظر از میزان مؤثر بودن آن، اگر مورد سوءمصرف قرار گیرد، باکتری‌ها فرصتی برای یافتن روش‌های خنثی‌سازی اثر آن پیدا خواهند کرد.

⌂ / ۳ اشاره: سوءمصرف داروها، مقاومت آنتی‌بیوتیکی را به یکی از بزرگترین چالش‌های پزشکی دنیای کنونی تبدیل کرده است. اما تراژدی واقعی این جاست که دانشمندان، مسئله را در نخستین روزهای عصر آنتی‌بیوتیک پیش‌بینی کرده بودند.

نیز ← ۱. نظریه‌ی تکامل توسط انتخاب طبیعی

آموزه‌ی نورون

سپیده‌دم علوم اعصاب مدرن



سانتیاگو رامون وای کاخال (۱۸۵۲-۱۹۳۴)

✱ / **نگاه هلیکوپتری:** در سال ۱۹۰۶، سانتیاگو رامون وای کاخال و کامیلو گُلگی با اینکه درباره‌ی چیزی که یافته بودند با هم اختلاف نظر شدید داشتند، به خاطر کارشان روی ساختار سیستم عصبی، به‌طور مشترک برنده‌ی جایزه‌ی نوبل پزشکی شدند.

قرن‌ها تصور دانشمندان بر این بود که سیستم عصبی از طریق حرکت سیالات و خیلی شبیه به سیستم گردش خون عمل می‌کند. این ایده‌های «مغز هیدرولیکی» از مد افتادند مخصوصاً پس از آنکه **لوئیجی گالوانی** در قرن ۱۸ نشان داد که اعصاب

و ماهیچه‌ها با سیگنال‌های الکتریکی – و نه مایع – کنترل می‌شوند. اما اینکه این علائم الکتریکی چگونه در بدن سیر می‌کنند، هنوز یک راز بود.

در دهه‌ی ۱۸۳۰ با پیشرفت میکروسکوپ‌ها رفته رفته معلوم شد که بافت‌های زنده همیشه از سلول‌ها ساخته شده‌اند. **ماتیاس شلایدن و تئودور شوان** در توسعه‌ی این نظریه‌ی سلولی کارساز شدند اما هنوز به نظر می‌آمد که سیستم عصبی ممکن است یک استثنای عجیب غیر-سلولی بر این قاعده باشد.

گلگی از آن اطمینان داشت. او در سال ۱۸۷۰ روش جدیدی را برای «رنگ زدن» یک بافت عصبی در یک نمونه‌ی زیستی پیدا کرد به‌طوری که به وضوح در زیر میکروسکوپ قابل مشاهده باشد. کار او نشان داد که سیستم عصبی، شبکه‌ی پیچیده‌ای از رشته‌های شاخه مانند را شکل می‌دهد که در یک بافت زیستی پخش شده‌اند – اما متقاعد شد که این رشته‌ها در یک شبکه‌ی واحد به نام «رتیکولوم» در هم می‌آمیزند. او فکر کرد که کل سیستم عصبی، از مغز به پایین، باید یک شبکه‌ی پیوسته و واحد تشکیل دهند. این ایده به **نظریه‌ی رتیکولی** معروف شد.

رامون وای کاخال مطالعات خود را روی سیستم عصبی در دهه‌ی ۱۸۸۰ آغاز کرد. به نظر او مشاهدات انجام شده به وضوح نشان می‌دادند که سیستم عصبی از سلول‌های منفردی (که بعدها نورون نام گرفت) تشکیل یافته که در هم نیامیخته‌اند. کار او در توسعه‌ی آموزه‌ی نورون که بعداً مقبولیت عام یافت، تأثیر بسزایی داشت. علوم اعصاب وارد مرحله‌ی نوین خود شد.



سیستم عصبی از سلول‌های متمایزی ساخته شده که در نقطه‌ی اتصال – سیناپس‌ها – با هم ارتباط برقرار می‌کنند.

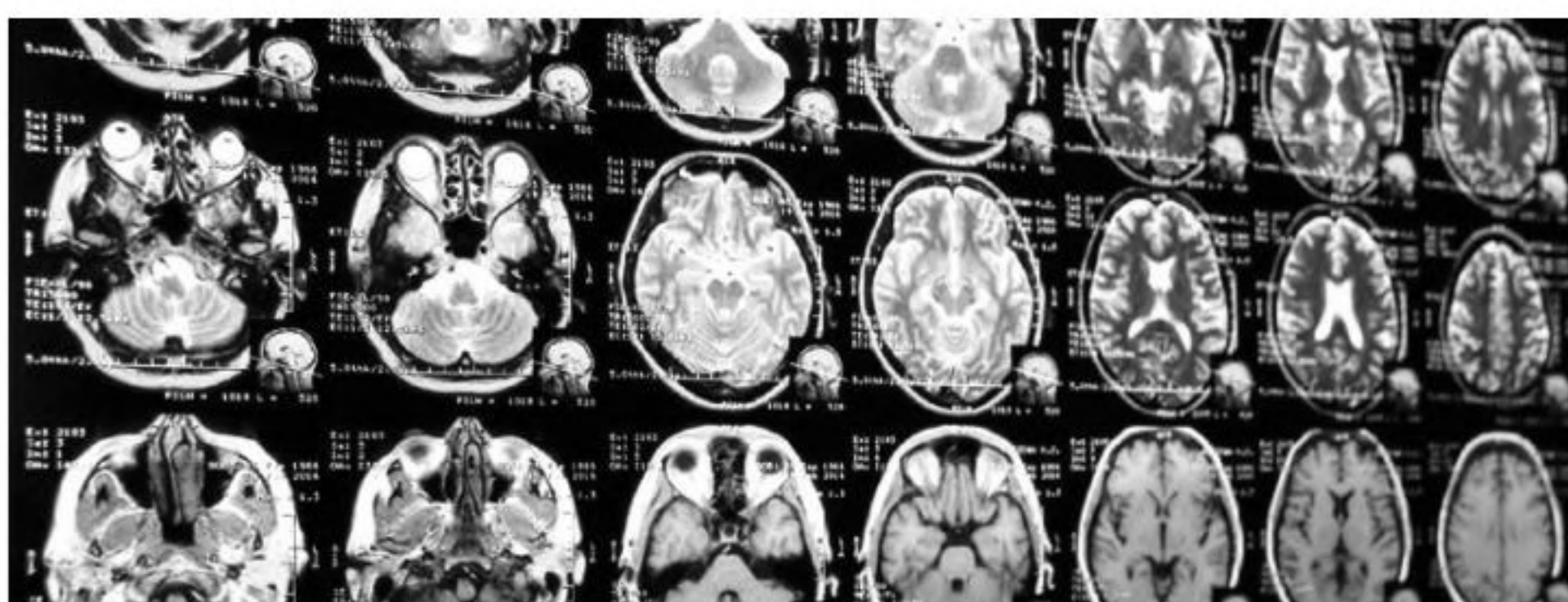
۲/ میان‌بر: شناسایی سلول‌های منفرد عصبی – نورون‌ها – برای دانشمندان زمان زیادی به‌طول انجامید بخشی به این دلیل که ساختار بسیار پیچیده‌ای دارند و بخشی دیگر به دلیل پیدا کردن روش مؤثری برای رنگ‌آمیزی سلول‌های عصبی و دیدن کل آن در زیر میکروسکوپ دشوار بود. رامون کاخال روش رنگ‌آمیزی گلگی را بهبود بخشید به طوری جزئیات ظریف بافت عصبی برای نخستین‌بار قابل مشاهده شد – جزئیاتی که به تأیید نورون‌ها به عنوان واحدهای گسسته کمک کرد.

۳/ اشاره: آموزه‌ی نورون می‌گوید که سیستم عصبی از نورون‌های منفرد با ساختار پیچیده ساخته شده‌اند.
این آموزه، در دست یافتن به درکی درست از عملکرد سیستم عصبی مؤثر بود.

نیز ← ۵۲. فرضیه‌ی آبشار آمیلوئید

۵۲

فرضیه‌ی آبخار آمیلوئید درک بیماری آلزایمر



آلویز آلزایمر (۱۸۶۴-۱۹۱۵)

۱ / نگاه هلیکوپتری: در سال ۱۹۰۱ آلویز آلزایمر شروع به مطالعه‌ی  اگوست دیتز، بیماری در فرانکفورت اسیلوم کرد، کسی که با حافظه‌ی کوتاه مدت خود مشکل داشت. دیتز چند سال بعد در سن ۵۵ سالگی فوت کرد و آلزایمر، مغز او را مورد آزمایش قرار داد. او کلافه‌های (گوریدگی‌های) پروتئینی عجیبی را در اطراف سلول‌های مغزی دیتز پیدا کرد. در سال ۱۹۱۰، امیل کریپلین همکار آلزایمر، نشان داد که بیمار با عاملی که قبلاً هرگز دیده نشده، فوت کرده است. او نام این بیماری را به افتخار دوستش، آلزایمر گذاشت.

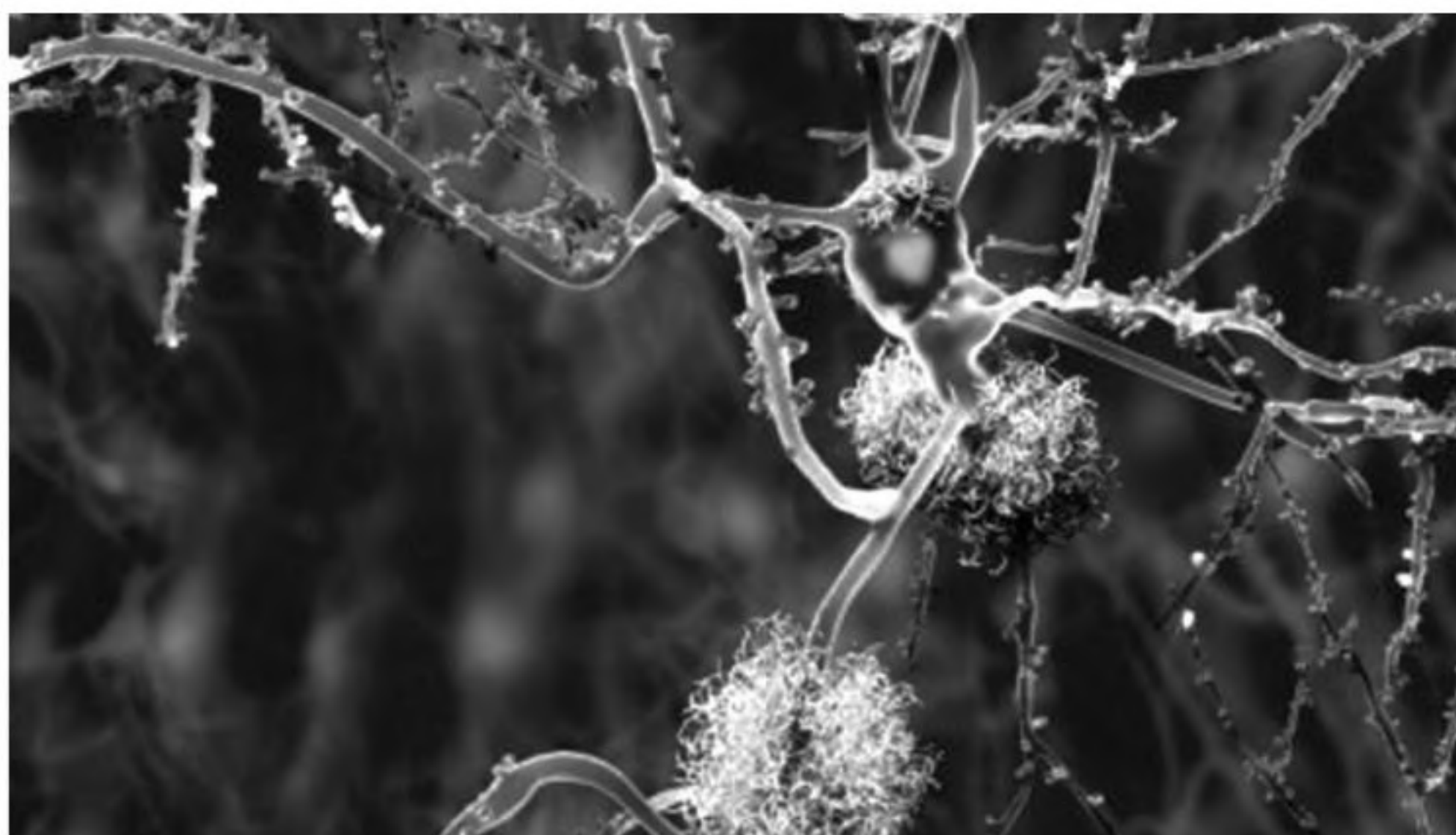
از آن زمان به بعد متخصصین علوم اعصاب، بحث درباره‌ی ماهیت و علت بیماری آلزایمر را ادامه داده‌اند. تصور کلی بر این است که این بیماری رایج‌ترین نوع زوال عقل و همراه با چند خصیصه است. دو شکل متمایز از ساختارهای پروتئینی – پلاک‌های آمیلوئید و کلافه‌های نوروفیبریلری – اطراف سلول‌های مغزی اکثر کسانی را که با این بیماری می‌میرند، فرا می‌گیرد. آیا هردوی آن‌ها دلیل مستقیم بیماری اند؟ یا یکی (یا هر دو) از آن‌ها اثری است که با پیشرفت بیماری پدیدار می‌شود؟

در اوایل دهه‌ی ۱۹۹۰، **جان هاردی و جرالد هیگینز** استدلال کردند که این پلاک‌های آمیلوئید هستند که بیماری را راه می‌اندازند. آن‌ها به چند تجربه‌ی آزمایشگاهی اشاره کردند که نشان می‌داد پلاک‌ها، یا برای سلول‌های مغزی سمی اند یا حساسیت این سلول‌ها را به آثار دیگر سموم افزایش می‌دهند. هاردی و هیگینز نشان دادند که جنبه‌های دیگر بیماری، تنها پس از آغاز شکل گرفتن پلاک‌های آمیلوئید، نمایان می‌شوند.

هرچند انتقاداتی به این ایده وجود داشت (و هنوز هم وجود دارد)، **فرضیه‌ی آبشار آمیلوئید** به توضیحی پیش‌تاز از بیماری آلزایمر تبدیل شده است. این توضیح به توسعه‌ی درمان‌هایی برای کاهش سرعت تولید پلاک‌های آمیلوئید منجر شده است. به نظر می‌رسد بعضی از درمان‌ها حتی به بهبود حافظه‌ی بیماران نیز کمک کرده است.

۲ / میان‌بر: یک عامل کلیدی در توسعه‌ی فرضیه‌ی آبشار آمیلوئید این  مشاهده بود که آلزایمر به‌طور اخص در افرادی با سندرم داون مشترک است. کسانی که دارای این مشکل هستند، به‌جای دو کپی استاندارد از کروموزوم ۲۱، سه کپی دارند، به این معنا که از هر ژنی روی آن کروموزوم یک کپی اضافه دارند. این، شامل یک کپی اضافه از ژنی است که نهایتاً مسئول تولید پلاک‌های آمیلوئید است. سلول‌های افرادی که سندرم داون دارند می‌توانند به‌خودی خود، مقادیر زیادی از

پلاک‌های آمیلوئید را داشته باشند که توضیح می‌دهد چرا آن‌ها به‌طور خاص دچار بیماری آلزایمر می‌شوند.



بیماری آلزایمر با آرایه‌ی سردرگم‌کننده‌ای از نشانه‌ها همراه است.

➡ ۳ / اشاره: فرضیه‌ی آبشار آمیلوئید کوششی برای تشخیص درست در میان مجموعه‌ای از نشانه‌های گیج‌کننده‌ی بیماری آلزایمر است. هدف، شناسایی یک عامل مسبب واحد بود که می‌توانست راهنمایی برای درمان نیز باشد.

نیز ← ۱۷. نظریه‌ی کروموزومی توارث

حد هیفلیک

چرا فناپذیری در سطح سلولی آغاز می‌شود

✱ ۱ / نگاه هلیکوپتری: انسان‌ها فناپذیرند، اما در اوایل قرن ۲۰ بسیاری از دانشمندان مجاب شده بودند که سلول‌های منفرد چنین نیستند. در سال ۱۹۱۲، الکسیس کارل، سلول‌های قلب یک جوجه‌ی جنینی را خارج و آن‌ها را در آزمایشگاه رشد داد. او ادعا کرد که کشت‌های سلولی نمی‌میرند. تا سال ۱۹۴۶ – پس از مرگ کارل – آزمایش سلول‌های فناپذیر متوقف نشده بود. سلول‌ها به سادگی کنار گذاشته شدند.

چند سال بعد، لئونارد هیفلیک حدس زد که ادعای فناپذیری کارل باید مشکل داشته باشد. او به عنوان بخشی از کار خود، سلول‌ها را کشت کرد اما رشد و تکثیر کل سلول‌ها به سرعت متوقف شد. در سال ۱۹۶۱، هیفلیک و همکار او پل مورهد، نشان دادند که سلول‌های یک انسان سالم بیش از ۴۰ تا ۶۰ بار تقسیم نخواهند شد – شاخصی که به حد هیفلیک در تقسیم سلولی معروف شد.

در سال ۱۹۷۰ به تدریج روشن شد که چرا حد هیفلیک وجود دارد. وقتی سلول‌ها تقسیم می‌شوند، آن‌ها DNA را در ژنوم خود تکرار می‌کنند. اما مولکولی که رشته‌ی DNA را می‌سازد، نمی‌تواند وظیفه‌ی خود را به‌طور کامل انجام دهد. این مولکول تاحدی مثل گیره‌ی یک زیپ عمل می‌کند: دو رشته‌ی مولکول DNA را در دنباله‌ی خود به هم پیوند می‌دهد، اما بخش پایانی رشته‌ی DNA در زیر خود مولکول قرار دارد و به هم وصل نمی‌شود. به تعبیر الکسی اولوونیکف این بدان معناست که رشته‌ی DNA با هر تکرار اندکی کوتاه‌تر می‌شود.

در دهه‌ی ۱۹۸۰، الیزابت بلکبرن و کارول گرایدر آنزیم خاصی کشف کرده بودند – تلومراز – که به بازسازی انتهای کوتاه شده‌ی رشته‌های DNA کمک می‌کرد. مطالعه‌ی سال ۱۹۹۸ آندریا بودنار و همکارش معلوم کرد که سلول‌های انسان در صورتی که برای تولید تلومراز مهندسی شوند، می‌توانند بیشتر از حد هیفلیک زنده بمانند. با این وجود تعداد کمی از دانشمندان، تلومراز را چون جادوی «اکسیر جوانی» می‌دانند.



الکسیس کارل (۱۸۷۳-۱۹۴۴)



بیشتر سلول‌ها تقسیم و تکرار می‌شوند اما نه به‌طور نامحدود.

④ ۲ / میان‌بر: هیفلیک و مورهد مطمئن بودند که کشت‌های سلولی برای همیشه باز تولید نمی‌شوند، اما این امکان وجود داشت که کشت‌های مورد مطالعه‌ی آن‌ها به دلیل مشکلی در فنون آزمایشگاهی آن‌ها مرده باشند. برای حل مسئله آن‌ها دو نوع سلول انتخاب کردند، یک جمعیت پیر که بارها تقسیم شده بودند و یک جمعیت جوان که فقط چندبار تقسیم شده بودند و از هرکدام چند سلول برای ایجاد جمعیت آمیخته ترکیب کردند. آن‌ها دو جمعیت اولیه را زیر نظر گرفتند، و وقتی جمعیت «پیر» مُرد، هیفلیک و مورهد به جمعیت آمیخته نگاه کردند.

سلول‌های پیر اینجا نیز مرده بودند اما سلول‌های جوان هنوز سالم بودند و رشد می‌کردند. آزمایشگاه آن‌ها مشکل فنی نداشت – کشت‌های سلولی پس از چندی رشد، همگی می‌مردند.

 ۳ / اشاره: حد هیفلیک یک محدودیت بنیادین روی قابلیت تقسیم جمعیت‌های سلولی انسانی معمولی قرار می‌دهد. اما به نظر می‌رسد که چند سلول از جمله تعدادی از سلول‌های سرطانی راهی برای اجتناب از این حد پیدا کرده‌اند.

نیز ← ۱۹. مدل مارپیچ دو گانه ۵۴. فرضیه‌ی سلول بنیادی سرطان

فرضیه‌ی سلول بنیادی سرطان

آیا بعضی سلول‌های سرطانی خطرناک‌ترند؟

✱ ۱/ نگاه هلیکوپتری: در دهه‌ی ۱۹۵۰، چستر ساتم و الکساندر برانشویگ آزمایش‌هایی انجام دادند که با استانداردهای مدرن، از نظر اخلاقی مورد سوء ظن بودند. آن‌ها سلول‌های سرطانی را از انسان‌های مبتلا گرفته و در جای دیگری از بدن آنان (ران یا بازو) کاشتند تا ببینند که بافت سالم، چقدر ساده یک رشد سرطانی جدید را تجربه خواهد کرد.

ثابت شد که رشد دادن یک تومور جدید به طرز عجیبی دشوار است: تنها با تزریق یک میلیون سلول یا بیشتر، این شانس وجود داشت که توموری رشد کند. پرسش بدون پاسخ این بود: چرا؟

تا دهه‌ی ۱۹۹۰ دو نظریه برای توضیح این نتایج وجود داشت. شاید هر سلول سرطانی بتواند یک تومور جدید را رشد دهد اما شانس موفقیت بسیار پایین است – **نظریه‌ی تصادفی** (استوکاستیکی). یا اینکه زیر مجموعه‌ای از سلول‌های سرطانی نادر وجود دارند که به تنهایی قادر به رشد دادن تومور جدید هستند – **نظریه‌ی سلسله مراتبی** (هایرارکی).

در سال ۱۹۹۴، جان دیک مطلبی را منتشر کرد که به زعم او، مدرک محکمی به نفع نظریه‌ی سلسله مراتبی بود. آزمایش با موش‌ها نشان داد که لوکامیا در حیوانات، تنها می‌تواند با زیرمجموعه‌ی نادری از سلول‌های سرطانی برانگیخته شود: چیزی که سلول‌های بنیادی سرطان نامیده شد.

کار دیک از سوی چندین دانشمند رد شد، کسانی که می‌گفتند یافتن چیزی که تنها در یکی از اشکال لوکامیا مانند یک سلول سرطانی عمل می‌کند برای اثبات درستی نظریه‌ی سلسله مراتبی کافی نیست. اما چند سال بعد دیک و همکاران او شواهد بیشتری از سلول‌های بنیادی سرطان در انواع مختلفی از لوکامیا گزارش کردند. تا سال ۲۰۰۴، شواهد سلول‌های بنیادی سرطان در تومورهای رایج‌تر «سفت» آشکار شدند: مایکل کلارک و همکاران او، آن‌ها را در تومورهای سرطان پستان یافتند. هنوز تعدادی شک داشتند اما دانشمندان رفته رفته نظریه‌ی سلسله مراتبی

سرطان را پذیرفتند — که به فرضیه‌ی سلول بنیادی سرطان نیز معروف است.

۲/ میان‌بر: دیک می‌دانست که بیشتر سلول‌های لوکامیای برای دفعات محدودی باز تولید می‌شوند. او استدلال کرد که برای حفظ رشد تومور، باید جمعیتی از سلول‌های خاص وجود داشته باشد که بتوانند تقریباً به‌طور نامحدودی تجدید و باز تولید شوند. در بافت سالم چنین سلول‌هایی، سلول‌های بنیادی نام دارند: تصور دیک شاید این بوده که سلول‌های سرطانی نیز بنیادی هستند. وقتی دیک و همکاران او سلول‌های لوکامیای انسان را به موش‌ها تزریق کردند، کسر کوچکی از سلول‌ها در مغز استخوان جونده نشانده شدند و مانند سلول‌های بنیادی سرطان سریعاً تکثیر شدند. این یافته دیک را متقاعد کرد که ایده‌اش درست بوده است.



وقتی تعداد کمی از سلول‌های بنیادی سرطان وارد بافت سالم شوند سرطان می‌تواند آغاز شود.

۳/ اشاره: برخی دانشمندان شک دارند که تومورهای سرطانی بتوانند با زیر مجموعه‌ی کوچکی از سلول‌های بنیادی سرطان تداوم یابند. اگر چنین باشد کار درمان کنندگان سرطان با هدف گرفتن این سلول‌های خاص و نابود کردن آن‌ها مؤثرتر خواهد بود.

نیز ← ۵۳. حد هیفلیک

نظریه‌ی شکلی بویایی

چگونه بو می‌کنیم



لیندا باک (متولد ۱۹۴۷)



ریچارد اکسل (متولد ۱۹۴۶)

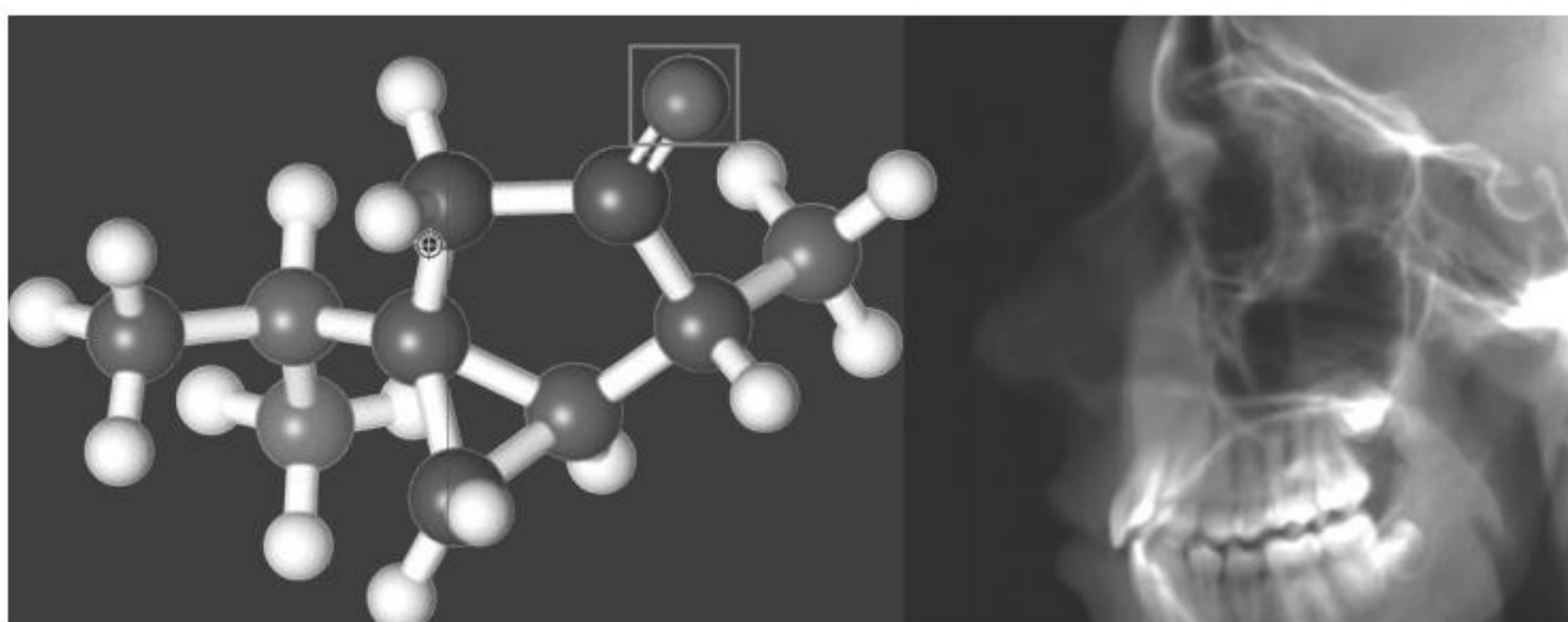
✱ **۱/ نگاه هلیکوپتری:** در سال ۱۹۷۰، ویلیام اوگل به تفکر درباره‌ی سازوکار حس بویایی ما پرداخت. آن زمان واضح به نظر می‌رسید که حس‌های بینایی و شنوایی به ترتیب با نور و امواج صوتی مرتبط هستند. شاید او حس بویایی را نیز مستلزم نوعی موج یا ارتعاش می‌دانست.

مالکوم دایسون در دهه‌ی ۱۹۲۰ این ایده را مطرح کرد و تصور بسیاری از دانشمندان این بود که بوی یک مولکول باید به طریقی با روش متمایز ارتعاش پیوندهای مابین اتم‌های این مولکول گره خورده باشد. اما این ایده، عمدتاً به دلیل شکست آزمایش‌ها در نمایش دادن ارتباطی بین بویایی و ارتعاش مولکولی، به تدریج محبوبیت خود را از دست داد.

در همان هنگام، مدل دیگری برای جایگزینی این نظریه‌ی ارتعاشی بویایی

پدیدار شد. در نیمه‌ی دهه‌ی ۱۹۴۰، لینوس پائولینگ به نقش مهم شکل فیزیکی مولکول در واکنش آن تأکید کرد: در پایان دهه، رابرت وایتون مونکریف نشان داد که این خاصیت شکل می‌تواند اساس حس بویایی باشد.

این ایده فرض می‌کرد که بویایی بر پایه‌ی یک سیستم «قفل و کلید» است: در داخل بینی باید سیستمی از گیرنده‌ها وجود داشته باشد که مولکول‌های معطر در هوا به آن‌ها متصل می‌شوند. **نظریه‌ی شکلی بویایی** مونکریف در دهه‌ی ۱۹۹۰، هنگامی که لیندا باک و ریچارد اکسل گیرنده‌های بویایی بینی موش را شناسایی و رفتار آن‌ها را مطابق با نظریه‌ی شکلی یافتند، به پیشرفت بزرگی دست یافت. در پی این تحول، نظریه‌ی شکلی به مدل غالب تبدیل شد. اما یک نظریه‌ی ارتعاشی روزآمد شده از بویایی نیز در دهه‌ی ۱۹۹۰ ارائه شد – طرفدارن این نظریه می‌گویند، هنوز خیلی زود است که پرونده‌ی تحقیق درباره‌ی بویایی ما بسته شود.



تنها در همین اواخر بود که حس بویایی ما به‌طور کامل درک شد.

۲ / میان‌بر: علی‌رغم همه‌ی پیشرفت‌های به دست آمده در درک سیستم عصبی، آن دسته از گیرنده‌های عصبی که به بوها پاسخ می‌دهند تا سال ۱۹۹۱ شناسایی نشده بودند. باک و اکسل به عملکرد ژن‌ها در درون لایه‌ی نازک پوستی بینی موش‌ها نگاه کرده و دریافتند که «خانواده‌ای» شامل صدها ژن مرتبط، به‌طور خاص فعال هستند. هریک از این ژن‌ها یک مولکول پروتئین متمایز تولید می‌کند. باک و اکسل، فکر کردند که احتمالاً این‌ها همان مولکول‌های گیرنده‌ی بویایی هستند – و این واقعیت که تعداد زیادی از آن‌ها دخیل هستند، نشانه‌ی پیچیدگی حس بویایی است و هر مولکول معطر در هوا به گیرنده‌ی خاصی متصل می‌شود که با نظریه‌ی شکلی بویایی مونکریف سازگار بود.

➡ ۳ / اشاره: مابین حواس پنج گانه، توضیح حس بویایی از همه دشوارتر است.

اما بیشتر دانشمندان فکر می کنند که مولکول های معطر «کلیدها» یی هستند که به «قفل ها» ی گیرنده ی خاصی در بینی ما می خورند.

نیز ← ۵۱. آموزه ی نورو

قانون گرانش جهانی نیوتون

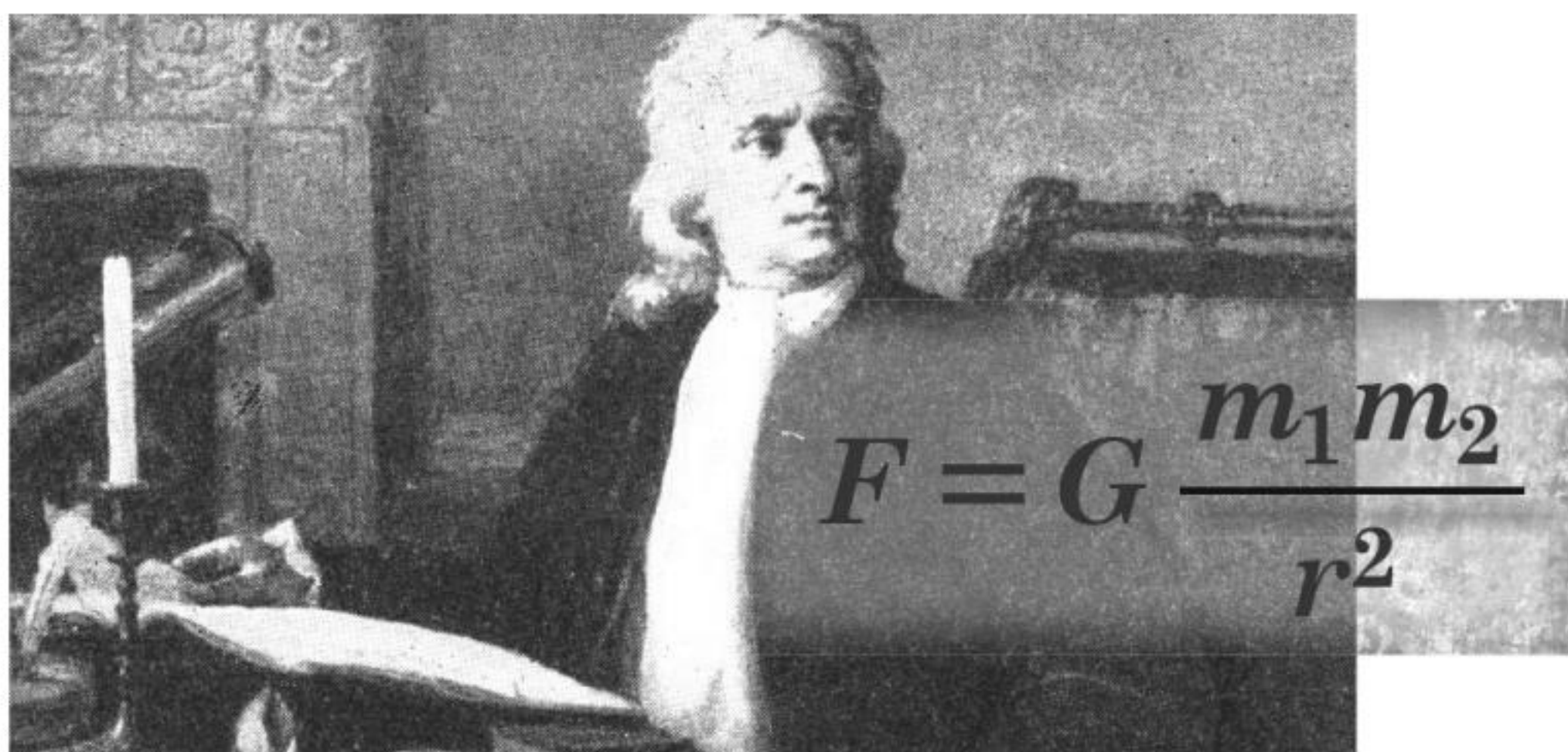
مشهورترین سیب در علم

*** ۱ / نگاه هلیکوپتری:** تعدادی از ذهن‌های برتر علمی قرن ۱۷، با درک ماهیت گرانش درگیر شدند – سپس آیزاک نیوتون با سببی مواجه و موجب یک پیشرفت اساسی شد.

داستان سیب نیوتون به اسطوره‌ای مدنی تبدیل شده اما دلایلی برای باور کردن آن هست – در سندی متعلق به **ویلیام استاکلی** از معاصران نیوتون، به آن اشاره شده است. نمی‌توان مطمئن شد که در لحظه‌ی دیدن سقوط سیب، چه چیزی از ذهن نیوتون گذشته است اما فرض بر این است که او به حرکت میوه از حالت سکون (متصل به شاخه‌ی درخت) به حالت جنبش (گرفتن سرعت بیشتر به سمت زمین) توجه کرده است. این بدان معنا بود که باید نیرویی اسرارآمیز برای شتاب دادن سیب به سمت زمین در کار بوده باشد – این همان نیرویی است که ما آن را چون گرانش زمین می‌شناسیم.

بعد اتفاقی افتاد که همه آن را جلوه‌ای از استعداد نیوتون دانستند. اگر گرانش زمین روی یک سیب در حال رشد که در مجاورت سطح سیاره قرار دارد تأثیر می‌کند، آیا این امکان وجود ندارد که روی اجسام بسیار دورتر نیز عمل کند؟ نیوتون حدس زد که چنین است. تا زمان نیوتون معلوم شده بود که ماه به گرد زمین می‌چرخد. نیوتون محاسبه کرد که ماه با سرعت کافی برای موازنه با نیروی گرانش زمین حرکت می‌کند: به این دلیل زمین را دور می‌زند که به اندازه‌ی کافی برای فرار از کشش گرانشی زمین سریع نیست یا به اندازه‌ی کافی کند نیست تا تسلیم گرانش زمین شده و روی آن سقوط کند.

و چرا باید به همین بسنده کرد؟ نیوتون بحث کرد که این ایده مثلاً می‌تواند حرکت زمین به دور خورشید را نیز توضیح دهد. در واقع او نشان داد که گرانش جهانی است: هر جسم در جهان باید تحت تأثیر گرانش اجسام دیگر باشد – اما هرچه فاصله‌ی دو جسم زیادتر شود نیروی عمل‌کننده‌ی مابین آن‌ها ضعیف‌تر می‌شود. **قانون گرانش جهانی** به طرز چشم‌گیری تأثیرگذار شد.



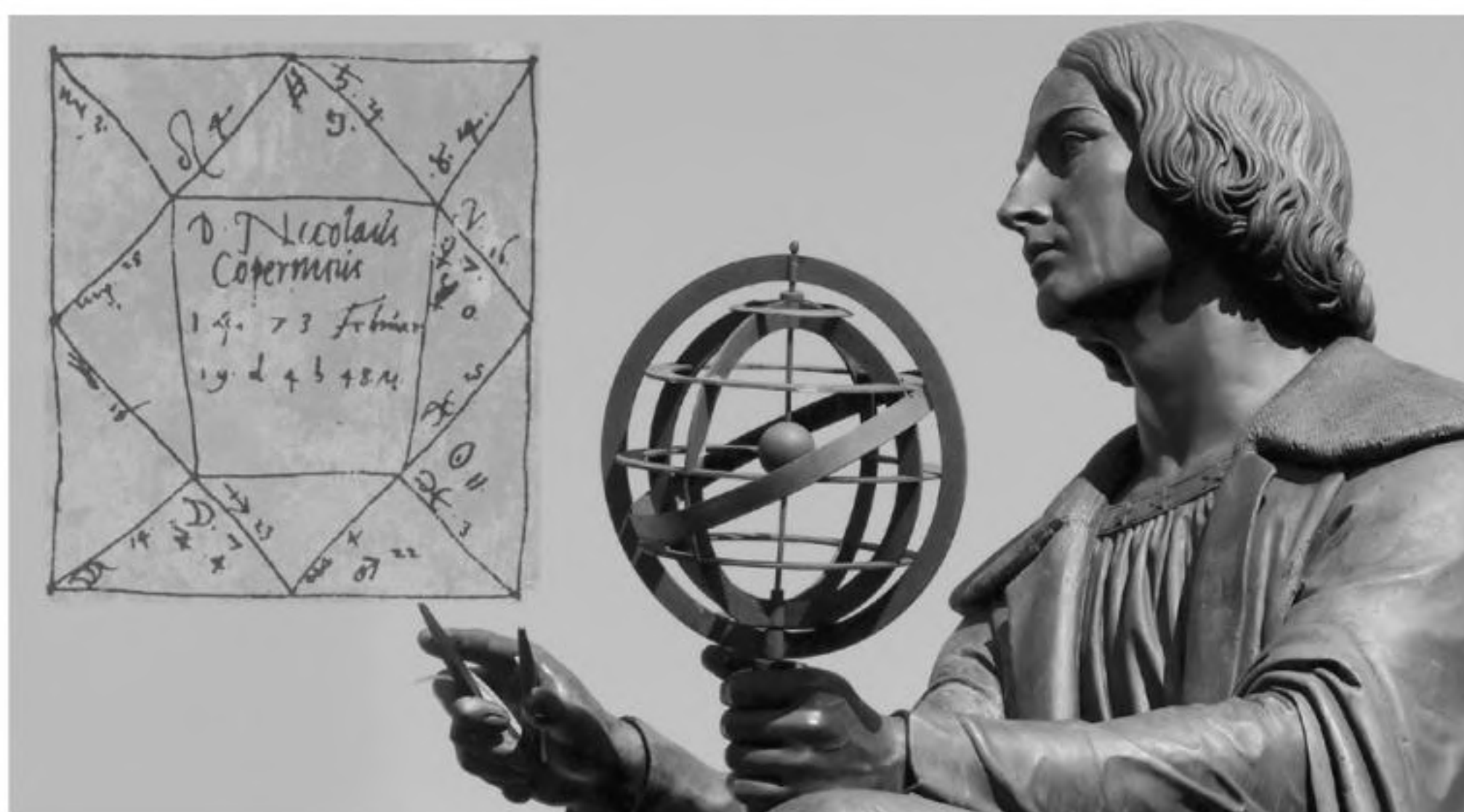
قانون گرانش جهانی نیوتون برای سیب‌ها و سیارات کاربرد دارد.

⊕ ۲/ میان‌بر: فرض کنید نیوتون سیب مشهور خود را برداشته و آن را پرتاب می‌کند. سیب قبل از افتادن به زمین مسافت کوتاهی را طی خواهد کرد. یک ورزشکار با بازوی قوی‌تر می‌تواند آن را تا فاصله‌ی دورتری پرتاب کند. مثلاً ده برابر بیشتر. حال یک ورزشکار خیالی بسیار نیرومند را فرض کنید که بتواند سیب را چنان پرتاب کند که همه‌ی زمین را دور بزند. در واقع، اگر ورزشکار پرتاب خود را درست انجام داده باشد، سیب هنوز هم باید در ارتفاعی باشد که در لحظه‌ی جداشدن از دست ورزشکار بود، حتی اگر تمام محیط زمین را دور زده باشد. سیب پرواز به گرد سیاره را ادامه خواهد داد (البته با این ساده‌سازی که سرعت آن با نیروی مقاوم هوا کم نمی‌شود). در این حالت، سیب بر یک مدار قرار دارد. با همین نوع استدلال، فیزیکدانان پذیرفتند که قانون نیوتون، چگونگی حرکت سیارات به دور خورشید را توضیح می‌دهد.

 ۳ / اشاره: هر جسم — یک شخص یا یک سیاره — هر جسم دیگری را در جهان به سوی خود می کشد.
شدت کشش گرانشی به جرم جسم و فاصله‌ی آن از جسم دوم بستگی دارد.

نیز ← ۵۷. قوانین نیوتون در حرکت ۶۸. نظریه‌ی نسبیت عام

قوانین نیوتون در حرکت چگونه آسمان‌ها اسرار خود را گم کردند



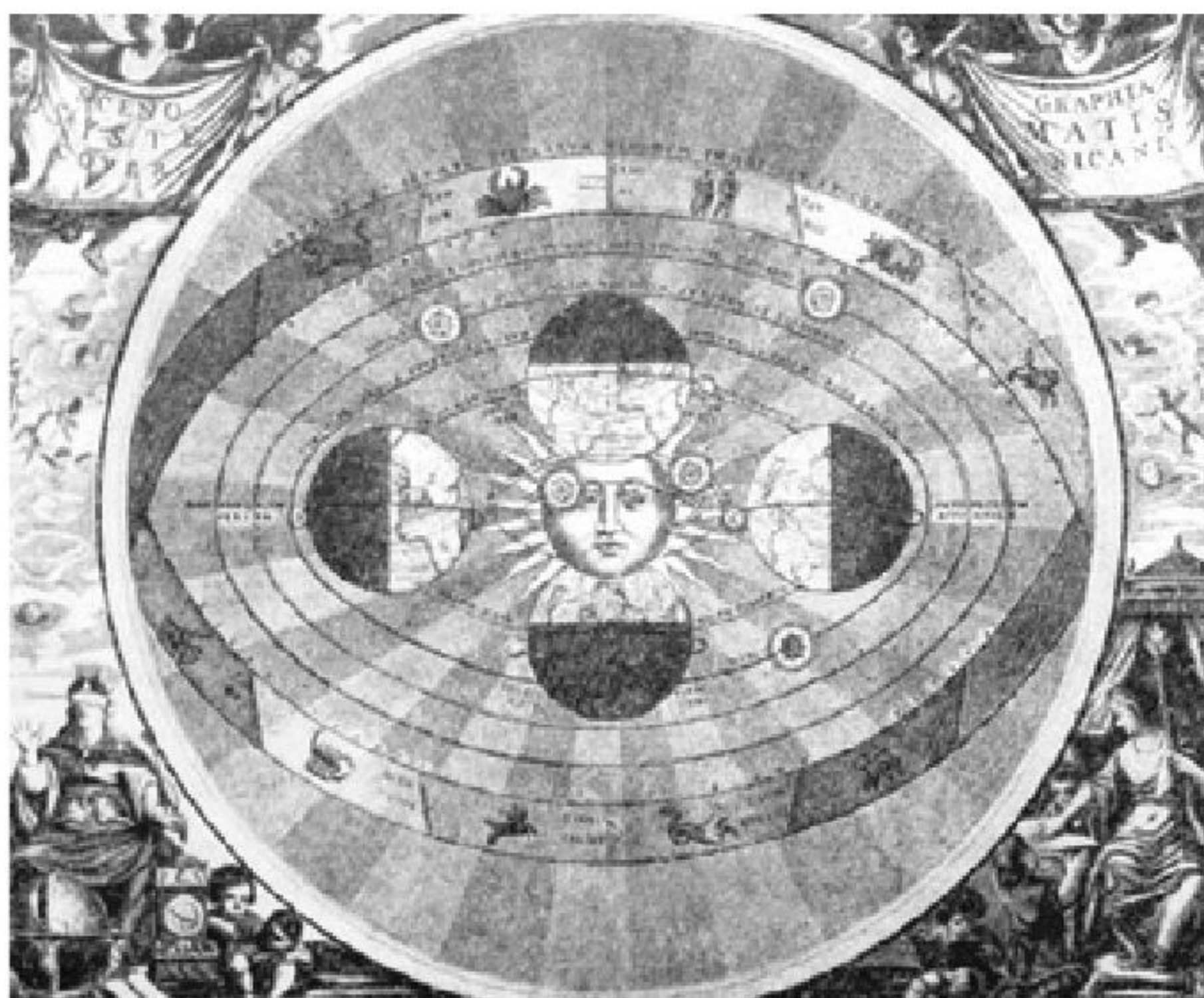
نیکولاس کوپرنیکوس (۱۴۷۳-۱۵۴۳)

۱ / نگاه هلیکوپتری: تا اوایل قرن ۱۷ دانشمندان کشفیات حیرت‌انگیزی درباره‌ی جهان قابل مشاهده کرده بودند. نیکولاس کوپرنیکوس و یوهان کپلر به ترتیب، حرکت سیارات (از جمله زمین) به دور خورشید و محاسبه‌ی شکل مدار آن‌ها را انجام داده بودند. اما کسی نمی‌دانست واقعاً چرا آن‌ها اینگونه حرکت می‌کنند. آیزاک نیوتون حلی برای این راز عرضه کرد.

سه قانون حرکت نیوتون چگونگی تغییر مسیر و سرعت حرکت یک جسم را تحت تأثیر یک نیرو توضیح می‌دهند. احتمالاً مشهورترین قانون نیوتون قانون سوم است: برای هر کنش، واکنشی مساوی و مخالف آن وجود دارد. نیوتون این ایده را با اسبی که با یک طناب سنگی را می‌کشد، نشان داد. وقتی طناب محکم کشیده می‌شود، سنگ به طرف اسب رانده می‌شود – اما اسب نیز درست به همان میزان به سمت سنگ کشیده می‌شود. به بیان دیگر، سنگ روی حرکت رو به جلوی اسب تأثیر می‌کند – که تقلای حیوان برای جابه‌جا کردن سنگ را توضیح می‌دهد.

قوانین نیوتون، حرکت اشیاء بر روی زمین را توضیح می‌دهد. مهم‌تر از این، نیوتون دریافت که این قوانین می‌توانند نحوه‌ی حرکت سیارات را نیز توضیح دهند. نیوتون، پیش از آن که در دهه‌ی ۱۶۸۰، قوانین حرکت خود را تدوین کند، نشان داده بود که نیروی گرانش روی همه‌ی چیز در جهان اثر می‌کند. نیوتون درک خود از گرانش را با درک فزاینده‌اش از تأثیر قوانین حرکت بر اشیاء، در هم آمیخت و ناگهان مسیرهایی که سیارات انتخاب می‌کردند، معنا یافتند.

دانشمندان به سرعت ایده‌های نیوتون را پذیرفتند، ایده‌هایی که تا به امروز یک بخش مرکزی از فیزیک به شمار می‌روند. بعد از نیوتون، جهان دیگر هرگز آنچنان اسرارآمیز و غیرقابل درک به نظر نمی‌رسید.



کوپرنیک دیدگاه ما را نسبت به منظومه‌ی شمسی تغییر داد - اما نیوتون توضیح داد که چرا سیارات این گونه حرکت می‌کنند.

⊕ ۲ / میان‌بر: یک اتومبیل - و راننده‌اش - که با سرعت ثابتی در جاده‌ای حرکت می‌کند، به حرکت خود با همان سرعت ادامه خواهد داد مگر اینکه نیروی دیگری دخالت کند. اگر اتومبیل با دیواری برخورد کند، دیوار نیروی دخیل را فراهم می‌کند و با نیرویی مقاوم در برابر اتومبیل، سرعت آن را به‌طور ناگهانی کم می‌کند. متأسفانه راننده که بستن کمربند ایمنی را فراموش کرده سرعت خود را کم

نمی‌کند چون او به دیوار برخورد نکرده و با همان سرعت جلو می‌رود و نتیجه‌ی آن پرت شدن از صندلی و برخورد با شیشه‌ی جلویی است. او بازمانده‌ای از قوانین حرکت نیوتون است.

۳ / اشاره: قوانین نیوتون در حرکت، در درک علمی جهان قابل مشاهده نقش محوری دارند.

آن‌ها بیان می‌دارند که تمام اجسام از مردم گرفته تا سیارات حرکت می‌کنند و سرعت و جهت خود را اساساً به یک صورت تغییر می‌دهند.

نیز ← ۵۶. قانون گرانش جهانی نیوتون

نظریه‌ی ذره‌ای نور

نور دقیقاً چیست؟



پیتر گاسندی (۱۶۵۵-۱۵۹۲)

۱ / نگاه هلیکوپتری: اندیشمندان خردورز برای بیش از ۲۵۰۰ سال ماهیت نور را مورد بحث قرار داده‌اند. یک درک مدرن از نور در قرن ۱۷ آغاز شد. پیتر گاسندی در این فرایند نقش مهمی داشت.

تا دهه‌ی ۱۶۴۰ گاسندی متقاعد شده بود که جهان و هر چه در آن است از ذرات بسیار ریز تقسیم‌ناپذیر یا «گویچه‌ها» ساخته شده است. به عقیده‌ی گاسندی این تنها اشیاء فیزیکی نیستند که از گویچه‌ها ساخته شده‌اند – صدا، گرما و نور نیز به صورت گویچه‌ای از نقطه‌ی به نقطه‌ی دیگر می‌روند.

نیوتون کار گاسندی را مطالعه کرد و بسیاری از ایده‌های آن را پسندید. او تا دهه‌ی ۱۶۷۰ متقاعد شده بود که نور به بهترین وجه با جریانی از ذرات توصیف می‌شود – و نظریه موجی نور را که گزینه‌ی محققان دیگری مانند رنه دکارت و رابرت هوک بود، رد کرد.

نیوتون نسخه‌ای صوری از ایده‌های خود را در سال ۱۷۰۴ منتشر کرد. کتاب او به نام اپتیک حاوی جزئیات آزمایش‌های او درباره‌ی ماهیت رنگ نیز بود و به سرعت به یک متن کلیدی تبدیل شد. برای قرن بعدی بیشتر دانشمندان نظریه‌ی گویچه‌ای نور را پذیرفتند – اما سرانجام فیزیکدانان فهمیدند که نور بسیار عجیب‌تر از این‌هاست. (اصل مکملیت را ببینید)



آزمایش‌های نیوتون با نور او را مجاب کرد که نور با ذرات ریز حمل می‌شود.

۲ / میان‌بر: نیوتون برای فرض کردن نور به صورت جریانی از ذرات ریز دلیل خوبی داشت: این مدل، بعضی از مشاهدات او را در آزمایش‌هایی که بر روی نور انجام داده بود توضیح می‌داد. مخصوصاً بازتاب نور یک ملاحظه‌ی تعیین‌کننده بود. یک پرتوی نور چون تویی تصور می‌شد که سطح آینه بازتاب می‌کرد. نیوتون، این واقعیت را نیز که نور مانند صوت (که فرض می‌شد با موج منتقل می‌شود) در گوشه‌ها نمی‌پیچد پراهمیت یافته بود. مشاهداتی از این دست تنها زمانی برای نیوتون معقول بودند که نور با ذرات حمل شود نه با امواج.

۳ / اشاره: نیوتون عقیده داشت که نور به شکل ذراتی که به طرز غیرممکنی کوچک‌اند حمل می‌شود.
این نظریه ذره‌ای نور، بخشی به دلیل شهرت بی‌نظیر نیوتون رواج یافت.

۵۹

نظریه‌ی موجی نور ایده‌ای پرفراز و نشیب



توماس یانگ (۱۷۷۳-۱۸۲۹)

۱ / نگاه هلیکوپتری: در سال ۱۸۰۳، توماس یانگ نتایج آزمایشی را گزارش کرد که به طور فریبنده‌ای ساده بود – و طرز تفکر دانشمندان را درباره نور عوض کرد. یافته‌های او چنان تکان دهنده بودند که اتفاق نظری را که با آیزاک نیوتون بزرگ آغاز شده و قرن‌ی به طول انجامیده بود، از بین برد. به بیانی ساده، آزمایش دوشکاف یانگ نشان داد که نور به گونه‌ای رفتار می‌کند که تنها با فرض آن به صورت رشته‌هایی از امواج عبوری از طریق هوا، قابل توضیح است. دیدگاه مسلط پیش از آزمایش او – که توسط نیوتون رواج یافته بود – این

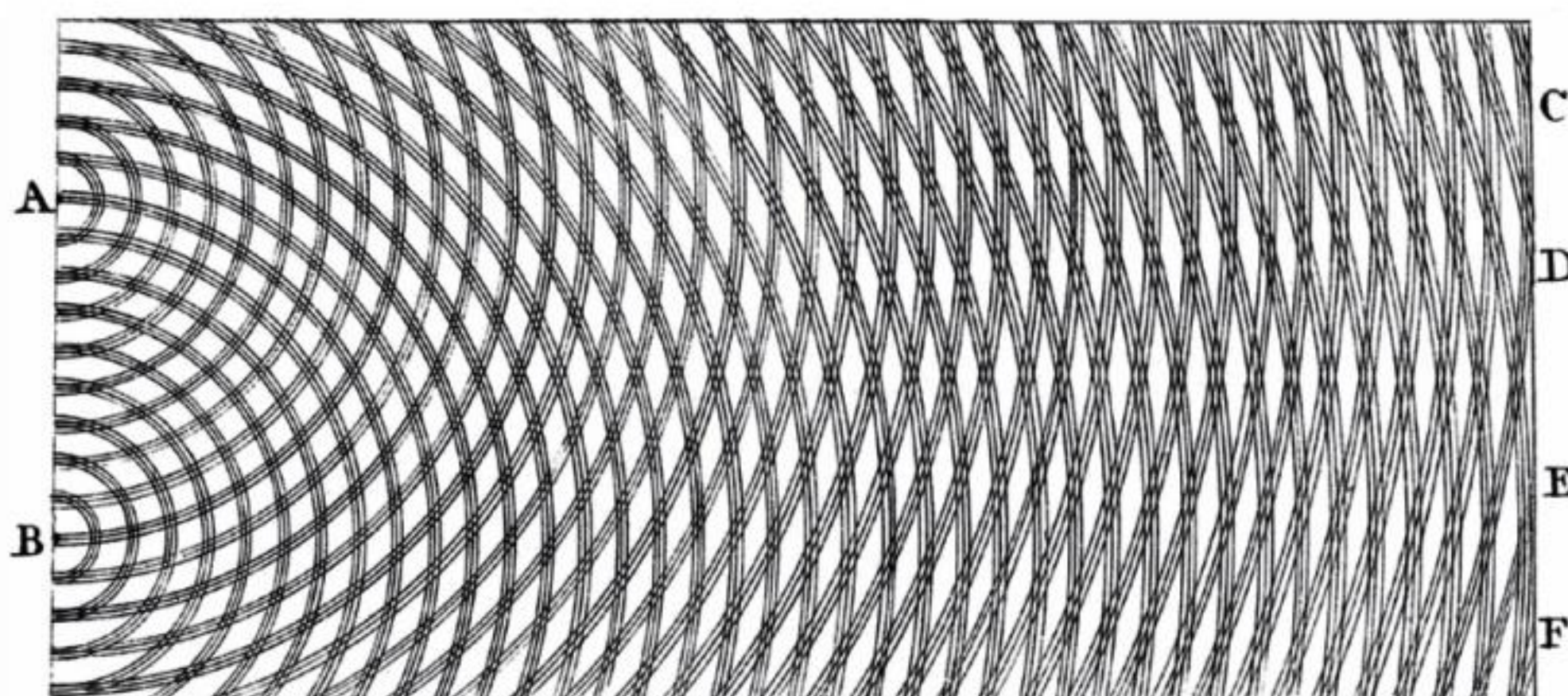
بود که پرتوهای نورانی، جریانی از ذرات ریز توپ‌مانند هستند. (نظریه‌ای ذره‌ای نور را ببینید)

در حقیقت، آزمایش یانگ صرفاً دیدگاه‌هایی را دوباره زنده می‌کرد که دانشمندان بیش از یک قرن جلوتر آن را بیان کرده بودند. برای مثال رنه دکارت در دهه‌ی ۱۶۳۰ استدلال کرده بود که رفتار نور موجی است.

بعداً در قرن ۱۷ کریستیان هویگنس، کار دکارت را توسعه داد. او پرتوهای نور را چون امواج توصیف کرد و دریافت که مدل او نه تنها بازتاب پرتوهای نور از سطوح، بلکه چگونگی شکست - خم شدن - آن را نیز در عبور از یک محیط (مثلاً هوا) به محیط دیگر (مانند آب) توضیح می‌دهد.

با این حال، هرچند مدل هویگنس از نور لااقل به اندازه‌ی مدل نیوتون متقاعدکننده بود اما این مدل اخیر بود که تفکر دانشمندان قرن ۱۸ درباره‌ی نور را با قدرت بیشتری تحت تأثیر قرار داد. این رویکرد می‌توانسته است بیشتر به دلیل شهرت و اعتبار نام نیوتون بوده باشد تا برتری نظریه‌ی ذره‌ای به نظریه‌ی موجی.

به هر صورت، آزمایش یانگ در چرخش قرن ۱۹، به تغییر ذهنیت علمی درباره‌ی نور کمک کرد. چند سال بعد آگوستین ژان فرنل، نشان داد که نتایج یانگ را می‌توان بر پایه‌ی ایده‌های هویگنس توضیح داد. نظریه‌ی موجی نور به دیدگاه غالب تبدیل شد - حداقل تا آغاز قرن ۲۰ (پدیده‌ی فوتوالکتریک را ببینید).



نور در هوا در یک مجموعه امواج حرکت می‌کند که به نظر می‌رسد در آزمایش یانگ به وضوح نشان داده شده است.

۲/ میان‌بر: یانگ نور یکنواختی را روی پرده‌ی ماتمی که دو شکاف در آن تعبیه شده بود انداخت. برطبق نظریه‌ی ذره‌ای نور (و عقل سلیم) باید دو



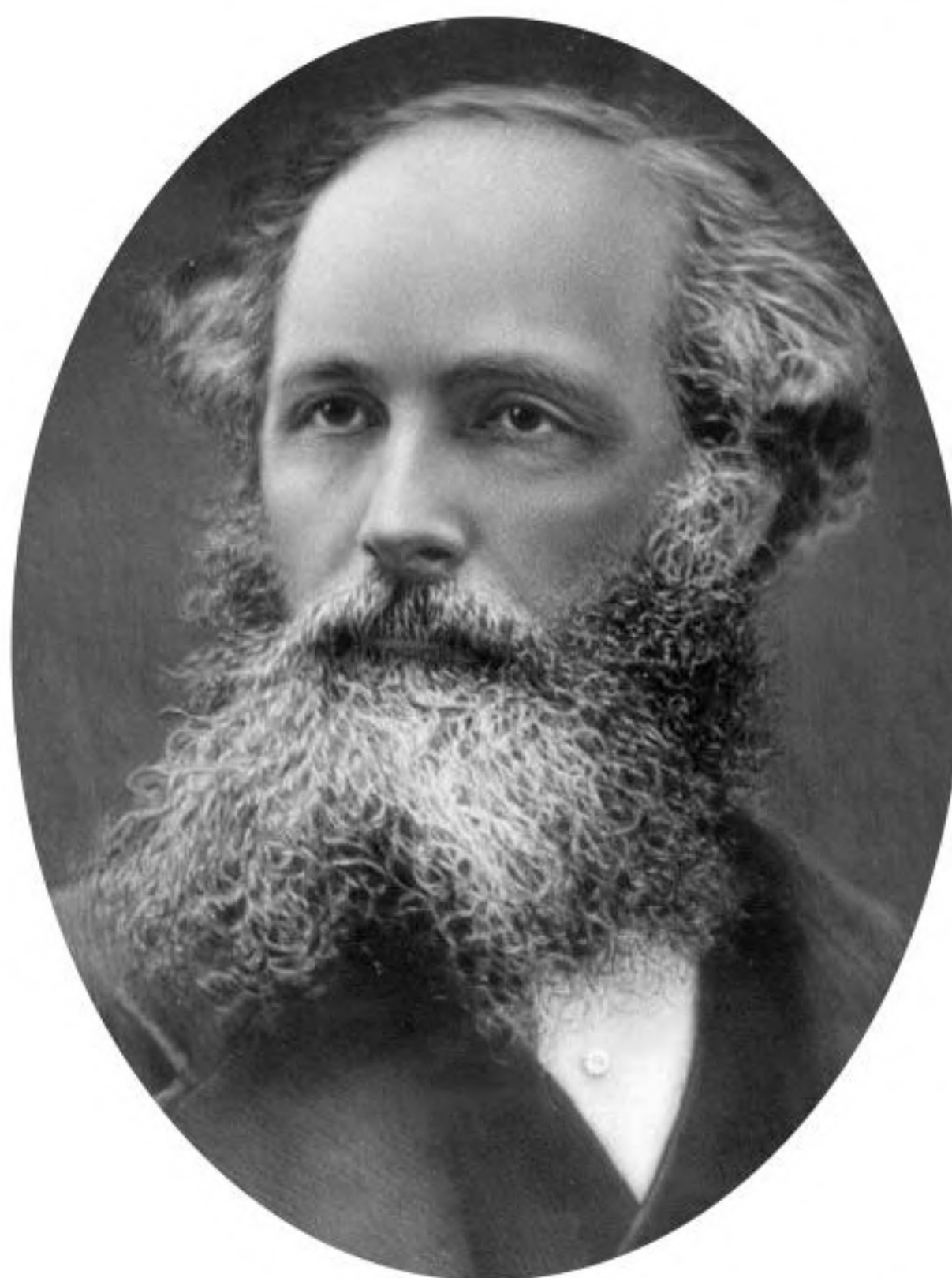
خط باریک نورانی روی پرده‌ی پشت دوشکاف مشاهده می‌شد. اما یانگ چندین نوار باریک و روشن موازی مشاهده کرد که مانند یک بارکد مرتب شده بودند. او دریافت که نور هنگام عبور از شکاف‌های باریک، پراشیده شده است، درست مانند موج‌های آب که هنگام عبور از یک مجرای تنگ فشرده می‌شوند. نورهای پراشیده شده از هر شکاف با هم تداخل کرده (باز هم مانند موج‌های آب) و نوارهای روشن و تاریک را به وجود می‌آورند.

 ۳/ اشاره: نیوتون جامعه‌ی علمی را متقاعد کرده بود که نور به صورت ذرات منتشر می‌شود. آزمایش ساده‌ی یانگ چنان مجاب‌کننده بود که نظریه‌ی در حال احتضار موجی نور را دوباره زنده کرد.

نیز ← ۸۰. آزمایش دوشکاف الکترون

معادلات مکسول

دیدن نور زیر نوری دیگر



جیمز کلرک مکسول (۱۸۳۱-۱۸۷۹)

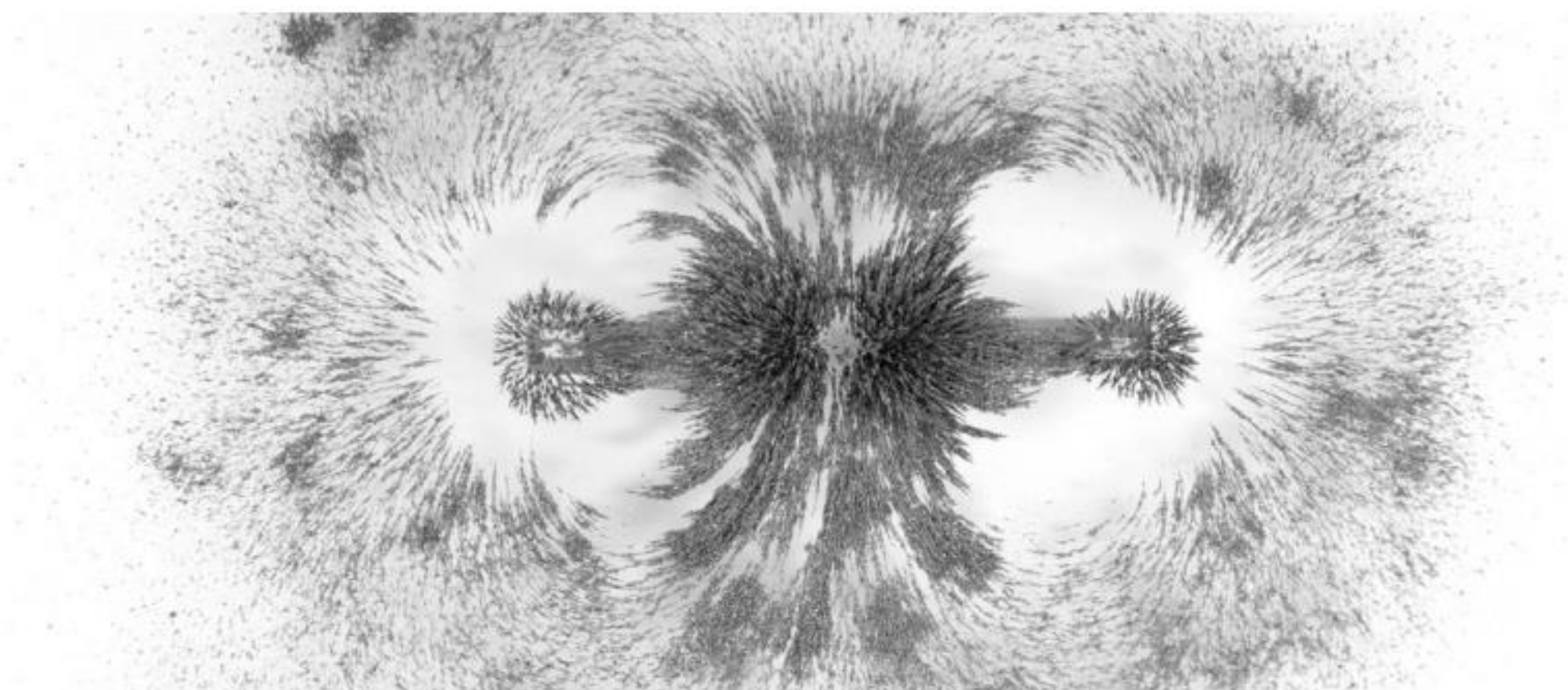
۱/ **نگاه هلیکوپتری:** در طول قرن ۱۹ رشته‌ای از رویدادها، به درک انقلابی جدیدی از نور منجر شد، چیزی که سرانجام راه را به دنیای فناوری مدرن ما باز کرد. عجیب این که داستان با یک قطب‌نمای مغناطیسی آغاز شد.

طی یک سخنرانی در ۱۸۲۰، هانس کریستیان اورستد توجه همه را به این موضوع جلب کرد که عقربه قطب‌نمای او با عبور از مجاوت یک سیم حامل جریان اندکی منحرف می‌شد. او یافته‌های خود را منتشر کرد و دیگر فیزیکدانان شروع به جستجوی رابطه‌ای احتمالی مابین الکتریسیته و مغناطیس کردند – مایکل فارادی

نیز از آن جمله بود.

فارادی به زودی دریافت که می‌تواند با حرکت دادن یک سیم در مجاورت یک آهنربا، جریان الکتریکی تولید کند. این نشان می‌داد که ارتباط مشاهده شده توسط اورستد بین الکتریسیته و مغناطیس ارتباطی دوجانبه است. الکتریسیته و مغناطیس عملاً دو روی یک سکه بودند.

اما هنوز دقیقاً روشن نبود که چگونه آهنرباها می‌توانستند روی جریان‌های الکتریکی و برعکس، تأثیر کنند. بسیاری از فیزیکدانان به‌طور ساده یک رابطه‌ی مستقیم و آنی را بین آن‌ها فرض کردند. فارادی این ایده را نپسندید: او فکر کرد که باید سازوکاری وجود داشته باشد که این دو با هم ارتباط برقرار کنند. او از وجود «خطوط نیرو»ی نامرئی سخن گفت که با سرعتی ثابت در یک محیط – مثلاً هوا – گسترش می‌یابند و خواص الکتریکی و مغناطیسی اشیاء را تحت تأثیر قرار می‌دهند. این ایده برای بسیاری از فیزیکدانان قرن نوزدهم که با اعداد و ارقام خو گرفته بودند مبهم می‌نمود – اما نه برای جیمز کلرک مکسول. در دهه‌ی ۱۸۶۰، او بررسی ریاضی خود را از این ایده منتشر کرد. او نتیجه گرفت که اساساً حق با فارادی بوده است. معادلات مکسول الکتریسیته و مغناطیس را به‌طور صوری در یک نیروی واحد – الکترومغناطیس – با هم متحد کرد. این معادلات قویاً نشان دادند که نور یک پدیده‌ی الکترومغناطیسی است. ژرف‌بینی‌های متحیرکننده‌ی مکسول از جانب دیگر دانشمندان نیز پذیرفته شد و راه را برای محققان آینده جهت استفاده از نور در زمینه‌های وسیعی، از تصویربرداری پزشکی گرفته تا ارتباطات جهانی باز کرد.



براده‌های آهن در یک میدان مغناطیسی از الگوی میدان تبعیت می‌کنند. میدان مشابهی برای الکتریسیته نیز قابل تولید است.

⊕ ۲ / میان‌بر: مکسول فرض کرد که فضا پر از یک محیط نامرئی – اتر – است که امواج الکترومغناطیسی از طریق آن منتقل می‌شوند. این امواج الکترومغناطیسی اطلاعاتی را مابین اشیاء انتقال می‌دهند که توضیح می‌دهند (برای مثال) چگونه یک آهنربای متحرک می‌تواند در یک سیم، جریان الکتریکی ایجاد کند. محاسبات مکسول پیش‌بینی کرد که این امواج به‌طور غیرعادی سریع حرکت می‌کنند – در واقع با سرعتی که برای نور محاسبه بود. این بدان معنا بود که نور یک موج الکترومغناطیسی است (نظریه‌ی موجی نور را ببینید). در دهه‌ی ۱۸۸۰، هاینریش هرتز مدرک نیرومندی به نفع مفهوم مکسول به دست آورد.

⊕ ۳ / اشاره: در آغاز قرن نوزدهم دانشمندان چیزهای زیادی درباره‌ی الکتریسیته، مغناطیس و نور می‌دانستند اما کسی خبر از ارتباط بنیادین آن‌ها نداشت. معادلات مکسول این ارتباط را آشکار و دنیا را عوض کرد.

نیز ← ۶۵. فرضیه‌ی اتر ۶۶. نظریه‌ی نسبیت خاص

قانون بویل

آغاز انقلاب صنعتی



رابرت بویل (۱۶۲۷-۱۶۹۱)

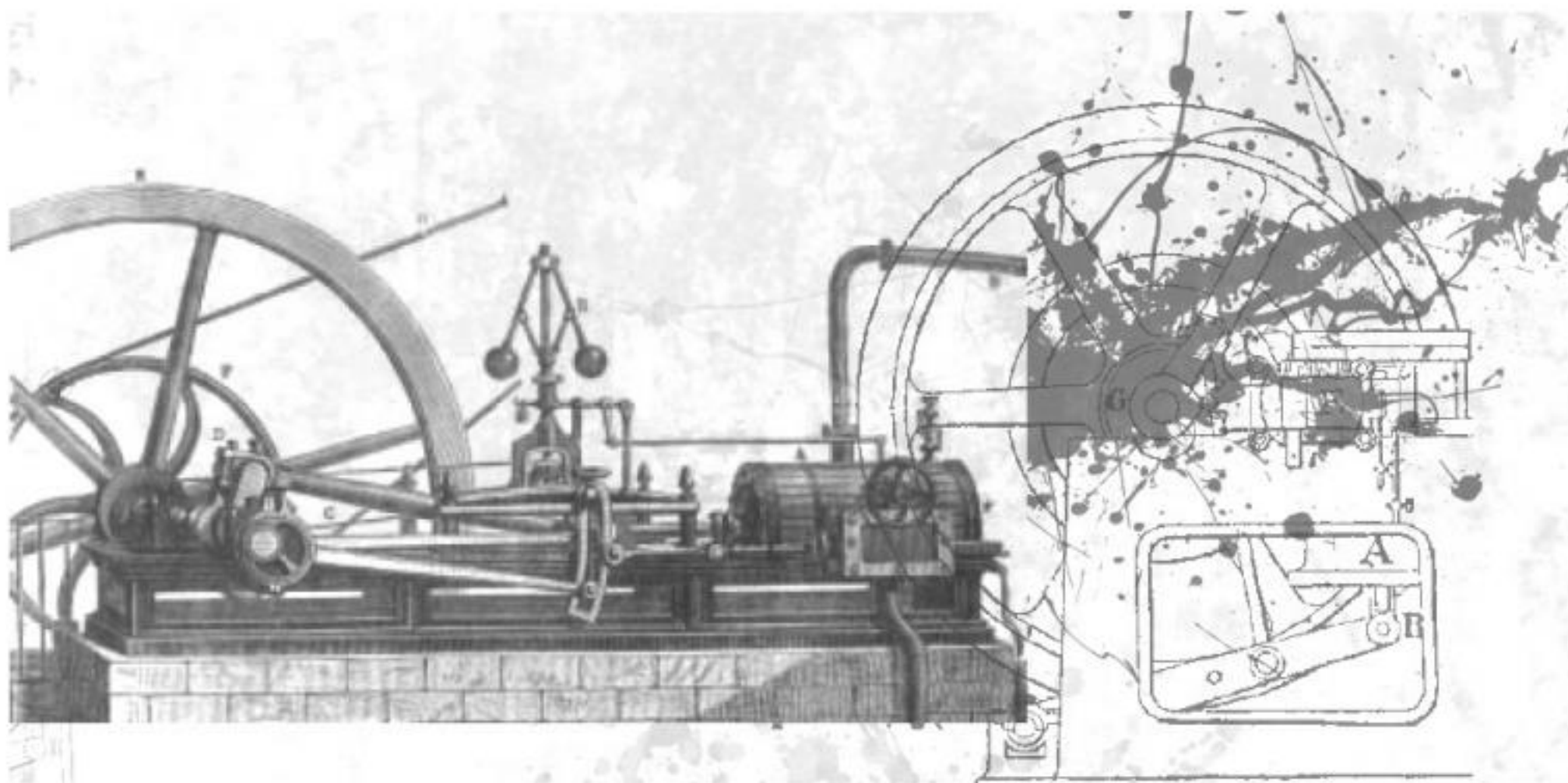
۱ / نگاه هلیکوپتری: قرن ۱۷ همراه با آغاز پرسشگری بزرگ‌ترین ذهن‌های زمان درباره‌ی فرضیات بجا مانده از دنیای باستان و زمان وقوع انقلاب علمی بود. مشهور است که ارسطو گفته بود «طبیعت از خلاء نفرت» دارد که به طور قابل بحثی به این موضوع اشاره داشته که ایجاد خلاء غیرممکن است. تا دهه‌ی ۱۶۴۰ نشانه‌هایی پدیدار شده بود که ارسطو بر خطا بوده است.

اوانجلیستا توریچلی احتمالاً نخستین کسی بوده که در آزمایشی در سال ۱۶۴۳ توانست یک خلاء ایجاد کند. دیگران هم از جمله بلز پاسکال و اتو فون گریکه کار

او را دنبال کردند. فون گریکه در آزمایشی، دو نیمکره‌ی مسی را کنار هم قرار داد تا یک گوی توخالی درست کند و هوای گیر افتاده در درون آن را بیرون کشید. حتی دو گروه از اسب‌ها هم نتوانستند دو نیمکره را از هم جدا کنند.

این آزمایش نشان داد که فشار استاندارد جو، باید نیروی عظیمی روی اشیاء وارد کند - که برای کنار هم نگه داشتن دو نیمکره مسی، علی‌رغم همه‌ی تلاش‌ها برای جدا کردن آن‌ها، کافی باشد. رابرت بویل درباره‌ی این آزمایش‌ها شنید و تحقیق و بررسی خودش را به همراه دستیارش رابرت هوک شروع کرد. تا نیمه‌ی دهه‌ی ۱۶۶۰، بویل رابطه‌ی بین فشار وارد بر مقداری هوا و حجم اشغال شده توسط هوا را استخراج کرده بود. این به قانون بویل معروف شد.

در دهه‌ی ۱۶۷۰، دنیس پاپین همکاری با بویل را برای جستجوی پیامدهای دیگر قانون بویل آغاز کرد. تا آن زمان معلوم شده بود که فشار هوای محبوس شده در یک ظرف را می‌توان با افزودن دمای آن نیز بالا برد. پاپین از این ایده استفاده کرد تا نمونه‌ی اولیه‌ی دستگاه پخت در اثر فشار را بسازد. او سپس یک شیر اطمینان برای اجتناب از انفجارهای احتمالی اضافه کرد. پاپین با خیره شدن به حرکت بالا و پایین شیر برای تخلیه‌ی فشار، دریافت که از گرما و فشار می‌توان برای حرکت دادن اشیاء استفاده کرد. تا پایان قرن ۱۷ نخستین موتورهای بخار ساخته شده بودند و انقلاب صنعتی یک گام دیگر نزدیک‌تر شده بود.



اختراع ماشین بخار نتیجه‌ی مستقیم کار بویل روی گازها بود.

۲/ میان‌بر: بویل فرض کرد که گاز دارای خواص کشسانی است: گازها می‌توانند مانند یک فنر فشرده شوند اما با برداشته شدن فشار باز به حجم

اولیه باز خواهند گشت. در حین بررسی چنین خاصیت‌های فنرمانندی بود که بویل متوجه نکته‌ای شد. وقتی او حباب هوایی را در یک لوله‌ی درزگیری شده فشرده کرد، دریافت که حاصل ضرب فشار اعمال شده از سوی او در حجم اشغال شده توسط هوای تحت فشار، همیشه یک عدد را به دست می‌دهد. به بیان دیگر با بالا رفتن فشار، حجم پایین می‌آید و برعکس.

 ۳ / اشاره: قانون بویل می‌گوید که در دمای ثابت، حجم و فشار نسبت عکس دارند. از این قانون برای ساختن نخستین موتورهای بخار استفاده شد.
قانون بویل عملاً چون تلنگری بود که موجب راه افتادن انقلاب صنعتی شد.

نیز ← ۶۳. قانون دوم ترمودینامیک ۷۰. نظریه‌ی جنبشی گازها

قانون اول ترمودینامیک

شکل نهایی بقا



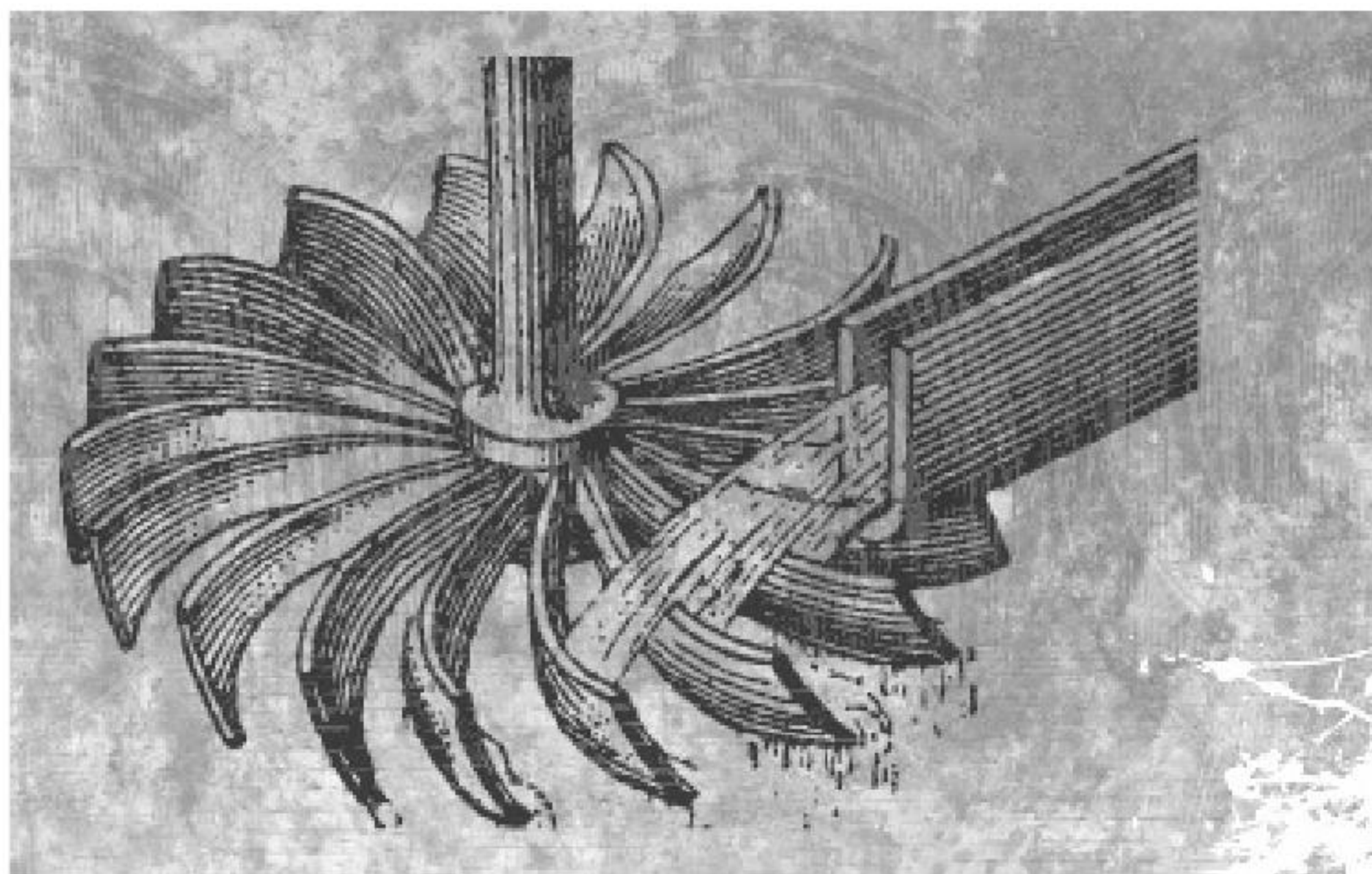
جیمز ژول (۱۸۱۸-۱۸۸۹)

۱ / نگاه هلیکوپتری: جیمز ژول برای کاوش در دنیای فیزیک دلایل عملی داشت. به عنوان یک آبخوساز قرن نوزدهمی او می‌خواست بداند که فناوری‌های جدید انقلاب صنعتی چگونه می‌توانند سود او را بیشینه کنند. مطالعات او درباره‌ی گرما می‌رفت تا دنیای علم را نیز دگرگون کند.

برای چندین دهه قبل از ژول، بیشتر فیزیکدانان عقیده داشتند که گرما نوعی سیال است که تمایل دارد از نواحی سرد به نواحی گرم منتقل شود، درست به طریقی که آب از نقاط بالاتر به نقاط پایین‌تر جاری می‌شود. فرض مرکزی این نظریه‌ی

کالریک این بود که گرما هرگز خلق یا نابود نمی‌شود. آزمایش‌های ژول در دهه‌ی ۱۸۴۰ این فرض را به شدت زیر سؤال برد. در واقع او بحث کرد که یک توربین ساده با تبدیل انرژی مکانیکی، گرمای «جدید» تولید می‌کند. هم‌تایان ژول در بریتانیا به درستی ادعای ژول شک داشتند، اما دانشمندان در دیگر مناطق اروپا درحال رسیدن به همان نتیجه بودند. چند دهه جلوتر **سر بنجامین تامسون رامفورد** متوجه شده بود که هنگام ایجاد سوراخ لوله‌ی توپ برنجی، ماشین، گرما تولید می‌کند. **ژولیوس فون مایر** و **هرمان فون هلمهولتز** نیز مشاهدات مشابهی داشتند.

هلمهولتز دریافت که چنان آزمایش‌هایی به یک اصل عمومی اشاره دارند. طبق نظر او، گرما مطمئناً می‌تواند تولید و نابود شود اما در یک دیدگاه وسیع‌تر، انرژی نمی‌تواند: فقط شکل آن عوض می‌شود (اما $E=mc^2$ را ببینید). نتیجه‌گیری هلمهولتز بسیار تأثیرگذار بود. در عرض چند سال قانون بقای انرژی مقبولیت عام یافت. اکنون این قانون به قانون اول ترمودینامیک معروف است.



با چرخیدن یک توربین، از طریق اصطکاک گرما تولید می‌شود.

⌚ **۲ / میان‌بر:** مشهورترین آزمایش ژول درباره‌ی ماهیت گرما، آزمایشی نسبتاً ساده بود. او بشکه‌ای پر از آب را با توربینی که از طریق ریسمانی به وزنه‌ای متصل بود، انتخاب کرد. وقتی ژول وزنه را رها می‌کرد، توربین در داخل بشکه می‌چرخید. با چرخش توربین، ژول یک افزایش دمای کوچک اما معنادار را در آب

بشکه ثبت می‌کرد – چیزی که اکنون دانشمندان آن را گرمای ناشی از اصطکاک تیغه‌های توربین با آب می‌شناسند. ژول گرما «خلق» کرده بود. اما او اساساً انرژی خلق نکرده بود. در آویزان کردن وزنه‌ای از یک ریسمان، ژول آن را پر از انرژی «پتانسیل» کرده بود. با رها شدن وزنه، این انرژی دچار اتلاف شده و مقداری از آن موجب گرم شدن آب شد.

 ۳/ اشاره: انرژی می‌تواند شکل خود را تغییر دهد.
اما، به بیانی وسیع‌تر، طبق قانون اول ترمودینامیک، هرگز خلق یا نابود نمی‌گردد.

نیز ← ۶۳. قانون دوم ترمودینامیک

قانون دوم ترمودینامیک

کمیت، کیفیت را مغلوب می کند



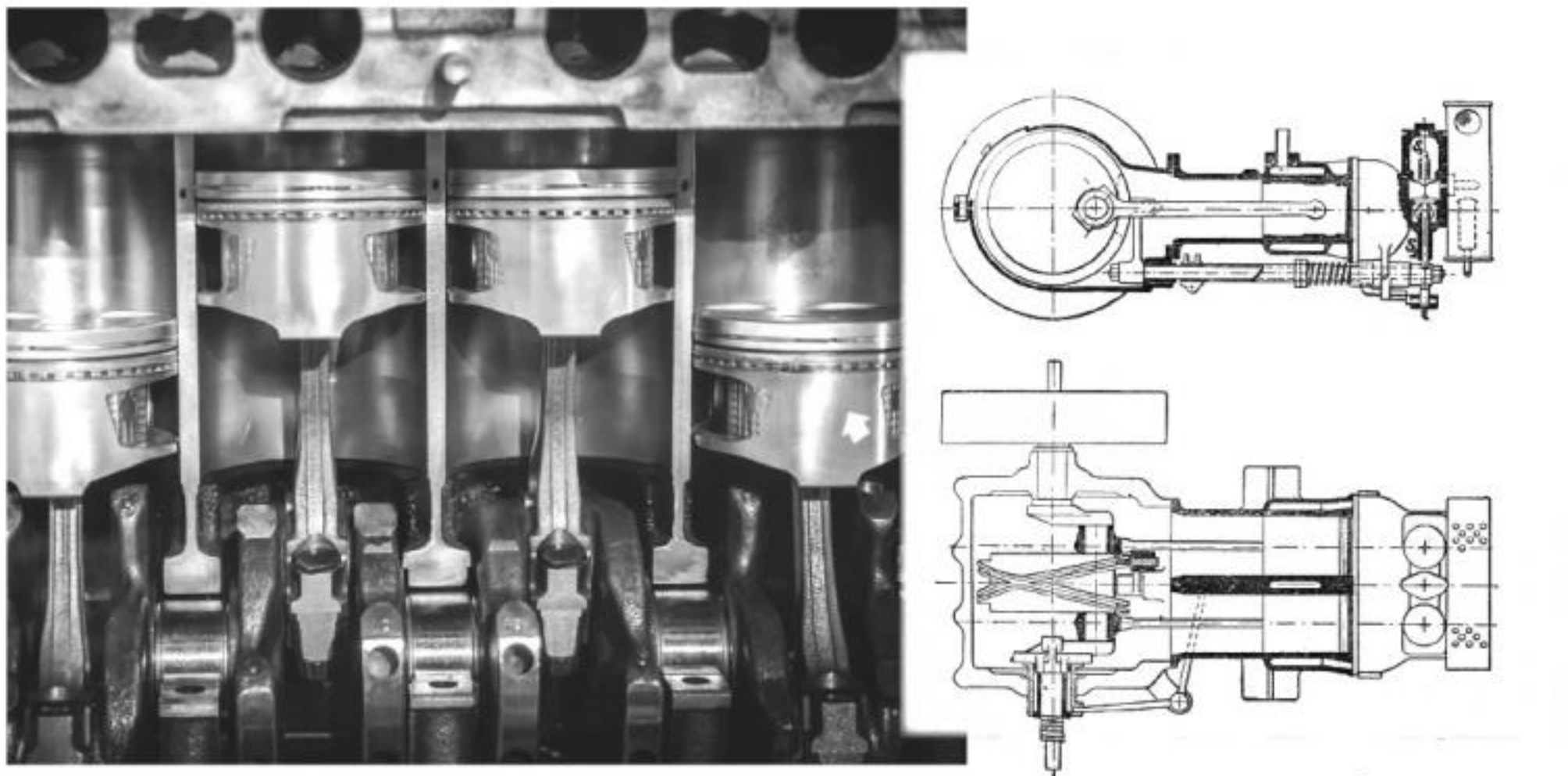
نیکولاس سادی کارنو (۱۷۹۶-۱۸۳۲)

۱ / نگاه هلیکوپتری: پیشرفت‌های علمی قرن ۱۷ به فایده‌ی محسوسه‌ی منجر شد: ماشین بخار (قانون بویل را ببینید). اما ماشین بخارهای اولیه به شدت ناکارآمد بودند. نیکولاس سادی کارنو در صدد راه چاره‌ای برای مسئله برآمد. بعضی از مهندسان استفاده از شارهای دیگری به جز بخار آب را برای بهبود کارایی ماشین نشان دادند. اما کارنو ادعا کرد که متغیر کلیدی دما است — مخصوصاً اختلاف دمای بین کوره‌ی داغ موتور و سرمای نسبی محیط اطراف. کارنو گفت که یک ماشین از مزیت جریان گرما از کوره به این محیط برای حرکت دادن پیستون و

انجام «کار» استفاده می‌کند.

کارنو همچنین استدلال کرد ماشینی که از لحاظ نظری ایده‌آل باشد این کار را چنان خوب انجام می‌دهد که تمام گرمای – انرژی مفید – کوره به کار تبدیل می‌شود یا در یک حالت مفید بالقوه باقی می‌ماند.

کارنو در این زمان ۲۵ ساله بود. قانون اول ترمودینامیک هنوز فرموله نشده بود. اما فیزیکدانان دهه‌ی ۱۸۵۰ – مخصوصاً رودلف کلاوزیوس و ویلیام تامسون (یا لرد کلوین) – متوجه شدند که این بحث‌ها متضمن نخستین بینش‌ها نسبت به یک اصل بنیادین ترمودینامیکی دیگر هستند. به زبان ساده، منظور آن‌ها این بود که فرایندهایی مانند کار کردن یک ماشین گرمایی یک سویه هستند و به مرور زمان، انرژی مفید به‌طور اجتناب‌ناپذیری کاهش می‌یابد. این بدان دلیل است که چیزی در جهان واقعی نمی‌تواند کارآیی ماشین ایده‌آل کارنو را داشته باشد. در مدت عملکرد یک ماشین واقعی – یا هر چیز دیگری (از جمله یک ارگانسیم زنده) که انرژی مصرف می‌کند – مقداری از انرژی بالقوه مفید به انرژی غیرمفید تبدیل خواهد شد. کمیت کل انرژی با گذشت زمان ثابت می‌ماند اما کیفیت آن افت می‌کند. تا دهه‌ی ۱۸۶۰، کلاوزیوس این افزایش ناگزیر در انرژی غیرمفید نسبت به زمان را با افزایشی در «آنتروپی» برچسب زده بود. این ایده‌ها خاستگاه قانون دوم ترمودینامیک بودند.



قانون دوم ترمودینامیک محدودیتی را روی کارآیی موتورهای قرار می‌دهد.

۲/ میان‌بر: یک سیستم ترمودینامیکی – یک ماشین بخار یا یک ارگانسیم زنده یا جهان قابل مشاهده – می‌تواند از حرکت انرژی (به‌طور بالقوه مفید) از نواحی گرم به نواحی سرد، بهره‌برداری کند. اما این سیستم‌ها، این کار را به روشی

انجام می‌دهند که حداقل مقداری از انرژی مفید به انرژی غیرمفید تبدیل شود. به‌طور واضح‌تر، یک ماشین بخار مقداری از انرژی را با پمپ شدن پیستون‌هایش به گرمای ناشی از اصطکاک تبدیل می‌کند. همیشه یک افزایش اجتناب‌ناپذیر در انرژی غیرمفید (آنتروپی) نسبت به زمان وجود دارد.

 ۳ / اشاره: در هر سیستم ترمودینامیکی، یک اتلاف تدریجی در انرژی مفید وجود دارد. سیستم نهایتاً از کار خواهد افتاد مگر اینکه آن را با منبع دیگری از انرژی مفید «فریب» بدهید.

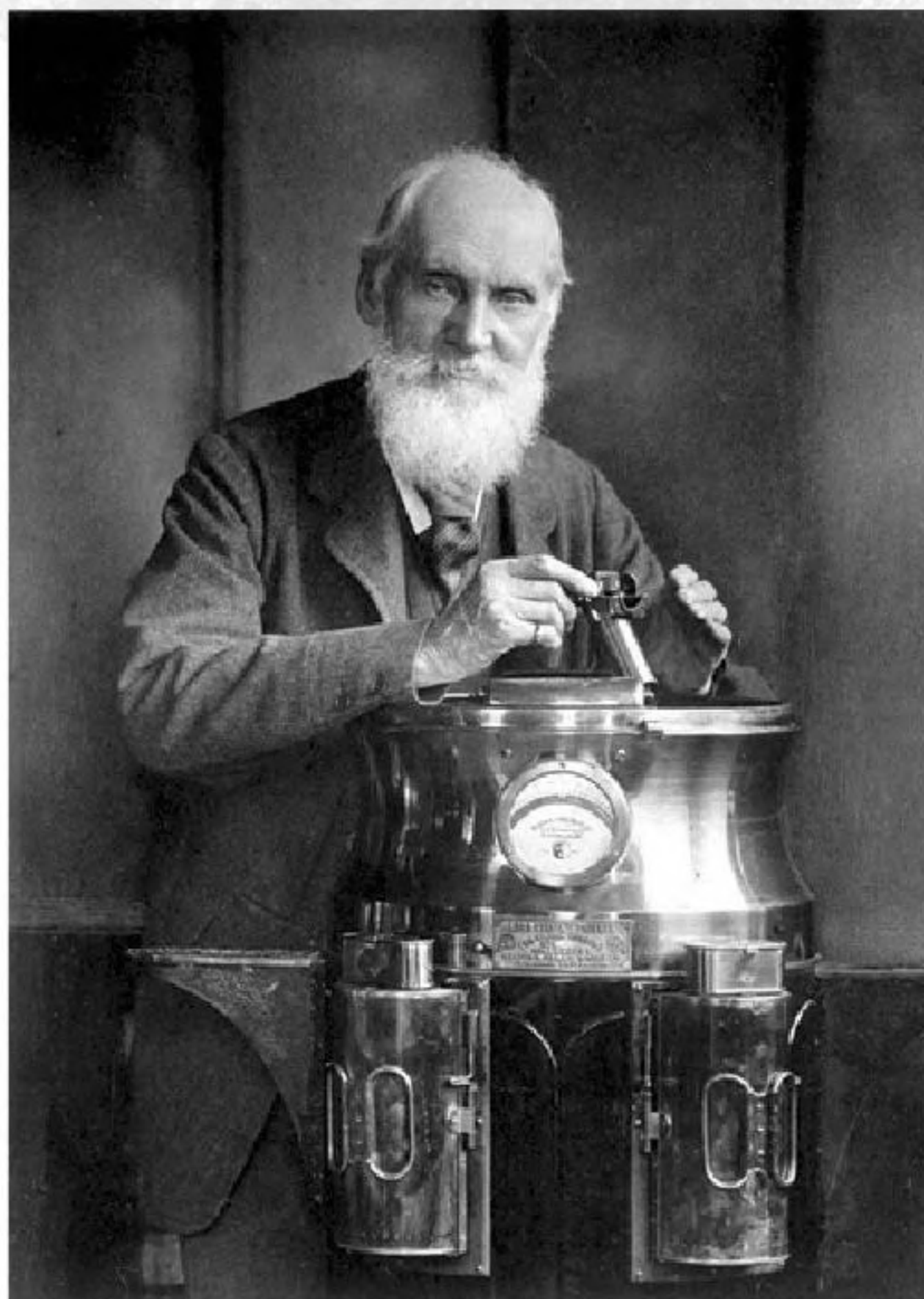
نیز ← ۶۲. قانون اول ترمودینامیک

۶۴

مفهوم صفر مطلق

چقدر می‌توانید پایین‌تر بروید؟

-273.15°C



ویلیام تامسون (۱۸۲۴-۱۹۰۷)

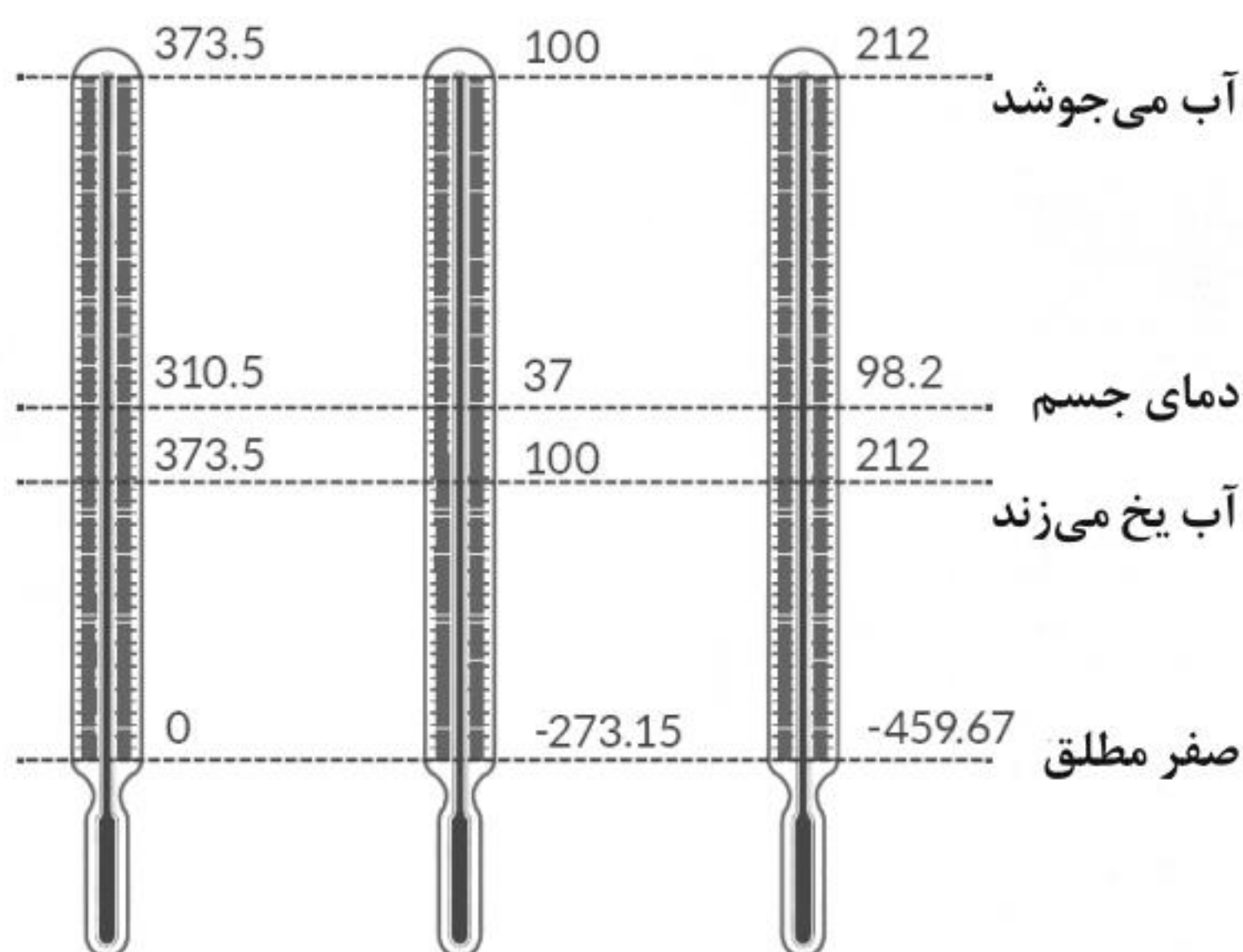
۱ / نگاه هلیکوپتری: کشفیاتی که محققان قرن ۱۷ درباره‌ی گازها کردند به آغاز انقلاب صنعتی کمک کرد (قانون بویل را ببینید). اما هنوز چیزهای



زیادی برای آموختن درباره‌ی گازها و مفاهیم بنیادین طبیعت باقی بود. این داستان احتمالاً با گِیوم آمونتون آغاز می‌شود. در اوایل قرن ۱۸، او از این مشاهده که حجم گاز با دما تغییر می‌کند، بهره برد تا نوع جدیدی از دماسنج بسازد – دماسنجی که در آن خاصیت ارتجاعی هوای گرم، سطح جیوه را در لوله بالا می‌برد. آمونتون از این دماسنج برای یک پیش‌بینی مهم استفاده کرد: به لحاظ نظری، اگر هوا تا 240°C – سرد شود، تمام خاصیت کشسانی و انرژی خود را از دست خواهد داد (هرچند او خیلی قبل از آنکه مقیاس کلاویوس به کار گرفته شود، در حال انجام آزمایش بوده است).

عده‌ی خیلی از معاصران آمونتون مجذوب این کار شدند – اما در دهه‌ی ۱۷۷۰، یوهان هاینریش لامبرت به این ایده بازگشت. با بهبود اسباب آزمایش، او پیش‌بینی آمونتون را دقیق‌تر کرد: او گفت، به‌طور نظری، هوا می‌تواند قبل از اینکه تمام انرژی خود را از دست بدهد تا 270°C – سرد شود.

تا اوایل قرن ۱۹، علم به حرکت خود ادامه داده بود. عده‌ای عقیده داشتند که تمام گازها – نه فقط هوا – به همان صورت منبسط و منقبض می‌شوند. در دهه‌ی ۱۸۳۰، امیل کلاپرون این مفهوم را به قانون گازهای ایده‌آل توسعه داد. این تعمیم می‌گوید، یک گاز که از لحاظ نظری ایده‌آل است تغییر حجم خود را با دما، در تمام دماها به یک سیاق ادامه خواهد داد (گازهای واقعی اینگونه عمل نمی‌کنند: آن‌ها سرانجام با سرد شدن، به مایعات یا جامدات چگالیده می‌شوند).



صفر مطلق – پایین‌ترین دمای نظری در جهان قابل مشاهده.

در ۱۸۴۸، ویلیام تامسون (یا لرد کلونین) از ایده‌های این چنینی الهام گرفت تا مقیاس دمای مطلق را براساس اصول ایده‌آل ترمودینامیکی، به جای مقیاس نسبی مبتنی بر رفتار مواد خاص، مطرح کند. مفهوم صفر مطلق متولد شد و سریعاً مورد پذیرش عام قرار گرفت. امروزه این دما به $273/15^{\circ}\text{C}$ ، تصحیح شده است.

۲ / میان‌بر:  در داخل دماسنج آمونتون، سطح جیوه در لوله‌ی شیشه‌ای، براساس دمای یک حباب هوای گیر افتاده، بالا و پایین می‌رود. در نقطه‌ی جوش آب (100°C) جیوه در مقیاس آمونتون به سطح ۷۳ (بر حسب اینچ) رسید. اما حتی در نقطه‌ی انجماد آب (0°C) جیوه در سطح ۵۱/۵ ایستاد: هوا هنوز (با کلمات خود آمونتون) بسیار «کشسان» بود. با این فرض که هوا با سرمایش بیشتر مانند یک گاز رفتار خواهد کرد (به بیان دیگر، مانند چیزی که فیزیکدانان مدرن آن را یک «گاز ایده‌آل» می‌نامند)، آمونتون توانست به سادگی محاسبه کند که دما قبل از اینکه گاز تمام خاصیت کشسانی (و انرژی) خود را از دست بدهد، به 240°C - سقوط کرده و جیوه در این مقیاس در سطح صفر خواهد ایستاد.

۳ / اشاره:  صفر مطلق یک حد جهانی است. این دما چنان پایین است که براساس اصول ترمودینامیک، رسیدن به آن غیرممکن است.

نیز ← ۷۰. نظریه‌ی جنبشی گازها

فرضیه‌ی اتر

نور بر چه بستری حرکت می‌کند؟

✱ ۱ / نگاه هلیکوپتری: فیزیکدانان اواخر قرن ۱۹، به‌طور معقولی در درک ماهیت نور مناقشه داشتند. به لطف کار بی‌نظیر جیمز کلرک مکسول، به‌طور وسیعی پذیرفته شد که نور شکلی از تابش الکترومغناطیسی است که مانند امواج سیر می‌کند (معادلات مکسول را ببینید). تنها یک پرسش باقی بود: این امواج دقیقاً در چه محیطی منتشر می‌شدند؟

امواج، معمولاً در نوعی محیط مادی حرکت می‌کنند. از همه آشکارتر حرکت امواج اقیانوس از طریق آب است. باور همگانی در قرن ۱۹ بر این بود که امواج نورانی از طریق چیزی که «اتر» نام دارد و در همه‌ی عالم نفوذ و سرایت دارد، حرکت می‌کند.

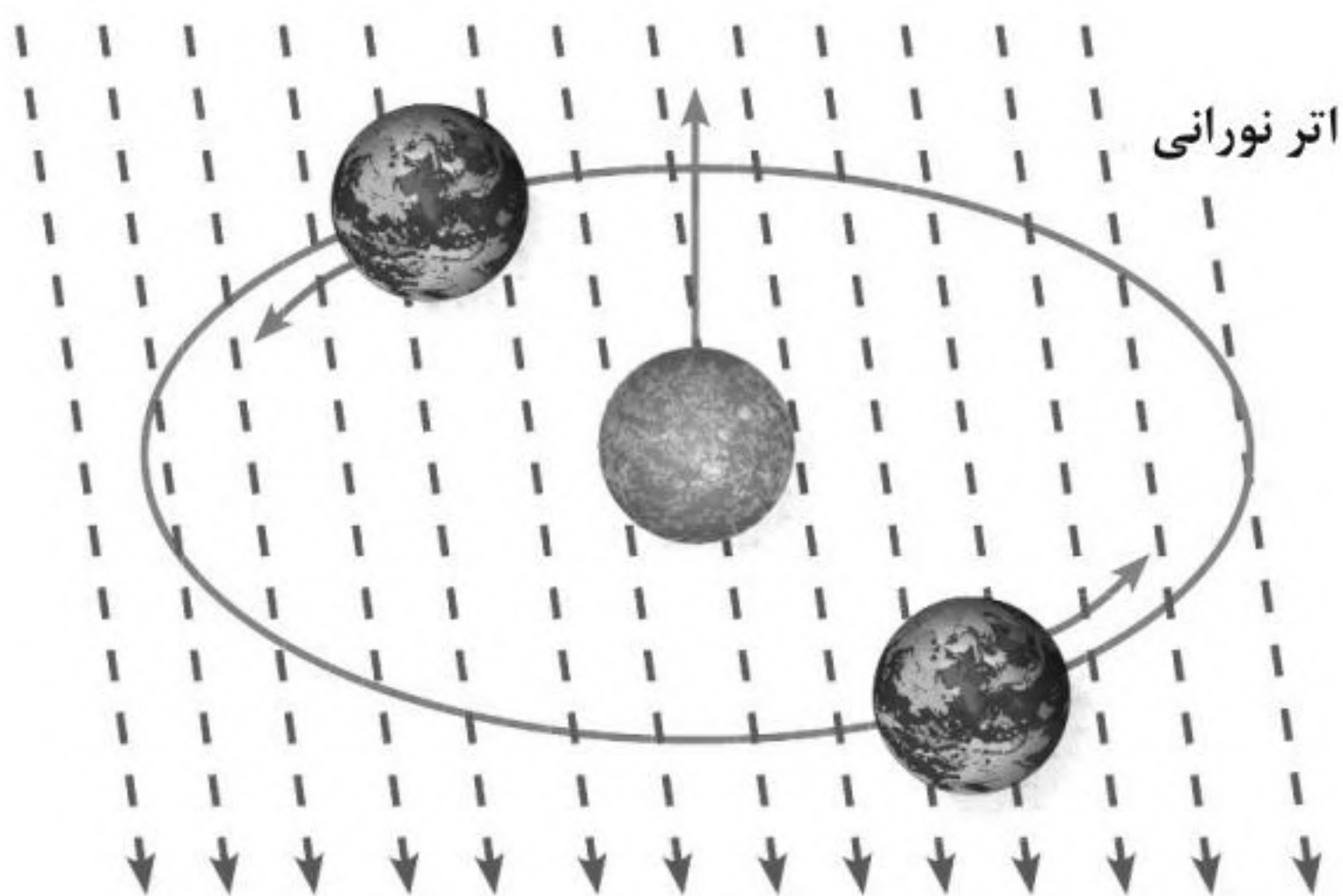
تا دهه‌ی ۱۸۸۰، بر پایه‌ی کار فیزیکدانان قبلی از جمله آگوستین-ژان فرنل، فرض عمومی بر این بود که زمین در حرکت خود به دور خورشید، این اتر را می‌شکافد و جلو می‌رود و به‌طور دائم جهت حرکت خود را نسبت به «باد اتری» جهانی تغییر می‌دهد.

آلبرت مایکلسون استدلال کرد که اگر چنین است، باد اتری باید آثار قابل سنجشی روی سرعت نور داشته باشد، درست به طریقی که سرعت هواپیما بسته به اینکه در جهت یا در خلاف جهت جریان‌های هوایی حرکت کند، تغییر می‌کند. او آزمایشی را طراحی کرد تا این تفاوت‌ها را آشکار کند. اما هیچ مدرکی دال بر تغییر سرعت نور در باد اتری پیدا نکرد.

این نتیجه، فیزیکدانان دیگر را متحیر کرد. بعداً در دهه‌ی ۱۸۸۰، مایکلسون با ادوارد مورلی همکاری کرد تا آزمایش را با دقت بسیار بیشتری انجام دهد. اما این آزمایش نیز در دست یافتن به هرگونه شاهده‌ی از باد اتری شکست خورد. فرضیه‌ی اتر در بحران واقعی بود.



آلبرت مایکلسون (۱۸۵۲-۱۹۳۱)



فیزیکدانان زمانی فرض کرده بودند که در حرکت زمین به دور خورشید، بر سطح آن باد اسرارآمیز اتری می‌وزد.

۲/ میان‌بر: مایکلسون استدلال کرد که یک پرتوی نور که نقطه‌ی ثابت A را ترک و در جهت باد اتر حرکت می‌کند سریع‌تر پیش خواهد رفت، درست مانند هواپیمایی که در باد موافق سریع‌تر حرکت می‌کند. او همچنین استدلال کرد که اگر این پرتوی نور به طریقی بازتابیده شود، پرتوی بازگشتی آهسته‌تر حرکت خواهد کرد. مایکلسون از نظر ریاضی می‌دانست که مدت رفت و برگشت نور در

نقطه‌ی A در صورت وجود باد اتری، اندکی بیش از حالتی طول می‌کشد که بادی وجود ندارد. اما مایکلسون (و مورلی) هر بار مشاهده کردند که نور درست به موقع به نقطه‌ی A برمی‌گردد. باد اتری درکار نبود — شاید به این دلیل که اساساً اتری درکار نبود.

 ۳ / اشاره: با بازگشت به قرن ۱۷، عده‌ای از دانشمندان فرض کرده بودند که نور از طریق اتری سفر می‌کند که همه‌ی جهان را فرا گرفته است. در دهه‌ی ۱۸۸۰، مایکلسون و مورلی عملاً این ایده‌ی دیرپای را از میان بردند.

نیز ← ۶۶. نظریه‌ی نسبیت خاص

نظریه‌ی نسبیت خاص

بازاندیشی حقیقت



هندریک لورنتس (۱۸۵۳-۱۹۲۸)

۱ / نگاه هلیکوپتری: تا دهه‌ی ۱۸۸۰، فرض عده‌ای از فیزیکدانان براین بود که امواج نور از طریق «اتر» نامرئی که اطراف سیاره را فراگرفته، جابه‌جا می‌شوند. آن‌ها تصور می‌کردند که باد اتری باید تأثیرات ظریف اما قابل سنجشی روی سرعت نور در سطح زمین داشته باشد – اما آلبرت مایکلسون و ادوارد مورلی دریافتند که سرعت نور بر سطح تغییرناپذیر است. آخرین تلاش برای تقویت فرضیه‌ی اتر می‌رفت تا منجر به روش تفکر جدیدی درباره‌ی عالم شود.

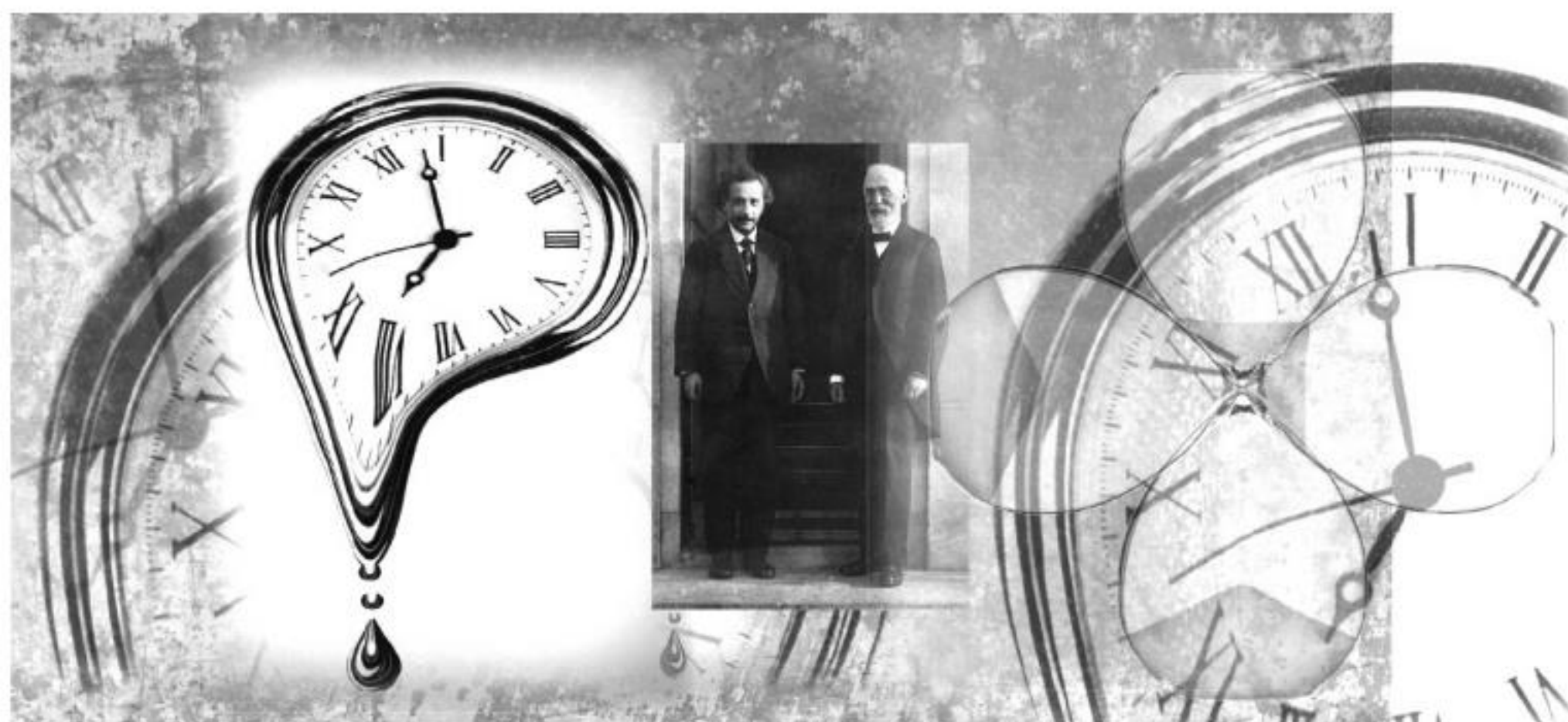


به فاصله‌ی چند سال از آزمایش مایکلسون-مورلی، جورج فرانسیس فیتز جرالده و هندریک لورنتس استدلال کردند که نور هنگام وارد شدن به باد اتری طبق فرض، اندکی کندتر می‌شود. اما آن‌ها گفتند که اشیاء فیزیکی و آهنگ تک‌تک‌های ساعت نیز اندکی با باد دچار اعوجاج می‌شوند. طبق نظر آن‌ها این می‌توانست نتیجه‌ی آزمایش مایکلسون-مورلی را توضیح دهد. تمام کج‌نمایی‌ها باهم خنثی می‌شوند و سرعت نور ثابت به نظر می‌رسد.

این ایده‌ی مردم‌پسندی نبود و کاملاً غیرقابل آزمایش به نظر می‌رسید. در سال ۱۹۰۵ آلبرت اینشتین نسخه‌ی تغییر شکل یافته‌ای از این مفهوم را به یک نظریه‌ی آزمون‌پذیر تغییر داد.

اینشتین تحت تأثیر کار جیمز کلرک مکسول روی الکترومغناطیس قرار گرفته بود. او متوجه شد که معادلات مکسول لازم دارند که سرعت نور در یک محیط دلخواه همواره همان باشد. (توضیحی برای نتیجه‌ی آزمایش مایکلسون-مورلی). اینشتین از فیزیکدانان خواست تا آن را چون اصلی اساسی بپذیرند. در این صورت پیشنهاد مایکلسون و مورلی از یک لحاظ درست بود – اما اینشتین استدلال کرد که به جای اشیاء فیزیکی، این خود فضا و زمان (یعنی «اتر») است که برای حفظ ثبات سرعت نور، کج و معوج می‌شود. ایده اینشتین دارای مبانی ریاضی محکمی بود و پیش‌بینی‌های آزمون‌پذیری داشت که بعدها مورد تأیید قرار گرفتند.

نظریه نسبیت خاص اینشتین به‌طور دقیق، فرضیه‌ی اتر را رد نکرد اما از دید نظریه، اتر چنان نرم رقیق و انعطاف‌پذیر بود که تأیید وجود آن غیرممکن می‌نمود. فیزیکدانان به تدریج فرضیه‌ی اتر را کنار گذاشتند.



کار اینشتین و لورنتس ما را به‌سوی درک نوینی از زمان، فضا و حقیقت راهنمایی کرد.

۲ / میان بر: معادلات مکسول این نتیجه را دربر داشتند که سرعت نور در خلاء ثابت است. اما فضا ناوی را تصور کنید که با سرعت بسیار، از خورشید دور می‌شود: به‌طور منطقی، اگر سرنشینان فضا ناو به عقب و به سمت خورشید نگاه کنند، به پرتوهایی از خورشید نگاه خواهند کرد که با سرعت نور منهای سرعت فضا ناو به سمت آن‌ها می‌آید. اما نظریه‌ی نسبیت خاص اینشتین می‌گوید آن‌ها چنین چیزی نخواهند دید. با سریع‌تر شدن فضا ناو ساعت‌های درون آن به‌طور خودکار شروع به کند شدن خواهند کرد (نسبت به یک ایستگاه فضایی مجاور که فاصله‌ی آن از خورشید ثابت است). برای پرتوهایی که از خورشید می‌رسد، سرنشینان فضا ناو به دلیل کند شدن زمان در آن، همان سرعت نور را اندازه خواهند گرفت. این پیشگویی اکنون به‌طور تجربی تأیید شده است.

۳ / اشاره: این فرض که فضا و زمان خصیصه‌های لایتغیر حقیقت هستند، به نظر طبیعی می‌رسد. اما نسبیت خاص می‌گوید آن‌ها چنین نیستند.

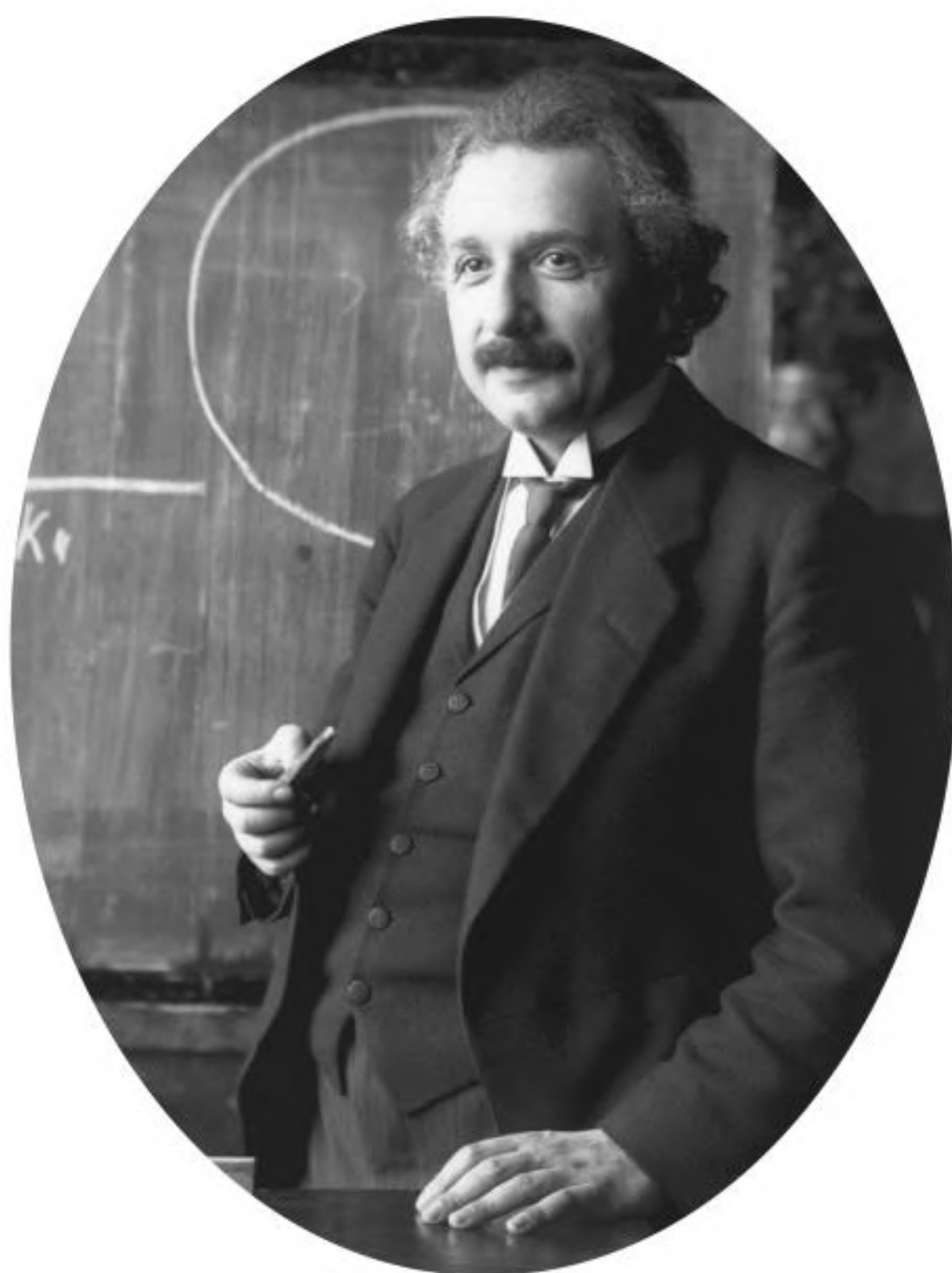
زمان می‌تواند آهسته‌تر بگذرد و فضا می‌تواند منقبض شود — و هر چه اختلاف سرعت دو مشاهده‌گر بیشتر باشد، این اثر مشهودتر است.

نیز ← ۶۰. معادلات مکسول

۶۷

$$E = mc^2$$

مشهورترین معادله‌ی جهان



آلبرت اینشتین (۱۸۷۹-۱۹۵۵)

✱ / **نگاه هلیکوپتری:** در سال ۱۹۰۵، آلبرت اینشتین مقاله‌ای را منتشر کرد که به نظریه‌ی نسبیت خاص او معروف شد و روش تفکر فیزیکدانان را درباره‌ی جهان تغییر داد. بعدها اینشتین توضیح داد که مهمترین پیامد نسبیت خاص ایده‌ای است که با معادله‌ای که به طرز زیبایی ساده است نمایش داده می‌شود: $E = mc^2$. این معادله به بهترین وجه در متن تاریخی آن قابل درک است. اندکی بیش از صد و پنجاه سال قبل، بیشتر دانشمندان متقاعد شده بودند که گرما هرگز خلق یا نابود

نمی‌شود – ایده‌ای که به **نظریه‌ی کالریک** مشهور بود. امروزه حتی غیرفیزیکدانان نیز می‌دانند که این قانون «بقای گرما» درست نیست: موتور اتومبیل در حالت روشن گرم می‌شود – یعنی گرمای «جدید» تولید می‌کند.

اما تنها با کار دقیق جیمز ژول و دیگران در نیمه‌ی قرن ۱۹ بود که فیزیکدانان به کنار گذاشتن اصل بقای گرما مجاب شدند (قانون اول ترمودینامیک را ببینید). تا پایان آن قرن، بیشتر دانشمندان پذیرفتند که گرما تنها یکی از شکل‌های انرژی است، به طوری که می‌تواند با تبدیل به انواع دیگر انرژی، خلق یا نابود شود. اما به تصور آن‌ها خود انرژی از یک قانون بقا تبعیت می‌کند: انرژی نمی‌تواند خلق یا نابود شود. به بیان غیرفنی، آنچه که آزمایش‌های ژول در دهه‌ی ۱۸۴۰ برای اصل بقای گرما انجام داد، نظریه‌ی نسبیت خاص اینشتین با اصل بقای انرژی کرد. این نظریه نشان داد که اصل بقای انرژی کاملاً درست نیست. اینشتین نشان داد که جرم و انرژی اساساً یک چیز هستند. این یک پیشگویی جسورانه اما از نوعی بود که چندی بعد فیزیکدانان درستی آن را از طریق آزمایش تأیید کردند.



انرژی و جرم همانطور که فیزیکدانان در مرکز سرن در نزدیکی ژنو بررسی کرده‌اند، با هم ارتباط بنیادین دارند.

۲/ میان‌بر: معادلات اینشتین روشن ساختند که انرژی فقط یکی از اشکال «جرم-انرژی» است. او عملاً نشان داد که انرژی E می‌تواند به جرم m تبدیل شود و برعکس. ما در زندگی روزمره متوجه این هم ارزی جرم-انرژی نیستیم، زیرا حتی برای تولید مقادیر خیلی کوچک جرم «جدید» هم به مقادیر عظیم انرژی نیاز

داریم. این واقعیت در قسمت c^2 معادله نهفته است. فیزیکدانان از c برای نمایش سرعت نور استفاده می‌کنند که عدد خیلی بزرگی است و وقتی در خودش ضرب می‌شود، بسیار بزرگ‌تر می‌گردد.

 ۳ / اشاره: $E = mc^2$ معادله‌ای با شهرت جهانی و حامل ایده‌ای انقلابی است:
انرژی و جرم دو روی یک سکه‌اند.

نیز ← ۶۶. نظریه‌ی نسبیت خاص

نظریه‌ی نسبیت عام

چرا گرانش مانند یک سطح لاستیکی است

✱ ۱ / نگاه هلیکوپتری: درست در آغاز قرن ۲۰ آلبرت اینشتین درک ما از فضا، زمان و انرژی را تغییر داد (نظریه‌ی نسبیت خاص را ببینید). اما ایده‌های او تنها در حالت «خاص»ی که اجسام با سرعت ثابت یکنواخت حرکت می‌کنند کار می‌کرد. آیا نسبیت برای حالت عمومی‌تری که اجسام تغییر سرعت می‌دهند نیز کاربرد داشت؟ در ۱۹۱۵ اینشتین به این نتیجه رسید که پاسخ مثبت است. در انجام این کار او درک موجود از گرانش را متحول کرد.

جنبه‌ی اساسی چیزی که نظریه‌ی نسبیت عام اینشتین نام گرفت، «اصل هم ارزی است». اینشتین فرض کرد که قوانین طبیعت برای یک جسم شتابدار اساساً با قوانین حاکم بر یک جسم ساکن در یک میدان گرانشی، یکسان است (مثلاً میدان گرانشی زمین).

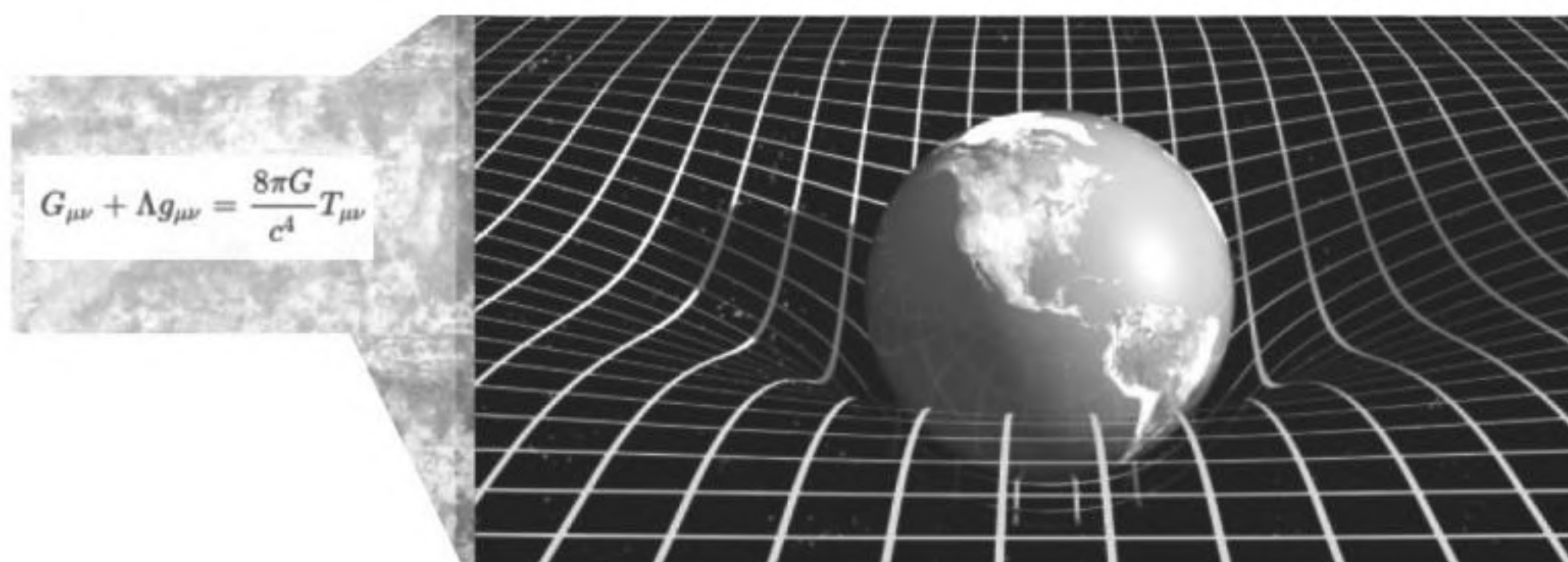
با ادامه‌ی کاوش در این اصل، ایده‌های اینشتین شروع به تقابل با انتظارات سنتی از گرانش کردند. آیزاک نیوتون گرانش را نیروی جاذبه‌ی اسرارآمیزی بین هر دو جسم در جهان قابل مشاهده فرض کرده بود. اینشتین متوجه شد که در مدل گرانشی خودش – که به فضا و زمان اجازه‌ی واپیچش می‌دهد – گرانش می‌تواند به طریق دیگری درک شود.

به بیانی ساده، اینشتین گرانش را چون واپیچشی در فضا و زمان تصور کرد. کهکشان‌ها و ستارگان «فضا زمان» را وافی پیچند درست به صورتی که یک توپ بولینگ می‌تواند یک سطح لاستیکی تحت تنش را خم کند. خمیدگی‌های فضا زمان نیز متقابلاً رفتار و توزیع جرم را تحت تأثیر قرار می‌دهند (و انرژی را $E = mc^2$ ؛ را ببینید). به طریق مشابه، مسیری را که یک گوی در غلتیدن روی سطح لاستیکی انتخاب می‌کند، تحت تأثیر خمش ناشی از حضور توپ بولینگ است: گوی به سمت توپ بولینگ «کشیده» می‌شود درست به گونه‌ای که اجسام در فضا زمان به‌سوی یکدیگر کشیده می‌شوند.

نظریه‌ی نسبیت عام پیش‌بینی‌هایی جسورانه اما قابل آزمایش کرد. با تأیید این

پیشگویی‌ها، نظریه مقبولیت عام یافت.

۲ / میان‌بر: فضانوردی که در یک سفینه‌ی فضایی با شتابی برابر با شتاب جاذبه‌ی زمین است، خواهد دید که اجسام درست به همان طریقی سقوط می‌کنند که در سطح زمین: شتاب و میدان‌های گرانشی هم ارز هستند. اکنون تصور کنید که سفینه شتاب بسیار زیادی دارد و فضانورد با باز و بسته کردن پنجره‌ای به باریکه‌ای افقی از نور ستاره‌ی مجاور اجازه ورود می‌دهد. به دلیل شتاب بسیار زیاد سفینه، به نظر خواهد رسید که باریکه‌ی نور طی عرض سفینه خم می‌شود. اینشتین پیش‌بینی کرد که به طریق مشابه، پرتوهای نور در یک میدان گرانش قوی مانند میدان گرانشی در مجاورت خورشید خم خواهد شد – پیش‌بینی او در سال ۱۹۱۹ تأیید شد.



معادلات اینشتین به درک نوینی از گرانش اشاره دارند.

۳ / اشاره: در نظریه‌ی نسبیت عام اینشتین حضور ماده، فضا و زمان را دچار واپیچش می‌کند و این واپیچش‌ها نیز رفتار ماده و انرژی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. گرانش چیزی جز این واپیچش‌های فضا-زمان نیست.

نیز ← ۵۶. قانون گرانش جهانی نیوتون

نظریه‌ی اتمی دالتون

بعضی چیزها فقط جمع می‌شوند



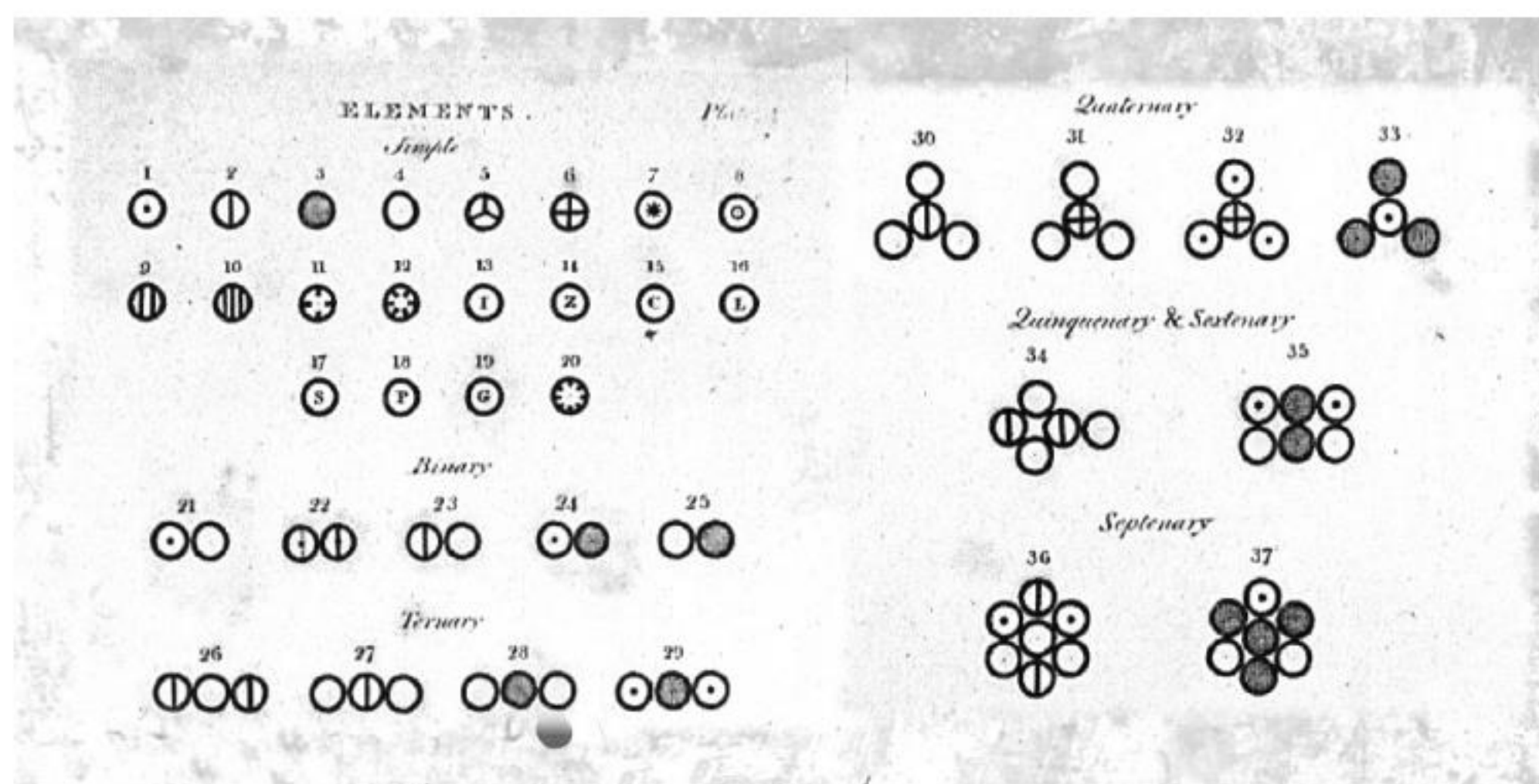
جان دالتون (۱۷۶۶-۱۸۴۴)

۱ / نگاه هلیکوپتری: این ایده که ماده می‌تواند از اتم‌های ریز ساخته شده باشد به هزاره‌های قبل برمی‌گردد. اما تا آغاز قرن ۱۹، پایه‌ی علمی محکمی نداشت. یکی از چهره‌های شاخص این گذار جان دالتون بود.

در حالی که دالتون تنها بیست سال داشت دو قانون مهم علمی در حال فرموله شدن بودند. نخست در دهه‌ی ۱۷۸۰، آنتوان لاووازیه دریافت که در واکنش‌های شیمیایی جرم نه خلق می‌شود و نه نابود می‌گردد: وزن عوامل واکنش در ابتدا و

انتهای آن یکسان بودند. این به قانون بقای جرم معروف شد. یک دهه بعد یعنی در دهه‌ی ۱۷۹۰، ژوزف پروست کشف مهم دیگری کرد. او مشغول مطالعه‌ی ترکیبات شیمیایی بود – موادی که بیش از یک نوع عنصر در خود داشتند. او متوجه شد که وقتی این ترکیبات به عناصر سازنده‌ی خود می‌شکنند و این عناصر وزن می‌شوند، وزن‌های نسبی همیشه در تناسب با یکدیگر هستند. برای مثال ۱۱ درصد از جرم یک لیوان آب هیدروژن و ۸۹ درصد آن اکسیژن است. اگر مقداری از آب لیوان را بیرون بریزیم باز هم این نسبت برقرار است. این به قانون پروست یا قانون نسبت‌های معین معروف شد.

دالتون استدلال کرد که این دو قانون می‌توانند برای رسیدن به درک عمیق‌تری از طبیعت ترکیب شوند؛ درکی که ماده را مرکب از اتم‌های ریز – اما مجزا و غیرقابل تقسیم – می‌داند. دالتون در زمانی زندگی می‌کرد که مشاهده‌ی اتم‌ها با استفاده از تجهیزات علمی غیرممکن بود، بنابراین ایده‌های او عمدتاً بر اصول نظری تکیه داشتند. با همه‌ی استحکامی که نظریه‌ی اتمی او داشت، بحث روی وجود اتم‌ها، حتی تا اوایل قرن ۲۰ ادامه یافت (نظریه‌ی حرکت براونی اینشتین را ببینید)



مشاهدات و براهین دقیق دالتون، بستر مناسبی برای باور کردن وجود اتم‌ها ایجاد کرد.

۲ / میان‌بر: در اوایل قرن ۱۹، دالتون موضوع مهمی را به قانون پروست ضمیمه کرد. او دریافت که وقتی دو عنصر می‌توانند به بیش از یک روش برای ساختن یک ترکیب در هم بیامیزند، اینجا نیز الگویی برای نسبت‌ها وجود دارد. برای مثال کربن می‌تواند برای ساختن دو گاز متفاوت با اکسیژن واکنش کند (دی اکسید کربن و مونو اکسید کربن). دالتون متوجه شد که با شروع از مقدار مشخصی

از جرم کربن، جرم اکسیژن لازم برای تولید دی اکسید کربن، دوبرابر جرم اکسیژن مورد نیاز برای تولید مونواکسید کربن است. چنین الگوهایی تنها زمانی برای دالتون معنادار بودند که ماده همانطور که آیزاک نیوتون گفته بود از «ذرات متحرک، نفوذ ناپذیر، سخت، جرم‌دار و جامد» تشکیل یافته باشد.

۳ / اشاره: متفکرین بزرگی برای هزاران سال درباره‌ی وجود اتم‌ها ایده‌پردازی کرده‌اند، اما نظریه اتمی دالتون اهمیت خاص دارد. این نظریه می‌گوید، تنها راه توضیح رفتار عناصر شیمیایی این است که بپذیریم آن‌ها از ذراتی مجزا، یا اتم‌ها ساخته شده‌اند.

نیز ← ۷۰. نظریه‌ی جنبشی گازها

نظریه‌ی جنبشی گازها

آیا گازها اتمی هستند؟



دانیل برنولی (۱۷۰۰-۱۷۸۲)

۱ / نگاه هلیکوپتری: دانشمندان قرن ۱۹ نتوانستند بر سر وجود یا عدم وجود اتم‌ها به توافق برسند (نظریه‌ی اتمی دالتون را ببینید). این امر مانع آن نشد تا عده‌ای از آن‌ها رفتار ماده را براساس فرض یک دنیای اتمی توضیح دهند. نظریه‌ی جنبشی گازها با اطمینان وجود اتم‌ها را می‌پذیرد.

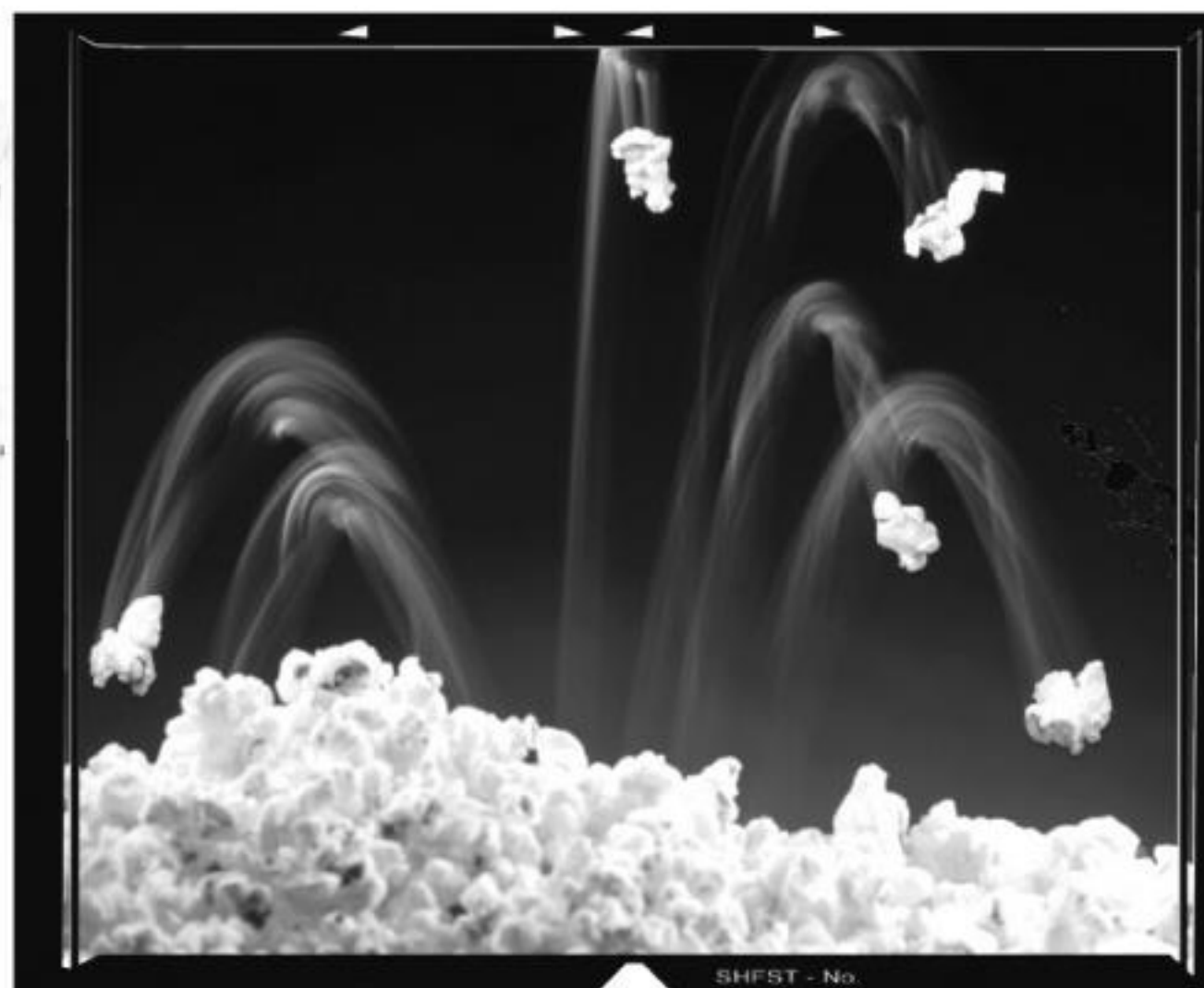
نظریه‌ی جنبشی گازها در شکل مدرن خود در دهه‌ی ۱۷۳۰ با دانیل برنولی، که جای بحث دارد، آغاز شد. برنولی چند دهه بعد از اینکه دانشمندان شروع به بررسی

رابطه بین حجم اشغال شده توسط گاز با دما و فشار آن کرده بودند، کار خود را آغاز کرد. رابرت بویل نشان داده بود که این روابط می‌توانند با این فرض درک شوند که گازها از ذرات ریزی ساخته شده‌اند که یکدیگر را مانند فنر دفع می‌کنند. بسیاری فرض کردند که این ذرات، اگر اساساً وجود داشته باشند، حرکت خیلی محدودی دارند و یکدیگر را از فاصله‌ای دفع می‌کنند.

برنولی این فرض را زیر سؤال برد و به‌جای آن نشان داد که ذرات در یک گاز حرکت سریعی دارند و به‌طور مداوم با دیواره‌های ظرف حاوی آن‌ها برخورد می‌کنند - که توضیحی دینامیکی برای فشار است. اما این ایده رواج نیافت.

در نیمه‌ی دوم قرن ۱۹، با جابه‌جا شدن اتفاق نظر علمی بر سر ماهیت انرژی (قانون اول ترمودینامیک را ببینید)، سرنوشت ایده‌ی برنولی عوض شد. فیزیکدانانی مانند جیمز کلرک مکسول و لودویگ بولتسمان، نظریه‌ی جنبشی را جدی گرفتند. آن‌ها ریاضیات و آمار حرکت مستقل از هم این ذرات ریز را بررسی کردند تا توضیح دهند که آن‌ها باید چگونه حرکت و برخورد کنند تا بتوانند بازتوزیع گرمای بزرگ مقیاس را توضیح دهند. این کار تأیید کرد که رفتار گازها در واقع می‌تواند با فرض تشکیل شدن آن‌ها از اتم‌ها یا مولکول‌هایی که به‌طور غیرقابل تصویری کوچک هستند، توضیح داده شود.

حتی با این پیشرفت نیز، شکاکان اشاره داشتند که نظریه‌ی جنبشی گازها وجود اتم‌ها را ثابت نمی‌کند.



اتم‌ها در گازها، درست مانند دانه‌های ذرتی که در ماهیتابه پف می‌کنند، به سرعت حرکت و برخورد می‌کنند.

۲ / میان‌بر: ذرات را در نظریه‌ی جنبشی گازها مانند دانه‌های ذرتی تصور کنید که در تابه‌ی مخصوص می‌ترکند و پرتاب می‌شوند. اگر تابه خیلی بزرگ باشد در هر لحظه شاید یکی یا دو تا از دانه‌ها در اثر انفجار با سرپوش برخورد کنند و سرپوش محکم سر جای خود خواهد ماند. اما اگر تابه کوچک و حاوی همان تعداد دانه باشد، ده‌ها عدد از آن‌ها همزمان به سرپوش خواهند خورد. فشار ناشی از برخورد این «ذرات» خیلی بیشتر از قبل خواهد بود. ممکن است درپوش در اثر این برخوردها حرکت کرده یا حتی بیفتد.

۳ / اشاره: رفتار سیالات و گرمایی که آن‌ها حمل می‌کنند می‌تواند با این فرض که آن‌ها از اتم‌های سریع ساخته شده‌اند، توضیح داده شود. اما نظریه‌ی جنبشی گازها وجود اتم‌ها را ثابت نمی‌کند.

نیز ← ۶۱. قانون بویل

نظریه‌ی حرکت براونی اینشتین

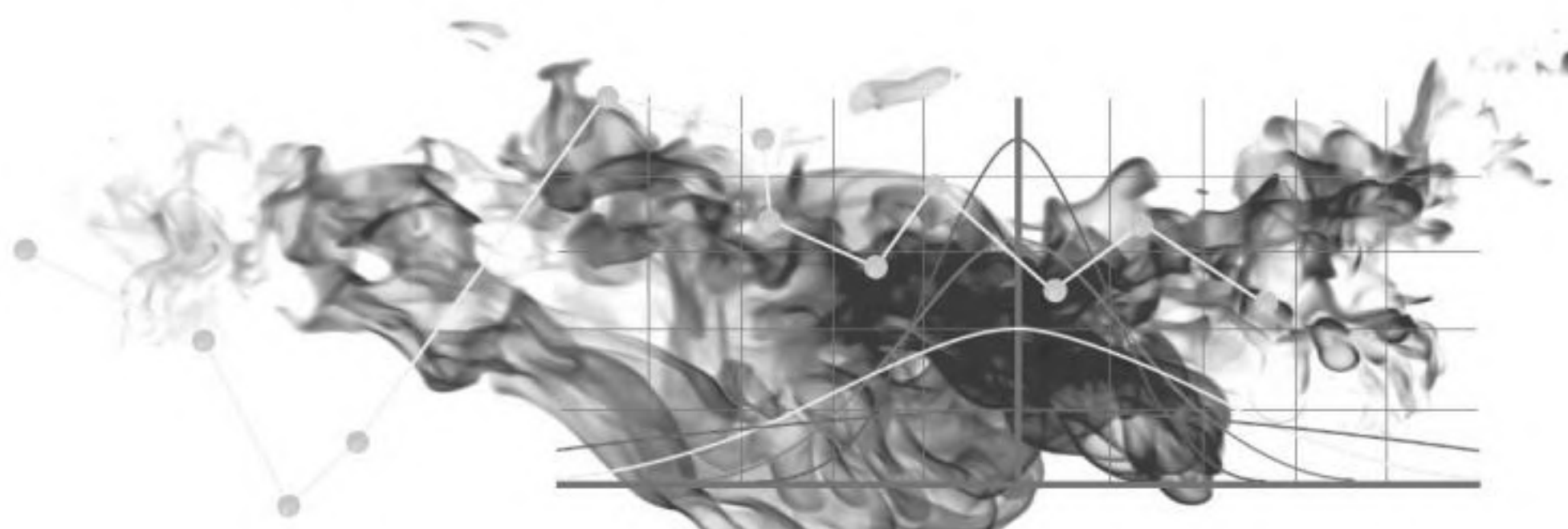
اتم‌ها آشکار می‌شوند

✱ ۱ / نگاه هلیکوپتری: در سال ۱۸۲۷، رابرت براون تصمیم گرفت نقش گرده‌ها را در باروری بررسی کند. او گرده‌ها را در آب ریخت و آن‌ها را زیر میکروسکوپ تحت نظر گرفت. براون متوجه چیز عجیبی شد: گرده‌ها، ذرات ریزی رها کردند که درون آب «می رقصیدند». حدود هشتاد سال بعد، این رقص – حرکت براونی – عده‌ای از دانشمندان را متقاعد کرد که اتم‌ها وجود دارند.

براون نتوانست حرکت ذرات ریز را توضیح دهد اما در اوایل قرن ۲۰، آلبرت اینشتین فهمید که می‌تواند آن را انجام دهد. در آن هنگام اینشتین مشغول محاسبه‌ی اندازه‌ی نظری مولکول‌های شکر بود. یک راه انجام این کار، بررسی چگونگی پخش شدن مولکول‌های شکر در آب برای ایجاد یک محلول شیرین بود. اینشتین معادلاتی به دست آورد که نحوه‌ی حرکت مولکول‌های شکر و برهمکنش آن‌ها با مولکول‌های آب را به دقت توضیح می‌داد.

در سال ۱۹۰۵، اینشتین دریافت که معادلات او می‌توانند نحوه‌ی برهمکنش مولکول‌ها و ذرات دیگر را نیز با مولکول‌های آب توضیح دهند – حتی اگر به اندازه‌ی کافی بزرگ باشند تا زیر میکروسکوپ دیده شوند. رقص لرزشی در حرکت براونی، درست از نوع حرکتی بود که معادلات اینشتین برای ذرات جدا شده از گرده‌ها تحت بمباران مداوم مولکول‌های پرانرژی آب، پیش‌بینی می‌کردند. این ایده که رقص شگرف براونی می‌تواند به این طریق توضیح داده شود به **نظریه‌ی حرکت براونی اینشتین** مشهور شد.

دیگران نیز قبلاً نشان داده بودند که رفتار گازها و مایعات می‌تواند با فرض تشکیل شدن آن‌ها از ذرات ریز و متحرک توضیح داده شود (نظریه‌ی جنبشی گازها را ببینید) – اما بسیاری از دانشمندان، این ذرات را صرفاً نظری فرض می‌کردند. به هر حال، طبق نظریه‌ی حرکت براونی اینشتین، رقص عجیبی که دانه‌ای ریز براونی انجام می‌دادند یک پی‌آمد پیش‌بینی شده از فرض تشکیل مایعات و گازها از اتم‌های متحرک بود. اساساً ایده‌های رقیب، رقص پیچیده در حرکت براونی را پیش‌بینی نکردند. اما



حرکت رنگ در یک مایع — مثالی از حرکت براونی — با ریاضیات توضیح داده می‌شود.

اوضاع دگرگون شد و بیشتر دانشمندان آماده‌ی پذیرش وجود اتم‌ها شدند.

⊞ **۲ / میان‌بر:** براون اولین دانشمندی نبود که حرکت براونی را مشاهده کرد، اما شاید به دلیل بررسی جامع او از پدیده بود که اکنون نام او را گرفته است. او ابتدا فرض کرد که این رقص عجیب به دلیل حضور ماده‌ی زنده است. او ایده‌ی خود را فراتر از قلمرو حیات امتحان کرد: گرده‌هایی که از گیاهان مرده به دست آورده بود، ذراتی که از گیاهان سنگواره‌ی مربوط به دویست میلیون سال قبل استخراج کرده بود و نهایتاً حتی از ذراتی که از مواد کاملاً غیرارگانیک جدا شده بودند، اما در همه‌ی موارد ذرات درست مانند مشاهده‌ی نخستین، در آب به این سو و آن سو می‌جهیدند. حرکت براونی خاصیت موجودات زنده نبود و دلیل عمیق‌تری داشت.

⊞ **۳ / اشاره:** شاید نظریه‌ی حرکت براونی اینشتین برای گشودن یک راز هشتاد ساله بوده باشد، اما نتایج غنی‌تری داشت. این نظریه، بسیاری از دانشمندان را نسبت به وجود اتم‌ها مجاب کرد.

نیز ← ۶۹. نظریه‌ی اتمی دالتون

مدل کیک کشمش

اتم‌ها در منوی دسر



جوزف جان تامسون (۱۸۵۶-۱۹۴۰)

۱ / **نگاه هلیکوپتری:** فیزیکدانان اوایل قرن ۲۰ رفته رفته وجود اتم‌ها را باور کردند (نظریه‌ی حرکت براونی اینشتین را ببینید). اما با این کار با راز بزرگ‌تری روبرو شدند: اتم‌ها دقیقاً شبیه چه چیزی هستند؟

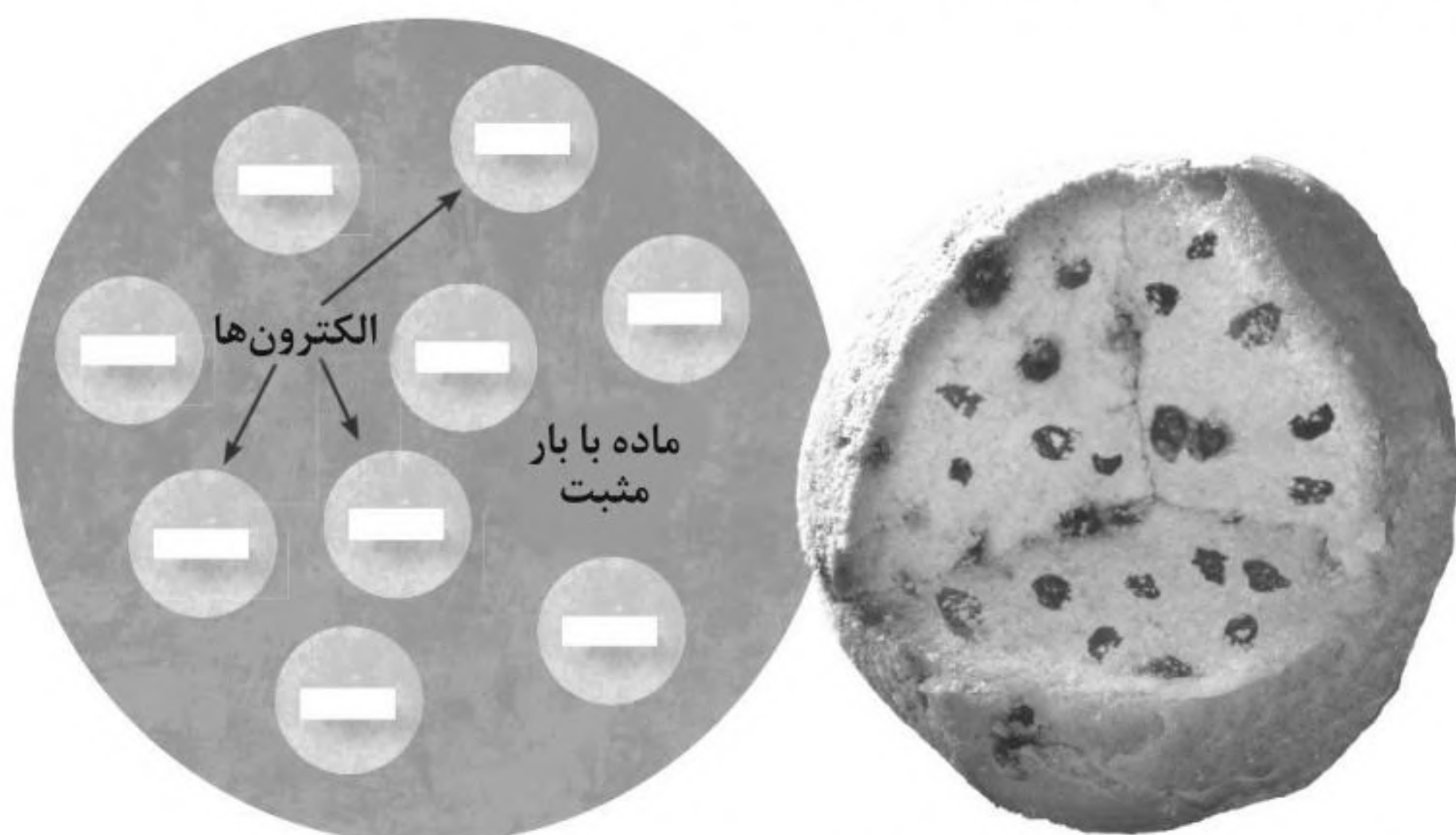
سرنخ‌هایی از ساختار اتم‌ها در قرن ۱۹، حتی قبل از این که ایده‌ی اتم به‌طور گسترده مورد پذیرش قرار گیرد، به دست آمده بود. فیزیکدانانی مانند **یوهان هیتورف و ویلیام کروکس** کشف کرده بودند که یک قطعه‌ی فلز با بار مثبت (یک

«کاتد» اگر در محفظه‌ای بدون هوا نگه داشته شود، درخشش عجیبی از خود گسیل می‌کند. آزمایش‌های بیشتر نشان دادند که این «پرتوهای کاتدی» انرژی حمل می‌کنند و - با فرض اینکه بتوانند در یک میدان مغناطیسی خمیده شوند - بار منفی نیز حمل می‌کنند.

در سال ۱۸۹۷ جوزف جان تامسون کشف کرده بود که تمام انواع مواد پرتوهای کاتدی تولید می‌کنند. از رفتار این پرتوها معلوم شد که مقادیر بسیار کوچکی از ماده را منتقل می‌کنند و این بدان معنا بود که پرتوها در واقع جریان‌هایی از ذرات ریز هستند. تامسون آن‌ها را «گویچه» نامید. بیشتر فیزیکدانان ترجیح دادند آن‌ها را «الکترون» بنامند.

در عرض چند سال تحقیقات آنری بکرل و ارنست رادرفورد، نشان داده بود که این الکترون‌ها از درون اتم‌ها می‌آیند. این پیشرفت بزرگ سرخ اولیه را درباره‌ی ساختار اتمی در اختیار فیزیکدانان گذاشت.

تامسون شروع به تفکر درباره‌ی ساختار اتمی کرد. به نظر می‌رسید که اتم‌ها بار خالص ندارند بنابراین باید جزئی با بار مثبت می‌داشتند تا با بار منفی الکترون‌ها موازنه برقرار کند. مدلی از اتم که او به آن رسید کره‌ای با بار مثبت بود که الکترون‌های منفی ریز در آن توزیع شده‌اند. مدل او تا حدی شبیه کیک میوه‌ای بود که میوه خشک شده در آن نقش الکترون‌ها را داشت. نتیجه اینکه ساختار اتمی تامسون به مدل کیک کشمش معروف شد.



یک مدل اولیه از اتم شبیه بازمانده‌ی یک دسر سنگین بود.

⊕ ۲/ میان‌بر: نام مدل کیک کشمشی طنزآمیز به نظر می‌رسد و با این واقعیت که دیدگاه اتمی تامسون به سرعت کنار گذاشته شد، جور درمی‌آید. اما این مدل بر منطق و استدلال تکیه داشت. او مدل خود را از کار آلفرد مارشال مایر استخراج کرده بود، کسی که نشان داده بود، وقتی به ده‌ها آهنربای کوچک اجازه داده می‌شود تا در حمام آبی در زیر یک آهنربای قوی آزادانه غوطه‌ور شوند، خود را در حلقه‌های منظم و هم‌مرکز آرایش می‌دهند. اگر الکترون‌های درون اتم‌ها نیز چنین می‌کردند، الگویی که این حلقه‌ها شکل می‌دادند، می‌توانست خواص بزرگ مقیاس عناصر شیمیایی را توضیح دهد: دو یا چند عنصر با همان خواص فیزیکی از اتم‌هایی ساخته خواهند شد که شامل الگوهای مشابه برای حلقه‌های الکترونی باشند.

⊞ ۳/ اشاره: در آغاز قرن ۲۰، فیزیکدانان می‌خواستند کارکردهای داخلی اتم‌ها را درک کنند.
مدل کیک کشمشی، دیدگاهی اولیه اما نهایتاً ناموفق از ساختار اتمی بود.

نیز ← ۷۵. مدل رادرفورد - بور

قانون پلانک

سپیده دم انقلاب کوانتومی



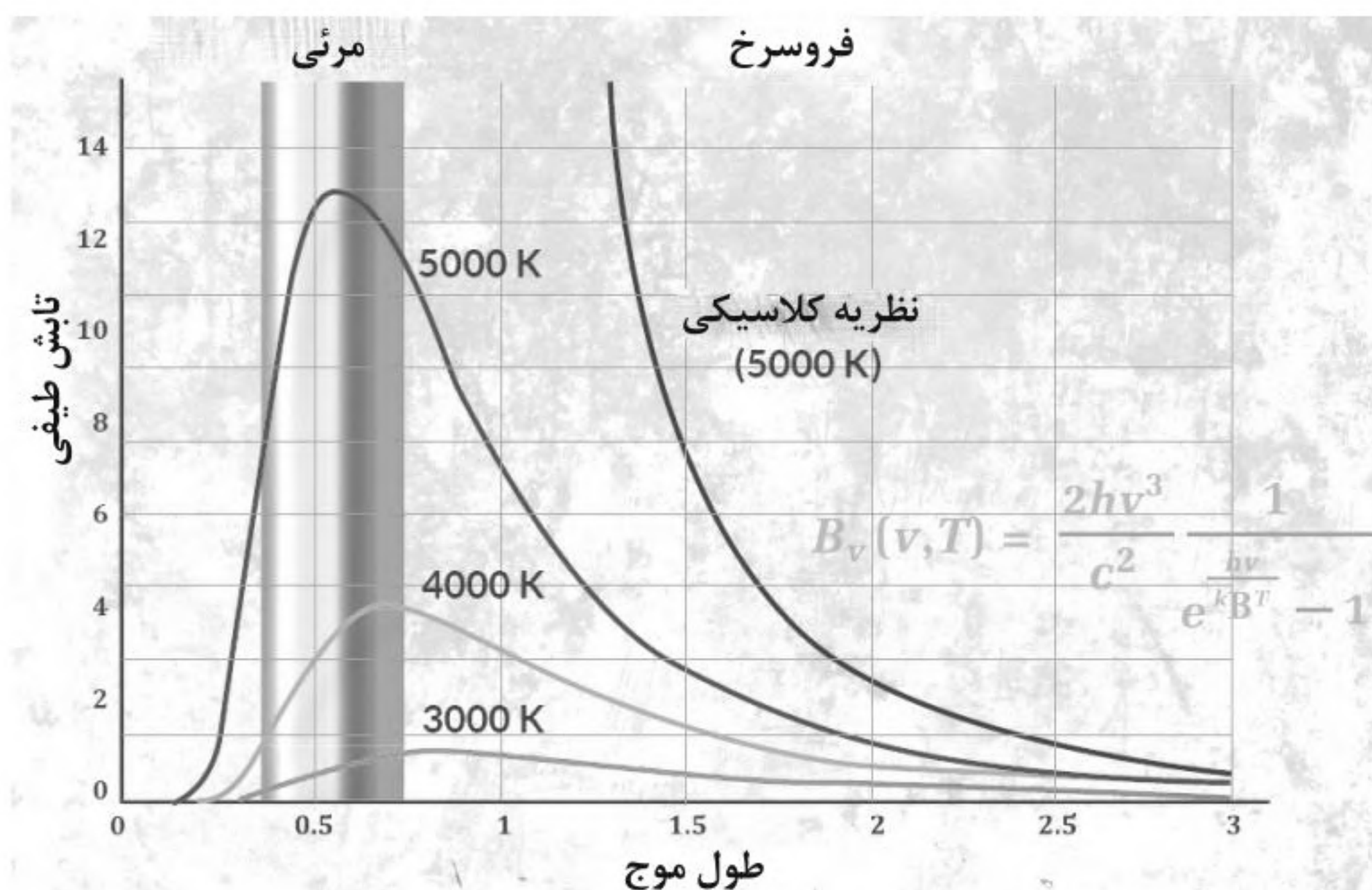
(ماکس پلانک (۱۸۵۸-۱۹۴۷)

✱ ۱ / نگاه هلیکوپتری: در دهه‌های ۱۸۵۰ و ۱۸۶۰، گوستاو کرشوف استدلال کرد، جسمی که در دمای ثابتی نگه داشته شده است، باید دقیقاً همان اندازه که تابش جذب می‌کند، گسیل داشته باشد تا از چیزی که بعداً به قانون دوم ترمودینامیک معروف شد، تبعیت کند. این ایده‌ای بود که نهایتاً آغاز شاخه‌ی کاملاً جدیدی از فیزیک را موجب شد: فیزیک کوانتومی.

از این ایده، کرشوف نتیجه گرفت که یک جذب‌کننده‌ی کامل تابش، باید یک

گسیل‌کننده‌ی کامل نیز باشد. او این گسیل‌کننده‌ی کامل را «جسم سیاه» نامید و گفت که جسم سیاه برای درک تابش اهمیت دارد. اشیاء سیاه تاحدی مانند جسم سیاه رفتار می‌کنند. برای مثال در یک روز آفتابی، یک سطح سیاه به این دلیل داغ است که نور خورشید (تابش الکترومغناطیسی) را جذب و تابش گرمایی گسیل می‌کند. متأسفانه اجسام سیاه کامل خیلی نادرند. کرفش چاره‌ای پیدا کرد. او نشان داد که سوراخ کوچکی روی بدنه‌ی یک جعبه‌ی بزرگ تعبیه شود. هر تابشی که وارد جعبه شود، بعید است که دوباره بتواند از آن خارج شود و حفره تقریباً یک جذب‌کننده‌ی کامل تابش است. اگر جعبه‌ی درزگیری شده، یک اجاق داغ واقعی باشد، مقداری از تابش گرمایی از سوراخ کوچک فرار خواهد کرد و جعبه تقریباً یک گسیل‌کننده‌ی کامل خواهد شد.

تا نیمه‌ی دهه‌ی ۱۸۹۰، ویلهلم وین و اتو لومر، ایده‌ی کرفش را عملی کرده و تابش گرمایی سوراخی از یک کوره را در دماهای مختلف اندازه‌گیری کرده بودند. فیزیکدانان به دنبال معادله‌ای بودند که این اندازه‌گیری‌ها را توضیح دهد – اما به مشکل خوردند.



تلاش برای توضیح تابش یک جسم سیاه ایده‌آل به فیزیک کوانتومی منتهی شد.

در سال ۱۹۰۰، ماکس پلانک مسئله را حل کرد. اما او برای حل مشکل مجبور شد فرض کند که تابش خروجی از حفره به شکل بسته‌های مجزا صورت می‌گیرد.

پلانک به وضوح از چنین فرضی راضی نبود اما او در واقع به ماهیت کوانتومی دنیای زیراتمی پی برده بود. یافته‌های او در **قانون پلانک** خلاصه شد.

⌚ / ۲ **میان‌بر:** فیزیکدانان با مسئله‌ی یافتن معادله‌ای که تابش گسیل شده از جسم سیاه کُرشف را در تمام دماها پیش‌بینی کند، دست به گریبان بودند. با چیزی که «اثر جداسازی» نامید شد، پلانک در کاواکی کار کرد که انرژی می‌بایست به‌جای یک شیب پیوسته، مقادیر گسسته‌ای اختیار کند که با اعداد درست بیان می‌شوند – مانند ۱، ۲، ۳ و غیره. پلانک، این بسته‌های انرژی را «کوانتا» نامید. کار او نخستین گام در قلمرو جدید بود: فیزیک کوانتومی.

⌚ / ۳ **اشاره:** قانون پلانک، ماهیت تابش الکترومغناطیسی گسیل شده از یک جسم سیاه را که در تعادل گرمایی در یک دمای معین است، به‌طور کامل توصیف می‌کند.
اما تنها زمانی کار می‌کند که تابش در بسته‌های مجزا یا کوانتا حمل شود.

اثر فوتوالکتریک

نظریه‌ی کوانتوم تکانه کسب می‌کند



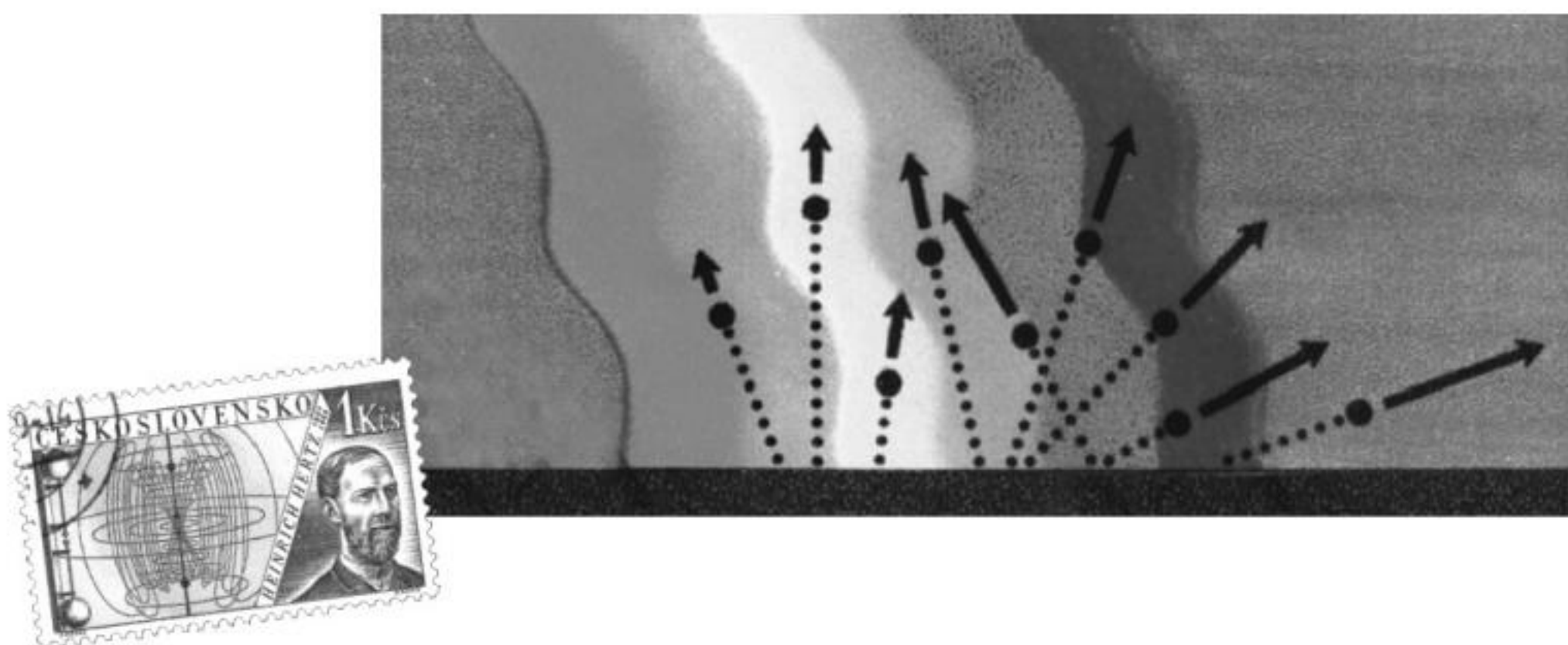
هاینریش هرتز (۱۸۵۷-۱۸۹۴)

✱ / **نگاه هلیکوپتری:** در سال ۱۹۰۰، ماکس پلانک متوجه شد که می‌تواند برای رفتار تابش الکترومغناطیسی دلیل ارائه کند، مشروط بر اینکه انرژی را مرکب از بسته‌های گسسته یا کوانتا فرض کند. تنها عده‌ی معدودی از جمله خود پلانک به اهمیت این کشف پی بردند تا اینکه آلبرت اینشتین وارد صحنه شد. در سال ۱۸۸۷، هاینریش هرتز، آزمایش‌هایی در خصوص قابلیت نور در تأثیر گذاشتن بر رفتار الکتریکی فلزات خاصی انجام داده بود. او سعی می‌کرد تخلیه‌ی

الکتریکی کوچکی بین دو الکترود فلزی ایجاد کند - چیزی که باعث شارش یک جریان الکتریکی کوچک می‌شود. وقتی فلزات تحت تابش ماوراء بنفش واقع می‌شدند احتمال شارش جریان به‌طور اسرارآمیزی زیاد می‌شد.

هرتز این راز را بدون حل رها کرد. اما در ۱۵ سال بعدی، چندین نفر دیگر این اثر فوتوالکتریک را کاوش کردند. به زودی معلوم شد که تخلیه الکتریکی کوچک مابین الکترودهای فلزی ناشی از انتقال الکترون‌ها بوده است (مدل کیک کشمشی را ببینید). در آغاز قرن ۲۰، فیلیپ لنارد کشف مهمی کرد. به‌طور منطقی انتظار بر این بود که نور تابیده شده به سطح فلز باید با اضافه کردن انرژی، الکترون‌های داخل فلز را برای بیرون پریدن و ایجاد جرقه تهییج کرده باشد. اما لنارد کشف کرد که انرژی الکترون‌های خارج شده فقط به رنگ نور بستگی دارد نه به شدت آن. این رفتاری نبود که از امواج نور انتظار می‌رفت.

در سال ۱۹۰۵ اینشتین راه‌حلی نشان داد. او استدلال کرد که نور باید به شکل ذرات گسسته یا بسته‌ای عمل کند - در تطابق با کوانتای پلانک - که هر کدام مقدار خاصی از انرژی را حمل می‌کنند. مقدار انرژی حمل شده دقیقاً به رنگ بستگی دارد نه به شدت. حل اینشتین متداول نبود. رابرت میلیکان سال‌ها برای رد کردن آن از طریق آزمایش تلاش کرد اما نتوانست. نظریه‌ی کوانتوم در حال جا افتادن بود.



هر رنگی از رنگین کمان اثر متفاوتی روی الکترون‌های فلزات دارد.

⊕ ۲ / میان‌بر: در آغاز قرن ۲۰، فیزیکدان‌ها تصور می‌کردند که نور رفتار موجی دارد. اگر انرژی این امواج، الکترونی را از سطح فلزی به بیرون پرتاب می‌کرد، یک موج بزرگ‌تر می‌بایست تأثیر بیشتری داشته باشد. اما با درخشان‌تر کردن نور، تخلیه‌های بیشتری اتفاق نیفتاد. آنچه که تخلیه‌ی بزرگ‌تری را ایجاد می‌کرد، کوتاه‌تر کردن طول موج نور (تغییر دادن رنگ آن از قرمز به بنفش) بود.

اینشتین استدلال کرد که نور باید به شکل ذرات وارد عمل شده باشد، چراکه ذرات «قرمز» انرژی کمتری نسبت به ذرات «بنفش» حمل می‌کنند. از آنجا که ذرات قرمز ضعیف هستند، بمباران سطح فلز حتی با میلیون‌ها عدد از آنها، تأثیر چندانی ندارد. اما بمباران کردن سطح فلز حتی با تعداد انگشت شماری از ذرات قوی بنفش می‌تواند بسیار مؤثر باشد.

۳ / اشاره: اثر فوتوالکتریک یکی از سردرگم‌کننده‌ترین کشف‌های پایان قرن ۱۹ بود. توضیح اینشتین بر آن دارای دو مضمون بود. ایده‌ی او نظریه‌ی ذره‌ای نور را دوباره زنده کرد و به تقویت نظریه‌ی کوانتومی فیزیک زیراتمی منجر شد.

نیز ← ۷۳. قانون پلانک

مدل رادرفورد - بور اتم‌ها چون منظومه‌های سیاره‌ای



ارنست مارسدن (۱۸۸۹-۱۹۷۰)



هانس گایگر (۱۸۸۲-۱۹۴۵)

۱ / نگاه هلیکوپتری: در آغاز قرن ۲۰، ارنست رادرفورد و همکارش هانس گایگر درباره‌ی رفتار اتم‌ها کشف مهمی کردند، کشفی که اشاره می‌کرد بخش اعظم فضای اتم خالی است.

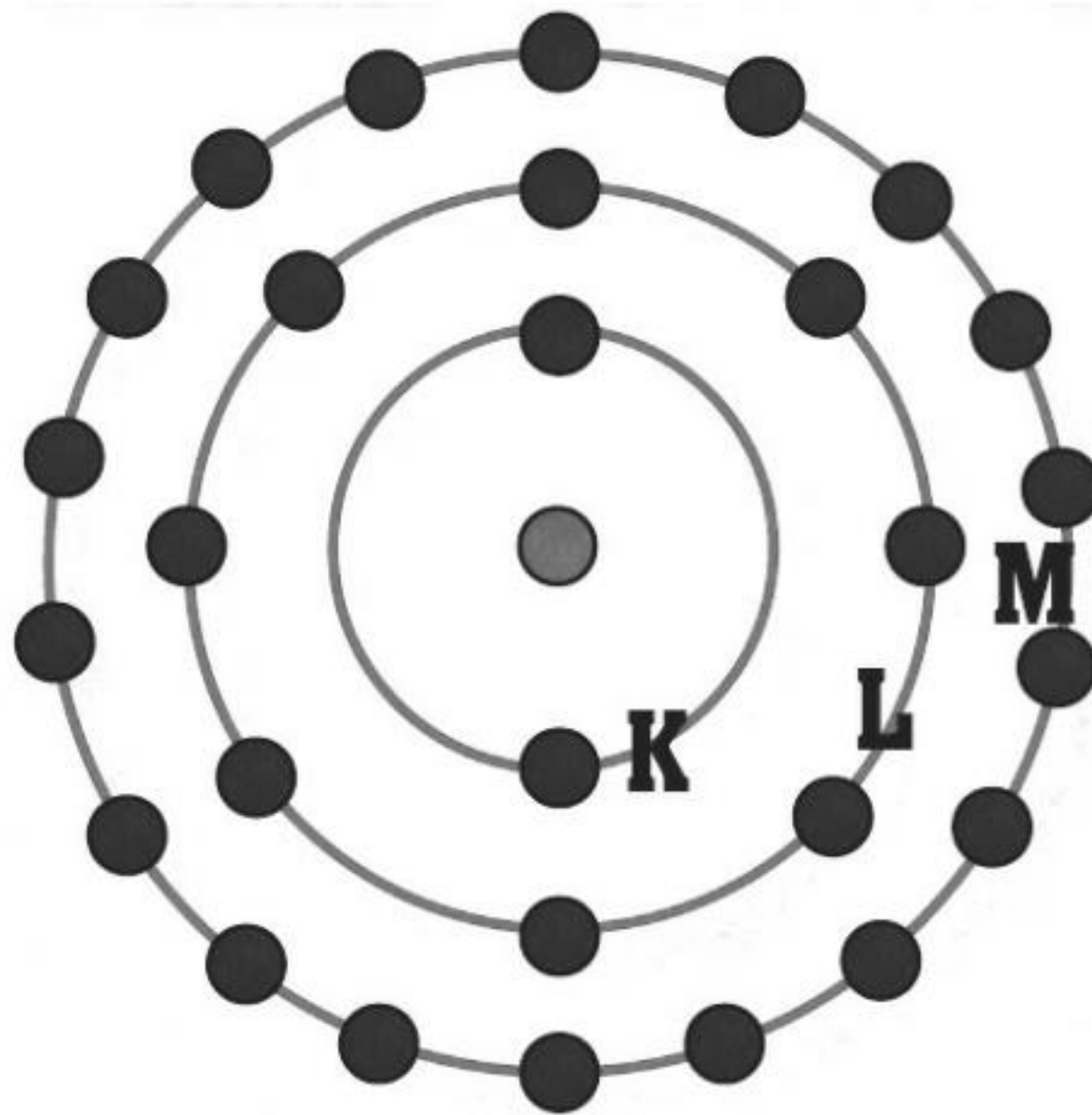
رادرفورد پیشاپیش با کار روی تابش، برای خود شهرتی دست و پا کرده بود. او و همکارش با کاوش بیشتر، دریافتند که نوعی ذره‌ی رادیو اکتیو - ذره‌ی آلفا - از یک ورقه‌ی بسیار نازک طلا به راحتی عبور می‌کند. اما در موارد نادری، ورقه‌ی طلا ذره‌ی آلفا را به شدت منحرف می‌کند. این نتیجه تا آن اندازه عجیب بود که یک ورقه‌ی دستمال کاغذی موشکی را منحرف کند.

در سال ۱۹۱۱، رادرفورد این پدیده را به ساختار داخلی اتم مربوط دانست. او بحث اتم شبیه به منظومه‌ی شمسی را مطرح کرد. در مرکز اتم یک ناحیه‌ی باردار

کوچک و متراکم – که بعداً هسته نام گرفت – وجود دارد که با ابر بزرگ‌تر و رقیق‌تری از الکترون‌ها احاطه شده است. بیشتر ذرات آلفا از ورقه‌ی طلا رد می‌شوند چراکه آن‌ها از میان ابر الکترونی عبور می‌کنند. اما هر از چندی، یک ذره‌ی آلفا با هسته‌ی متراکم برخورد کرده و منحرف می‌شود.

چند سال بعد، نیلس بور همکاری با رادرفورد را شروع کرد و این دو، مدل پیشنهادی را بهبود بخشیدند. بور متقاعد شده بود که انرژی در بسته‌های گسسته یا کوانتایی وجود دارد (قانون پلانک را ببینید). او نشان داد که الکترون‌ها، مدارهای گسسته‌ای را در اطراف هسته‌ی اتم اشغال می‌کنند. او گفت الکترون‌ها می‌توانند با جذب یا گسیل بسته‌های انرژی، بین مدارها جهش کنند.

مدل اتمی سال ۱۹۱۳ بور در سال بعد با آزمایش‌های جیمز فرانک و گوستاو لودویگ هرتز که به نظر می‌رسید رفتار کوانتومی الکترون‌های اتمی را تأیید می‌کنند، تقویت شد. با گذشت زمان، فیزیکدانان بازبینی‌های بیشتری روی درک ساختار اتمی داشته‌اند اما حتی امروز نیز بچه‌ها در مدرسه، مدل رادرفورد-بور را می‌آموزند.



در مدل اتمی رادرفورد-بور، الکترون‌ها گرد یک هسته‌ی مرکزی می‌چرخند.

⊕ ۲/ میان‌بر: مدل اتمی رادرفورد-بور پیش‌بینی کرد که یک الکترون در یک اتم با جذب یا گسیل بسته‌های مجزای انرژی بین «مدارها جهش می‌کند. آزمایش سال ۱۹۱۴ فرانک و هرتز برای تأیید این مطلب از سوی محققان بسیاری تکرار شد. فرانک و هرتز، الکترون‌ها را در بخار جیوه شتاب دادند. سرعت (و

انرژی) الکترون‌ها به تدریج با عبور از بخار زیاد می‌شد اما گاهی الکترون وقتی در یک سطح انرژی خاص قرار می‌گرفت، ناگهان همه‌ی انرژی خود را از دست می‌داد. توضیح این بود که هر الکترون که به‌طور آزاد حرکت می‌کند نهایتاً انرژی لازم برای پرتاب الکترونی از اتم جیوه را به مداری دیگر به دست می‌آورد. در این لحظه یکی از الکترون‌های اتمی عملاً تمام انرژی الکترون آزاد را می‌رباید و سرعت آن را آن‌ا پایین می‌آورد.

۳ / اشاره: مدل اتمی رادرفورد-بور، ایده‌هایی از فیزیک سنتی (کلاسیک) و فیزیک کوانتومی مدرن را با هم ترکیب می‌کند. این مدل، اتم‌ها را چون منظومه‌های شمسی کوچکی تصور می‌کند که «سیاره‌های» الکترونی در مدارهایی گسسته بر گرد «خورشید» هسته‌ای گردش می‌کنند.

نیز ← ۸۲. مفهوم استحاله‌ی هسته‌ای

اصل عدم قطعیت هایزنبرگ

قطعیت به چه معناست



ورنر هایزنبرگ (۱۹۰۱-۱۹۷۶)

✱ **۱/ نگاه هلیکوپتری:** در اوایل دهه‌ی ۱۹۲۰ به نظر می‌رسید نظریه‌ی کوانتوم دچار مشکل شده است. اتم‌ها مانند منظومه‌های خورشیدی مینیاتوری بودند که در آن الکترون‌ها هسته را دور می‌زدند (مدل رادرفورد-بور را ببینید). اما این مدل هرچند برای اتم هیدروژن خوب کار می‌کرد - فقط با یک الکترون مداری - برای اتم‌های پیچیده‌ای با چندین الکترون، موفقیت کمتری داشت. ورنر هایزنبرگ با یک حل غریب وارد شد: حرکت مداری الکترون حول هسته را به معنای کلاسیکی آن کنار بگذارید.

هایزنبرگ تأکید داشت که فیزیکدان‌ها باید بپذیرند که هرگز نمی‌توانند کمیت‌های بنیادینی مانند مکان و تکانه‌ی الکترون‌های اتمی را در عالم واقع مشاهده کنند. به‌طور ساده، فرض کردن الکترون‌ها به منزله‌ی سیاراتی که در مسیری پایدار و

قابل پیش‌بینی در درون اتم‌ها حرکت می‌کنند، غیرممکن است. این ایده‌ی مردم پسندی نبود. فیزیکدانان دیگر از جمله آلبرت اینشتین اشاره داشتند که در وضعیت‌های خاصی، الکترون‌ها در مسیرهایی قابل پیش‌بینی و پایدار حرکت می‌کنند. برای مثال در برخی آزمایش‌ها در اتاقک‌هایی که پر از گاز چگال بودند، الکترون‌های شلیک شده در دنبال خود رد پای کمی برجای گذاشتند. الکترون‌ها مسیری ثابت و (به‌طور بالقوه) قابل پیش‌بینی انتخاب کرده بودند. این بدان معنا بود که الکترون‌ها در درون اتم نیز مسیری قابل پیش‌بینی دارند. سرانجام هایزنبرگ این استدلال را مطرح کرد که این آزمایش‌های «اتاقک ابر» تنها احساسی از این که الکترون‌ها مسیری قابل پیش‌بینی از طریق ابر انتخاب می‌کنند، به دست می‌دهند. به بیان دقیق‌تر، آنچه که فیزیکدانان واقعاً می‌دیدند، مجموعه‌ای از برهمکنش‌ها بین الکترون‌های فوق‌العاده کوچک و تعدادی از قطرات بسیار بزرگ‌تر بود. در مجموع، این برهمکنش‌ها ظاهراً به این معنا بودند که الکترون‌ها در درون ابر، در مسیری زیبا و پایدار سیر می‌کنند؛ اما در حقیقت، به بیان هایزنبرگ، هر برهمکنش یک مضمون بسیار تقریبی از اینکه الکترون در هر لحظه کجاست و چه تکانه‌ای دارد، به دست می‌داد. از دید هایزنبرگ، این ابهام یک خاصیت نهفته و بنیادین دنیای زیر اتمی است. این ایده به اصل عدم قطعیت هایزنبرگ معروف شد.



الکترون‌هایی که درون اتاقک ابر حرکت می‌کنند، دنباله‌های باریکی در مسیر خود به جا می‌گذارند.

⌂ ۲ / میان‌بر: هایزنبرگ در بحث اصل عدم قطعیت، اغلب به گفتگویی که زمانی با برکهارد درود داشته است، رجوع می‌کرد. استدلال درود این بوده که با یک میکروسکوپ به اندازه‌ی کافی قوی، می‌توان مکان دقیق الکترون را در

اتم تعیین کرد. هایزنبرگ دریافت که چنان میکروسکوپی برای برهمکنش با الکترون بسیار ریز، می‌بایست از طول موج نوری استفاده کند که به طرز باور نکردنی کوتاه است. اما هر چه طول موج کوتاه‌تر می‌شود، انرژی نور افزایش می‌یابد. انرژی یک پرتوی نور با طول موج به اندازه‌ی کافی کوتاه برای «دیدن» الکترون، چنان زیاد خواهد بود که تکانه‌ی الکترون را به‌طور اجتناب‌ناپذیری تغییر داده و آن را نامعلوم خواهد ساخت. حتی اگر میکروسکوپ درود می‌توانست بگوید که در لحظه‌ای معین، الکترون کجای اتم قرار دارد، باز هم نمی‌توانست مقدار دقیق تکانه یا سرعت آن را تعیین کند.

۳ / اشاره: اصل عدم قطعیت هایزنبرگ روی قابلیت ما در تعریف جنبه‌های مکمل ذرات زیر اتمی، مانند موقعیت و تکانه‌ی آن‌ها، یک محدودیت بنیادین قرار می‌دهد. این اصل در قلب فیزیک کوانتومی جای دارد.

نیز ← ۷۷. اصل مکملیت ۷۸. پارادوکس EPR

اصل مکملیت

وقتی واژه‌ها قدرت خود را از دست می‌دهند



نیلس بور (۱۸۸۵-۱۹۶۲)

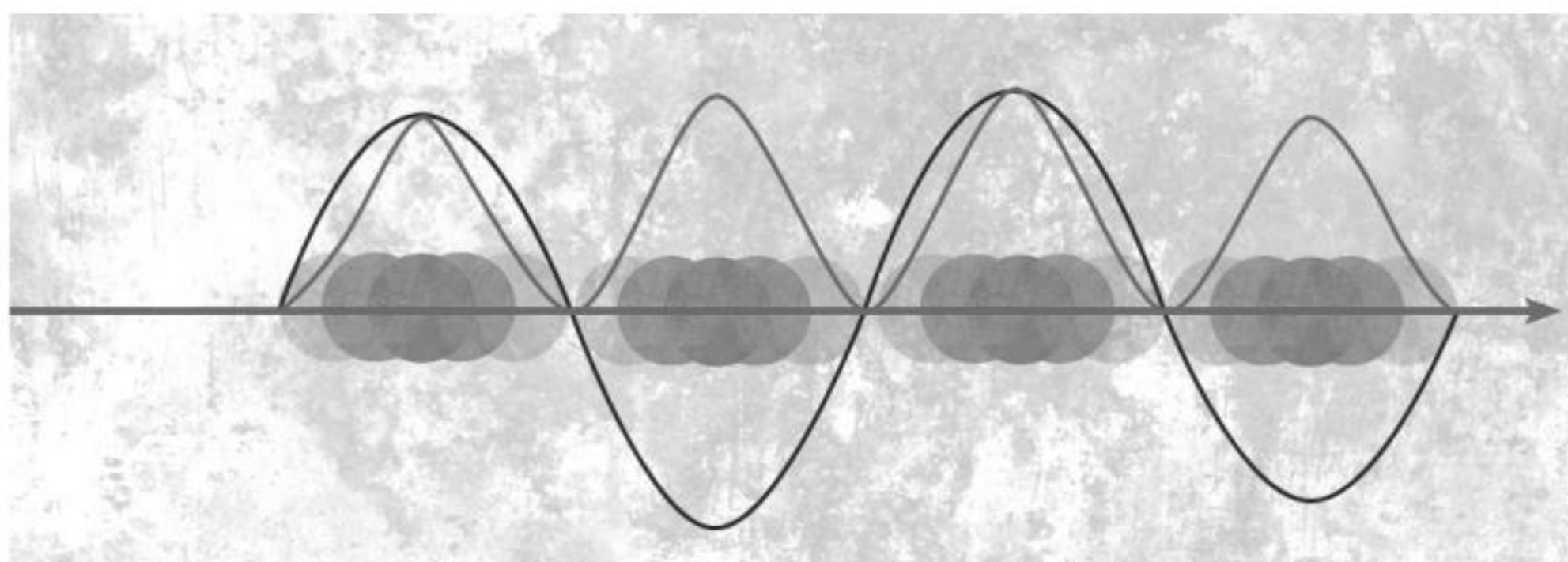
✱ / **نگاه هلیکوپتری: نیلس بور** در دهه‌ی ۱۹۲۰ درباره‌ی دنیای زیر اتمی خیلی اندیشه کرد. او نیز مانند دیگر فیزیکدانان به خوبی می‌دانست که موضوع، با مجموعه‌ای از تناقض‌های بنیادین اما احتمالاً مرتبط، به مشکل خورده است.

فاحش‌ترین این تناقض‌ها در رابطه با نور بود. در طول قرن‌ها، باور دانشمندان در رابطه با اینکه آیا نور از ذرات گسسته ساخته شده، یا از امواجی شکل گرفته که در محیط خاصی منتشر می‌شوند، در نوسان بود.

در آغاز قرن ۱۸، به نظر چنین رسید که آیزاک نیوتون، مشاجره را به نفع نظریه‌ی ذره‌ای فرونشانده است (نظریه‌ی ذره‌ای نور را ببینید). اما یک قرن بعد، توماس یانگ بسیاری را متقاعد کرد که نور واقعاً موجی است (نظریه‌ی موجی نور را ببینید). در اواخر قرن نوزدهم جیمز کلرک مکسول این نظریه را تقویت کرد (معادلات مکسول را ببینید) اما تنها پس از چند دهه، آلبرت اینشتین، مدرک قانع‌کننده‌ای به نفع نظریه‌ی

ذره‌ای ارائه کرد (اثر فوتوالکتریک را ببینید).

ماحصل همه‌ی این‌ها چه بود؟ در ۱۹۲۷، بور به یک مصالحه‌ی عجیب رسید. شواهد تجربی هر دو طرف چنان متقاعدکننده بودند که، به گفته‌ی بور، فیزیکدانان باید می‌پذیرفتند که نور هم موج است و هم ذره، یا حداقل گاهی مانند ذرات رفتار می‌کند و گاهی مانند امواج. بور تأکید داشت که اینجا تناقضی وجود ندارد و این خاصیت دوگانه، به‌طور ساده دو تصویر مکمل از طبیعت هستند. ایده‌ی بور که به اصل مکملیت معروف شد، اکنون مفهومی مهم در علم و فیزیک کوانتومی است.



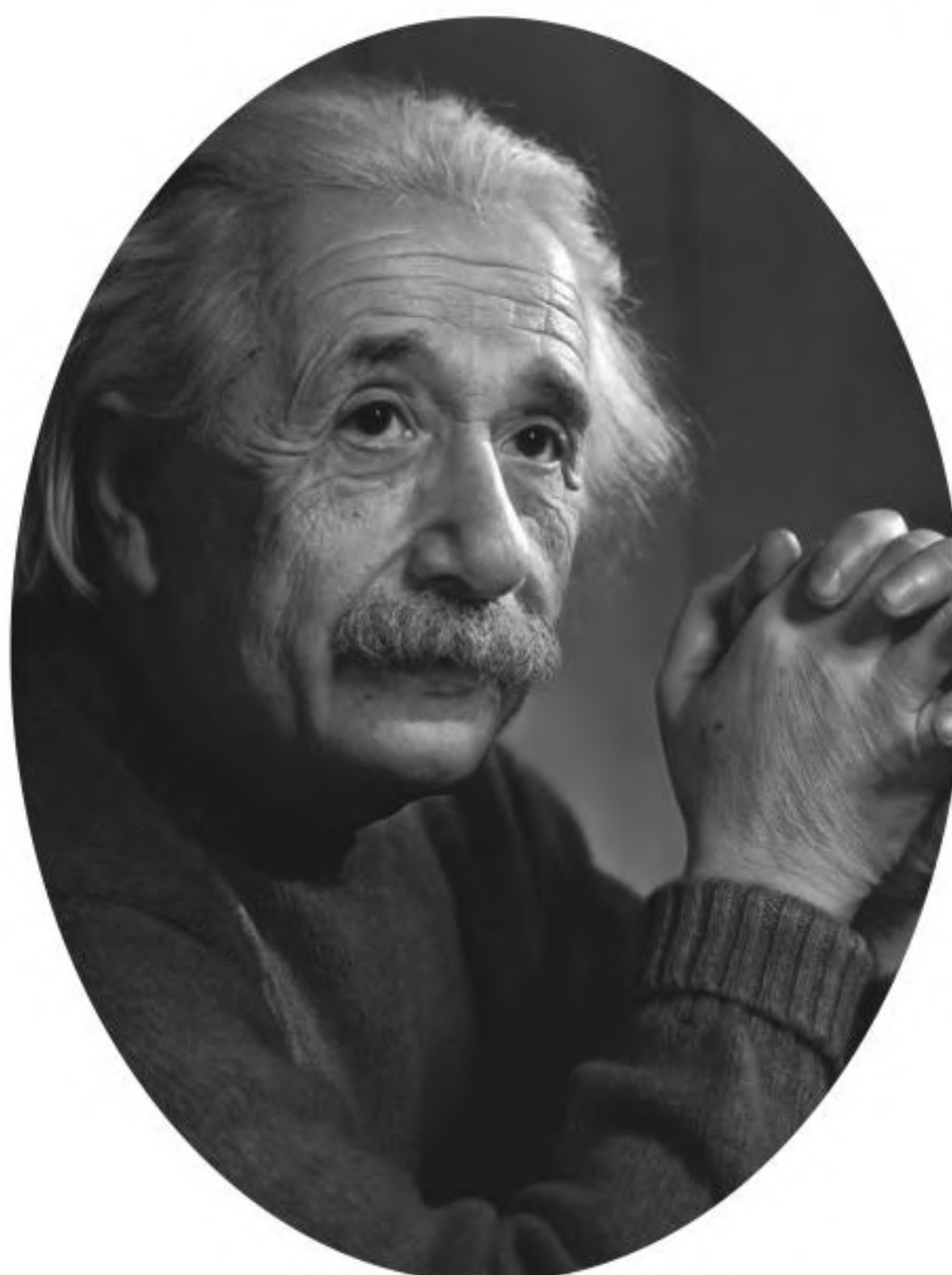
توصیف دنیای کوانتومی با کلمات دشوار است.

⌂ / ۲ **میان‌بر:** اصل مکملیت تا حدی یک اصل فلسفی است. بور متقاعد شده بود که در سطح زیر اتمی، طبیعت چنان دور از انتظار ما رفتار می‌کند که داشتن تصویری واقعی از آن برای ما غیرممکن است. بدتر از این، با توجه به اینکه زبان ما براساس انتظارات ما از دنیایی که از فیزیک کلاسیک تبعیت می‌کند، شکل گرفته است، ما حتی نمی‌توانیم توصیف مناسبی از دنیای زیر اتمی داشته باشیم. به همین دلیل است که نور گاهی مانند موج به نظر می‌رسد و باید آن را موج گونه تعریف کنیم و گاهی به‌طور مشخص رفتار ذره‌ای دارد. مشکل در نور نیست بلکه در زبانی است که برای توصیف آن به‌کار می‌بریم.

⌂ / ۳ **اشاره:** دانشمندان قرن‌ها درباره‌ی ماهیت واقعی پدیده‌های دنیای زیراتمی مانند نور بحث کرده‌اند. اصل مکملیت توضیح می‌دهد که چرا این بحث این‌چنین به درازا کشیده است. در شرح کامل آنچه که در دنیای زیراتمی می‌گذرد، واژه‌ها قدرت خود را از دست می‌دهند.

پارادوکس EPR

اینشتین به فیزیک کوانتومی حمله می کند



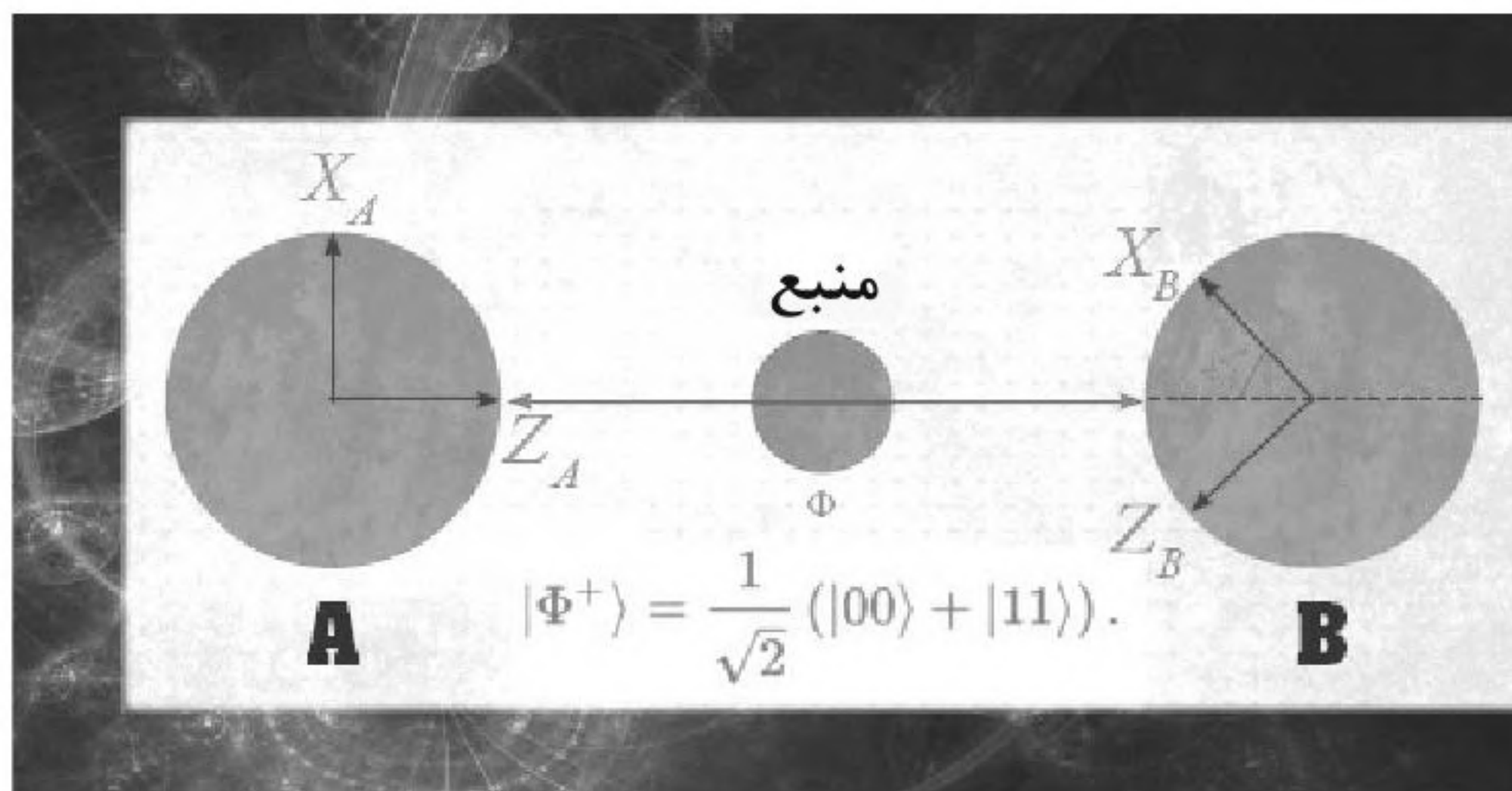
آلبرت اینشتین (۱۸۷۹-۱۹۵۵)

✱ / نگاه هلیکوپتری: نیلس بور و ورنر هایزنبرگ در دهه‌ی ۱۹۲۰ بحث کردند که در سطح زیراتمی، عدم قطعیتی نهفته است که با هیچ بررسی دقیق علمی رفع‌شدنی نیست (اصل عدم قطعیت هایزنبرگ را ببینید). آلبرت اینشتین این ادعا را قویاً رد کرد. او احساس می‌کرد اصل عدم قطعیت نشانه‌ی این است که نظریه‌ی کوانتوم ناکامل است و می‌گفت «خداوند تاس نمی‌ریزد». پارادوکس EPR در سال ۱۹۳۵ یکی از مهم‌ترین تلاش‌های او نشان دادن این نکته بود.

نام پارادوکس EPR از حرف اول نام‌های اینشتین و همین طور بوریس پودولسکی و ناتان روزن گرفته شده است که مقاله‌ی مشترکی در این موضوع منتشر کردند. مقاله‌ی آن‌ها شامل آزمایشی ذهنی بود که برای نمایش نواقص نظریه‌ی کوانتومی طراحی شده بود.

این سه محقق متوجه شدند که نظریه‌ی کوانتومی در حال تکوین، پیش‌بینی کرده که دو ذره‌ی زیراتمی، می‌توانند به طریقی برهم‌کنش داشته باشند که رفتار آن‌ها به‌طور بنیادی به هم گره خورده باشد و این ارتباط با جدا شدن و دور شدن آن‌ها از یکدیگر ادامه یابد. اروین شرودینگر بعداً این پدیده را «درهم‌تنیدگی کوانتومی» نامید. اینشتین و همکاران او اعتقاد داشتند که درهم‌تنیدگی، اصولاً باید امکان اندازه‌گیری دقیق موقعیت و تکانه‌ی یک ذره را به مشاهده‌گر بدهد. چیزی که اصل عدم قطعیت آن را غیرممکن می‌کرد.

متأسفانه میراث پارادوکس EPR برای اینشتین و همکارانش، طبق انتظار آن‌ها عمل نکرد. بسیاری از فیزیکدانان با کاوش در ایده‌ی درهم‌تنیدگی تأیید کردند که این پدیده واقعاً رخ می‌دهد. امروزه درهم‌تنیدگی، زیربنای بسیاری از فناوری‌های رو به توسعه‌ی کوانتومی است. پارادوکس EPR، برخلاف انتظاری که از آن می‌رفت، به جای اثبات ناکامل بودن نظریه‌ی کوانتومی، نشان داد که دنیای کوانتومی در سطحی بنیادین چقدر می‌تواند عجیب باشد.



اینشتین از دو ذره‌ی درهم‌تنیده‌ی کوانتومی برای حمله به نظریه کوانتومی استفاده کرد.

⊕ ۲/ میان‌بر: چند راه برای تفسیر پدیده‌ی EPR وجود دارد – یکی از آن‌ها تجسم شکافته شدن خودبه‌خود یک ذره‌ی زیراتمی به دو ذره‌ی A و B –

و حرکت آن‌ها در دو جهت مخالف است. خواص فیزیکی ذرات A و B ارتباط ذاتی با هم دارند. از یک لحاظ آن‌ها مانند دوقلوهای آینه‌ای‌اند. اگر فیزیکدان‌ها موقعیت دقیق A را اندازه‌گیری کنند، به‌طور منطقی باید موقعیت دقیق B را نیز بدانند، حتی اگر روی آن اندازه‌گیری انجام ندهند. اگر تکانه‌ی دقیق A را اندازه‌گیری کنند، دوباره منطق حکم می‌کند که باید تکانه‌ی B را نیز به دقت بدانند. این بدان معناست که آزمایشگران اکنون موقعیت و تکانه‌ی دقیق B را می‌دانند. استفاده از درهم‌تنیدگی کوانتومی آن‌ها داشت نادرستی اصل عدم قطعیت هایزنبرگ را نشان می‌داد.

۳ / اشاره: پارادوکس EPR یکی از مشهورترین تلاش‌های اینشتین برای حمله به نظریه‌ی نوپای کوانتومی بود. اما تصور خیلی از فیزیکدانان چنین است که این پارادوکس، بیش از همه، نشان‌دهنده‌ی میزان شگفتی دنیای کوانتومی است.

نیز ← ۷۷. اصل مکملیت

گره‌ی شرودینگر

فیزیک کوانتومی به اوج غرابت خود می‌رسد



اروین شرودینگر (۱۸۸۷-۱۹۶۱)

✱ / **نگاه هلیکوپتری:** در دهه‌ی ۱۹۳۰، اروین شرودینگر در ارتباط با پیامدهای نظریه‌ی کوانتومی عمیقاً دچار پریشانی شد. وقتی آلبرت اینشتین و همکاران او برای نشان دادن اینکه نظریه ناکامل است، پارادوکسی را (پارادوکس EPR را ببینید) معرفی کردند، اضطراب شرودینگر بیشتر شد. این احساس ناراحتی موجب شد که او گره‌ی مشهور خودش را به جهانیان معرفی کند.

شرودینگر به پدیده‌ی عجیب EPR، نام درهم‌تنیدگی کوانتومی را داد. وقتی او این پدیده را با پیامد پیش‌بینی‌شده‌ی عجیب دیگری از فیزیک کوانتومی با عنوان «برهم‌نهی کوانتومی» ترکیب کرد، به نتایج فلسفی آزار دهنده‌ای رسید.

برهم‌نهی کوانتومی می‌گوید، خواص فیزیکی یک ذره‌ی زیر اتمی تا لحظه‌ای

که واقعاً اندازه‌گیری نشده‌اند، به‌طور کامل تعیین نمی‌شوند. برای مثال فیزیکدانان خاصیت بنیادینی از ذرات زیر اتمی را با واژه‌ی «اسپین» توصیف می‌کنند. یک ذره می‌تواند «اسپین» بالا یا اسپین پایین داشته باشد. اما تا زمانی که اندازه‌گیری انجام نشده، نظریه‌ی کوانتوم تأکید دارد که اسپین آن هم بالا است و هم پایین.

آنچه که شرودینگر را نگران می‌کرد، این بود که این برهم‌نهی کوانتومی در اصل می‌توانست بخشی از درهم‌تنیدگی بین دو ذره‌ی زیر اتمی باشد. دو ذره‌ی درهم‌تنیده‌ی A و B، می‌توانستند در یک برهم‌نهی کوانتومی شریک شوند. ذره‌ی A می‌توانست اسپین بالا و پایین و ذره‌ی B نیز می‌توانست اسپین بالا و پایین باشد. تنها زمانی که اسپین یکی از ذرات اندازه‌گیری می‌شد سرنوشت هر دو رقم می‌خورد: اگر آزمایش تأیید می‌کرد که اسپین ذره‌ی A «بالا» است، ذره‌ی B یعنی ذره‌ی درهم‌تنیده‌ی دوقلوئی آینه‌ای آن، باید اسپین «پایین» می‌بود.

شرودینگر توجه داشت که برهم‌نهی کوانتومی اصولاً می‌توانست هر چیزی را که از طریق آن برهم‌کنش دارد «درهم‌تنیده» کند. در سال ۱۹۳۵، او اشاره کرد که این پدیده می‌تواند اشیائی بسیار بزرگ‌تر از ذرات زیر اتمی را شامل شود – مثلاً یک گربه. تجربه به ما می‌گوید گربه و دیگر حیوانات یا زنده‌اند یا مرده. اما اگر گربه‌سانی در یک برهم‌نهی کوانتومی درهم‌تنیده ترکیب شود، به زعم شرودینگر، می‌تواند به شکل تناقض‌آمیزی، در یک آن، هم زنده باشد هم مرده.



گربه‌ی شرودینگر: ایده‌ای که به‌طور عمد مهمل است.

④ **۲/ میان‌بر:** شرودینگر اتاقکی فولادی را در نظر گرفت که در آن یک گربه و تکه‌ای ماده‌ی رادیواکتیو وجود دارد. در مدتی حدود یک ساعت، یک اتم در ماده‌ی رادیواکتیو می‌تواند خود بخود ذره‌ای رادیواکتیو گسیل کند (یا نکند). تا زمانی که فیزیکدان‌ها، در جعبه را برای امتحان باز نکرده‌اند، اتم در یک حالت برهم‌نهی کوانتومی است: یعنی ذره‌ی رادیواکتیو را هم گسیل کرده و هم نکرده است. اگر گسیل کرده باشد، طبق آزمایش ذهنی شرودینگر، این ذره یک واکنش زنجیری راه می‌اندازد که نهایتاً گربه را مسموم کرده و می‌کشد. این بدان معناست که خود گربه در برهم‌نهی کوانتومی، درهم‌تنیده می‌شود. یعنی هم زنده است هم مرده.

⑤ **۳/ اشاره:** گربه‌ی شرودینگر به یکی از مشهورترین آزمایش‌های فکری در فیزیک کوانتومی تبدیل شده است، زیرا به نظر می‌رسد که خلاف انتظار ما از واقعیت است. و این دقیقاً نکته‌ی مورد نظر شرودینگر بود.

آزمایش دو- شکاف الکترون

نمایش شگفتی کوانتومی



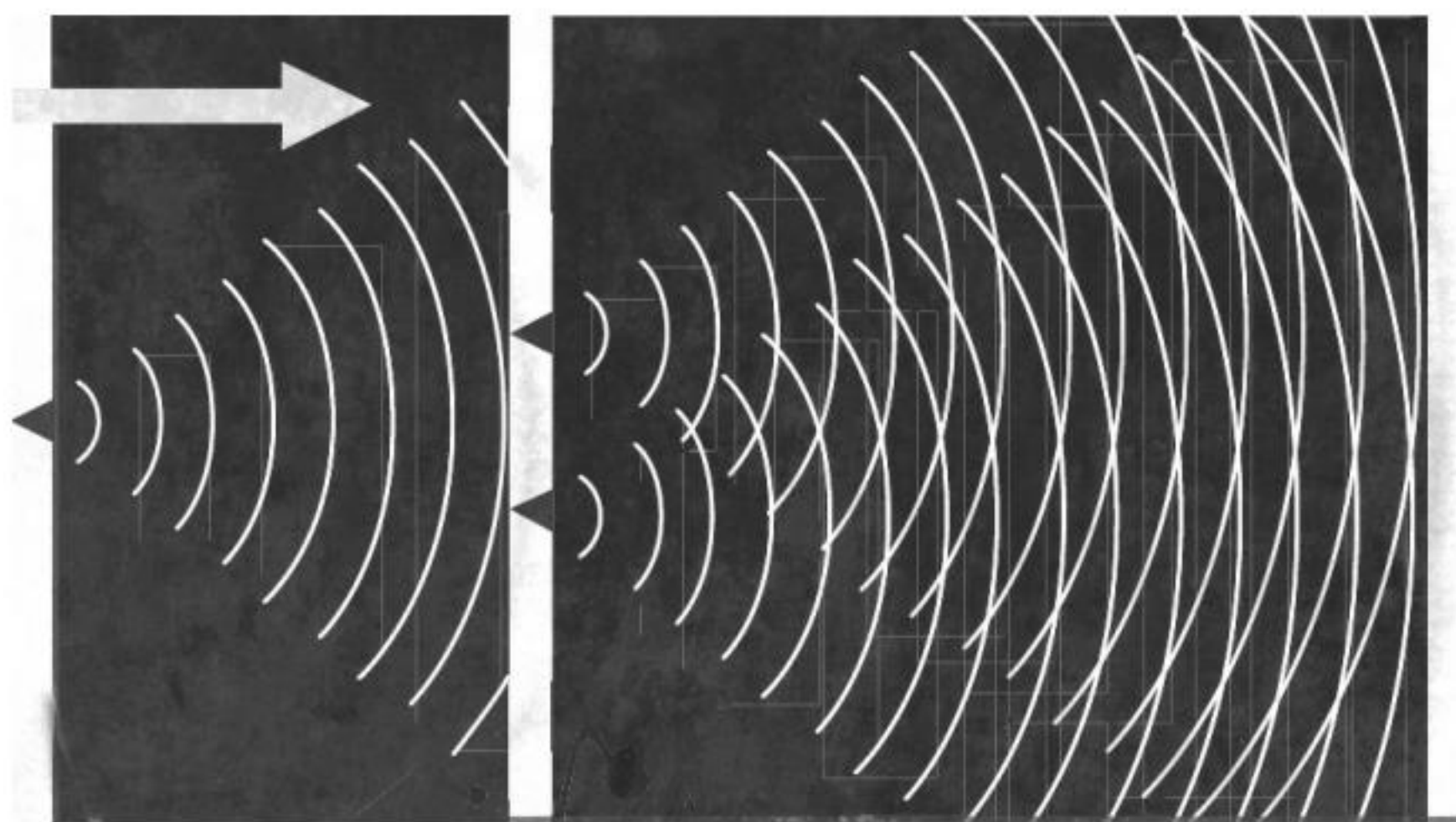
لویی دو بروی (۱۸۹۲-۱۹۸۷)

۱ / نگاه هلیکوپتری: بسیاری از فیزیکدانان در اواخر دهه‌ی ۱۹۳۰، آماده‌ی پذیرش نظریه‌ی کوانتومی بودند، هرچند به نظر می‌رسید که بر طبق این نظریه، جهان می‌تواند به گونه‌ای نامعقول رفتار کند (گره‌ی شرودینگر را ببینید). برای مقبولیت عام نظریه دلیل ساده‌ای وجود دارد. با وجود همه‌ی تناقض‌های آشکار، نظریه‌ی کوانتومی با موفقیت، نتایج آزمایش‌ها را پیش‌بینی کرد. یکی از بهترین مثال‌ها آزمایش دو-شکاف الکترون است.

توماس یانگ در آغاز قرن ۱۹ به طور متقاعدکننده‌ای نشان داده بود که وقتی نور از دو شکاف عبور می‌کند، ترکیب شده و برهمکنش می‌کند، درست مانند چیزی که از امواج آب انتظار می‌رود. اما با پیشرفت نظریه‌ی کوانتومی، فیزیکدانان رفته‌رفته پذیرفتند که نور در واقع هم رفتار موجی دارد و هم رفتار ذره‌ای (که بعداً فوتون نام گرفت).

در اوایل دهه‌ی ۱۹۲۰، **لویی دو بروی** دلیل آورد که «دوگانگی موج-ذره» برای همه‌ی ذرات برقرار است و بیشتر فیزیکدانان، تشخیص او را درست ارزیابی کردند. این به فیزیکدانان فرصتی داد تا آزمایش دو شکاف یانگ را این بار با استفاده از الکترون‌ها به جای نور، بازبینی کنند.

کلاوس جانسون و همکاران او، اولین کسانی بودند که در دهه‌ی ۱۹۶۰، این کار را انجام دادند. آن‌ها دریافتند که الکترون‌ها با عبور از دو شکاف، الگویی تداخلی ایجاد می‌کنند، مانند آنچه که برای نور اتفاق می‌افتاد. حدود یک دهه بعد، در سال ۱۹۷۴، **پیتر گئورگیو مرلی** و همکاران او، آزمایش را این بار با پرتاب یک الکترون به سوی دوشکاف انجام دادند. رفتار تک الکترون به گونه‌ای بود که گویی هم موج است و هم ذره. گروه مرلی به طور تحسین‌برانگیزی نشان دادند که دوگانگی عجیب موج-ذره که فیزیک کوانتومی آن را پیش‌بینی می‌کرد، می‌تواند با آزمایش تأیید شود.



یک الکترون منفرد می‌تواند با نمایش رفتار موجی، همزمان از دوشکاف عبور کند.

۲ / میان‌بر: مرلی و همکاران او هر بار یک الکترون به سوی پرده‌ی دو شکاف شلیک کردند. از نظر شهودی هر الکترون باید از یکی از شکاف‌ها عبور کرده و در آشکارساز پشت آن آشکار شود. این چیزی بود که گروه مرلی

یافتند. اما وقتی آن‌ها ده‌ها هزار الکترون را به‌طور منفرد به‌سوی دوشکاف پرتاب کردند، نقاط ریز روی پرده به تدریج به مجموعه‌ای از خطوط پهن تبدیل شدند که مانند الگوی تداخل موجی بود. آنان نتیجه گرفتند که هر ذره‌ی الکترون با رفتاری مانند یک موج نسبتاً گسترده، همزمان از هر دوشکاف عبور کرده است. روی پرده‌ای دور از پرده‌ی دوشکاف، الگوی تداخلی نوسانات موجی شکاف‌ها مانند تداخل امواج آب ظاهر شدند. اما وقتی این نوسانات به آشکارساز رسیدند، به یک نقطه‌ی ذره‌مانند فروکاسته شدند که جایگاه آن با الگوی تداخلی امواج تعیین می‌شد.

 ۳/ اشاره: فیزیک کوانتومی پیش‌بینی‌های عجیب و تقریباً باورنکردنی دارد. اما آزمایش دوشکاف الکترون، برخی از این پیش‌بینی‌ها را تأیید می‌کند. و برای فیزیکدان‌ها، دیدن به منزله‌ی باور کردن است.

نیز ← ۵۹. نظریه‌ی موجی نور

مفهوم پادماده

اهمیت آن در چیست؟



پل دیراک (۱۹۰۲-۱۹۸۴)

۱ / نگاه هلیکوپتری: پل دیراک علاقه داشت بداند که در صورت درستی نظریه‌های نسبیت آلبرت اینشتین، رفتار دنیای کوانتومی چگونه خواهد بود. او در دهه‌ی ۱۹۲۰، دریافت که پیوند دو ایده به نتیجه‌ی عجیبی منجر می‌شود: باید مجموعه‌ای از «پادذرات» وجود داشته باشند که هرگز قبلاً دیده نشده‌اند – نسخه‌ی پادماده‌ای ذرات زیراتمی.

چند سال بعد درستی پیشگویی دیراک به اثبات رسید. کارل اندرسون که مشغول انجام آزمایش بر روی الکترون‌ها – ذرات زیراتمی با بار منفی – بود، مشاهده کرد که بعضی از آن‌ها طوری رفتار می‌کنند که گویی دارای بار مثبت هستند. آن‌ها «پاد الکترون» بودند. اندرسون نام آن‌ها را پوزیترون گذاشت.

برخلاف این اسم عجیب، خلق پادماده در آزمایشگاه‌های امروزی فیزیک نسبتاً ساده است. برای مثال هرگاه ذرات در برخورددهنده‌ی بزرگ هادرون در مرز سوئیس و فرانسه، برخورد داده می‌شوند، بقایای برخورد شامل ذرات جدیدی از پادماده (و ماده) است. پادماده مدت زیادی باقی نمی‌ماند زیرا وقتی ماده و پادماده برهم‌کنش می‌کنند به سرعت نابود شده و چیزی جز تابش به جای نمی‌گذارند.

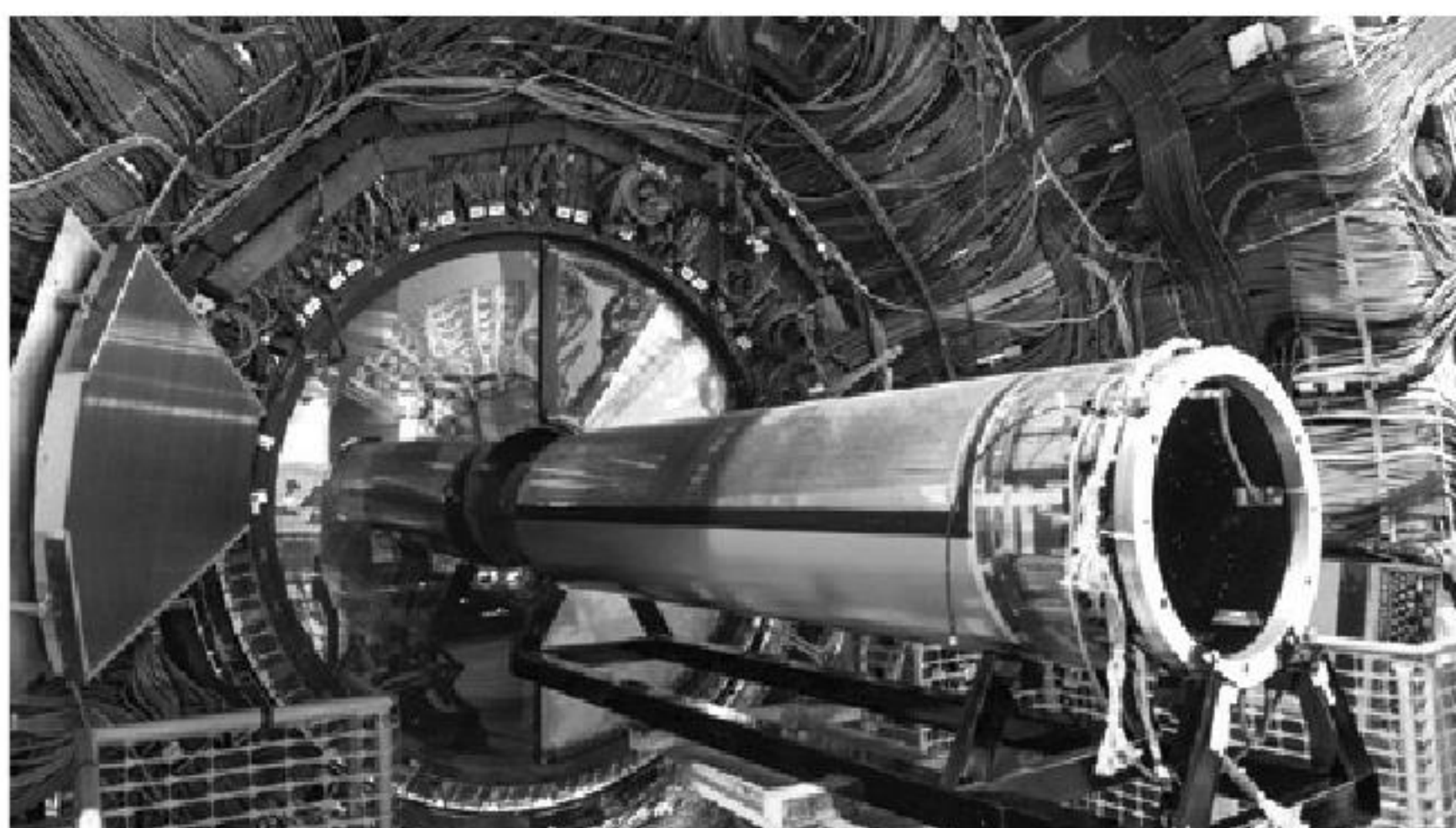
این فرایند مخرب برای فیزیکدان‌ها معمایی مطرح می‌کند. ماده و پادماده در تولد عالم (نظریه‌ی مه‌بانگ را ببینید) باید به مقادیر مساوی خلق شده و در برخوردهای متعاقب ماده – پادماده یکدیگر را به‌طور کامل نابود کرده باشند. این بدان معناست که در جهان قابل مشاهده باید نه ماده‌ای وجود داشته باشد، نه پادماده‌ای. تا جایی که فیزیکدانان قادر به اظهار نظر هستند، تنها مقدار اندکی پادماده وجود دارد.

اما ستارگان و سیارات (و انسان‌ها) آشکارا از ماده ساخته شده‌اند. این بدان معناست که در آغاز عالم، ماده و پاد ماده گرچه در مقادیر یکسان خلق شدند، اما بعداً پادماده طوری رفتار کرد که که احتمال نابودی آن را از نابودی ماده بیشتر کرد. دانشمندان هنوز در تلاش‌اند تا بفهمند که چرا و چگونه این اتفاق افتاده است.

➡ **۲/ میان‌بر:** فرض کنید در اثنای رشد به این باور رسیده‌اید که هیچ خواهر یا برادری ندارید اما به شما گفته می‌شود که واقعاً از همزاد خود جدا شده‌اید. کشف او به احتمال قریب به یقین به همه‌ی پرسش‌ها درباره این «خود دیگر» اسرارآمیز پاسخ خواهد داد. فیزیکدانان در نیمه‌ی اول قرن ۲۰، با وضعیت مشابهی مواجه بودند. آن‌ها که برای قرن‌ها از وجود ماده آگاه بوده‌اند، ناگهان با این ایده مواجه شدند که پادماده نیز وجود دارد و دید آن‌ها نسبت به جهان برای همیشه تغییر کرد.

➡ **۳/ اشاره:** پادماده به‌طور گسترده‌ای مانند ماده‌ی متعارف رفتار می‌کند. تنها تفاوت مهم در بار الکتریکی پادذرات است.

نیز ← ۷۲. مدل کیک کشمش



پیش‌بینی وجود پادماده از سوی دیراک در آزمایش‌هایی مانند برخورددهنده‌ی بزرگ هادرون تأیید شده است.

مفهوم استحاله‌ی هسته‌ای کیمیاگری در دنیای واقعی



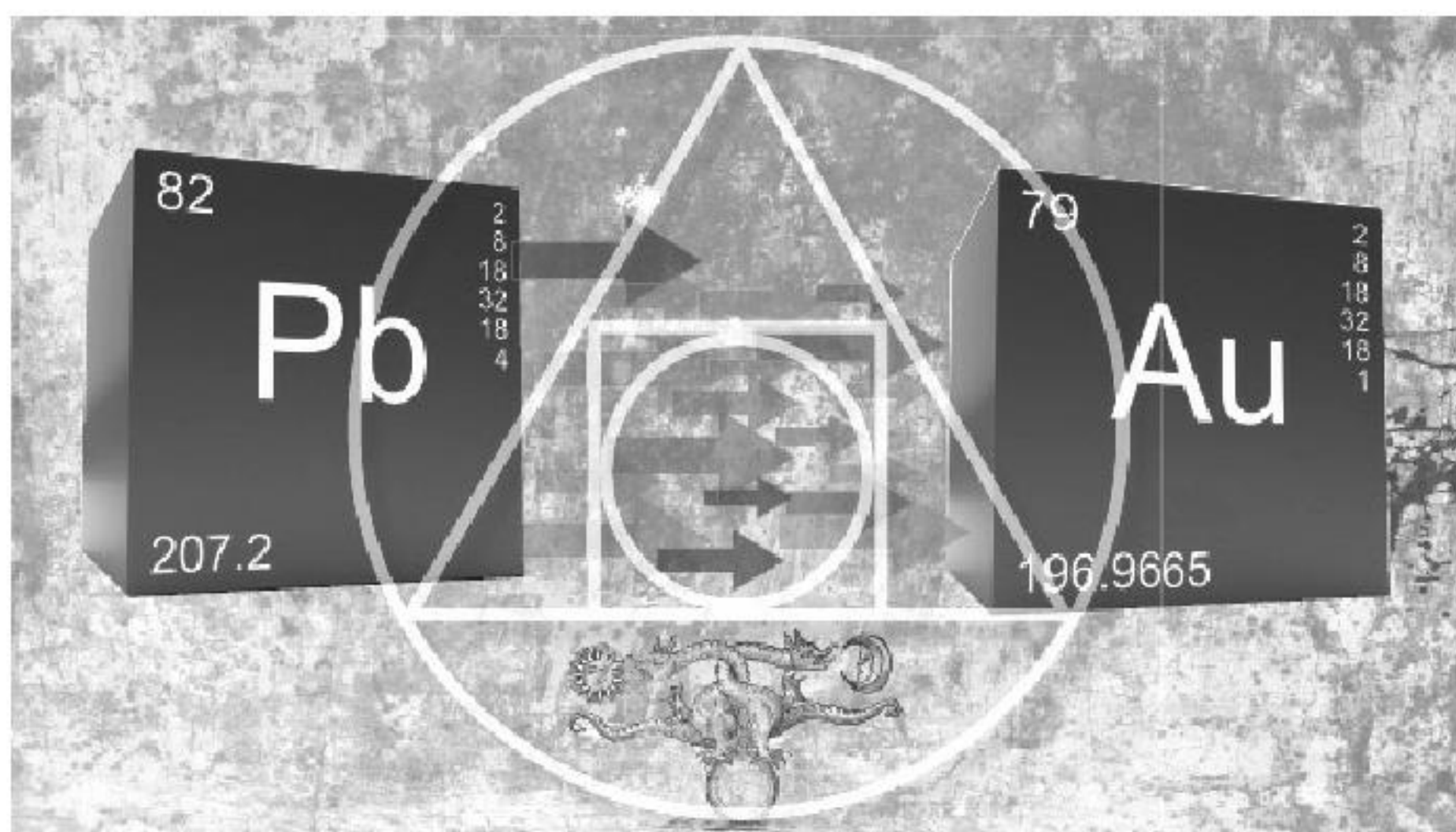
ارنست رادرفورد (۱۸۷۱-۱۹۳۷)

۱ / نگاه هلیکوپتری: تا پایان قرن ۱۹، کیمیاگری برای مدتی طولانی یک دانش معیوب به شمار می‌رفت. هیچ دانشمندی به‌طور جدی وجود ماده‌ای — سنگ فلاسفه — را که می‌توانست فلزات معمولی مانند سرب را به طلای گرانبی‌قیمت یا نقره تبدیل یا «استحاله» کند، نپذیرفت. اما در آغاز قرن ۲۰ این دیدگاه تغییر کرد.

دو فیزیکدان — ارنست رادرفورد و فردریک سادی — احتمالاً نخستین کسانی

بوده‌اند که به امکان‌پذیری استحاله پی بردند. در سال ۱۹۰۱ این زوج کشف کردند که توریم، یک عنصر رادیواکتیو شیمیایی به‌طور طبیعی از طریق «واپاشی» رادیواکتیو به عنصر متفاوتی به نام رادیوم تبدیل می‌شود.

در طول چند دهه، رادرفورد و دیگر فیزیکدانان قادر به استحاله‌ی مصنوعی هسته‌ها بودند: آن‌ها دریافتند که شلیک ذرات زیراتمی به یک اتم، می‌تواند قطعه‌هایی از هسته‌ی اتم را جدا کرده و با تغییر آرایش هسته، آن را به عنصر دیگری تبدیل کند. در باره‌ی تبدیل سرب به طلا چطور؟ در سطح اتمی این دو عنصر شبیه هم هستند: تفاوت اصلی در هسته‌های آن‌ها است. سرب در هسته‌ی خود ۸۲ پروتون دارد، در حالی که طلا فقط ۷۹ پروتون دارد. برای تبدیل سرب به طلا، کافی است با شلیک ذرات زیراتمی به سوی هسته‌ی سرب، سه پروتون از آن بیرون بکشیم. طبق گزارشات، این کار نخستین‌بار در دهه‌ی ۱۹۷۰ به‌طور اتفاقی در یک مرکز هسته‌ای شوروی انجام شد. وقتی محققان در حال آزمایش سپر حفاظتی سربی برای رآکتور بودند، متوجه شدند که بعضی از اتم‌های سرب به طلا تبدیل شده‌اند. از یک لحاظ دانشمندان هسته‌ای عصر حاضر کیمیاگرند، اما کمتر کسی حاضر به استفاده از این واژه است.



سرب می‌تواند به طلا تبدیل شود، اما انجام این کار آسان نیست.

۲ / میان‌بر: عناصر شیمیایی از جمله طلا، با ساختار اتمی خود تعریف می‌شوند. به‌طور مشخص، این تعداد پروتون‌های – ذرات زیراتمی با بار مثبت – هسته است که هویت یک عنصر شیمیایی را تعیین می‌کند. کیمیاگران باور داشتند که می‌توانند از طریق چیزی که ما امروز آن را واکنش شیمیایی می‌نامیم باعث

استحاله‌ی یک عنصر به عنصر دیگر شوند. این غیرممکن است. اما فیزیک مدرن راهی برای تغییر تعداد پروتون‌های هسته و در نتیجه استحاله‌ی یک عنصر به عنصر دیگر ارائه می‌کند.

۳ / اشاره: برخلاف باور عام، تبدیل سرب به طلا امکان‌پذیر است. اما این فرایند مستلزم تجهیزات گران قیمت و دانش تخصصی است. این راهی غیرعملی برای اندوختن ثروت است.

نیز ← ۸۳. مفهوم عمرسنجی رادیومتریکی ۸۴. فرضیه‌ی الکترون هسته‌ای

مفهوم عمرسنجی رادیومتریک

سن زمین آشکار می شود

✱ ۱ / نگاه هلیکوپتری: در دهه‌ی ۱۸۶۰، ویلیام تامسون (که بعدها به لرد کلونین مشهور شد) درک خود از ترمودینامیک را برای پاسخ به پرسشی دیرینه به کار بست: سن زمین چقدر است؟

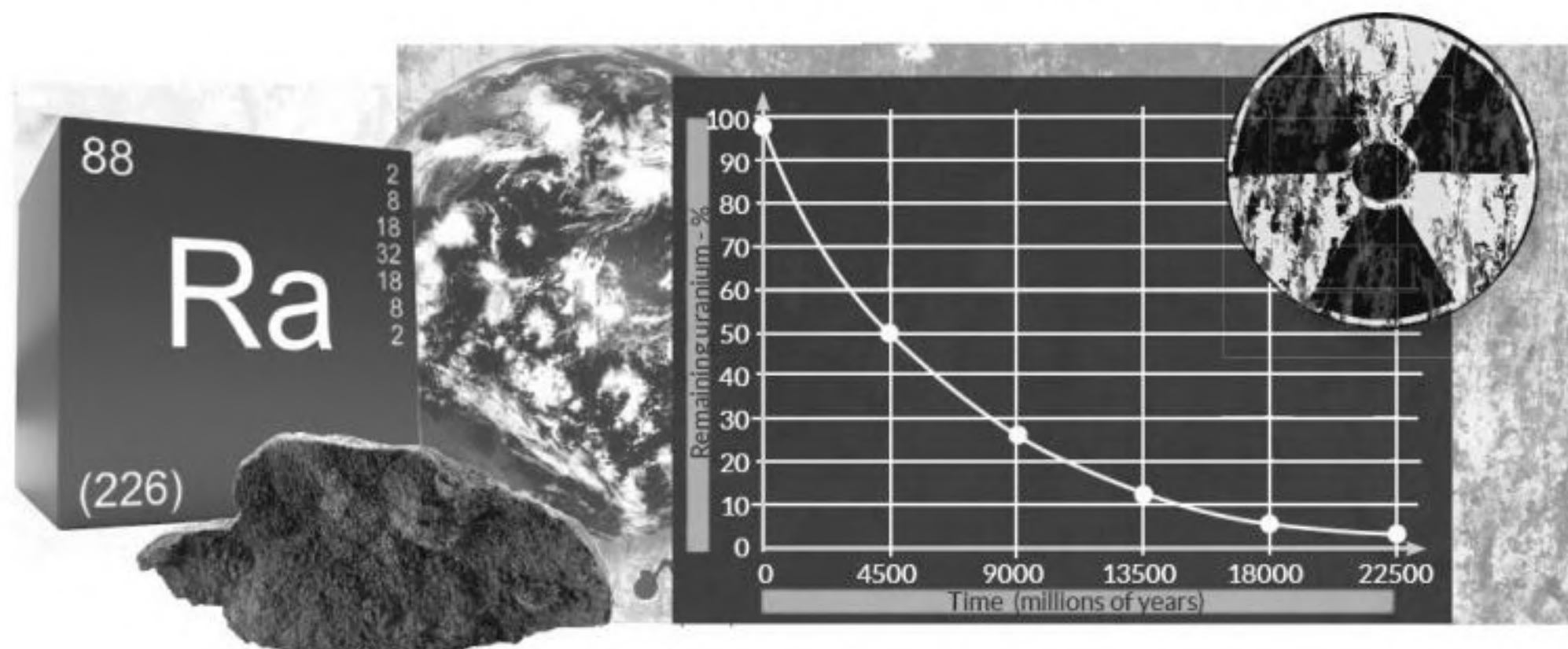
در چند دهه‌ی بعد او براساس دمای زمین به این نتیجه رسید که سن زمین نمی‌تواند بیش از چند ده میلیون سال باشد. نتیجه‌گیری تامسون، او را با زمین‌شناسان و زیست‌شناسان که سن زمین را بسیار بیشتر از این می‌دانستند، وارد مناقشه‌ای ذهنی کرد (مفهوم زمان عمیق را ببینید). تامسون ایده‌ی آن‌ها را مبهم و کیفی یافت، البته اگر روشی کمی برای اندازه‌گیری سن زمین وجود می‌داشت. با ورود به قرن ۲۰ چنان روشی به تدریج پدیدار شد.

داستان از نیمه‌ی دهه‌ی ۱۸۹۰، با آنری بکرل آغاز می‌شود، کسی که دریافت مواد معدنی حاوی اورانیوم، شکل خاصی از یک تابش اسرارآمیز را به‌طور خودبه‌خود تولید می‌کنند. پیتر و ماری کوری این پدیده را با تفصیل بیشتر بررسی کردند و نام رادیواکتیویته را به آن دادند.

در نخستین سال‌های قرن ۲۰، ارنست رادرفورد و فردریک سادی متوجه شدند که عناصر رادیواکتیو مانند اورانیوم با گسیل تابش، واقعاً دچار واپاشی می‌شوند — هویت خود را تغییر می‌دهند تا به عنصر دیگری تبدیل شوند. تا پیش از ۱۹۰۴، رادرفورد استدلال کرده بود که از این پدیده می‌توان به عنوان ساعتی برای تعیین سن صخره‌ها استفاده کرد.

مفهوم عمرسنجی رادرفورد ناپخته بود، اما تحقیقات او به نسخه‌های بهتر و دقیق‌تر انجامید. او توجه کرد که تولید رادیواکتیویته (پرتوزایی) به گونه‌ای نهفته تصادفی است — یک نشانه‌ی اولیه از عدم قطعیت پنهان در فرایندهای زیراتمی (اصل عدم قطعیت هایزنبرگ را ببینید). اما میانگین زمانی پدیده، الگویی را به نمایش می‌گذارد: برای نمونه او محاسبه کرد که همیشه حدود ۲۶۰۰ سال طول می‌کشد تا نیمی از مقدار معینی از رادیوم، واپاشیده شود. این ایده‌ی «نیم-عمر» به محققان این

امکان را داد که مفهوم **عمرسنجی رادیومتری**ک را توسعه دهند و سرانجام دانشمندان را متقاعد کنند که زمین میلیاردها سال سن دارد.



راز عمر زمین در صخره‌ها نهفته بود و با فیزیک هسته‌ای گشوده شد.

۲ / میان‌بر: رادرفورد نخستین کسی بود که تلاش کرد از عمرسنجی رادیومتری استفاده کند. او می‌دانست که مواد معدنی حاوی اورانیوم، با رها کردن ذرات اسرارآمیز «آلفا» واپاشی می‌کنند. او به درستی حدس زد که این ذرات آلفا، نهایتاً با شکلی از عنصر هلیوم شناسایی خواهند شد. این گواهی بود بر این که صخره‌های حاوی اورانیوم، هلیوم را به عنوان معیاری از طول عمر، در خود انباشته می‌کنند. او مقدار هلیوم موجود در یک نمونه‌ی صخره را اندازه‌گیری و با استفاده از آهنگ واپاشی آلفا، عمر آن را چهل میلیون سال محاسبه کرد. این تخمینی نپیخته بود چراکه بخشی از هلیوم می‌توانسته است به مرور زمان از صخره نشت کند. بعدها دانشمندان فنون تخمین را بهبود بخشیدند.

۳ / اشاره: برای قرن‌ها، مباحثات دامن‌داری درباره‌ی عمر زمین وجود داشته است. مفهوم عمرسنجی رادیومتری سرانجام بحث را فرونشاند و قدمت سیاره‌ی ما را تأیید کرد.

نیز ← ۸۲. مفهوم استحاله‌ی هسته‌ای

فرضیه‌ی الکترون هسته‌ای

معمایی در هسته‌ی اتم



جیمز چدویک (۱۸۹۱-۱۹۷۴)

✱ / **نگاه هلیکوپتری:** در نیمه‌ی دهه‌ی ۱۹۱۰ فیزیکدان‌ها مدلی از اتم را توسعه دادند که در آن الکترون‌ها یک هسته‌ی متراکم و کوچک را دور می‌زدند (مدل رادرفورد-بور را ببینید). بسیاری از فیزیکدانان توجه خود را معطوف درک الکترون‌ها کردند. اما برای دیگران هسته جذاب‌تر بود. چه چیزی درون هسته بود؟

تا سال ۱۹۱۹، ارنست رادرفورد پیشرفت مهمی را رقم زده بود: او توانسته بود

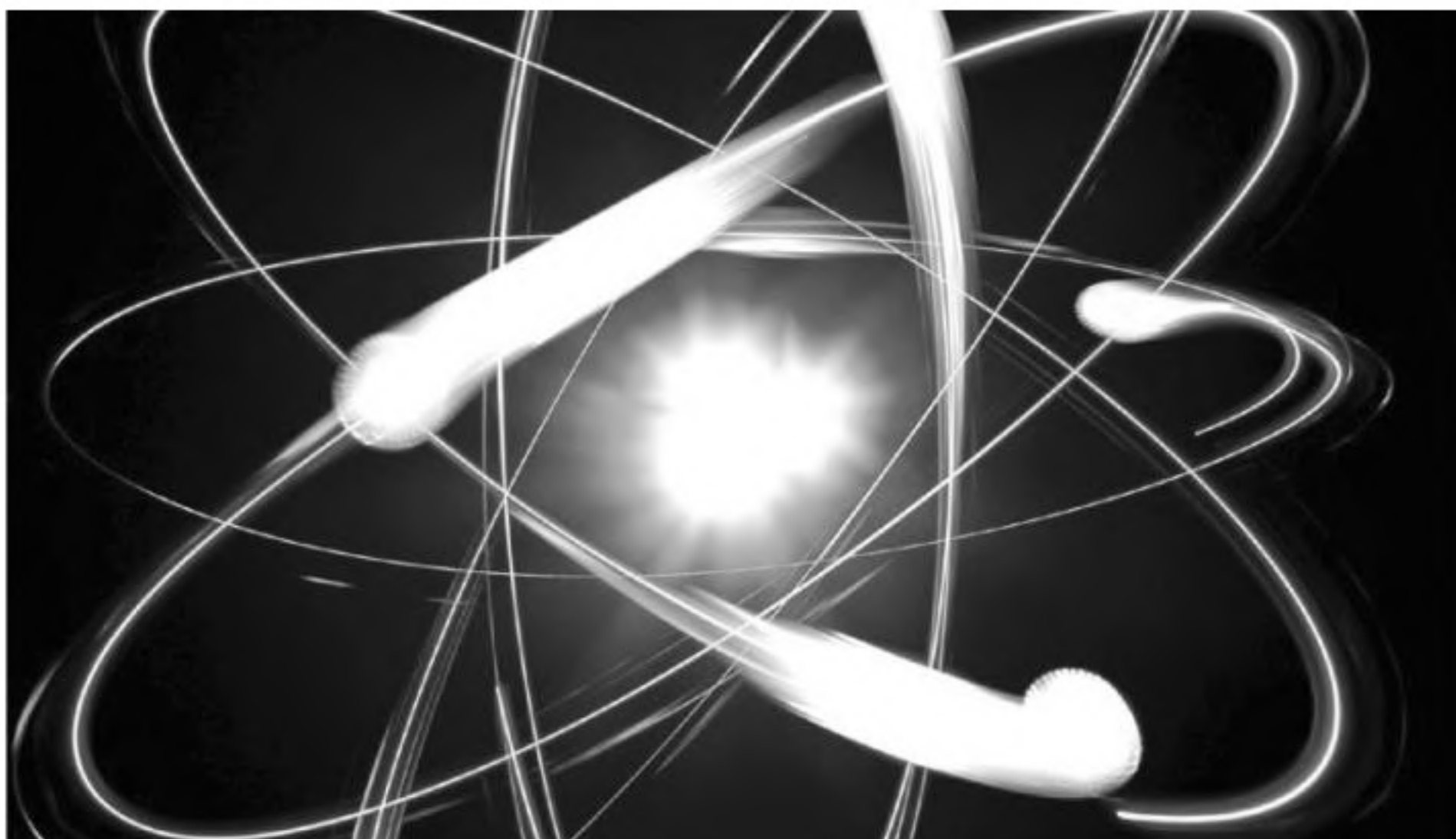
ذرات کوچکی با بار مثبت را از هسته‌ی اتم نیتروژن بیرون اندازد – ذراتی که بعداً به پروتون‌ها معروف شدند.

این کشف رضایت‌بخش بود: پروتون‌های مثبت می‌توانستند برای خنثی کردن بار کل اتم با الکترون‌ها موازنه برقرار کنند. اما مشکلی وجود داشت. پروتون‌ها به اندازه‌ی کافی «سنگین» نبودند تا به جرم موجود در هسته دلالت کنند. چیز دیگری هم در درون هسته وجود داشت.

فرضیه آغازین این بود که هسته باید محتوی پروتون‌های اضافه و همان تعداد الکترون برای خنثی کردن بار آن‌ها باشد. این ایده‌ای جذاب بود: آزمایش‌ها نشان داده بودند که هسته‌ی اتم می‌تواند از خود تابشی گسیل کند (معروف به «تابش بتا») که معلوم شد از الکترون‌ها ساخته شده‌اند. اما **فرضیه‌ی الکترون هسته‌ای** گریبان‌گیر مشکلات زیادی بود – مخصوصاً این واقعیت که به نظر می‌رسید **اصل عدم قطعیت هایزنبرگ** لازم می‌دارد که الکترون‌ها برای تجمع در فضای کوچک هسته، به انرژی زیادی نیاز داشته باشند.

در سال ۱۹۳۲، **جیمز چدویک** با کشف ذره‌ی دیگری در هسته، اوضاع را بهتر کرد – ذره‌ای که اندکی از پروتون سنگین‌تر و مهم‌تر از آن، بدون بار بود. این ذره نوترون نامیده شد. وجود نوترون مشکل کمبود جرم هسته را حل کرد و به این معنا بود که هسته به‌طور کامل از پروتون‌های مثبت و نوترون‌های خنثا ساخته شده است. اما چرا هسته گاهی الکترون‌های منفی بیرون می‌انداخت؟ کشف چدویک این معما را بدون حل گذاشت و این می‌توانست توضیح دهد که چرا **ورنر هایزنبرگ** فرض وجود الکترون در درون هسته را تا مدتی پس از کشف نوترون نگاه داشت.

⊕ **۲/ میان‌بر:** کار چدویک سرانجام فرضیه‌ی متداول الکترون هسته‌ای را باطل کرد. او گمانه زنی درازمدتی درباره وجود ذره‌ای نوترون مانند در هسته‌ی اتم را داشته است. او در اوایل دهه‌ی ۱۹۳۰، درباره‌ی آزمایشی که توسط **فردریک و ایرنه ژولیو-کوری** انجام شده بود شنید: آن‌ها عنصر بریلیم را با تابش بمباران کرده و مشاهده کردند که این عنصر به عنوان پیامد این بمباران، تابش خاص خود را گسیل می‌کند. چدویک دریافت که تابش بریلیم رفتار ناهنجاری دارد. این تابش بدون بار بود اما برخلاف تابش‌های «خنثا»ی شناخته شده می‌توانست پروتون‌های سست را از هسته به بیرون پرتاب کند. او استدلال کرد که برای داشتن چنان تأثیر قدرتمندی روی پروتون‌های «سنگین»، خود تابش باید جرم زیادی را حمل کند. تابش می‌بایست از نوترون‌ها ساخته شده باشد.



در درون هسته‌ی اتم دقیقاً چه می‌گذرد؟

۳ / اشاره: فرضیه‌ی الکترون هسته‌ای، قبل از اینکه کشف نوترون‌ها مسئله را حل کند، کوشش اولیه‌ای برای حل مشکل کمبود جرم هسته اتمی بود.

اما فرضیه مهم بود: فرضیه‌ی الکترون هسته‌ای تأکید داشت که هسته اتمی می‌تواند الکترون گسیل کند و این اشاره‌ای بود به فیزیکدانان دهه‌های ۱۹۲۰ و ۱۹۳۰ که هنوز رازهای نامکشوفی وجود دارند.

نیز ← ۷۶. اصل عدم قطعیت هایزنبرگ

نظریه‌ی شکافت هسته‌ای

ایده‌ای با معانی انفجاری



لیزه مایتنر (۱۸۷۸-۱۹۶۸)

۱ / **نگاه هلیکوپتری:** در اوایل دهه‌ی ۱۹۳۰، جیمز چدویک نوترون را کشف کرد که ذره‌ای زیر اتمی در هسته‌ی اتم بود. این کشف یک واکنش زنجیری فکری به راه انداخت که نهایتاً با یک ویرانگری خانمان‌سوز، جنگ جهانی دوم را پایان داد.

در سال‌های پس از کشف چدویک، فیزیکدانان فهمیدند که نوترون، تنها یک قطعه‌ی گم شده در درک هسته‌ی اتم نیست بلکه ابزار قدرت‌مندی برای یافته‌های

بیشتر است. در اوایل قرن ۲۰، فیزیکدانان کشف کرده بودند که می‌توانند تکه‌هایی از هسته را با بمباران کردن آن توسط ذرات زیراتمی دیگر، از آن جدا کنند. اما همه‌ی این ذرات زیراتمی، بار مثبت داشتند – همان‌ها با بار خود هسته. این همان‌می‌بار، مانع کاوش عمیق هسته می‌شد چرا که ذرات فرودی و هسته، یکدیگر را دفع می‌کردند. نوترون بار نداشت و نسبتاً سنگین بود و اصولاً می‌توانست تا عمق هسته نفوذ کند. تا ۱۹۳۴، انریکو فرمی، بمباران اتم‌های اورانیوم را به وسیله‌ی نوترون شروع کرده بود. در برلین لیزه مایتنر، اتو هان و فريتس اشتراسمان با تکرار بعضی از آزمایش‌های فرمی سعی در شناسایی محصولات اتمی داشتند.

با ظهور نازیسم، مایتنر که در خانواده‌ای یهودی به دنیا آمده بود از برلین به سوئد گریخت. هان و اشتراسمان به کار ادامه دادند و نتیجه گرفتند که بعضی از اتم‌های اورانیوم به باریوم، با هسته‌ای سبک‌تر تبدیل شده‌اند. مایتنر و برادرزاده‌اش اتو فریش، که او نیز به سوئد فرار کرده بود، دریافتند که هان و اشتراسمان اتم را شکافته و اورانیوم را با رها کردن انرژی به دو هسته‌ی کوچک‌تر تقسیم کرده‌اند. فریش به این فرایند نام «شکافت هسته‌ای» داد. در آن زمان کسی فکر نمی‌کرد که شکافت هسته امکان‌پذیر باشد، اما در عرض چند سال نظریه‌ی شکافت هسته‌ای به تولید بمب اتمی منجر شد.



بمب اتمی – نقطه‌ی پایان تحقیقات اتمی.

⌚ ۲ / میان‌بر: واکنش شکافت هسته‌ای مایتنر و فریش با نوعی اورانیوم شامل ۹۲ پروتون (و ۱۴۳ نوترون) در هسته‌ی آن آغاز می‌شود. بمباران کردن آن با نوترون گاهی موجب شکافت هسته به دو قسمت می‌شود، کریپتون (با ۳۶ پروتون)

و باریم (با ۵۶ پروتون). جرم مجموعه‌ی باریم و کریپتون اندکی از جرم اولیه‌ی اورانیوم کمتر است – جرم اضافه به انرژی تبدیل می‌شود ($E = mc^2$ را ببینید). این انرژی کم است. اما اگر نوترون، اتم را طوری بشکافد که دو نوترون جدید تولید شود، این دو نوترون می‌توانند دو اتم اورانیوم دیگر را بشکافند و چهار نوترون آزاد کنند که می‌توانند چهار اتم دیگر را بشکافند و الی آخر. این واکنش زنجیری سریع هسته‌ای می‌تواند مقادیر عظیمی از انرژی آزاد کند.

➡

۳ / اشاره: نظریه‌ی شکافت هسته‌ای نشان داد که هسته‌های اتمی سنگین را می‌توان به دو یا چند تکه‌ی سبک‌تر تقسیم کرد. این فرایند با علائق صرفاً علمی پیشرفت کرد نه به این دلیل که شکافت هسته می‌توانست جرم را به انرژی تبدیل کند.

نیز ← ۸۴. فرضیه‌ی الکترون هسته‌ای

۸۶

مدل کوارکی نفوذ به ریشه‌ی ماده



موری گل‌من/گل‌مان (متولد ۱۹۲۹)

✱ / **نگاه هلیکوپتری:** تا اواسط قرن ۲۰، فیزیکدانان ده‌ها ذره‌ی زیر اتمی متمایز را شناسایی کرده بودند. تعدادی از فیزیکدانان از مواجهه با این «باغ وحش ذرات» و مشکلات یادآوری همه اعضای آن ناخرسند بودند. آیا می‌شد آن را ساده‌تر کرد؟

اوایل دهه‌ی ۱۹۶۰، نخستین تلاش برای انجام این کار در حال شکل گرفتن بود. موری گل‌من و یووال نیمن مستقلاً به ایده‌ای رسیدند که به «روش هشت‌گانه»

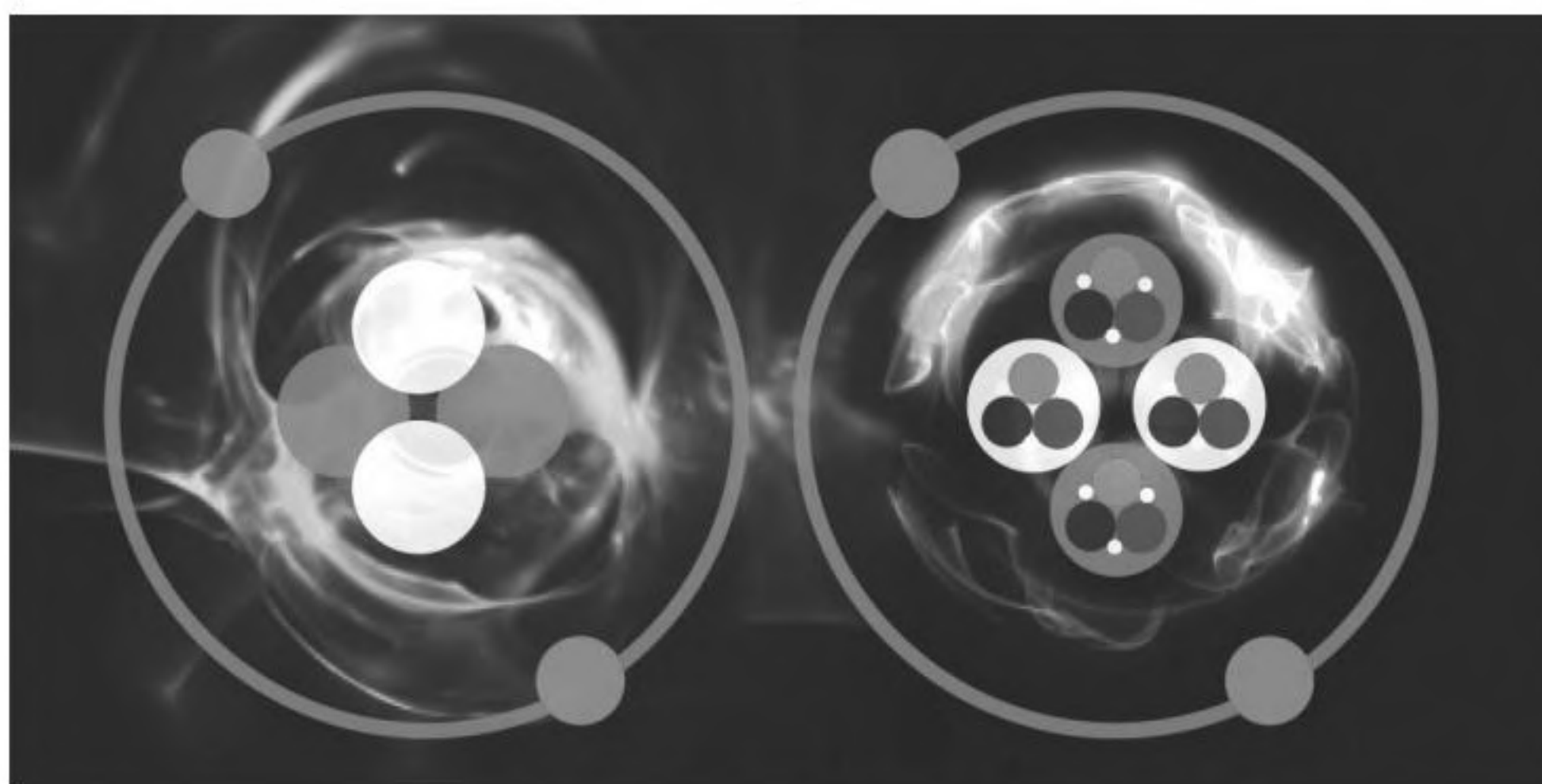
مشهور شد. این روش نشان می‌داد که باغ وحش ذرات می‌تواند به تعداد کمی از خانواده‌ها سازمان دهی شود که هر یک با اشتراک در خواص اساسی فیزیکی تعریف می‌شد. این الگوی دسته‌بندی خوب کار می‌کرد اما با کشف ذرات بیشتر، روش هشت گانه به مشکل خورد.

در سال ۱۹۶۴، گلמן (و مستقل از او ژورژ تسوایک) تعمیمی بنیادین از روش هشت گانه را مطرح کردند. هر دو فیزیکدان استدلال کردند که بسیاری از ذرات، از ذراتی حتی کوچکتر ساخته شده‌اند. آن‌ها نشان دادند که تعداد اندکی از ذرات واقعاً تقسیم‌ناپذیر یا «بنیادین» می‌توانند برای خلق تنوع موجود در باغ وحش ذرات با هم ترکیب شوند.

این روش تفکر جدید، پیامدهای عمیقی داشت. به عنوان نمونه نشان می‌داد که پروتون‌ها و نوترون‌های درون هسته، هر کدام از سه گانه‌ای از ذرات بنیادین بنام «کوارک‌ها» ساخته شده‌اند. ایده‌ی کوارک، نهایتاً توانست این معما را نیز حل کند که چرا هسته گاهیگاهی الکترونی به بیرون پرتاب می‌کند: نوترون می‌تواند با تغییر دادن آرایش کوارکی خود به پروتون تبدیل شود – و این فرایند یک الکترون خلق می‌کند (و همچنین یک ذره پادماده موسوم به پادنوترینوی الکترون).

اما خیلی از فیزیکدانان – از جمله خود گلמן – در پذیرش کوارک‌ها به عنوان ذرات واقعی تردید داشتند، چون این ذرات هرگز مشاهده نشده بودند. این وضعیت در پایان دهه‌ی ۱۹۶۰ با آزمایش‌هایی که موید وجود ذرات کوچک‌تری در درون پروتون به همان صورتی که گلמן و تسوایک پیش‌بینی کرده بودند، تغییر کرد. مدل کوارکی در مسیر پذیرش همگانی قرار گرفت.

④ **۲/ میان‌بر:** مدل کوارکی نشان می‌داد که بسیاری از ذرات زیر اتمی بزرگ، از جمله پروتون و نوترون از دو یا سه کوارک کوچکتر ساخته شده‌اند. در پایان دهه‌ی ۱۹۶۰، کوارک‌ها به تدریج حضور خود را آشکار کردند. فیزیکدانان با پرتاب الکترون‌های بسیار کوچک به سمت پروتون‌هایی که در مقایسه خیلی بزرگ‌تر بودند و اندازه‌گیری دقیق رفتار آن‌ها سعی کردند چیزهای بیشتری درباره‌ی ساختار آن‌ها بیاموزند. این آزمایش‌ها قویاً بدان دلالت داشتند که پروتون‌ها از سنگ بناهای کوچک‌تری ساخته شده‌اند. سرانجام فیزیکدانان پذیرفتند که این سنگ بناها همان کوارک‌های گلמן و تسوایک هستند.



اکنون فیزیکدانان بر این باورند که نوترون‌ها و پروتون‌های درون هسته، هرکدام از سه کوآرک ساخته شده‌اند.

۳ / اشاره: تا نیمه‌ی قرن ۲۰، فیزیکدانان تنوع غریبی از ذرات زیراتمی پیدا کرده بودند. گمان آن‌ها چنین بود که این تنوع، باید با یک الگوی ساده‌ی زیربنایی توضیح داده شود. مدل کوآرکی همان الگوی مورد جستجو بود.

نیز ← ۸۷. مدل استاندارد

مدل استاندارد

یک نظریه‌ی (تقریباً) همه چیز

✱ ۱ / نگاه هلیکوپتری: وظیفه‌ی فیزیک کوانتومی چیزی بیش از توضیح ساختار داخلی اتم‌ها است – این نظریه به توضیح طریقه‌ی عملکرد عالم در یک سطح بنیادین نزدیک شده است.

توجه بسیاری از فیزیکدانان کوانتومی در دهه‌ی ۱۹۲۰ و ۱۹۳۰ به درک اتم معطوف شده بود (مدل رادرفورد-بور را ببینید). اما محققان دیگر – مخصوصاً پل دیراک – می‌خواستند بدانند آیا فیزیک کوانتومی می‌تواند طریقه‌ی برهمکنش ماده و انرژی و در نتیجه آن، رفتار عالم را توضیح دهد.

در اواخر دهه‌ی ۱۹۲۰، شواهد حاکی از آن بودند که پاسخ مثبت است. الکترودینامیک کوانتومی – QED – برهمکنش‌های بین نور (تابش الکترومغناطیسی) و ماده را توضیح داد. QED، مدعی بود که ذرات زیراتمی که فوتون نام دارند، مانند واسطه‌هایی که نیروی الکترومغناطیسی را از طریق فضا زمان حمل می‌کنند، با سرعت نور مابین توده‌های ماده جابه‌جا می‌شوند. این ایده، فیزیک کوانتومی و **نظریه‌ی نسبیت خاص آلبرت اینشتین** را با هم ترکیب کرد.

با افزایش اطلاعات درباره‌ی دنیای زیراتمی، فیزیکدانان دریافتند که چهار نیروی بنیادین در طبیعت وجود دارند. شواهد خوبی وجود دارد که سه تا از این نیروها – الکترومغناطیسی، هسته‌ای ضعیف و هسته‌ای قوی – توسط دسته‌ی خاصی از ذرات زیراتمی، تحت عنوان بوزون‌ها، حمل می‌شوند (فوتون یک بوزون است). شواهد قاطعی از وجود نوع چهارمی از بوزون – بوزون هیگز – حکایت دارند که برای جرم دادن به ماده، با آن برهمکنش می‌کند. چارچوبی نظری که این بوزون‌ها و همچنین «ذرات مادی» (مدل کوآرکی را ببینید) را به کار می‌گیرد، به **مدل استاندارد** معروف است. اما مدل استاندارد کامل نیست. نیروی بنیادین چهارم – گرانش – با این مدل ناسازگار است. این نیرو نیز اصولاً با یک بوزون در فضا زمان حمل می‌شود. اما فیزیکدانان مدرک محکمی از وجود این بوزون فرضی (گراویتون) به دست نیاورده‌اند.

مدل استاندارد ذرات بنیادین

سه نسل از ماده (فرمیون‌ها)			برهمکنش‌ها / حامل‌های نیرو (بوزون‌ها)	
I	II	III		
جرم بار اسپین ۲.۲ MeV/c ² ۲/۳ ۱/۲ u بالا	۱.۲۸ GeV/c ² ۲/۳ ۱/۲ c دلربا	۱۷۳.۱ GeV/c ² ۲/۳ ۱/۲ t سَر	۰ ۰ ۱ g گلوئون	۱۲۴.۹۷ GeV/c ² ۰ ۰ ۰ H هیگز
کوارک‌ها	۴.۷ MeV/c ² -۱/۳ ۱/۲ d پایین	۹۶ MeV/c ² -۱/۳ ۱/۲ s شگفت	۰ ۰ ۱ γ فوتون	بوزون‌های اسکالر بوزون‌های پیمانه‌ای بوزون‌های برداری
لپتون‌ها	۰.۵۱۱ MeV/c ² -۱ ۱/۲ e الکترون	۱۰۵.۶۶ MeV/c ² -۱ ۱/۲ μ موئون	۰ ۰ ۱ Z بوزون Z	
	<۲.۲ eV/c ² ۰ ۱/۲ ν_e نوترینوی الکترون	<۰.۱۷ MeV/c ² ۰ ۱/۲ ν_μ نوترینوی موئون	<۱۸.۲ MeV/c ² ۰ ۱/۲ ν_τ نوترینوی تاو	
			۸۰.۳۹ GeV/c ² ±۱ ۱ W بوزون W	

مدل استاندارد تقریباً همه‌چیز را درباره‌ی رفتار عالم در سطحی بنیادین توضیح می‌دهد.

تا زمان انجام این کار، مدل استاندارد تنها یک نظریه‌ی تقریباً همه‌چیز^۱ است.

⌚ **۲/ میان‌بر:** مدل استاندارد نظریه‌ای موفق است زیرا بسیاری از پیش‌بینی‌های آن تأیید شده‌اند. برای مثال در دهه‌ی ۱۹۶۰، شش فیزیک دان از جمله پتر هیگز، وجود میدان نیرو – مانندی را که همه‌ی جهان را در کنار میدانهای نیروی دیگر پر می‌کند، پیش‌بینی کردند. میدان هیگز توضیح می‌داد که چرا بعضی از ذرات دارای جرم هستند. وجود میدان هیگز می‌توانست با یافتن بوزون وابسته به آن تأیید شود: بوزون مشهور هیگز حدود پنجاه سال پس از پیشنهاد شدن آن، در سال ۲۰۱۲، در برخورددهنده‌ی بزرگ هادرون با چند خاصیت پیش‌بینی‌شده‌ی آن آشکار شد.

۱. برای اطلاعات بیشتر کتاب نظریه‌ی همه‌چیز، فرانک کلوژ، ترجمه‌ی تورج حوری را از همین مجموعه ببینید. ناشر



پیتر هیگز (متولد ۱۹۲۹)

➡ ۳ / اشاره: مدل استاندارد نظریه‌ای موفق و نسبتاً ساده است که کارهای زیادی انجام می‌دهد.
توضیح بنیادین ماده، جرم و سه تا از چهار نیروی حاکم بر جهان قابل مشاهده از جمله‌ی آنها هستند.

نیز ← ۶۶. نظریه‌ی نسبیت خاص

نظریه‌ی ریسمان^۱

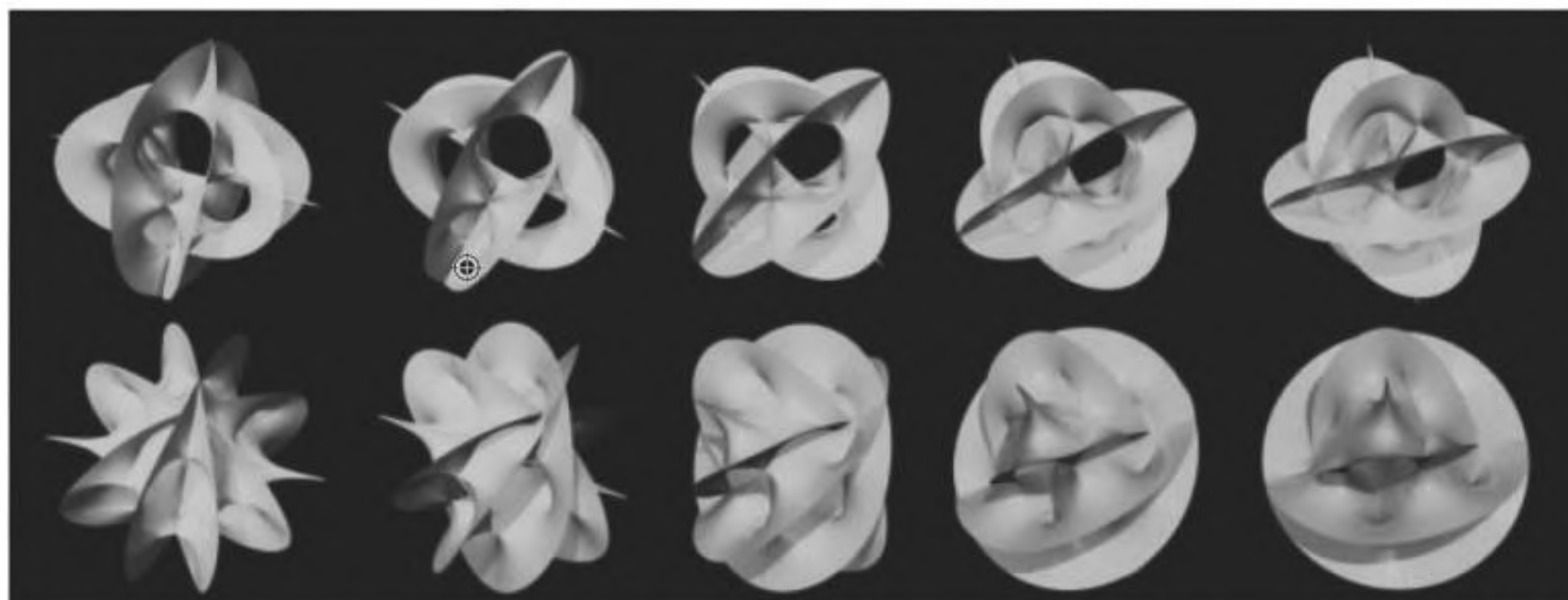
نظریه‌ی واقعی همه چیز؟

✱ ۱ / نگاه هلیکوپتری: مدل استاندارد، از فیزیک کوانتومی استفاده می‌کند تا توضیح تقریباً کاملی از رفتار جهان قابل مشاهده در سطحی بنیادین ارائه کند. اما وقتی به یکی از آشناترین نیروهای فیزیکی می‌رسد، دچار شکست می‌شود: گرانش.

گرانش، نخستین نیروی بنیادین عمل‌کننده در جهان است که به تفصیل مورد مطالعه قرار گرفته است. در مقیاس زیراتمی، گرانش ضعیف و کارکرد آن هنوز جزء اسرار است. اصولاً این نیرو باید مانند دیگر نیروهای بنیادین رفتار کند، به این معنا که باید توسط نوع خاصی از ذرات زیراتمی که گراویتون نام دارد، حمل شود. اما فیزیکدانان هنوز مدرک محکمی نیافته‌اند که وجود آن را تأیید کند. بسیاری از فیزیکدانان بر این باورند که توضیح گرانش، مستلزم نظریه‌ی جدیدی براساس فیزیک کوانتومی است. **نظریه‌ی ریسمان** یکی از نامزدهای پیشتاز است.

نظریه‌ی ریسمان به‌طور تدریجی و در نیمه‌ی دوم قرن ۲۰ پدیدار شد. طبق این نظریه، ذرات بنیادین — مانند الکترون‌ها و کوارک‌ها (مدل کوارکی را ببینید) — در واقع تارهای مرتعش یک بعدی هستند، که به شکل ریسمان‌های بسیار کوتاه ظاهر می‌شوند. این نظریه، یک چارچوب نظری پیچیده و تنها زمانی سازگار است که در ورای ابعاد فضایی آشنای سه گانه، چندین بعد فضایی دیگر وجود داشته باشند. به همین دلیل درک مفهومی نظریه ریسمان دشوار است. اما به نظر می‌رسد که این نظریه توضیحی کوانتومی از گرانش ارائه می‌کند: یکی از مدهای ارتعاشی ریسمان‌ها، بسیاری از خاصیت‌های مورد انتظار گراویتون گریزپا را به آن‌ها می‌دهد. با این همه هنوز بر سر اینکه نسخه‌ای از نظریه‌ی ریسمان، نظریه همه چیز نهایی باشد، توافق عام وجود ندارد. هنوز چیزهای زیادی هست که باید فیزیکدانان کشف کنند.

۱. برای اطلاعات بیشتر کتاب آشنایی با نظریه ریسمان، استیون اس گوبسر، ترجمه محمدعلی جعفری را از همین مجموعه ببینید. ناشر



برای مطالعه‌ی ابعاد اضافی نظریه‌ی ریسمان، فیزیکدانان به هندسه‌های جبری خارق العاده‌ای متوسل می‌شوند.

④ **۲/ میان‌بر:** نظریه‌ی ریسمان در طول سال‌ها تحولات زیادی را تجربه کرده که پیچیدگی و چندگانگی آن را به همراه داشته است، به گونه‌ای که در دهه‌ی ۱۹۹۰، چندین نسخه‌ی متمایز از آن وجود داشته است. در سال ۱۹۹۵، ادوارد ویتن راهی یافت تا نشان دهد که تمام این نسخه‌های متمایز، در واقع بخش‌هایی از یک نظریه‌ی فراگیر به نام «نظریه‌ی M » هستند. اگر نظریه‌ی M درست باشد، تمام ذرات بنیادین شناخته شده باید دارای چیزی باشند که «آبرهمراه» نام دارد – یعنی ذرات بنیادین دیگری وجود دارند که باید آشکار شوند. اما تا نیمه‌ی سال ۲۰۱۷ نشانه‌ای از وجود آن‌ها به دست نیامده است – شاید به این دلیل که نظریه‌ی M نیاز به بازاندیشی دارد.

⊞ **۳/ اشاره:** فهم نظریه‌ی ریسمان از نظر عقلانی، با تأکیدی به وجود هفت بعد فضایی اضافه دارد، چالش برانگیز است. اما این پیچیدگی ممکن است ارزشش را داشته باشد: این نظریه می‌تواند یک توضیح کامل کوانتومی از کارکرد عالم ارائه کند.

نیز ← ۵۶. قانون گرانش عمومی نیوتون

مفهوم فلزی شدن درون خورشید چیست؟



سیسیلیا پاین گاپوسکین (۱۹۰۰-۱۹۷۹)

✱ ۱ / **نگاه هلیکوپتری:** اوایل قرن ۲۰، تصور فیزیکدانان بر این بود که ترکیب شیمیایی خورشید را می‌دانند. باور عمومی بر این بود که ترکیب خورشید بسیار شبیه زمین است. اواسط دهه‌ی ۱۹۲۰، سیسیلیا پاین (که بعداً به پاین گاپوسکین تغییر یافت) این ایده را به چالش کشید – و برای همیشه طرز تفکر ستاره‌شناسان و فیزیکدانان را درباره‌ی جهان مشاهده‌پذیر تغییر داد.

در قرن ۱۹، ویلیام هاید وُلاستون و یوزف فون فراونهوفر متوجه شده بودند که نور

خورشید، وقتی به طیف رنگین مانند آن تجزیه می‌شود، با مجموعه‌ای از خطوط باریک قطع می‌شود. چنان بود که گویی رنگ‌های خاص (طول موج‌ها) نوری که از خورشید می‌آیند در مسیر زمین از دست می‌روند و خطوط تاریکی طیف به جا می‌گذارند. بعداً در همان قرن، گوستاو کیرشهوف و رابرت بونزن، توضیحی ارائه کردند. آن‌ها مواد مختلفی را در آزمایشگاه داغ کردند و دریافتند که عناصر شیمیایی خاصی، طول موج‌های بسیار دقیقی را گسیل (و جذب) می‌کنند. فیزیکدانان رفته رفته پذیرفتند که نور از «دست رفته»ی خورشید، در صورتی که تعدادی از این عناصر در اتمسفر آن حضور داشته باشند و طول موج‌های خاصی را جذب کنند، قابل توضیح خواهد بود. فلزاتی مانند کلسیم و آهن در خورشید فراوانند. این یافته جالب بود چون این عناصر در پوسته‌ی زمین نیز فراوانند.

اما پاین استدلال کرد که فیزیکدانان داده‌های خورشید را درست نمی‌خوانند. در اوایل دهه‌ی ۱۹۲۰، او مگناد ساها را ملاقات کرد، کسی که تحقیقاتش قویاً نشان می‌داد که دمای یک عنصر شیمیایی روی جذب نور توسط آن تأثیر می‌کند. با توجه به اینکه جو خورشید بسیار داغ است، پاین استدلال کرد که خورشید عمدتاً از هیدروژن و هلیوم تشکیل شده است.

کار پاین به مفهوم فلزی شدن منجر شد - این ایده که تمام ستارگان از هیدروژن و هلیوم ساخته شده‌اند و تنها مقادیر کوچکی از دیگر عناصر را در خود دارند (که همه‌ی آن‌ها برچسب فلز می‌خورند). این سرنخ مهمی برای درک چگونگی شکل‌گیری عالم بود.



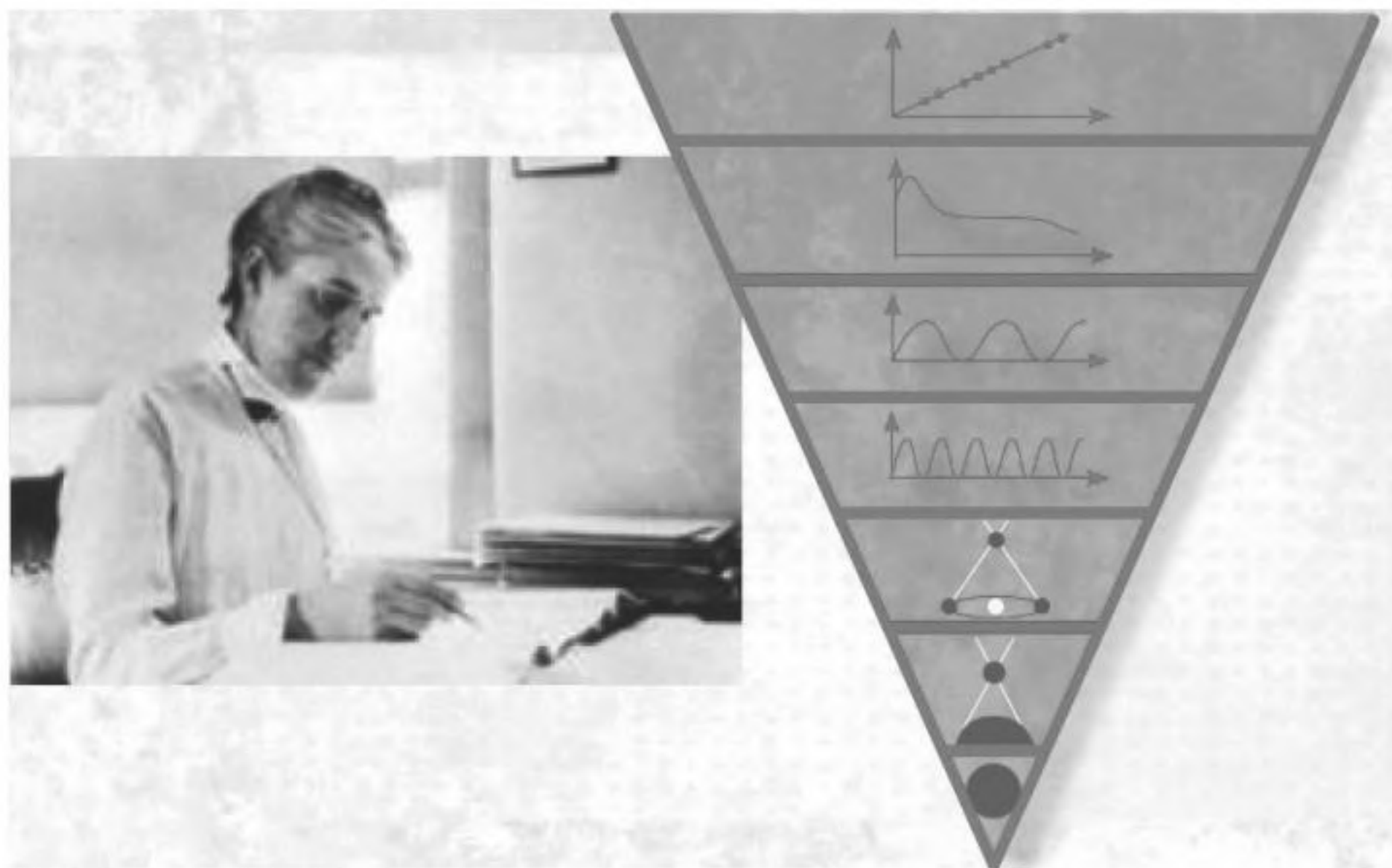
رایانه‌های هاروارد جهان قابل مشاهده را معقول‌تر کردند.

⦿ ۲ / میان‌بر: در اواخر قرن ۱۹، ادوارد چارلز پیکرینگ اقدام به استخدام زنان برای کمک به تحلیل داده‌های نجومی کرد. این زنان به «رایانه‌های هاروارد» مشهور شدند. یکی از آن‌ها – آنی جامپ کانن – به خاطر ارائه‌ی الگوی دسته‌بندی زیرکانه ستارگان شناخته شده‌تر بود. کانن ستارگان را براساس مشخصات طیف نوری آن‌ها گروه‌بندی کرد. در ظاهر امر الگوی کانن نشان می‌داد که ترکیب شیمیایی ستارگان بسیار متفاوت است. پایین استدلال کرد که آن‌ها اینگونه نیستند: بر پایه‌ی تحقیقات او، تمام ستارگان عمدتاً از هیدروژن و هلیم ساخته شده‌اند. در رده‌بندی کانن اختلاف در دما مهم‌تر از ترکیب شیمیایی بود. ایده‌ی پایین با گذشت زمان مقبولیت بیشتری یافت.

⦿ ۳ / اشاره: ستاره‌ها در اشکال متنوعی ظاهر می‌شوند: ابرغول‌های سرخ می‌توانند هزاران بار بزرگتر از خورشید باشند. ستاره‌های ولف – رایت می‌توانند ۳۰ بار داغ‌تر باشند. اما از نظر ترکیب در تمام ستارگان هیدروژن و هلیم غالب هستند.

نیز ← ۹۲. نظریه‌ی مه‌بانگ

نردبان فاصله‌ی کیهانی راه‌پله‌ای به سوی ستارگان



هنری‌یتا اسوان لویت (۱۸۶۸-۱۹۲۱)

۱ / نگاه هلیکوپتری: اوایل دهه‌ی ۱۹۲۰، اتفاق نظر علمی بر این بود که جهان بزرگ – اما نه چنان بزرگ است. منجمین پیشرو از جمله **هارلو شلیپی** فرض کردند که در ماورای کهکشان راه شیری ما اگر هم چیزی وجود داشته باشد، اندک است. **ادوین هابل** جامعه‌ی محققان را متقاعد کرد که شلیپی بر خطا بوده است. کار هابل عمدتاً بر مشاهداتی تکیه داشت که چند دهه قبل توسط **هنری‌یتا اسوان لویت** انجام شده بود. او متغیرهای قیفاووسی را – ستاره‌های غیرعادی که نور آن‌ها با گذشت زمان کم و زیاد می‌شود – در دو ناحیه از آسمان شب بنام ابرهای ماژلانی مطالعه کرده بود. لویت فرض کرده بود که متغیرهای قیفاووسی در هر ابر ماژلانی تقریباً دارای یک فاصله از زمین هستند و متوجه شد که هرچه ستاره پرنورتر باشد، دوره‌ی تناوب آن – آهنگ پرنور و کم نور شدن آن – آهسته‌تر است. در دهه‌ی ۱۹۱۰، **آینار هرتسپرونگ** به اهمیت اساسی کشف لویت پی برد. تا آن

زمان فقط اندازه‌گیری فاصله‌ی ستارگان نزدیک به منظومه‌ی شمسی با روشی که اختلاف منظر نام داشت، میسر بود. هرتسپرونگ ادعا کرد که از متغیرهای قیفاووسی می‌توان به عنوان ابزار دیگری برای اندازه‌گیری فاصله‌ی ستارگان دوردست استفاده کرد. رفته رفته فنون اندازه‌گیری بیشتری نیز توسعه یافتند و این تحولات به چیزی منتهی شد که ستاره‌شناسان اکنون آن را **نردبان فاصله کیهانی** می‌نامند – سیستمی که به برآورد اندازه‌ی عالم منجر شد.

در سال ۱۹۲۴، هابل نقش عمده‌ای در تکامل این نردبان بازی کرد. او با استفاده از کار هرتسپرونگ، فاصله‌ی متغیرهای قیفاووسی در دو سحابی آسمان را تخمین زد. چیزی که او به دست آورد ۹۰۰,۰۰۰ سال نوری ($۸/۵$ کنتیلیون کیلومتر) بود. او نتیجه گرفت که دو سحابی باید بسیار فراتر از کهکشان راه شیری قرار گرفته باشند. اکنون معلوم شده است که هردوی آن‌ها کهکشان‌های متمایزی هستند. شلیپی ابتدا کار هابل را با عنوان «علم کاذب» رد کرد اما به زودی هم او و هم دیگر ستاره‌شناسان محاسبات هابل و پیامد آن را پذیرفتند که جهان به طرز حیرت‌انگیزی بزرگ است.



کار لویت به نردبان فاصله کیهانی که اندازه‌ی جهان قابل مشاهده را تعیین می‌کند، منجر شد.

④ ۲ / میان‌بر: با چرخش زمین به دور خورشید، به نظر می‌رسد که بعضی ستارگان در آسمان جابه‌جا می‌شوند. از این حرکت («اختلاف منظر ستاره‌ای») برای محاسبه‌ی فاصله‌ی آن‌ها استفاده می‌شود. اما این روش فقط برای ستارگان نسبتاً نزدیک به زمین کاربرد دارد. روشنایی اندازه‌گیری شده‌ی یک ستاره با افزایش فاصله‌ی آن از زمین کاهش می‌یابد. اما «دوره‌ی تناوب» یک متغیر قیفاووسی با روشنایی واقعی آن رابطه دارد. با اندازه‌گیری فاصله‌ی قیفاووسی‌های نزدیک، به روش اختلاف منظر، ستاره‌شناسان به رابطه‌ی ساده‌ای بین روشنایی واقعی و روشنایی اندازه‌گیری شده‌ی آن‌ها و در نتیجه فاصله‌ی آن‌ها از زمین، دست یافتند. با این رابطه، استخراج فاصله‌ی قیفاووسی‌های دوردست‌تر ممکن شد.

⑤ ۳ / اشاره: ستاره‌شناسان قرن‌ها با تعیین بزرگی عالم دست به گریبان بودند.
نردبان فاصله کیهانی چندین فوت و فن مکمل را برای سنجش فواصل دورتر و دورتر، با هم ترکیب می‌کند.

نیز ← ۹۱. قانون هابل

قانون هابل جهان پویا می‌شود



ادوین هابل (۱۸۸۹-۱۹۵۳)

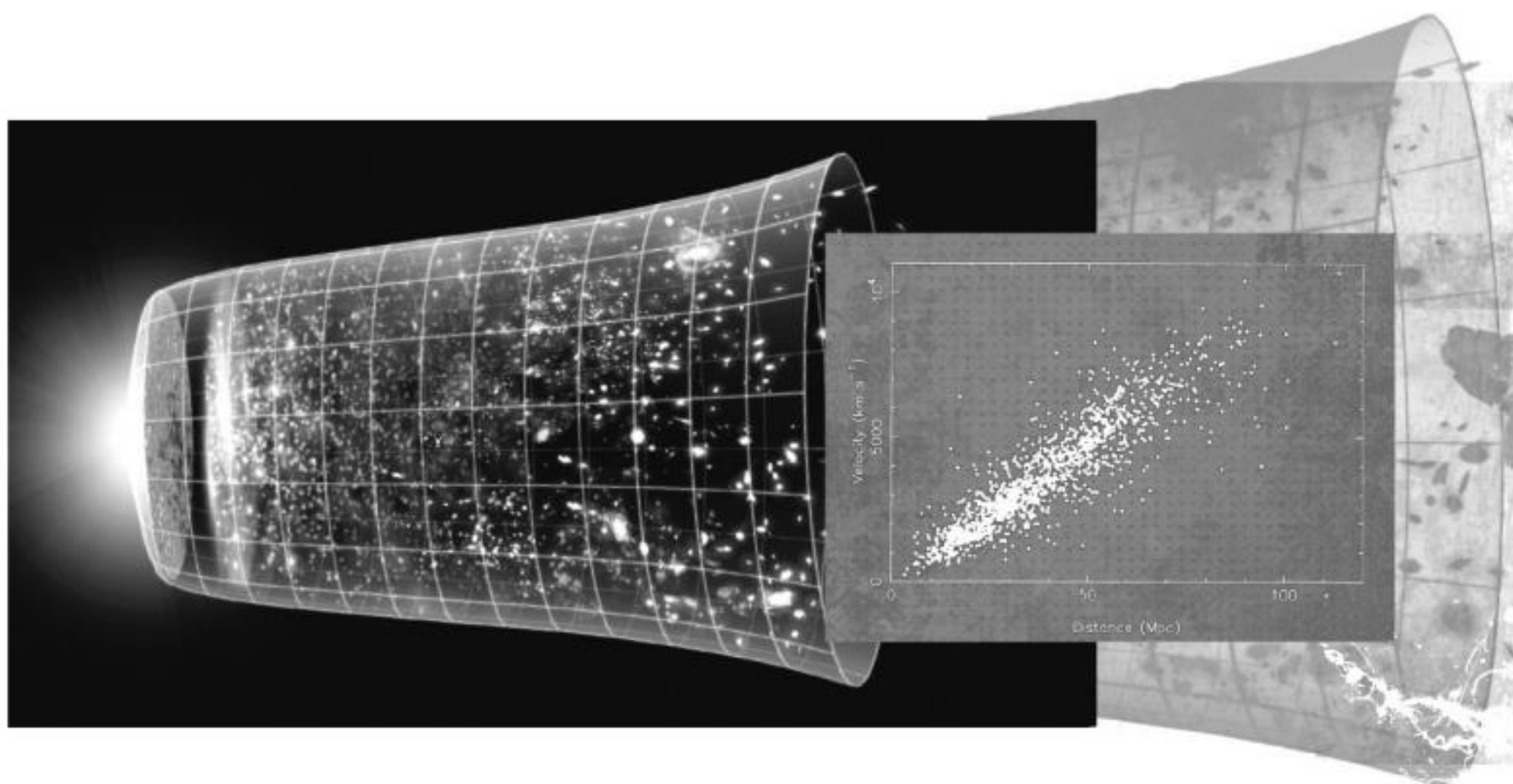
✱ ۱ / نگاه هلیکوپتری: دانشمندان اوایل قرن ۲۰ نتوانستند بر سر اندازه‌ی جهان هستی به توافق برسند، اما از یک لحاظ، اتفاق نظر کلی وجود داشت. جهان ایستا بود. سپس در پایان دهه‌ی ۱۹۲۰، ادوین هابل با انتشار یافته‌هایش، نگرش علمی زمان را تغییر داد.

فرض یک جهان ایستا، حتی زیر بنای کار مشهورترین دانشمندان نیز بود. وقتی آلبرت اینشتین سعی کرد با استفاده از نظریه‌ی نسبیت عام خود، جهان (ایستا) را مدل‌سازی کند، دریافت که باید جمله‌ی جدیدی را به معادلات خود اضافه کند — با

نام «ثابت کیهان‌شناختی» — تا از رمبش آن در اثر گرانش جلوگیری کند. بعضی از فیزیکدانان از راه‌حل اینشتین راضی نبودند. برای نمونه در سال ۱۹۲۲، الکساندر فریدمان، نشان داد که اینشتین باید امکان یک جهان پویا را نیز در نظر بگیرد. ژورژ لومتر نیز در سال ۱۹۲۷ پیشنهاد مشابهی داشت. اینشتین این ایده را رد کرد.

اما در عرض چند سال، اینشتین نظر خود را تغییر داد. در سال ۱۹۲۹، هابل — که از کشف ستارگان ماورای کهکشانی خرسند بود (نردبان فاصله کیهانی را ببینید) — مشاهده حیرت‌انگیزتری کرد. او اظهار داشت که این ستارگان دوردست در حال دور شدن از زمین هستند و هرچه فاصله‌ی آن‌ها بیشتر باشد، سریع‌تر دور می‌شوند. دیگر دانشمندان به زودی رابطه‌ی او را پذیرفتند. این رابطه اکنون به قانون هابل مشهور است.

مشاهده‌ی هابل بسیاری از جمله اینشتین را متقاعد کرد که جهان باید در حال انبساط باشد. چند سال بعد او ایده‌ی ثابت کیهان‌شناختی را کنار گذاشت. مشهور است که اینشتین اضافه کردن ثابت کیهان‌شناختی را «بزرگ‌ترین اشتباه» علمی زندگی خود می‌دانست. البته برخی مورخین علم در صحت این نقل قول شک دارند. از این گذشته، چند کشف جدید موجب مطرح شدن مجدد ثابت کیهان‌شناختی شده است (نظریه‌ی گیتی شتابان را ببینید)



هرچه ستاره‌ای از ما دورتر باشد سرعت گریز آن نیز بیشتر است که این به معنای گیتی منبسط‌شونده است.

⊕ ۲ / میان‌بر: هابل طیف نوری ستارگان دوردست را تجزیه و تحلیل کرد. در این طیف‌ها خطوط مشخصه‌ای ناشی از حضور عناصر شیمیایی – مخصوصاً هیدروژن – در جو هر ستاره وجود داشت. اما این خطوط طیفی دقیقاً در همان فرکانس که در نور خورشید وجود دارد ظاهر نمی‌شوند. این خطوط طیفی همیشه در نور ستارگان دوردست به سمت انتهای قرمز طیف جابه‌جا می‌شوند. **نظریه‌ی نسبیت خاص** این تغییر مکان سرخ را برای جسمی که از ناظر دور می‌شود، به عنوان پیامدی از واپیچش فضا‌زمان پیش‌بینی می‌کند. هابل متوجه شد که هرچه فاصله‌ی ستاره بیشتر باشد تغییر مکان سرخ آن نیز بیشتر است (که به معنای سرعت گریز بیشتر آن است). این به انبساط جهان هستی اشاره داشت.

⊞ ۳ / اشاره: فیزیکدانان ابتدای قرن ۲۰، از جمله اینشتین، فرض کردند که جهان ایستا است. اما مشاهدات دقیق هابل بیشتر آنان را متقاعد کرد که جهان واقعاً در حال انبساط است.

نیز ← ۶۶. نظریه‌ی نسبیت خاص ۶۸. نظریه‌ی نسبیت عام

نظریه‌ی مهبانگ (انفجار بزرگ) آغاز جهان هستی



ژورژ لومتر (۱۸۹۴-۱۹۶۶)

✱ / **نگاه هلیکوپتری:** وقتی در سال ۱۹۲۹، ادوین هابل شواهدی را منتشر کرد که قویاً دلالت بر انبساط جهان داشتند، فیزیکدانان در همه جای دنیا شگفت‌زده شدند. یکی از آنان – ژورژ لومتر – می‌بایست به‌طور خاص از این تحول هیجان زده شده باشد. او انبساط جهان را چند سال جلوتر پیشگویی کرده بود. در سال ۱۹۳۱، لومتر براساس ایده‌ی خود، ندانسته یک مشاجره‌ی علمی دراز مدت به راه انداخت.

او استدلال کرد که اگر جهان هستی در حال انبساط است باید در زمان گذشته کوچکتر بوده باشد. او به‌طور منطقی نتیجه گرفت که در گذشته‌ی بسیار دور باید لحظه‌ای بوده باشد که تمام جرم عالم در ابعاد یک اتم تمرکز داشته است. این ایده بسیار نامانوس و مانند توسل جستن به یک رویداد خلقت الهی بود. احتمالاً این واقعیت که لومتر یک کشیش کلیسای کاتولیک بود کمکی نمی‌کرد. در عوض خیلی از فیزیکدانان چیزی را ترجیح دادند که به **نظریه‌ی حالت پایدار** معروف شد، با این مضمون که جهان هستی آغازی نداشته و پایانی نیز نخواهد داشت. هرچند کار هابل بسیاری از فیزیکدانان را متقاعد کرده بود که جهان در حال انبساط است، طرفداران نظریه‌ی حالت پایدار استدلال می‌کردند که اگر ماده به‌طور دائم تولید شود و این انبساط برای همیشه ادامه داشته باشد، عالم هرگز ظاهر خود را تغییر نخواهد داد.

اما همه متقاعد نشدند. اواخر دهه‌ی ۱۹۴۰، **رالف آلفر و رابرت هرمان**، براساس این ایده که جهان در مراحل نخستین خود بسیار کوچک و بسیار داغ بوده است، پیش‌بینی‌هایی انجام دادند. این دو محقق نشان دادند که شفق ناشی از این مرحله‌ی آغازین باید هنوز به صورت یک سیگنال تابشی ظریف به جا مانده باشد. در سال ۱۹۶۴، **آرنو پنزیاس و رابرت ویلسون**، دقیقاً چنان الگویی از تابش را پیدا کردند که اکنون به «تابش پس‌زمینه‌ی ریزموج کیهانی» مشهور است. این کشف به منزله‌ی آخرین میخ بر تابوت نظریه‌ی حالت پایدار بود. **فرد هویل** در سال ۱۹۴۹، به نظریه‌ی جایگزین لومتر نام چشمگیری داد – مهبانگ. تا اواخر دهه‌ی ۱۹۶۰، **نظریه‌ی مهبانگ** به دیدگاهی همگانی بدل شد.



کار لومتر و هابل به پذیرش عام نظریه‌ی مهبانگ انجامید.

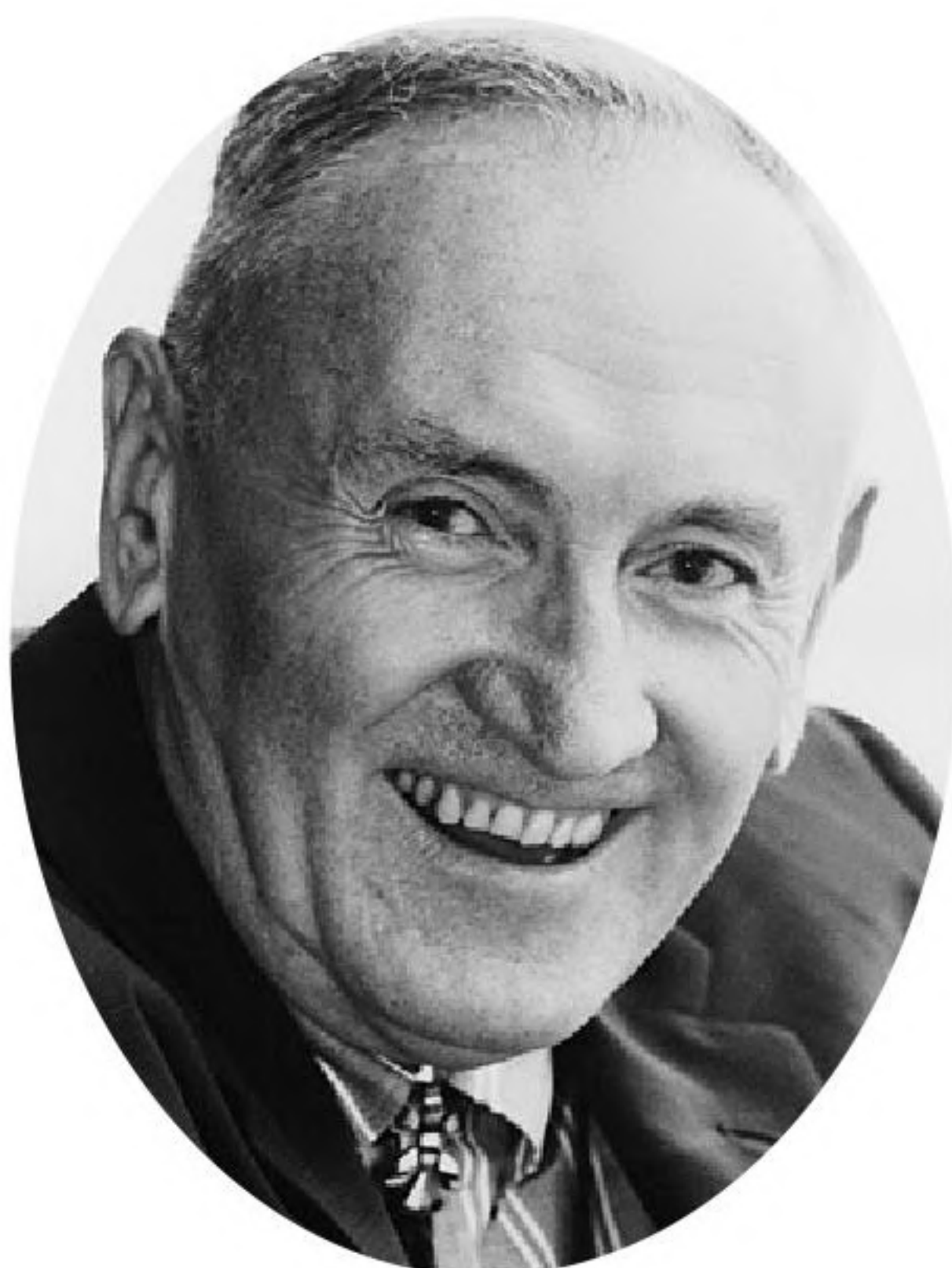
④ **۲/ میان‌بر:** بر طبق نظریه‌ی حالت پایدار، جهان همیشه به همین صورتی بوده که هست. اما در سال ۱۹۶۱، دو ستاره‌شناس به نام‌های مارتین رایل و رندولف کلارک دریافتند که مناطق بسیار دور عالم شامل تعداد زیادی از اشیاء دور از انتظار به نام «منابع رادیویی» هستند. این مناطق دور قدیمی‌تر از مناطق نزدیک هستند (نور برای رسیدن از آن‌ها به زمین مدت بیشتری در راه است). کشف رایل و کلارک به خودی خود دارای پیامد مهمی بود. در گذشته‌ی دور، جهان منابع رادیویی بیشتری نسبت به امروز داشته است: جهان، زمانی متفاوت به نظر می‌رسیده است. این کشف ضربه‌ای به پیکر نظریه‌ی حالت پایدار بود و راه را برای ظهور نظریه‌ی مهبانگ هموار کرد.

⑤ **۳/ اشاره:** نظریه‌ی مهبانگ چنان جسورانه بود که بسیاری از دانشمندان در آغاز به آن شک داشتند. اما با ادامه‌ی مطالعه‌ی فضا توسط تلسکوپ‌ها، همه‌چیز برای آن‌ها واضح شد. نمود جهان قابل مشاهده تنها از طریق آغاز آن با مهبانگ معنی می‌یابد.

نیز ← ۹۱. قانون هابل

مفهوم ماده‌ی تاریک

یک راز ۸۵ ساله (و شاید بیشتر)



فریتس تسویکی (۱۸۹۸-۱۹۷۴)

✱ / **نگاه هلیکوپتری:** در اوایل قرن ۱۹ تعدادی از فیزیکدانان این احتمال را مطرح کردند که ماده‌ی موجود در عالم بیش از چیزی است که به نظر می‌آید. اما برای بسیاری از دانشمندان مفهوم ماده‌ی تاریک با فریتس تسویکی در ۱۹۳۳ شکل گرفت.

تسویکی در حال مطالعه‌ی خوشه‌ی کما بود – مجموعه‌ای از کهکشان‌ها که در ناحیه‌ی کوچکی از فضا تجمع کرده‌اند، اما با گرانش ضعیفی به هم مقید هستند.

تسویکی سرعت هشت تا از کهکشان‌های خوشه را اندازه گرفت. اعدادی که او به دست آورد - تقریباً ۱۰۰۰ کیلومتر بر ثانیه - تعجب‌آور بود. در این سرعت، کهکشان‌ها باید قادر به گریز از کشش گرانشی خوشه باشند.

یا در قانون گرانش جهانی نیوتون چیزی غلط بود و یا ماده‌ی موجود در کهکشان بسیار بیشتر از چیزی بود که بخش مرئی آن تصریح می‌کرد - به اندازه‌ای که گرانش لازم برای جلوگیری از فرار کهکشان‌ها را از خوشه ایجاد کند. تسویکی این جرم پنهان را «ماده‌ی تاریک» نامید.

در سال ۱۹۳۶، **سینکлер اسمیت** متوجه شد که یک خوشه‌ی کهکشانی متفاوت دیگر - خوشه‌ی ویرگو - ظاهراً جرمی بیش از آن دارد که قسمت قابل رؤیت آن نشان می‌دهد. در سال ۱۹۳۹ شواهد بیشتری به دست آمدند و این بار از مطالعه‌ی کهکشان آندرومدا توسط **هوراس بابکوک**.

تا دهه‌ی ۱۹۷۰، این مشاهدات به‌طور معماآمیزی مورد چشم پوشی واقع شدند. از آن پس این مسئله با استفاده از اندازه‌گیری‌های جدید، با شدت بیشتری مورد تحلیل مجدد قرار گرفت و نتایج حاصل، مشاهدات دهه‌ی ۱۹۳۰ را تأیید کردند. اواخر دهه‌ی ۱۹۷۰، بر سر این واقعیت که ماده‌ی موجود در جهان هستی بسیار بیشتر از چیزی است که ستاره‌شناسان قادر به آشکارسازی آن هستند، توافق عام حاصل شده بود اما درباره‌ی اینکه این ماده گم شده چه خصوصیتی می‌توانست داشته باشد، اختلاف نظر وجود داشت.

این راز هنوز گشوده نشده است. بیشتر دانشمندان قبول دارند که ماده‌ی تاریک حدود ۸۵ درصد جرم عالم را تشکیل می‌دهد اما تلاش آن‌ها برای شناسایی ماده‌ی تاریک تاکنون بی‌نتیجه مانده است.

④ **۲/ میان‌بر:** شبیه سازی‌های رایانه‌ای انجام شده توسط **جرمی اوستریکر** و **جیمز پیلز** در دهه‌ی ۱۹۷۰ دلالت بر این دارند که کهکشان راه شیری ما تنها زمانی می‌تواند شکل خود را حفظ کند که هاله‌ای از ماده تاریک در ماورای مرز قابل رؤیت آن گسترده شده باشد. اگر فرض کنیم که این هاله‌ی ماده‌ی تاریک از ذرات زیر اتمی غیرعادی که برهمکنش بسیار محدودی با ماده معمولی دارند، ساخته شده است، در هر ثانیه تعداد بیشماری از آن‌ها باید از کره‌ی زمین عبور کنند. آزمایشگاه‌های متعددی برای آشکارسازی آثار ظریفی که عبور این «ذرات جرم‌دار با برهمکنش ضعیف» روی اتم‌های خاص می‌گذارد، برپا شده‌اند. اما تا این لحظه هیچ یک از آزمایش‌ها، مدرک قانع‌کننده‌ای از وجود ماده‌ی تاریک به دست نیاورده‌اند.



خوشه‌های کهکشانی می‌توانند با ماده‌ی تاریک نگه داشته شوند.

۳ / اشاره: به نظر می‌رسد که بسیاری از کهکشان‌ها و خوشه‌های کهکشانی از میدان‌های گرانشی بسیار نیرومندتری از آنچه که ماده‌ی مرئی می‌تواند در آن‌ها ایجاد کند، برخوردارند. توضیح کنونی برای این اختلاف، فرض وجود مقادیر عظیمی از ماده‌ی تاریک نامرئی است. اما کسی با اطمینان نمی‌داند که این ماده تاریک چه شکلی می‌تواند داشته باشد.

نیز ← ۵۶. قانون گرانش جهانی نیوتون

نظریه‌ی جهان شتابان

چرا اکنون یک مه‌چیدگی بزرگ نامحتمل به نظر می‌رسد



برایان اشمیت (متولد ۱۹۶۷)

✱ / **نگاه هلیکوپتری:** درست نود سال قبل، بسیاری از دانشمندان اعتقاد داشتند که جهان هستی هرگز شکل خود را تغییر نمی‌دهد. در پایان دهه‌ی ۱۹۲۰ ادوین هابل، آن‌ها را متقاعد کرد که در اشتباه‌اند و جهان هستی در حال انبساط است. درست در پایان قرن ۲۰ چرخشی را به این ایده اضافه کردند. آن‌ها استدلال کردند که جهان هستی قابل مشاهده با شتاب بیشتری در حال انبساط است. بر طبق نظریه‌ی مه‌بانگ، گیتی قابل مشاهده از یک حجم نمایی کوچک برای

فصل ۹۴: نظریه‌ی جهان شتابان ۲۷۵

میلیاردها سال در حال انبساط بوده است. اما بیشتر دانشمندان فرض کردند که آهنگ انبساط سرانجام کند خواهد شد. تمام ماده‌ی عالم یکدیگر را در اثر گرانش متقابل جذب خواهند کرد (قانون گرانش جهانی نیوتون را ببینید). این کشش گرانشی سرانجام آهنگ انبساط را کند خواهد کرد. حتی وجود ماده‌ی کافی برای وارونه کردن فرایند انبساط و آغاز انقباض فضا برای وقوع یک «مه‌چپیدگی» بزرگ، قابل درک بود.

یک تیم علمی بین‌المللی شامل **برایان اشمیت و آدام ریس**، شروع به جستجوی شواهدی از این ترمز کیهانی کردند. آن‌ها روی ابرنواخترهای بسیار درخشان در اعماق فضای جهان قابل رؤیت متمرکز شدند. آنان می‌دانستند که یک ابرنواختر با فرض گیتی کند شونده باید درخشان‌تر به نظر برسد. اما ابرنواختر در واقع بسیار کم نورتر بود (نردبان فاصله‌ی کیهانی را ببینید). توضیح آشکار این مسئله این بود که ابرنواخترها باید بسیار دورتر از چیزی باشند که ستاره‌شناسان ادعا کرده بودند. بنابراین سرعت انبساط جهان باید بیشتر باشد تا بتواند آن‌ها را تا دوردست‌ها ببرد. جامعه‌ی محققان سریعاً این مشاهدات را چون شواهد محکمی برای **نظریه‌ی جهان شتابان** پذیرفتند. آنان دریافتند که این مشاهدات دال بر وجود یک «پادگرانش» جهانی است که شتاب انبساط را مهار می‌کند. گاهی آن را «انرژی تاریک» می‌نامند.



به نظر می‌رسد که کهکشان‌ها با سرعتی فزاینده در حال دور شدن از یکدیگر هستند.

۲ / میان‌بر: نه تنها بیشتر فیزیکدانان، نظریه‌ی جهان شتابان را می‌پذیرند بلکه اعتقاد دارند که اینشتین ندانسته، صد سال قبل آن را پیش‌بینی کرده است. در سال ۱۹۱۷ اینشتین دریافته بود که معادلات **نظریه‌ی نسبیت عام** او به درستی کار می‌کنند به شرطی که یک جمله‌ی اضافه به نام «ثابت کیهان‌شناختی» به

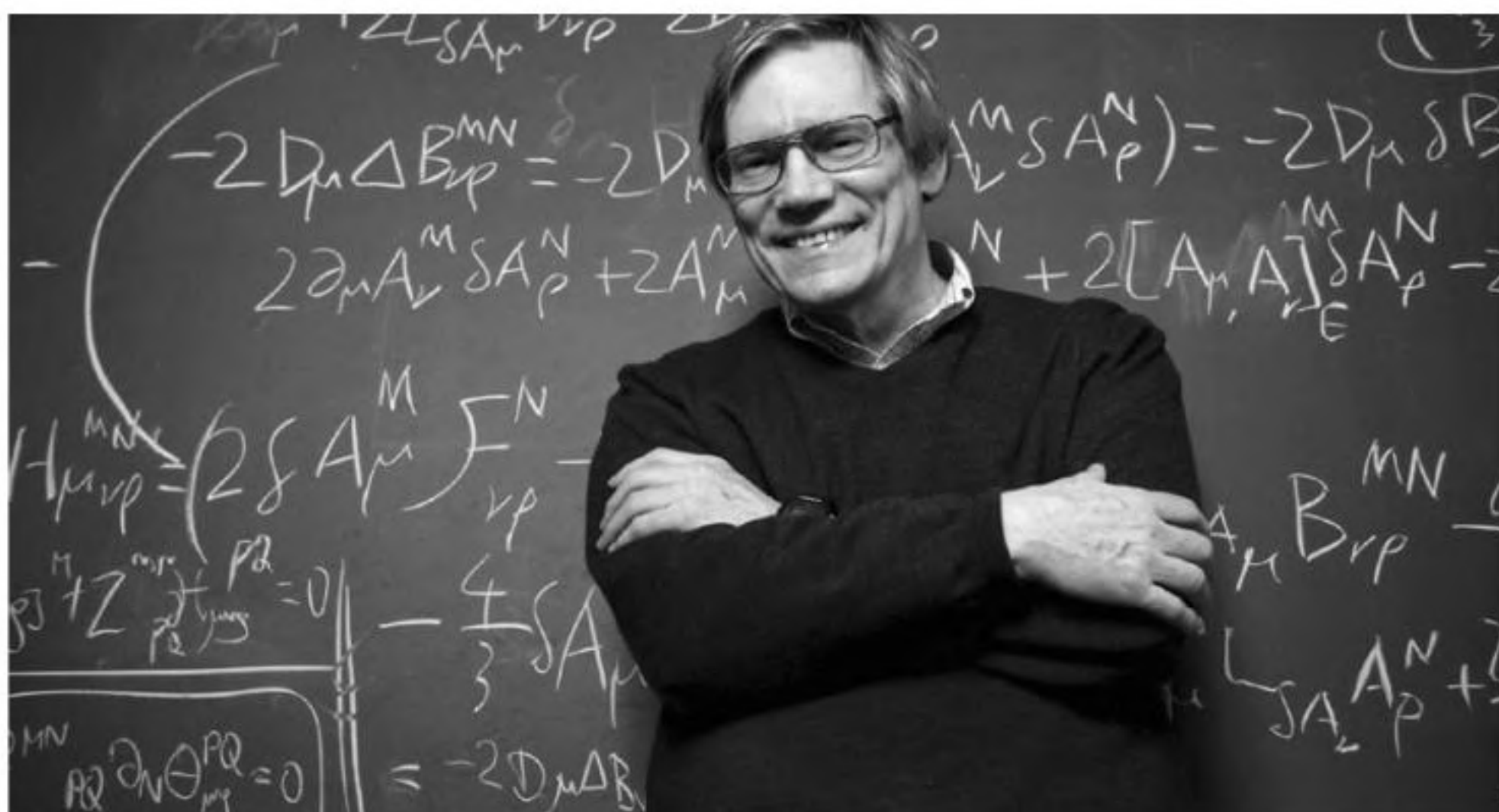
آن‌ها اضافه کند (قانون هابل را ببینید). هر چند اینشتین در دهه‌ی ۱۹۳۰ این جمله را کنار گذاشت اما فیزیکدان‌ها اکنون بر این باورند که او نباید این کار را می‌کرده است. اگر علامت ثابت کیهان‌شناختی مثبت باشد نسبیت عام، وجود جهان شتابان را پیشگویی می‌کند. برخی فیزیکدانان بر این باورند که ثابت کیهان‌شناختی اینشتین، نخستین نشانه از وجود «انرژی تاریک» است.

 ۳ / اشاره: در پایان قرن ۲۰ تعدادی از فیزیکدانان فرض را بر این گرفتند که انبساط ناشی از مه‌بانگ جهان قابل مشاهده، سرانجام کند و حتی وارونه خواهد شد. نظریه‌ی جهان شتابان می‌گوید انبساط با سرعتی فزاینده ادامه خواهد داشت.

نیز ← ۶۸. نظریه‌ی نسبیت عام ۹۱. قانون هابل ۹۲. نظریه‌ی مه‌بانگ

نظریه‌ی تورم^۱

یک شگفتی در تولد عالم



آلن گوث (متولد ۱۹۴۷)

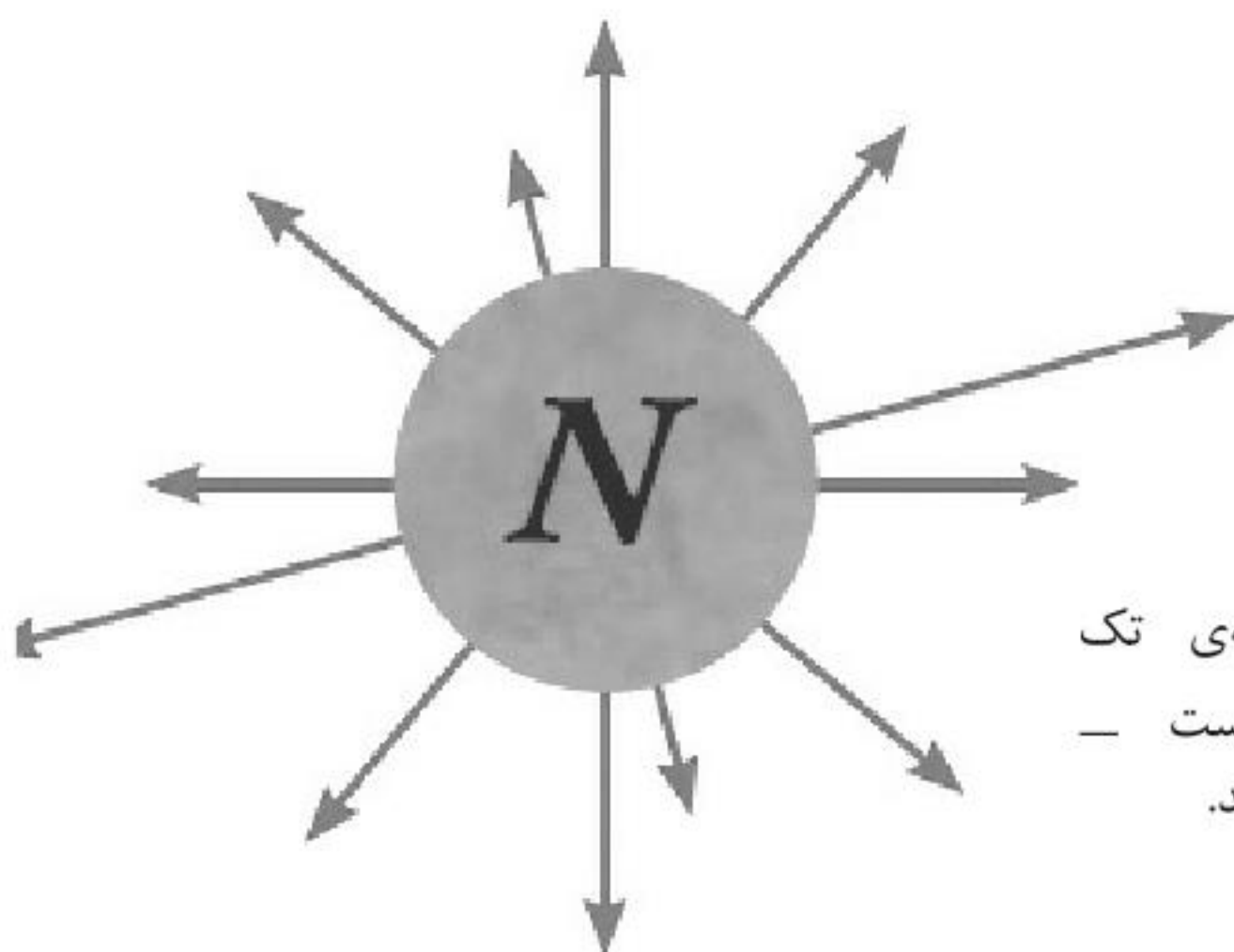
✱ ۱ / نگاه هلیکوپتری: چند نظریه‌ی متهوران‌هی جدید درباره‌ی جهان هستی در نخستین سال‌های قرن ۲۰ پدیدار شدند. بسیاری از پیشگویی‌های این نظریه‌ها با مشاهدات تأیید شدند – اما نه همه‌ی آن‌ها. گویی یک جزء حیاتی از این نظریه‌ها گم بود. به باور عده‌ای از فیزیکدانان نظریه‌ی تورم همان بخش گم شده بود. بیشتر فیزیکدانان اعتقاد دارند که جهان هستی در لحظات آغازین تاریخ خود به گونه‌ای باورنکردنی داغ، متراکم و کوچک بوده است (نظریه‌ی مهبانگ را ببینید). توضیح دقیق رفتار این عالم جوان و داغ یک چالش بزرگ است، اما فیزیکدانان مشغول بسط ایده‌هایی بوده‌اند که می‌توانند سرنخ‌های مهمی باشند (نظریه‌ی ریسمان را ببینید). اما این نظریه‌ها یک مشکل مهم دارند. بعضی از آن‌ها پیشگویی می‌کنند که جهان اولیه می‌توانسته است منشأ وجود پرتعداد ذرات غیرعادی و عجیبی به نام

۱. برای اطلاعات بیشتر کتاب جهان تورمی، آلن گوث، ترجمه جمیل آریایی، را از همین مجموعه ببینید. ناشر

تک قطبی‌های مغناطیسی باشد که می‌توانسته‌اند تا به امروز، فراوانی خود را حفظ کنند. اما جهان مشاهده‌پذیر عاری از تک قطبی‌های مغناطیسی است.

در اواخر دهه‌ی ۱۹۷۰ و اوایل ۱۹۸۰، آلن گوٹ ایده‌ای را مطرح کرد که می‌توانست تک قطبی‌های مغناطیسی از دست رفته را توضیح دهد. او گفت که جهان در نخستین ثانیه از هستی خود با سرعت حیرت‌انگیزی – حتی بسیار سریع‌تر از نور – منبسط شد. سپس این «فاز تورمی» را پشت سر گذاشت و رفتاری را آغاز کرد که هنوز ادامه دارد. اگر این تورم درست بعد از سرشار شدن جهان از تک قطبی‌های مغناطیسی شروع شده باشد، می‌توانسته است چگالی عددی آن‌ها را به شدت کاهش دهد. به بیان ساده‌تر این فرایند شبیه کم شدن چگالی دانه‌های کشمش در نان شیرینی با پخته شدن و ور آمدن خمیر آن است.

گوٹ بعداً متوجه شد که ایده‌اش، اسرار عمیق دیگری از جمله مسئله افق را نیز توضیح می‌دهد. به دلیل این موفقیت‌ها، نظریه‌ی انبساط تورمی عالم متداول شد – هرچند انتقادات پُر سروصدایی علیه آن وجود دارد.



جهان قابل مشاهده با مسئله‌ی تک قطبی‌های مغناطیسی روبرو است – نظریه‌ی تورم راه‌حلی عرضه می‌کند.

۲/ میان‌بر: تصور کنید که یک اجاق (هیتر) در آب سرد استخری می‌افتد و همه‌ی آب استخر تنها ده ثانیه بعد گرم می‌شود. این غیرممکن به نظر می‌رسد: آب موجود در انتهای دور استخر برای پاسخ‌دهی به آب گرم‌کن، به زمان بیشتری نیاز دارد. مسئله‌ی افق کمی شبیه همین مثال است: خواص عالم در یک سوی آن شبیه خواص آن در سوی دیگر آن است اما این دو انتهای مخالف عالم، بسیار دورتر از آن هستند که از زمان آغاز بتوانند با هم ارتباط داشته باشند. نظریه‌ی تورم راه‌حلی نشان می‌دهد. تصور کنید که هیتر را در لیوان آبی می‌اندازید که – که بعد از چند

ثانیه — به اندازه‌ی استخر شنا متورم می‌شود. در همان چند ثانیه قبل از تورم، آب دمای یکنواختی به دست می‌آورد و با وقوع انبساط، این یکنواختی را نگاه می‌دارد.

 ۳ / اشاره: در اواخر قرن ۲۰، فیزیکدانان متوجه شدند که بعضی از مشاهدات آنان با نظریه‌های مربوط به عالم پیش‌بینی نشده است. آنان دریافتند که می‌توانند مسائل را با فرض انبساطی غیرعادی در لحظات نخست حل کنند.

نیز ← ۹۷. فرضیه‌ی بسگیتی

مفهوم جهان میزان شده ساخته شده برای انسان‌ها؟



مارتین ریس (متولد ۱۹۴۲)

۱ / **نگاه هلیکوپتری:** ما خوش شانس هستیم. زمین در مداری خورشید را دور می‌زند که وجود آب مایع را روی آن ممکن می‌کند – تا جایی که می‌دانیم آب مایع پیش‌نیاز تکامل حیات است.

اما فیزیکدانان بسیاری معتقدند که بختیاری ما خیلی عمیق‌تر از این‌ها است. آن‌ها اشاره می‌کنند که جهان قابل مشاهده به طرز عجیبی با وجود ماده، ستارگان، سیارات و حیات به شکلی که ما می‌شناسیم، تناسب یافته است. آن‌ها می‌گویند

جهان ما کامل است: یک جهان میزان شده. عده‌ای از فیزیکدانان در پنجاه سال گذشته به این واقعیت اشاره کرده‌اند که ظاهراً خواص بنیادین جهان هستی قابل مشاهده برای شکل‌گیری حیات تنظیم شده‌اند. در اواخر دهه‌ی ۱۹۸۰، استیون هاکنینگ متوجه شد که مقدار اندکی تفاوت در بار الکترون (مدل کیک کشمشی را ببینید) از عملکرد ستارگان به طریقی که نهایتاً به تشکیل عناصر سازنده‌ی حیات منجر شود، جلوگیری می‌کند.

مارتین ریس نیز این ایده را در کتابی به سال ۲۰۰۱ بررسی کرد. او به چند دوجین از ثابت‌های فیزیکی – مخصوصاً به شش عدد – که بر چگونگی رفتار همه چیز، از اتم‌ها تا کهکشان‌ها حکومت می‌کنند، اشاره کرده است. تا جایی که فیزیکدانان می‌توانند اظهار نظر کنند، همه‌ی این شش ثابت فیزیکی ارتباط کامل با یکدیگر دارند اما در عین حال این شش عدد، مستقل از هم و به‌طور ایده‌آلی با حیات به گونه‌ای که ما می‌شناسیم تناسب دارند. یک تغییر کوچک در هر کدام از آن‌ها می‌تواند به جهانی منجر شود مدت‌ها قبل دچار رمبش شده یا از شکل‌گیری کهکشان‌ها جلوگیری کرده است. اینجا نیز نتیجه چنین است که جهان با ظرافت تمام برای تکامل حیات دستکاری شده است.

با این همه، مفهوم جهان میزان شده خیلی از فیزیکدانان را خوش نمی‌آید، کسانی که نگران تفسیر شدن آن به معنای دست هدایت‌گر خالق هستند. چند نظریه‌ی علمی، توضیحی عقلانی از گیتی دستکاری شده‌ی ما ارائه می‌کنند (فرضیه‌ی بسگیتی را ببینید).



نه خیلی گرم، نه خیلی سرد، جهان هستی مشاهده‌پذیر برای زندگی عالی است.

۲ / میان‌بر: به نظر می‌رسد که مفهوم جهان میزان شده بیشتر فلسفی است تا علمی. جهان مشاهده‌پذیر در شکل کنونی خود برای حیات کربن پایه

مناسب است – حیاتی که ما می‌شناسیم. اما بعضی از دانشمندان معتقدند که حیات می‌تواند در اشکالی وجود داشته باشد که برای ما قابل تصور نیست. جهانی با خواصی اندکی متفاوت، قادر نخواهد بود تا شرایط حیات بر پایه‌ی کربن را فراهم کند اما باز هم می‌تواند موجودات زنده‌ی هوشمند را حمایت کند. از یک لحاظ، این جهان‌ها نیز باید برای شکل‌گیری حیات دستکاری شده باشند. به بیان دیگر، با در نظر گرفتن شرایط آغازین جهان قابل مشاهده‌ی ما، شاید کربن پایه بودن حیات بر روی زمین تعجب‌آور نباشد. چه‌بسا این گیتی ما نیست که برای حیات دستکاری شده بلکه حیات کربنی است که برای سازگاری با گیتی دستکاری شده است.

 ۳/ اشاره: فیزیکدانان برای توضیح رفتار جهان هستی ما مجموعه‌ای از معادلات پیچیده ساخته و پرداخته کرده‌اند. پیچاندن چند عدد می‌توانسته است جهان هستی ما را در مسیری بیندازد که در آن امکان حیات کربن پایه وجود نداشته باشد.

نیز ← ۹۲. نظریه‌ی مهبانگ

فرضیه‌ی بسگیتی^۱ آیا چیزی دیگری هم آن بیرون هست؟



آندرئی لینده (متولد ۱۹۴۸)

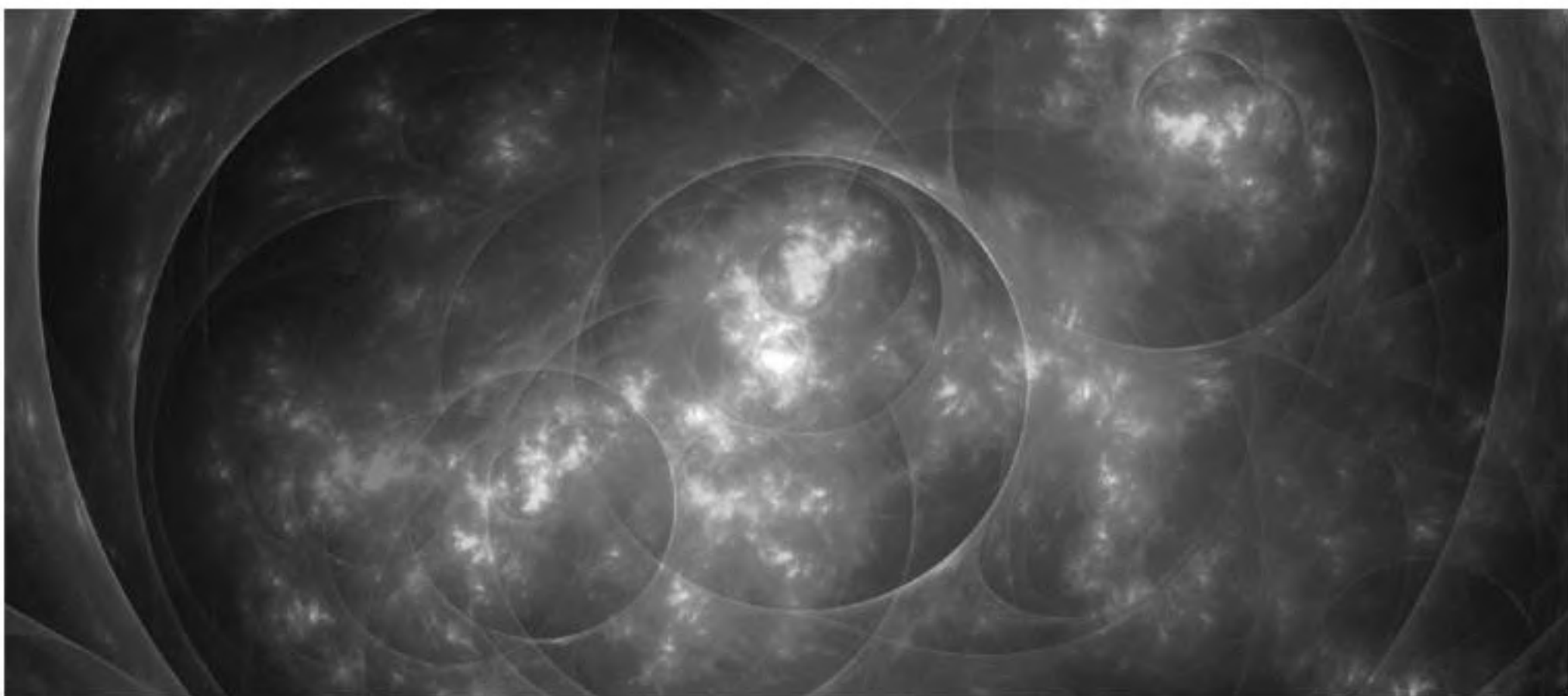
✱ / **نگاه هلیکوپتری:** در دهه‌ی ۱۹۲۰ فیزیکدانان به تدریج پذیرفتند که کهکشان ما تنها یکی از کهکشان‌های بسیار در عالم است. (نردبان فاصله‌ی کیهانی را ببینید). آیا روزی به این کشف نائل خواهیم شد که خود جهان هستی قابل مشاهده‌ی ما تنها یکی از جهان‌های بی‌شمار هستی است؟

۱. برای اطلاعات بیشتر کتاب در جستجوی بسگیتی، جسی امزپک، رامین رامبد، را از همین مجموعه ببینید. ناشر

جهان قابل مشاهده - به طور قابل پیش‌بینی - ناحیه‌ای از فضای بیرون است که می‌توانیم مشاهده کنیم. این جهان در نفس خود از نظر اندازه محدود است، زیرا نوری که مشاهده می‌کنیم با سرعت محدودی سیر می‌کند (نظریه‌ی نسبیت خاص را ببینید) و این جهان سن محدودی نیز دارد (نظریه‌ی مهبانگ را ببینید). به دیگر سخن، یک حد پذیرفته شده برای فاصله‌ای که نور پیش از رسیدن به زمین و پس از شکل‌گیری نخستین ستاره‌ها طی کرده است، وجود دارد.

اما در آن سوی «افق کیهانی» جهان هستی قابل مشاهده‌ی ما، نواحی وسیعی از فضا می‌تواند وجود داشته باشد. علاقه به این ایده در دهه‌ی ۱۹۸۰ با این پیشنهاد قوت گرفت که جهان، بازه‌ای از یک انبساط بسیار سریع را بلافاصله پس از شکل‌گیری پشت سر گذاشته است (نظریه‌ی تورم را ببینید). فیزیکدانانی مانند پاول اشتاینهارت و آندرئی لینده دریافتند که از لحاظ نظری، فرایند تورم پایان‌ناپذیر است. به طور نظری این امکان وجود دارد که فضای ماورای افق کیهانی به طرز غیرقابل درکی وسیع و شامل جهان‌های متعددی باشد که در مجموع یک «بسگیتی» را شکل می‌دهند.

فرضیه‌های بسگیتی دیگری نیز وجود دارند. عده‌ای از فیزیکدانان همه‌ی آن‌ها را مشکل‌دار می‌دانند چرا که به دست آوردن شواهد مشاهداتی از این جهان‌های فرضی تقریباً غیرممکن است. فیزیکدانان دیگر توجهی به این موضوع ندارند. آن‌ها استدلال می‌کنند که اگر نظریه‌ای جنبه‌های متنوع جهان قابل مشاهده را توضیح می‌دهد و همچنین بر وجود جهان‌های دیگر دلالت می‌کند، ما باید وجود آن‌ها باور کنیم حتی اگر هرگز آن‌ها را نبینیم.



آیا آن بیرون جهان‌های دیگری منتظر کشف شدن هستند؟

۲ / میان‌بر: یک نظریه‌ی بسگیتی می‌گوید که ممکن است تعداد غیرقابل درکی از گیتی‌ها در پهنای فضا وجود داشته باشد. برخی ممکن است مانند گیتی خود ما به نظر برسند اما مهم‌تر این است که تعدادی از آن‌ها می‌توانند بسیار متفاوت و تحت قوانین فیزیک متفاوتی باشند. این می‌تواند یک راز را توضیح دهد: این راز که چرا گیتی ما به طرز هوشمندانه‌ای برای شکل‌گیری حیات کربنی دستکاری شده است. اگر تعداد بسیار زیادی گیتی وجود داشته باشد یکی از آن‌ها می‌تواند نسخه‌ای مناسب برای حیات انسان باشد. اما اگر این ایده درست باشد، تلاش برای توضیح اینکه چرا گیتی ما دارای این مجموعه‌ی خاص از قوانین فیزیک است، مورد نخواهد داشت. این می‌تواند یک تصادف آماری باشد. اما خیلی از فیزیکدانان (از جمله اشتاینهارت) این ایده را نمی‌پسندند.

۳ / اشاره: جهان هستی قابل مشاهده‌ی ما وسیع است اما ممکن است ذره‌ای کوچک در واقعیتی باشد که به طور ادراک‌ناپذیری بزرگ‌تر است. این واقعیت می‌تواند نواحی بیشماری را در برگیرد که بسیار شبیه گیتی قابل رؤیت ما باشد. این گیتی‌ها در مجموع چیزی را شکل می‌دهند که «بسگیتی» نام دارد.

نیز ← ۹۸. تفسیر چندجهانی

تفسیر چند جهانی

آیا نسخه‌های جایگزینی از واقعیت وجود دارد؟



هیو اورت ۳ (۱۹۸۲-۱۹۳۰)

✱ / ۱ **نگاه هلیکوپتری:** فیزیکدان‌ها اکنون این امکان را مطرح می‌کنند که گیتی قابل مشاهده‌ی ما تنها یکی گیتی‌های متعدد است (فرضیه‌ی بسگیتی را ببینید). اما این گیتی‌های اضافیه‌ی فرضی نسبتاً پیش‌پا افتاده هستند – آن‌ها را می‌توان چون مجمع‌الجزایری در دریای واحد واقعیت در نظر گرفت. قلمروی فیزیک کوانتومی چیزی بسیار عجیب‌تر عرضه می‌کند.

در دهه‌ی ۱۹۵۰ فیزیکدانان بسیاری با پیامدهای پیش‌بینی‌شده توسط فیزیک

کوانتومی عمیقاً دچار زحمت شده بودند. هیو اورت ۳، به طور اخص با چیزی که به واسطه‌ی آزمایش ذهنی اروین شرودینگر در دهه‌ی ۱۹۳۰ به «مسئله‌ی اندازه‌گیری» مشهور شده بود، مشکل داشت.

به بیانی ساده، به نظر می‌رسد که رفتار ذرات در مقیاس زیراتمی – کوانتومی – در انقیاد احتمالات است. یک ذره تا زمانی که به طریقی مورد مشاهده قرار نگرفته، می‌تواند به طور همزمان در هر یک از چندین شکل متمایز در سطوح مختلف احتمال وجود داشته باشد (مثلاً شانس پنجاه درصدی برای اینکه در شکل A باشد و شانس پنجاه درصدی برای اینکه در شکل B باشد). در لحظه‌ی اندازه‌گیری، «تابع موج» فرو می‌ریزد (می‌رُمبد) و حالتی بدون ابهام به خود می‌گیرد: با شانس صد در صد ذره در حالت A است. اورت نگران این بود که در لحظه‌ی انجام اندازه‌گیری و رمبش تابع موج، بر سر نسخه‌های محتمل دیگر ذره چه می‌آید؟

او ایده‌ی خارق‌العاده‌ای مطرح کرد. شاید تابع موج هرگز دچار رمبش نمی‌شود. شاید به نسخه‌های متفاوتی از واقعیت شاخه می‌زند که هیچ یک نمی‌توانند با دیگری ارتباط برقرار کند. در هر کدام از این واقعیت‌ها، نسخه‌ی متمایزی از مشاهده‌گر تجربی (و با یک تعمیم، نسخه‌ی متمایزی از سیاره‌ی زمین یا کهکشان راه شیری و غیره) وجود دارد.

این ایده به طور وسیعی مورد تمسخر قرار گرفت و سپس برای چند دهه فراموش شد. اما در دهه‌های ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰، برایس دویت (که در آغاز به ایده‌ی اورت شک داشت) با چرخشی در موضع خود، آن را همگانی کرد. دویت، نام تفسیر چند جهانی را به ایده داد. این ایده هنوز هم طرفداران و مخالفین خاص خود را دارد.

⊕ ۲ / میان‌بر: گربه‌ی مشهور شرودینگر هم مرده است هم زنده. به زبان فنی، تا لحظه‌ای که یک مشاهده‌گر، درون جعبه‌ی حاوی گربه را نگاه نکرده و تابع موج احتمال را فرونریخته است، هر دو احتمال زنده بودن و مرده بودن به طور مساوی وجود دارند. اما اورت باور داشت که تابع موج باز هم فرو نمی‌ریزد. یک مشاهده‌گر در دنیای ما ممکن است زنده بودن گربه را تأیید کند اما درست در همان لحظه، نسخه‌ای موازی از واقعیت از هستی سر دریاورد که در آن مشاهده‌گری گربه‌ای مرده را در جعبه پیدا می‌کند. مشکل اینجاست که ما نمی‌توانیم با این دنیاهای موازی ارتباط برقرار کنیم و درباره‌ی تفسیر چند جهانی قضاوت کنیم. ما نمی‌توانیم وجود جهان‌های موازی را تأیید کنیم.



در تفسیر چند جهانی، درهای تازه به واقعیت‌های مختلف همواره در حال باز شدن هستند.

۳ / اشاره: اشیاء زیراتمی دارای این قابلیت هستند که همزمان در چند حالت باشند، تا زمانی که مورد مشاهده قرار گیرند.
تفسیر چند جهانی اشاره می‌کند که این حالات حتی پس از مشاهده، به هستی خود ادامه می‌دهند.

نیز ← ۷۹. گریه‌ی شرو دینگر

فرضیه‌ی برخورد بزرگ تولد کره‌ی ماه



جورج داروین (۱۸۴۵-۱۹۱۲)

۱ / نگاه هلیکوپتری: خورشید مدت‌های مدید مرکز علاقه‌ی شدید علمی بوده است در حالی که به ماه توجه کمتری می‌شد. اما در چهل سال گذشته دانشمندان درباره قمر طبیعی کره‌ی زمین به اتفاق نظر گسترده‌ای رسیدند. آنان اعتقاد دارند که ماه با یک برخورد بزرگ آغاز شد.

علاقه به تشکیل ماه به جورج داروین (فرزند پنجم چارلز داروین) برمی‌گردد. در دهه‌ی ۱۸۷۰ داروین نشان داد که وقتی سیاره‌ی ما جوان بود بسیار سریع‌تر می‌چرخید. چنان سریع که قسمتی از آن از زمین جدا شده و با ماه همراه شد.

این ایده که بعداً به فرضیه‌ی شکافت معروف شد، در اوایل قرن ۲۰ از توجه افتاد. **فارست ری مولتون** و دیگران اشاره کردند که ماهی که به این طریق شکل گرفته باشد انرژی از دست خواهد داد - و احتمالاً طی فرایندی بر زمین خواهد افتاد. هر چند فرضیه‌ی شکافت در دهه‌ی ۱۹۶۰ مورد تجدید نظر قرار گرفت، مدل جدیدی از قبل در حال پدید آمدن بود که معلوم شد مقبول‌تر از فرضیه‌ی شکافت است.

در سال ۱۹۶۴ **رجینالد دالی** نشان داد که زمین اولیه می‌توانسته است با یک سیارک برخورد کرده تا مواد ناشی از برخورد بتوانند برای تشکیل ماه تجمع کرده باشند. **ویلیام هارتمن و دونالد دیویس**، بعد از توجه به نحوه‌ی تشکیل سیارات در منظومه‌ی شمسی، ایده‌ی مشابهی را در دهه‌ی ۱۹۷۰ توسعه دادند. آن‌ها استدلال کردند که سیارات نسبتاً بزرگ مقدماتاً با سیارات کوچک‌تری تقریباً در یک مدار همراهی می‌کرده‌اند. هارتمن و دیویس محاسبه کردند که یک خرده سیاره با قطر تقریباً ۱۲۰۰ کیلومتر می‌تواند در صورت برخورد با زمین با انرژی کافی ماده‌ی لازم برای تشکیل ماه را از آن جدا کند.

این ایده برای بسیاری از دانشمندان باورپذیر بود و به فرضیه‌ی مقبولی برای تشکیل ماه تبدیل شد. این ایده به فرضیه‌ی برخورد غول‌آسا یا فرضیه‌ی سقوط بزرگ معروف شد.



بسیاری از دانشمندان تصور می‌کنند که ماه پس از یک برخورد عظیم کیهانی پدیدار شد.

⌚ ۲ / میان‌بر: بیشتر دانشمندان اکنون این ایده را که زمین با هنگامی که تنها چند ده میلیون سال سن داشته با یک سیارک فرضی – که گاهی آن را تیا می‌نامند – برخورد کرده است. آن‌ها می‌گویند در این برخورد، مواد نسبتاً کم چگالی صخره‌ای از زمین (و از تیا) به فضا جستند، در حالی که بیشتر مواد سنگین‌تر و غنی از آهن به هسته‌ی زمین فرو رفتند (نظریه‌ی دینامو را ببینید). در اثنای چند دهه، مقدار زیادی از آن مواد صخره‌ای پرتاب شده به فضا برای تشکیل ماه همراه شدند. این فرضیه‌ی سقوط بزرگ تعدادی از خصوصیات ماه از جمله چگالی کم آن و این واقعیت را که صخره‌های گردآوری شده از ماه در ماموریت‌های آپولو دارای الگوی شیمیایی زمین مانند هستند، را توضیح می‌دهد.

⌚ ۳ / اشاره: دانشمندان اعتقاد دارند که زمین ۴/۵۴ میلیارد سال قبل شکل گرفت و تنها چند میلیون سال بعد ماه خود را به دست آورد. فرضیه‌ی پیشرو این است که ماه زمانی شکل گرفت که زمین در یک سقوط بزرگ بایک جسم سیاره مانند برخورد کرد.

نیز ← ۸۹. مفهوم فلزی شدن

فرضیه‌ی همه‌گشتی (پان اسپرمیا) به راستی از کجا آمده‌ایم؟



سوانته آرنیوس (۱۸۵۹-۱۹۲۷)

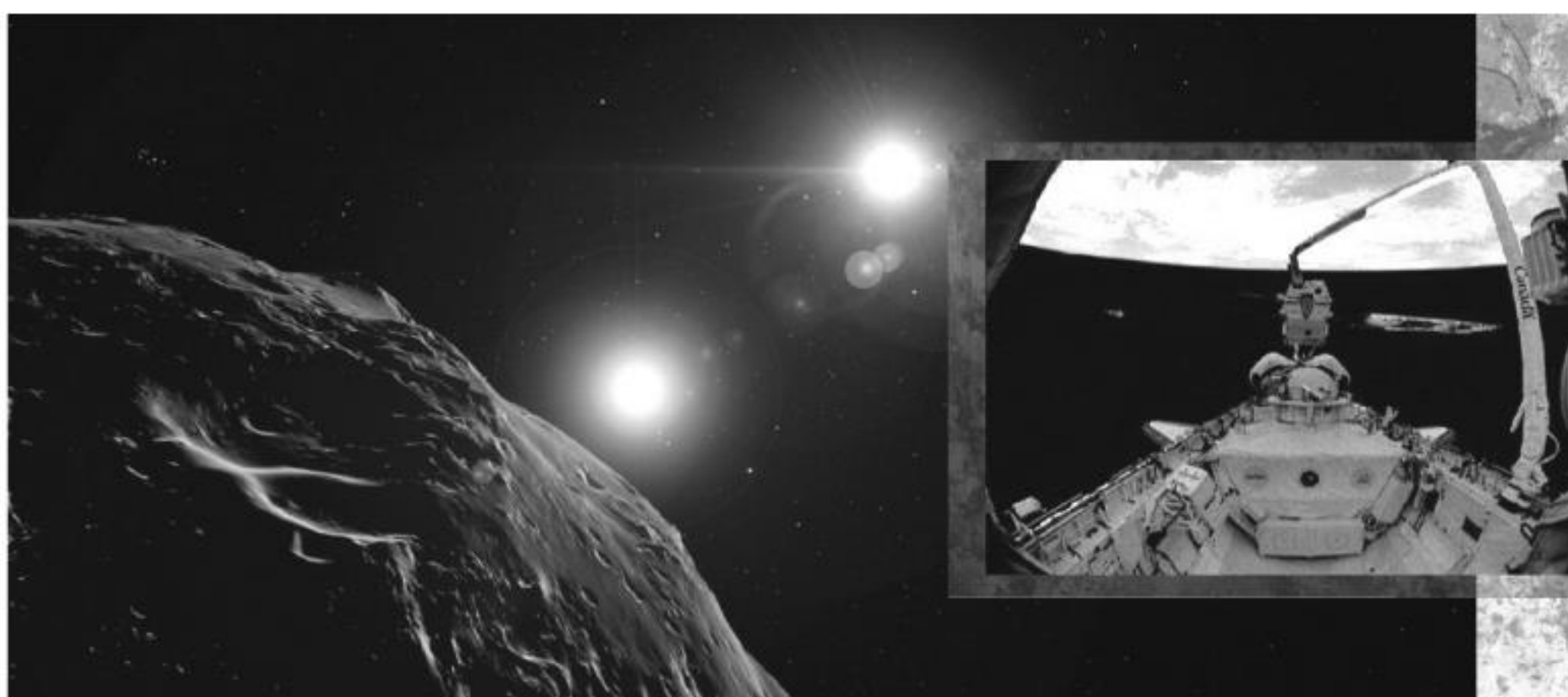
✱ ۱ / نگاه هلیکوپتری: پیشرفت‌های علمی چهارصد سال گذشته درک ما از زمین و جهان را دستخوش انقلاب کرد. اما هنوز پرسش‌هایی بدون پاسخ مانده‌اند که یکی از بنیادی‌ترین آن‌ها این است: از کجا آمده‌ایم؟ بیشتر زیست‌شناسان بر این باورند که انسان‌ها چند میلیون سال قبل از آفریقا آمدند (فرضیه‌ی خروج از آفریقا را ببینید). آن‌ها همچنین باور دارند که ریشه‌ی بیشتر موجودات زنده به میلیون‌ها سال قبل برمی‌گردد (فرضیه‌ی لو کارا ببینید). اما قبل از

آن چه؟

فرضیه‌ی پیدایش زیستی بیان می‌دارد که حیات (حتی ارگانیسم‌های تک‌سلولی مانند باکتری‌ها) از حیات برمی‌خیزد. بعضی محققان قرن ۱۹ از جمله ویلیام تامسون (یا لرد کلونین) براساس منطق استقرایی استدلال کردند (مسئله‌ی قوی سیاه را ببینید) که پیدایش زیستی یک قانون جهان شمول مانند قانون گرانش عمومی نیوتون است. اگر حیات همیشه از حیات برمی‌خیزد پس باید ازلی و بدون آغاز باشد.

اما خود تامسون تصور می‌کرد که زمین نسبتاً جوان است (مفهوم عمرسنجی رادیومتریک را ببینید) که به او القا می‌کرد که حیات باید از فضای خارج و به وسیله‌ی دنباله‌دارها آورده شده باشد. این ایده به فرضیه‌ی همه‌گشی معروف شد.

حتی در قرن ۱۹ این ایده مناقشه‌آمیز بود و این مناقشه هنوز ادامه دارد. در حال حاضر وفاق عمومی بر سر این است که جهان هستی آغازی داشته است که به ۱۳/۸ میلیارد سال قبل برمی‌گردد (نظریه‌ی مه‌بانگ را ببینید). فرض محوری فرضیه‌ی همه‌گشی تامسون اکنون خودبه‌خود زیر سؤال رفته است. اگر جهان ازلی نیست، حیات هم نیست. حیات در پهنه‌ی هستی باید لااقل یک بار از ماده‌ی غیرارگانیک پدید آمده باشد. بسیاری از زیست‌شناسان گمان می‌برند که حیات در زمین اولیه از غیرحیات پدید آمده است و در راه درک اینکه چگونه این رویداد می‌توانسته است اتفاق بیفتد، به پیشرفت‌هایی دست یافته‌اند (فرضیه‌ی دنیای RNA را ببینید).



به گمان بعضی از دانشمندان حیات بر روی زمین در واقع از جای دیگری در جهان سرچشمه گرفته است.

۲ / میان‌بر: نسخه‌های متعددی از فرضیه‌ی همه‌گشی وجود دارند، اما همه‌ی آن‌ها فرض می‌کنند که حداقل بعضی از ارگانیسم‌ها می‌توانند از

شرایط محیطی ناسازگار فضای بیرونی سفر کرده باشند. سوانته آرنیوس نخستین کسی بود که این ایده را به طور جدی بررسی کرد. او در اوایل قرن ۲۰ به طور نظری نشان داد که موجوداتی با اندازه‌ی باکتری اگر از گرانش زمین فرار کنند، با فشار تابش خورشید می‌توانند تا سیستم ستاره‌ای همسایه – آلفا قنطورس – در مدت تقریبی نه هزار سال، سفر کنند. آرنیوس به آزمایش‌هایی اشاره کرد که براساس آن‌ها، باکتری‌ها نه تنها می‌توانند تابش نیرومند خورشید را در فضا تحمل کنند، بلکه می‌توانند به شکل عجیبی در سرمای شدید فضا نیز دوام بیاورند.

۳/ اشاره: دانشمندان هنوز با اطمینان نمی‌دانند که حیات چگونه بر روی زمین شکل گرفته است. فرضیه‌ی همه‌گشتی مدعی است که حتی نمی‌دانیم حیات موجود بر روی زمین در کجای جهان هستی ریشه دارد.

نیز ← ۴۷. فرضیه‌ی پیدایش زیستی ۵۶. قانون گرانش عمومی نیوتون

مجموعه آچارها

یک جعبه ابزار جدید: ما همه برای شناخت بهتر جهان، جامعه و خودمان، و برای رفتار بهتر در این دنیای شلوغ به ابزارهای خوب و کارآمدی نیاز داریم: «مجموعه آچارها»، آچار فلسفه، آچار علم، آچار ریاضی و آچار سیاست، برای همین کار طراحی شده است. با این مجموعه جالب میتوانید «مکانیک ماشین زندگی» خودتان باشید و به سرزمین‌های گوناگون سفر کنید و به ماجراجویی‌های بسیار دست بزنید.



آچار سیاست

اصطلاح سیاست یا خط‌مشی در متداول‌ترین کاربرد اجتماعی و سیاسی خود اشاره دارد به روشی که بعد از بررسی شکل‌های مختلف، به صورت حساب‌شده مورد قبول و دنبال می‌شود. یا به عبارتی «سیاست برنامه‌ریزی است برای هدف‌ها و طرز عمل‌ها». همانطور که جورج اورول می‌گوید: «در دوره ما چیزی به نام دوری از سیاست وجود ندارد، زیرا همه موضوعات به نوعی سیاسی‌اند...» سیاست دارای انواع مختلفی از جمله سیاست پولی، مالی، درآمدها، خارجی، داخلی، دستمزدها، محلی، قدرت، وابستگی و ... است. سیاست از قدیم‌الایام وجود داشته، اما مردمان آن چون مردمان این دوره سیاسی نبوده‌اند زیرا با وجود رسانه‌ها و فضای مجازی و وجود اطلاعات در دسترس، بیشتر اخباری که به خورد ما داده می‌شود دارای جهت‌گیری سیاسی بوده و با هدف مجاب کردن ما به اتخاذ دیدگاهی خاص نشر می‌یابند، از این رو باید خود را به به دانشی مجهز کنیم که بتوانیم این جهت‌گیری‌ها را تشخیص دهیم. اینجاست که آچار سیاست وارد عمل می‌شود.

فهم تاریخ و شرایط سیاسی کنونی می‌تواند سردرگم‌کننده و ترسناک باشد. کتاب حاضر تعاریف مختصر ۱۰۰ نظریه‌ی سیاسی کلیدی از گذشته‌های دور تا زمان حاضر را در اختیار ما می‌گذارد. کتاب حاضر روش سریعی برای روشن ساختن ایده‌ها و نظریه‌های سیاسی است.

آچار فلسفه

آچار فلسفه یک کتاب «میان‌بر» به فلسفه است. همه با کتاب‌های مفصل و «طولانی‌بر» آشنا هستیم – جاده‌های طولانی و پر پیچ و خم به طرف ایده‌هایی که متن‌های فلسفی کلاسیکی مانند نقد عقل محض کانت، محاورات افلاطون، و منطق ارسطو ارائه می‌کنند. اما آچار فلسفه نقشه دیگری در سر دارد: در این کتاب هزاران سال اندیشه به فشرده‌ترین و تقطیرشده‌ترین شکل در می‌آید. مطمئناً ایده‌های بزرگ فلسفه را نمی‌توان در چند کلمه خلاصه کرد. ولی هیچ ضرری ندارد که برای برجسته کردن اندیشه‌های اساسی و بیان عصاره مفاهیم فلسفی، به طور فشرده به جنبه‌های کلیدی اشاره کنیم. آچار فلسفه بیشتر یک طرح خاص و استثنایی است – نقشه‌ای است از ۱۰۰ نقطه تاریخی؛ و مثل یک راهنمای توریستی واقعی، آموزش‌ها و راهنمایی‌هایی در اختیار

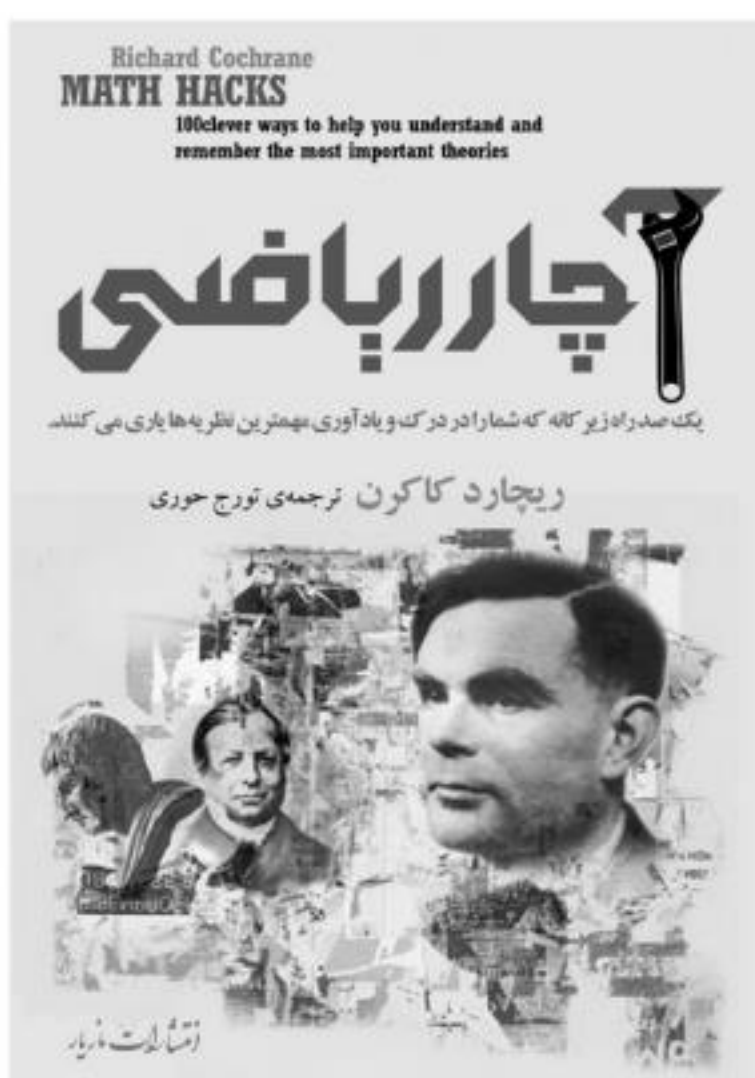
خواننده قرار می‌دهد که چطور به این نقطه‌ها برسد و وقتی به آن‌ها رسید، چه کار کند.

مارتین کوهن یکی از نویسندگان کتاب، فیلسوفی بریتانیایی است که تاکنون کتاب‌های متعدد و پراقبالی در عمومی کردن مفاهیم فلسفی نوشته از جمله کتاب ۱۰۱ مسئله فلسفی. رابرت ارپ هم فیلسوفی آمریکایی است که در زمینه فلسفه مدرن، علوم شناختی و فلسفه زیست‌شناسی فعالیت می‌کند. کتاب ۱۰۰۱ ایده‌ای که جهان را تغییر دادند، یکی از آثار متعدد اوست که بسیار مورد توجه قرار گرفت. آچار فلسفه محصول مشترک این دو فیلسوف، در سال ۲۰۱۸ منتشر شده است.



آچار ریاضی

این کتاب که برای مبتدیان و دانش‌آموختگان، دانشجویان و مدرسان، و در یک کلام برای طیف وسیعی از خوانندگان نوشته شده است، مجموعه‌ای خیره‌کننده از گهرهای ریاضی است که تصویری جذاب از دنیای ریاضیات را پیش‌روی خواننده قرار می‌دهد. کتاب حاضر بیان روشنی از مفاهیم و روش‌های اساسی در تمام عرصه‌ی ریاضیات است و نقشه‌ای از چشم‌اندازهای مختلف ریاضیات را در اختیار شما قرار می‌دهد، یک راهنمای توریستی برای ریاضیات، راهنمایی که هم راه‌ها را به شما نشان می‌دهد و هم زبانی را که در مقصد به آن تکلم می‌شود. این کتاب از خواننده یک ریاضیدان نمی‌سازد اما به او می‌گوید که جریان‌های اصلی تاریخ ریاضیات کدام بوده‌اند و در عین حال از جدیدترین تحولات در علم ریاضی نیز به زبانی ساده سخن به میان می‌آورد.



در این کتاب تمام روندهای عمده‌ی ریاضیات محض کنونی و تعدادی از نتایج مهم و هیجان‌انگیز قرن گذشته گنجانده شده است. این گاهی به معنای پوشش دادن موضوعاتی است که ذاتاً پیشرفته و نیازمند آماده‌سازی‌هایی بیش از آن هستند که بطور منطقی از این کتاب برمی‌آید. برای نمونه، این کتاب واقعاً نمی‌تواند به شما جبر همولوژیک بیاموزد اما می‌تواند به شما بگوید چنین چیزی هست و تقریباً در کجای نقشه می‌توانید آن را پیدا کنید.