



# حیات چیست؟

دیدگاه‌های برجسته‌ترین دانشمندان معاصر

فیزیکدان

بیوفیزیکدان

فیزیکو ریاضیدان

فیزیکو ریاضیدان

زیست‌شناس

ترمودینامیکدان

فیزیکو ریاضیدان

دیرین‌شناس

و ...

اروین شرودینگر

مانفرد آیگن

هرمان هاکن

راجر پنروز

گریستیان دودوو

اریک اشنایدر

استوارت کاوفمن

استفان جی گولد

ترجمه‌ی دکتر محمدنبی سربلوکی

استاد بیوفیزیک دانشگاه تهران

# حیات چیست؟

دیدگاه‌های برجسته‌ترین دانشمندان معاصر

# حیات چیست؟

دیدگاه‌های برجسته‌ترین دانشمندان معاصر

اروین شرودینگر، مایکل مورفی  
و دیگران

ترجمه‌ی دکتر محمدنبی سربلوکی



کتاب ماد (وابسته به نشر مرکز)

*What Is Life?*  
Erwin Schrödinger, 1944  
and  
*What Is Life, The Next Fifty Years*  
edited by Michael P. Murphy and Luke O'Neill  
A Persian translation by  
Mohammad-Nabi Sar-Bolouki

حیات چیست؟  
دیدگاه‌های برجسته‌ترین دانشمندان معاصر  
اروین شرودینگر و دیگران  
ترجمه‌ی دکتر محمدنبی سربلوقی  
طرح جلد از ابراهیم حقیقی  
چاپ اول ۱۳۸۰، شماره نشر ۱۴۳، ۲۰۰۰ نسخه، چاپ سعدی  
شابک: ۹۶۴-۳۰۵-۶۳۴-۱

نشرمرکز، تهران، صندوق پستی ۱۴۱۵۵-۵۵۴۱  
کتابفروشی نشرمرکز: خیابان دکتر فاطمی، روبروی هتل لاله  
خیابان باباطاهر، شماره ۸، تلفن: ۸۹۶۵۰۹۸  
E-mail: info@nashr-e-markaz.com

کلیه حقوق برای کتاب ماد (وابسته به نشرمرکز) محفوظ است

Schrodinger, Erwin  
شرودینگر، اروین، ۱۸۸۷-۱۹۶۱ م.  
حیات چیست؟ دیدگاه‌های برجسته‌ترین دانشمندان معاصر / اروین شرودینگر. حیات چیست؟ پنجاه سال بعد:  
اندیشه‌هایی درباره‌ی آینده‌ی زیست‌شناسی / ویراستاران مایکل پی. مورفی، لوک را. ج. انیل؛ ترجمه‌ی محمدنبی  
سربلوقی. - تهران: نشرمرکز، کتاب ماد، ۱۳۸۰.  
شش، ۳۲۲ ص: مصور.

ISBN: 964-305-634-1

فهرست‌نویسی بر اساس اطلاعات فیپا.  
کتاب حاضر ترجمه دو کتاب در یک مجلد است تحت عنوان "What is life? the physical aspect..."  
نوشته اروین شرودینگر و "What is life? the next fifty years..." که شامل دوازده سخنرانی در  
بزرگداشت پنجاهمین سال انتشار کتاب شرودینگر می‌باشد.  
واژه‌نامه.  
کتابنامه.

۱. زیست‌شناسی - فلسفه. ۲. مولکولها - زیست‌شناسی. ۳. انسان - تکامل. ۴. شرودینگر، اروین، ۱۸۸۷-۱۹۶۱ م.  
Schrodinger, Erwin. حیات چیست؟ - کنگره‌ها. ۵. فیزیکدانان - اتریش - سرگذشتنامه. ۶. زیست‌شناسی -  
فلسفه - کنگره‌ها. ۷. زیست‌شناسی - کنگره‌ها. ۸. زندگی - کنگره‌ها. الف. مورفی، مایکل پاتریک، ۱۹۶۳- م.  
Murphy, Michael Patrick. ب. انیل، لوک، Luke A. J. O'Neill, ج. سربلوقی، محمدنبی  
۱۳۲۹- ، مترجم. د. عنوان. ه. عنوان: اندیشه‌هایی درباره آینده زیست‌شناسی.

۵۷۰/۱

QH ۳۳۱ / ش ۴ ح ۹

۱۳۸۰

۸۰-۲۴۶۴۶

کتابخانه ملی ایران

## فهرست

پیشگفتار مترجم ..... ۱

### حیات چیست؟ ۹

۱. رویکرد فیزیکدان سنتی ..... ۱۰
۲. راهکار وراثت ..... ۲۵
۳. جهش‌ها ..... ۴۲
۴. شواهد کوانتوم مکانیکی ..... ۵۶ ✓
۵. بحث و آزمون الگوی دلبروک ..... ۶۶
۶. نظم، بی‌نظمی و آنتروپی ..... ۷۷ ✓
۷. آیا حیات مبتنی بر قوانین فیزیک است ..... ۸۴ ✓
- پایان سخن: دربارهٔ جبر و اختیار ..... ۹۵ ✓

### حیات چیست؟ پنجاه سال بعد ۱۰۱

- سراغاز ..... ۱۰۲
- پدیدآورندگان ..... ۱۰۳
- پیشگفتار ..... ۱۰۵
- مایکل مورفی و لوک آنیل ..... ۱
- از زیست‌شناسی قرن بیستم چه خواهد ماند؟ ..... ۱۰۹
- مانفرد آیگن ..... ۲
- حیات چیست؟ به عنوان مسئله‌ای در تاریخ ..... ۱۳۲ ✓
- استفن جی گولد

## شش حیات چیست؟

- ۴ ✓ . تکامل خلایق بشر ..... ۱۵۱  
فرد دایماند
- ۵ . رشد: آیا تخم محاسبه پذیر است و یا می‌توانیم فرشته یا دایناسور پدید آوریم؟ ... ۱۶۹  
لوتیس و لپرت
- ۶ . زبان و حیات ..... ۱۸۲  
جان مینارد اسمیث و ایزز ژائماری
- ۷ . آر.ان. ابدون پروتئین یا پروتئین بدون آر.ان. ا؟ ..... ۱۹۵  
کریستیان دو دو
- ۸ . «حیات چیست؟ آیا شرودینگر درست می‌گفت؟» ..... ۲۰۰  
استوارت ا. کاوفمن
- ۹ ✓ . چرا شناخت ذهن به فیزیکی نوین نیاز دارد؟ ..... ۲۴۰  
راجر پنژز
- ۱۰ ✓ . آیا قوانین طبیعت تکامل می‌یابند؟ ..... ۲۵۷  
والتر ثیرینگ
- ۱۱ . انتظار قوانینی نوین در زیست‌مندی: همیاری مغز و رفتار ..... ۲۶۴  
ج. ا. سكات کلسو و هرمان هاکن
- ۱۲ ✓ . نظم از بی‌نظمی: ترمودینامیک پیچیدگی در زیست‌شناسی ..... ۲۹۲  
اریک. دی. شنایدر و جیمز. جی. کی
- ۱۳ ✓ . خاطرات ..... ۳۰۸  
روث براونیتزر
- ۳۱۳ ..... واژگان فارسی - لاتین
- ۳۱۸ ..... واژگان لاتین - فارسی

## پیشگفتار مترجم

به نام آنکه جان را فکرت آموخت

این کتاب ترجمه‌ی دو کتاب در یک مجلد است. یکی کتاب معروف حیات چیست؟ نوشته‌ی اروین شرودینگر برنده‌ی جایزه نوبل فیزیک و یکی از بنیانگذاران فیزیک کوانتومی که از سخنرانی‌های ۱۹۴۳ وی در کالج تثلیث در ایرلند، به هنگام ترک زادگاهش (اتریش) در زمان هیتلر، گردآوری و در سال ۱۹۴۴ به چاپ رسیده است. دیگری کتاب حیات چیست؟ پنجاه سال بعد که از سخنرانی‌های برگزار شده در همان محل در ۱۹۹۳ بمناسبت بزرگداشت پنجاهمین سال انتشار کتاب شرودینگر تدوین و در سال ۱۹۹۶ انتشار یافته است. کتاب اخیر حاصل دوازده سخنرانی از برجستگان معاصر علم در فیزیک نظری، زیست فیزیک، ترمودینامیک، زیست‌شناسی، دیرین‌شناسی، فیزیک کوانتومی، علوم اعصاب، زیست‌شیمی، ریاضیات و در پایان گوشه‌ای از خاطرات دختر شرودینگر می‌باشد. این سخنران‌ها اغلب به بررسی نظرات شرودینگر پرداخته ضمن اشاره به نقاط قوت و ضعف، نظریات تخصصی خود را ارایه کرده‌اند.

هر یک از این سخنرانی‌ها از هم مستقل و جداگانه قابل مطالعه‌اند. اگرچه فکر ترجمه این کتاب دوم از دو سال پیش مدنظر بود، تنها هنگامی که دوست دانشمند و فرزانه‌ام جناب دکتر شاهین روحانی استاد فیزیک دانشگاه صنعتی شریف هم به همین کار ابراز علاقه کردند، و قول همکاری دادند، جرأت به ترجمه آن نمودم. ایشان به دلیل مشغله فراوان تنها توانستند سه فصل از این کتاب را ترجمه کنند و در نتیجه با اجازه ایشان ترجمه باقی فصول را اینجانب عهده‌دار شدم. پس از تکمیل کار متوجه شدم که چون در کتاب دوم پیوسته به کتاب شرودینگر ارجاع می‌شود، و

ترجمه‌ای کامل از آن به فارسی وجود نداشت، به ناچار به ترجمه آن کتاب نیز همت گماشتم. کتاب شرودینگر با زبانی بسیار شیوا و آسان فهم نگاشته شده در حالی که فصل‌های کتاب دوم علیرغم اینکه به زبان غیر تخصصی نوشته شده به دلیل فشرده‌گی مطالب، چندان آسان فهم نیست.

موضوع اصلی هر دو کتاب حیات، ویژگی‌ها، چگونگی پیدایش و ادامه آن از دیدگاه علم امروز براساس وجود تاریخی ماده و قوانین حاکم بر تصور آن است. جای بسی تأسف است که کتاب *حیات چیست؟* شرودینگر طی این پنجاه و هفت سال گذشته به طور کامل به فارسی برگردانده نشده تا در اختیار هزاران هزار دانشجو، طلبه و دیگر علاقمندان قرار گرفته باشد. زیرا به گفته‌ی اکثر دانشمندان (از جمله واتسن و کریک که ساختار مارپیچ مضاعف ملکول وراثتی - دی.ان.ا. را تعیین کردند) یکی از آموزنده‌ترین و برانگیزنده‌ترین کتاب‌های علم در قرن بیستم بوده است. هر دوی این کتاب‌ها نتیجه رویکرد علمی و مادی‌گرایانه غرب به مسایل عمده‌ای چون *«حیات چیست؟»* می‌باشد.

حیات موضوعی است که همه‌ی انسان‌ها درباره‌اش اندیشیده و می‌اندیشند و می‌دانیم که حجم عظیمی از نوشته‌های تمدن بشری به پاسخ همین پرسش اختصاص دارد و چه بحث‌های ژرف و درازی که در این باره ارایه گشته و خواهد گشت. وجود ضرب‌المثل‌هایی چون *«گندم از گندم بروید جو ز جو»* و یا معماهایی چون *«مرغ اول بوده یا تخم مرغ؟»*، نمونه‌هایی کوچک از اشتغال ذهنی بشر به این پرسش بنیادین است که اینک به شکل علمی *«پروتئین نخست بوده یا آر.ان.ا؟»* در آمده است.

به نظر می‌رسد که در تلاش برای پاسخ به پرسش حیات، شرق و غرب دو جهت کاملاً مخالف را برگزیده و پیموده‌اند و به جایی رسیده‌اند که اکنون می‌بینیم. چنانچه می‌دانیم تعریف بدیهیات اغلب از مشکل‌ترین موضوعات از آب درمی‌آید و تعریف حیات هم یکی از بارزترین نمونه‌ها است. اصولاً تمیز زنده از بی‌جان به معنای دقیق، کار آسانی نیست (در مورد زنده مرگ و زندگی پیوسته جریان دارد، یاخته‌هایی می‌میرند و برخی دیگر پدید می‌آیند، موها و ناخن‌های فرد مرده تا چند روز پس از مرگ رشد و نمو دارند،...). معمولاً اینگونه مسایل باعث پیدایش دو رویکرد با نتایج و تبعات گوناگون می‌شود: یکی ذهنگرایی صرف و شهود، دیگری عینیت خواهی و



جستجوی شواهد تجربی. ظاهراً در شرق و کشور ما به دلایلی که شاید از لابلای نوشته‌های گذشتگان بتوان فهمید، رویکرد نخست بیشتر رواج داشته و موجب پیدایش مکتب‌های گوناگون فلسفی و عرفانی مملو از مباحثی ژرف و پیچیده شده است که در نهایت به این اشاره دارند:

سخن از مطرب و می‌گو و راز دهر کمتر جو  
که کس نگشود و نگشاید به حکمت این معمارا

اما واقع امر اینست که ما درست عکس این عمل کرده‌ایم و بیش از غربیان در اذهانمان در کشف راز دهر کوشیده‌ایم، ولی فقط در همان یک بُعد. نتیجه این شده است که در زمانی که ایران و جهان اسلام در اوج عظمت بودند تابناکترین اندیشه‌ها تنها به فلسفه و عرفان اشتغال یافتند و جهان و هرچه در او هست مورد بی‌اعتنایی قرار می‌گرفت، همین که بینش و اندیشه‌های جهان‌گریزی به همراه پیشرفت‌های علمی و صنعتی جهان اسلام آن زمان به بردگان و سرف‌های اروپایی در قرون تاریک رسید، موجب بیداری، سرکشی، شورش و انقلاب علیه اربابان فئودال شان گردید و سرانجام اروپا را از آن قرون تاریک رهایی بخشید و زآن پس اروپاییان سیر صعودی و مسلمین سیر نزولی را آغاز نمودند تا به امروز. پی بردن به رکود مسلمانان و صعود اروپائیان جای بسی بررسی و پژوهش دارد. اما گمان می‌رود نگاهی به گفته‌ها و نوشته‌های پیشینیانی چون حکیم ناصر خسرو اشاره‌هایی به این علل دارد. وی درباره‌ی انگیزه نگارش کتاب *جامع‌الحکمتین* خویش (که هدفش آشتی میان دین و علم - فلسفه است) چنین می‌نویسد:

... پرسیدن کودکان از نام‌های گوناگون و رنگارنگ... بر درستی این قول که گفتیم نفس مردم بر تجسس مجبولست... هر نفسی از نفس‌ه‌اء مردم همی خواهد بداند که چرا آسمان گردانست و زمین ایستاده و چرا آفتاب همیشه روشن است و... بازجستن این چیزها چنانست که خدای بدان صنّع که کرده است (و یتفکرون فی خلق السموات والارض...)... امروز فقها لقبان دین اسلام همی گویند: اگر کسی گوید «امروز همی از آمدن آفتاب پدید آید» یا «من بدانم کدام ستاره رونده است و کدام ثابت»، او کافر است و جهل را بر علم گزیده‌اند و همی گویند: ما را با چون و چرایی آفرینش چه کار. و رسول علیه السلام گفت: اندر

آفرینش اندیشه کنید، و اندر آفریدگار اندیشه مکنید (تفکرو فی الخلق و لاتفکرو فی الخالق)... به علت کافر خواندن این علما لقبان، مرکسانی را که علم آفرینش دانند، جویندگان چون و چرا خاموش گشتند و گویندگان این علم خاموش ماندند و جهل بر خلق مستولی شد... و هیچکس کتابی نکرد اندر چون و چرای آفرینش... به زوال این دو علت (جوینده و گوینده) از اهل این زمین، علم دین زایل شد و کس نماند بدین زمین که یاد کردیم که علم دین حق را (که از نتایج روح القدس است) با علم آفرینش (کآن از علایق فلسفه است) جمع توانست کردن، از بهر آنکه فیلسوف، مرین علما لقبان را بمنزلت ستوران انگاشت و دین اسلام را از جهل ایشان خوار گرفت، و این علما لقبان، مرفیلسوف را کافر گفتند، تا نه دین حق ماند بدین زمین و نه فلسفه، و تا فیلسوف متدین نباشد...

دستاوردهای علمی بشر (به ویژه کاربردهای آن) افزون بر افزایش توان و چیرگی او بر طبیعت، پیوسته جهانبینی و فلسفه‌ی وی را نیز دگرگون می‌کنند. یکی از بنیادی‌ترین پیامدهای پیدایش فیزیک کوانتومی، ناپیوستگی و یا به عبارتی نردبانی انگاشتن ترازهای کارمایه (انرژی) است که شرودینگر، یکی از بانیان فیزیک کوانتومی از آن در توجیه برخی رویدادهای ژنتیکی - به نام جهش - به خوبی بهره‌گیری کرده است. (انقلاب دیگر فیزیک کوانتومی زیر سؤال بردن اصل علیت است که زیربنای همه‌ی علم و فلسفه تا پیش از قرن بیستم می‌باشد ولی بحث آن در این کتاب مورد نیاز و اشاره نمی‌باشد.)

همچنین است اهمیت مفهوم و موضوع آنتروپی، آنهم از دیدگاهی که بولتزمان، فیزیکدان اتریشی ارایه کرده است. دانه‌های یک تسبیح را، چنانچه آزاد باشند، می‌توان به میلیون‌ها ترتیب گوناگون روی میز نهاد. اما وقتی در تسبیح هستند اگرچه باز هم می‌توان به هزاران شکل روی میز نهاد، تعداد شکل‌هایی که می‌توان از آن به وجود آورد بسیار کمتر از حالتی است که دانه‌ها در بند نباشند. به این دلیل گفته می‌شود که آنتروپی حالت اول (شمار شکل‌هایی که می‌توان دانه‌ها را روی میز چید - یا به عبارتی تعداد حالت‌های قابل دسترس) بسیار بیشتر از حالت دوم (دانه‌ها در بند) است. طبق اصول ترمودینامیک (گرماپویایی) کارمایه (انرژی) چیزی است که مانند ماده نه خلق می‌شود و نه از میان می‌رود، بلکه از شکلی به شکل دیگر در

می‌آید. اما در حین این تبدیل‌ها به ناچار کیفیت خود را از دست می‌دهد و این کاهش کیفیت با افزایش آنتروپی مترادف است. از این دیدگاه موجود زنده دستگاه یا نظامی است که الزاماً جهت حفظ وضعیت خود نیاز به جریانی از ماده و کارمایه در خودش دارد و گذر کارمایه از آن مترادف است با افت کیفیت آن و در نتیجه افزایش آنتروپی و بیرون ریختن آن به پیرامون خود و خورشید تأمین‌کننده‌ی کارمایه آزادی است که چرخه حیات در کره زمین را می‌گرداند. از این دیدگاه پدیده‌هایی «زنده سان» به شکل الگوهای رایانه‌ای و نیز آزمایش‌های تجربی طراحی و ایجاد شده‌اند (واکنش‌های خود کاتالیتیک جمعی).

مبحث مهم دیگری که در این دو کتاب عنوان شده است علم ژنتیک (با پیامدهای سودمند یا زیانبار آن) است. چنانچه آگاهییم مدت کوتاهی است که بشر به خزانه ژنتیکی (وراثتی) موجودات زنده دسترسی پیدا کرده است و هم اکنون نقشه‌ی ژنومی برخی از موجودات از جمله خود انسان مانند نقشه‌های شهری و جغرافیایی بر در و دیوار آزمایشگاه‌ها و صفحات کتاب‌ها نقش بسته و بشر توانایی هرگونه دخالت و تعرضی در آنها را پیدا نموده است. از اینرو آگاهی هر چه بیشتر از این موضوعات برای اندیشمندان و هدایتگران جامعه از ضروریات زمانه به شمار می‌آید. برای نمونه از یکسو شناخت شخصیت ژنتیکی و زمان و محل ظهور حوا و درمان انواع بیماری‌ها را نوید می‌دهد و از سوی دیگر هراس از نژادکشی، آلودن محیط زیست به انواع میکروب‌های خطرناک، جاوید کردن حیات دژخیمان جوامع بشری، افزایش جمعیت زمین تا حد قحطی و... را. اینها چیزهایی هستند که هر کدام می‌توانند در آینده‌ای نه چندان دور سرنوشت بشر را رقم زنند.

و سرانجام بحث جنجالی تکامل است. در دهه ۱۹۸۰ رویارویی گسترده‌ای در سراسر ایالات متحده میان مذهب‌یون پیرو خلقت الهی آدم و مدافعین نظریه تکاملی انسان پدیدار شد که هنوز هم ادامه دارد. این جنجال که نشانه‌ای از تضاد علم با دین مسیحیت در غرب است، به دلیل چیرگی علمی و فناوری این کشورها بر جهان کنونی این رویارویی، بازتابی جهانی دارد و به عنوان تضاد علم و دین به‌طور کلی از آن یاد می‌شود. اگرچه مسلمانان ریشه این مشکل را به تحریفات انجیل نسبت می‌دهند، نمی‌توان به فراگیر شدن و پیامدهای آن در سطح دنیا و اثرات بسیار زیانباری که می‌تواند بر قشر جوان و تحصیل کرده بگذارد، بی‌تفاوت بود.

شایان توجه است که در تفسیر آیات کتب تورات و انجیل و به تبع قرآن، بحث‌های بسیار مفصلی درباره خلقت آدم صورت گرفته است که مشهورترین‌شان موضوع تضاد خلقت آدم و حوا با نظریه تکامل است. برخی از محققان معاصر کشور استدلال می‌کنند که قریب به اتفاق آن تفسیرها دارای دو اشکال عمده‌اند:

یکی تکیه بر داستان خلقت آدم و حوا بنا به آیات تورات (که از دیدگاه مسلمانان سندی معتبر نمی‌باشد) و دیگری عدم تمایز میان پیدایش حیات، انسان و ظهور فردی برگزیده بنام حضرت آدم از میان انسان‌ها پس از دورانی طولانی. خلاصه کلام اینان اشاره به معنا و مفهوم آیه ۱۱ سوره اعراف دارد: «وَلَقَدْ خَلَقْنَاكُمْ ثُمَّ صَوَّرْنَاكُمْ فَلَنَّا لِّلْمَلَائِكَةِ اَسْجُدُوا لِاَدَمَ فَسَجَدُوا اِلَّا اِبْلِيسَ لَمْ يَكُنْ مِّنَ السَّاجِدِينَ» (و همانا شما را آفریدیم، سپس تدریجاً شما را شکل دادیم و سپس با گزیدن آدم و تعلیم به او موجبات سجده‌ی فرشتگان را بر او فراهم نمودیم. فرشتگان بر او سجده بردند مگر ابلیس که از سجده کنندگان نبود). طبق این تفسیر: نخست، مرحله برگزاری مقدمات خلقت انسان (خلقناکم) از نظر پیدایش حیات و تحول در آثار آن تا آمادگی برای ظهور نخستین انسان است. دوم، دوره‌ی تحول جسمی در طی نسل‌ها برای انسان و آمادگی وی برای پذیرش و دریافت‌های معنوی (و صورناکم) است. و سوم سجده‌ی فرشتگان بر آدم که حاکی از ظهور آدم برگزیده (پیامبر) از میان انسان‌ها است، که با پیوندی الهی شایستگی سجده فرشتگان را دارد.

امیدواریم که مطالعه این کتاب برای همه‌ی اندیشمندان علاوه بر ارتقای دانش و سطح آگاهی موجب انگیزش آنها در فراگیری و اشراف بر موضوعات گوناگون آن بگردد و زمینه‌ای فراهم آورد که نسل جوان، پویا و علاقمند بتواند این دستاوردهای علمی و فلسفی غرب را در مخزن عظیم اندیشه‌های علمی و فلسفی بومی جذب و بر فراز آنها نظراتی بالنده ارایه نماید.

شاید اگر گفته شود که همه شاخه‌های تلاش بشری سرانجام در اوج و کمال شان به سوی عشق و جاذبه‌ای عرفانی همگرا می‌شوند، خطا نباشد. در اینجا است که روح پرسشگر و عقل‌گرا، سرشت، خداجوی و یزدانپرست، نفس زیباپسند و کمال‌طلب، فطرت جاودان خواه و... سرانجام به هم می‌رسند و کتاب حاضر گواه بر این عروج روح و اندیشه انسان است. وقتی با دقت در گفتار پایانی کتاب شرو دینگر و یا جای جای نوشته‌های سایرین در این کتاب بنگریم روح عرفانی وحدت وجود که

ریشه‌ی تمامی ادیان و معارف را تشکیل می‌دهد به خوبی مشاهده می‌کنیم و این خود نکته‌ای است که جای تأمل بسیار دارد. زیرا نشان می‌دهد که هر چه انسان راز دهر را بیشتر بجوید و کشف کند، بیشتر شیفته و فریفته آن و به تبع بیشتر و بیشتر واله و شیدای مدیر و مدبر آن می‌شود نه بر عکس. پیشرفت علم را حد و انتهایی نیست، که بر عکس با پیشرفت آن رازهای نهان و ندانسته‌های مان نسبت به دانسته‌های مان پیوسته رو به افزایش است. امروزه کلیه کسانی که در عمل با یاخته‌های زنده و اجزای آن به اندازه‌ای بسنده سروکار داشته‌اند (به ویژه ویروس شناسان) اذعان دارند که باید یاخته‌ها و ویروس‌ها و کلامواد را موجوداتی هوشمند تلقی کرد. پذیرش آگاهی و هوشمندی ماده از بدیهیات عرفان شرقی و اسلامی است. بنابراین باید آرزو کرد که بشر هر چه بیشتر در کشف رازهای آفرینش توفیق یابد و نقشی را که کارگردان صحنه هستی برایش مقدر نموده ایفا کند و به اوج شناخت و پرستش خالق دانا نایل آید و به اصل خویش بازگردد.

محمدنبی سربلوکی

استاد بیوفیزیک مرکز تحقیقات بیوشیمی و بیوفیزیک

دانشگاه تهران - بهمن ۱۳۷۹

# حیات چیست؟

اروین شرودینگر

## ۱. رویکرد فیزیکدان سنتی

«در می‌یابم پس هستم»

رنه دکارت

### ۱. خصلت کلی و منظور از بررسی

کتاب حاضر برخاسته از یک دوره سخنرانی است که توسط یک فیزیکدان نظری برای یک جمعیت چهارصد نفری ارائه شده و علیرغم اینکه از ابتدا به آنها هشدار داده شده بود که موضوع سخنرانی موضوعی مشکل خواهد بود (هرچند در آن از ترسناکترین ابزار فیزیکدان یعنی ریاضی بسیار بسیار به ندرت بهره‌گیری خواهد شد) و با وجودی که نمی‌شد سخنرانی را عامه‌فهم تلقی کرد، تعداد حضار کاهش نیافت. علتش این نبود که موضوع آنقدر ساده بود که می‌شد بدون کمک ریاضی توصیف کرد بلکه بر عکس آنقدر پیچیده بود که ریاضی از پس آن بر نمی‌آمد. جنبه دیگر قضیه، که دست کم شباهتی به عامه‌پسندی را به همراه می‌آورد، منظور سخنران بود در تشریح و روشن کردن اذهان زیست‌شناس و فیزیکدان نسبت به اندیشه بنیادینی که بین زیست‌شناسی و فیزیک سایه‌گسترده است.

از آنجا که در واقع علیرغم تنوع موضوعات مورد بحث، کل موضوع به رساندن تنها یک اندیشه یعنی اشاره‌ای به یک پرسش مهم و بزرگ منحصر می‌شود، به منظور پرهیز از سردرگمی خوبست از ابتدا طرح موضوع را به شکلی کوتاه ارائه کنم.

پرسش بزرگ مهم و خیلی مورد بحث چنین است:

چگونه می‌توان رویدادهای جای‌گاهی (Space & time) را که در درون مرزهای

یک موجود زنده (زیستمند) رخ می‌دهد، از دیدگاه شیمی و فیزیک پاسخگو بود؟

پاسخ مقدماتی که این کتابچه می‌کوشد ارایه و به کرسی بنشانند چنین خلاصه می‌شود:

ناتوانی ظاهری فیزیک و شیمی امروزی در پاسخگویی به چنان رویدادهایی به‌هیچ‌وجه دلیلی برای تردید در توانایی این علوم در پاسخگویی به آن مسایل نمی‌شود.

## ۲. فیزیک آماری. تفاوت بنیادین در ساختار

اگر منظور تنها امید دادن در نیل به دستاوردهایی در آینده باشد که اکنون میسر نیست، موضوع بسیار پیش پا افتاده خواهد بود. اما منظور خیلی مثبت‌تر از این است، به این معنی که ناتوانی‌های تاکنون مان به خوبی قابل توجیه است.

امروزه به شکرانه کارهای نبوغ‌آمیز زیست‌شناسان، عمدتاً متخصصان ژنتیک (ژن ورزان) طی سی‌چهار سال گذشته، به حدی بسنده از ساختار مادی زیست‌مندان و کارکردشان خبر داریم که دقیقاً بتوان گفت به چه دلیل فیزیک و شیمی امروزی نمی‌توانسته درباره‌ی اینکه در درون یک زیست‌مند در جای‌گاه (space & time) چه رخ می‌دهد، پاسخگو باشد.

آرایش اتم‌ها در حیاتی‌ترین بخش‌های یک زیست‌مند و کارکرد متقابل میان این آرایش‌ها نسبت به همه‌ی آرایش‌های اتمی که تاکنون در پژوهش‌های تجربی و نظری فیزیکدانان و شیمی‌دانان مورد توجه بوده، تفاوت اساسی دارد. با این وصف، تفاوتی که اساسی‌نامیدم آنچنان است که به آسانی به چشم هر کسی ناچیز آید، مگر یک فیزیکدان که چنان در دانشی غرق است که قوانین فیزیک و شیمی را سراسر آماری می‌بیند.<sup>۱</sup> زیرا از دیدگاه نگرش آماری است که ساختار اجزای حیاتی زیست‌مندان آنچنان تماماً با هر چیز مادی دیگری که ما فیزیکدانان و شیمی‌دانان با آن به‌طور جسمانی در آزمایشگاه‌هایمان و یا در ذهنمان در پشت میز کار،

---

۱. این اعتقاد شاید بیش از حد عام به نظر آید. بنابراین بحث را باید به انتهای کتاب یعنی بخش‌های ۶۷ و ۶۸ به تعویق انداخت.



سروکار داشته‌ایم تفاوت دارد<sup>۱</sup>. کم و بیش غیر قابل تصور است که قوانین و نظم‌هایی که بدین سان کشف شده‌اند، بی‌درنگ درباره رفتار دستگاه‌هایی (نظام‌هایی systems) به کار آید که ساختارشان نسبت به آنچه آن قوانین و نظم‌ها بر مبنایشان استوارند، تفاوت دارد.

نمی‌شود انتظار داشت که یک ناآشنا با فیزیک حتی چیزی درباره ربط تفاوت «در ساختار آماری»، با این بیان انتزاعی که من اشاره کرده‌ام، دستگیرش شود، چه رسد به اینکه آن را درک کند. برای اینکه رنگ و روحی به مطلب بدهم اجازه دهید آنچه را بعداً مفصل‌تر شرح خواهم داد، از پیش بگویم و آن اینکه بنیادی‌ترین بخش یک یاخته زنده - یعنی تار کروموزم - را می‌توان به نحوی شایسته به مثابه یک بلور بی‌تناوب (aperiodic crystal) تلقی نمود. تاکنون در فیزیک به بلورهای تناوب‌دار (periodic) پرداخته‌ایم. این بلورها در چشم یک فیزیکدان فروتن، چیزهایی جالب و پیچیده‌اند و مظهر یکی از فریبنده‌ترین و پیچیده‌ترین ساختارهایی هستند که در طبیعت بی‌جان شگفتی وی را برمی‌انگیزند. اما اینها در مقایسه با بلور بی‌تناوب بسیار ساده و کسل‌کننده‌اند. تفاوت میان این دو، همانند تفاوت میان یک کاغذ دیواری معمولی که روی آن طرحی پی‌در‌پی با نظمی مشخص تکرار شده، با یک شاهکار سوزن دوزی، فرضاً سوزن دوزی رافایل (Raphael) است که در آن هیچگونه تکرار خسته‌کننده‌ای دیده نمی‌شود اما حاوی یک طرح معنی‌دار، همدوس (coherent) و پرظرافت که استاد بزرگ ترسیم کرده، می‌باشد.

در تلقی‌ام از بلور تناوبی بعنوان یکی از پیچیده‌ترین اشیای مورد پژوهش، منظورم اشاره به حیطه عمل فیزیکدان بود. اما در واقع شیمی‌آلی که در تحقیقاتش به ملکولهای پیچیده‌تر و پیچیده‌تر می‌پردازد خیلی به سوی بلور بی‌تناوب، که به گمان من محمل (حامل مادی) حیات است، نزدیکتر شده است. بنابراین تعجبی ندارد که شیمیدان آلی سهم بزرگی درباره مسئله حیات داشته در حالی که فیزیکدان تقریباً هیچ.

۱. این نقطه نظر در دو مقاله الهام بخش توسط F.G. Donnan مورد تاکید واقع شده: (۱) مجله *Scientia* جلد ۲۴ شماره ۲۸ سال ۱۹۱۸، (۲) گزارش Smithsonian Rept در سال ۱۹۲۹ صفحه ۳۰۹ (راز حیات).

### ۳. رویکرد ساده لوحانه فیزیکدان به موضوع

اکنون که خیلی کوتاه اندیشه یا دورنمای نهایی تحقیقمان را ترسیم کردم، اجازه دهید خط حمله را توصیف کنم.

نخست پیشنهاد دارم چیزی را که اندیشه «ساده لوحانه» فیزیکدانان درباره زیست‌مندی می‌نامم تشریح کنم. این اندیشه‌ای است که به ذهن فیزیکدانی می‌رسد که پس از فراگرفتن این علم، یا مشخص‌تر زیربنای آماری آن، شروع به تفکر درباره زیست‌مندان و چگونگی رفتار و نقش آنها می‌کند و آگاهانه از خود می‌پرسد آیا با آنچه فراگرفته و از دیدگاه این علم نسبتاً ساده، روشن و فروتنانه، وی می‌تواند هیچ سهمی در ارتباط با این پرسش داشته باشد؟

دیده خواهد شد که آری می‌تواند. گام بعدی باید مقایسه پیشگویی‌های نظری‌اش با حقایق زیست‌شناختی باشد. دیده خواهد شد که گرچه کل اندیشه‌هایش کاملاً معقول‌اند لازم است به طرز قابل توجه حک و اصلاح شوند. به این ترتیب تدریجاً به سمت دیدگاه درست هدایت خواهیم شد یا متواضعانه عرض کنم به دیدگاهی می‌رسیم که من درست می‌انگارم.

حتی اگر در این باره حرفم درست از آب درآید، نمی‌دانم که آیا واقعاً این راه بهترین و ساده‌ترین باشد. اما به هر حال این راه من بود. و «فیزیکدان ساده لوح» خودم بودم و در رسیدن به این هدف راهی بهتر و روشن‌تر از آنی که خودم سرهم کردم نیافتم.

### ۴. چرا اتم‌ها اینهمه کوچکند؟

یک روش خوب برای پی بردن به اندیشه‌های فیزیکدان ساده لوح این است که از پرسشی عجیب و غریب و تقریباً مسخره آغاز کنیم: چرا اتم‌ها اینقدر کوچکند؟ برای شروع، البته که اینها خیلی کوچکند. هر قطعه ماده‌ای که در زندگی روزمره با آن سروکار داریم شمار عظیمی اتم دارد. نمونه‌های زیادی برای ملموس ساختن این موضوع برای یک جمع شنونده ابداع شده ولی هیچیک جالبتر از مثال لُردِ کلوین نیست: انگار کنید که بتوانید همه ملکول‌های یک لیوان آب را نشاندار کنید و بعد این لیوان را در اقیانوس خالی کنید و پس از اینکه خوب با تمام آب اقیانوس قاطی و

یکنواخت شد، اگر اکنون یک لیوان از آب دریا را بردارید خواهید دید که صدا تا از آن ملکول‌ها در لیوان یافت می‌شوند.<sup>۱</sup>

اندازه‌های واقعی اتم‌ها<sup>۱</sup> بین  $\frac{1}{50000}$  تا  $\frac{1}{20000}$  طول موج نور زرد است، این مقایسه خیلی با اهمیت است زیرا که این طول موج تقریباً نشان دهنده ابعاد کوچکترین دانه یا ذره‌ای است که در زیر میکروسکوپ می‌توان دید. بنابراین دیده می‌شود که یک چنان دانه‌ای هزارها میلیون اتم دارد.

خوب حالا چرا اتم‌ها اینهمه کوچکند؟

به روشنی این پرسش یک ردگم کردن است زیرا واقعاً هدفش اندازه اتم‌ها نیست بلکه در ارتباط با اندازه زیست‌مندان و مشخص‌تر با اندازه هیکل خودمان می‌باشد. در واقع اتم در مقایسه با اندازه واحد طول مدنی مان، فرضاً متر یا یارد، کوچک است. در فیزیک اتمی عادت داریم از واحد آنگستروم ( $A^\circ$ ) که  $1/10000000000$  متر است، بهره بگیریم. قطر اتم‌ها بین ۱ تا ۲ آنگستروم است. واحدهای مدنی رابطه نزدیکی با اندازه بدن مان دارد. داستانی وجود دارد که واحد یارد را به شوخی یک پادشاه انگلیسی نسبت می‌دهد. مشاورینش از او پرسیدند چه واحدی را برگزینند و او بازویش را گشود و گفت: «فاصله وسط سینه تا نوک انگشتان دستم» خوب خواهد بود.<sup>\*</sup> این داستان خواه درست یا نادرست، برای منظور ما خیلی اهمیت دارد. طبیعی است که پادشاه به طولی اشاره کند که با اندازه هیکلش قابل قیاس باشد. می‌داند هر چیز دیگری کار را خیلی مشکل می‌کند. با همه تمایلی که فیزیکدان به

۱. البته نمیتوان گفت دقیقاً صدا (حتی اگر این عدد دقیقاً نتیجه محاسبه باشد). شاید ۸۸ یا ۹۵، یا ۱۰۷ یا ۱۱۲ و با احتمال خیلی کم ۵۰ یا ۱۵۰ بدست آید. انتظار می‌رود که «انحراف» یا «افت و خیزی» در حدود ریشه دوم ۱۰۰ یعنی ۱۰ مشاهده شود. آمارگران این موضوع را بدین شکل نشان می‌دهند:  $100 \pm 10$  پیدا خواهید کرد. این اشاره را فعلاً می‌توان فراموش کرد اما بعدها بعنوان نمونه‌ای از قانون آماری  $\sqrt{n}$  به آن برخورد خواهیم گشت.

۲. طبق نظرات امروزی اتم مرز تیز و مشخصی ندارد، از اینرو و مفهوم «اندازه‌ی اتم» خیلی خوب معین نیست. اما شاید بتوان آن را فاصله بین مراکز اتم‌ها در یک جامد و یا مایع (اگر خواستید لطفاً جایگزینی برای آن به کار برید)، نه در گاز تلقی کرد. زیرا در گاز در فشار و دمای متعارف، فاصله‌ی اتم‌ها تقریباً ده برابر است.

\* البته در ایران ما اصطلاحاتی چون بند انگشت و یا وجب را فراوان به کار می‌بریم که خود گواه دیگری بر این نظر شرو دینگر می‌باشند. م

آنگستروم دارد، ترجیح می‌دهد که بشنود لباس تازه‌اش شش و نیم یارد پارچه می‌خواهد نه شصت و پنجهزار میلیون آنگستروم از آن را. بنابراین پرسش مان در واقع به نسبت دو طول برمیگردد - نسبت طول بدن به طول اتم - که باتوجه به اولویت بی‌چون و چرای اولویت وجود اتم، درواقع باید پرسش چنین مطرح شود: چرا بایستی بدن ما نسبت به اتم اینقدر بزرگ باشد؟ می‌توانم تصور کنم که خیلی وقت‌ها یک دانشجوی کنجکاو فیزیک یا شیمی از این واقعیت ابراز تاسف کرده باشد که هر کدام از اعضای حسی ما، که کم و بیش بخشی قابل توجه از بدنمان را می‌سازند و در نتیجه (از لحاظ مقدار نسبت مذکور) خود از تعدادی بیشمار اتم درست شده‌اند، خیلی بزرگ‌تر و زمخت‌تر از آن هستند که بتوانند با اصابت یک اتم تحت تاثیر قرار بگیرند. برای نمونه ما نمی‌توانیم اتم‌های منفرد را حس کنیم یا بشنویم. فرضیه‌های مان در مورد اینها بسیار متفاوت از دریافت‌های فوری اندام‌های حسی مان است و نمی‌تواند مستقیماً مورد آزمایش قرار بگیرد.

آیا باید این چنین باشد؟ آیا دلیلی نهادین دارد؟ آیا می‌توان این وضع را به نوعی اصل اولیه رسانید و تعیین کرد و فهمید که چرا چیز دیگری با نص قوانین طبیعت سازگار نیست؟ در اینجا یکباره به مسئله‌ای می‌رسیم که فیزیکدان از پس آن برمی‌آید و پاسخ همه پرسشها مثبت است.

## ۵. کارکرد یک زیست‌مند مستلزم قوانین دقیق فیزیکی است

اگر چنین نمی‌بود، یعنی اگر ما زیست‌مندی آنقدر حساس بودیم که یک اتم یا حتی چند اتم اثری محسوس بر حواس ما می‌داشتند، خدا می‌داند زندگی مان چگونه می‌بود؟ محض تاکید یک نکته: زیست‌مندی از آن گونه قطعاً نمی‌توانست افکاری منظم داشته باشد تا، پس از یک سلسله طولانی مراحل اولیه، سرانجام به تشکیل اندیشه‌هایی از جمله اندیشه اتم دست یابد.

اگرچه همین یک نکته را برمی‌گزینیم، ملاحظات زیر اصولاً برای کارکرد اندام‌هایی غیر از مغز و دستگاه حسی نیز مصداق دارند. با وجود این تنها چیزی که برای خود ما اهمیتی شایان دارد اینست که ما حس می‌کنیم و فکر می‌کنیم و

دریافت می‌کنیم. اگر نه از دید صرفاً عینی زیست‌شناختی، دست‌کم از دیدگاه انسانی، همهٔ دیگر فرایندها نسبت به فرایند فیزیولوژیکی که مسئول فکر و حس است، جنبه کمکی دارند. افزون بر این، این امر کار ما را در گزینش و بررسی فرایندی که به‌طور تنگاتنگ توسط رویدادهای ذهنی همراه می‌شود آسان خواهد کرد، اگرچه ما را از چگونگی این توازی نزدیک آگاهی‌ای نیست. در واقع به گمان من این موضوع در ورای علوم طبیعی و به احتمال زیاد درک بشر به‌طور کلی می‌باشد.

بنابراین با این پرسش روبروایم: چرا بایستی اندامی چون مغز، با دستگاه حسی پیوسته به آن، الزاماً از عده‌ای بیشمار اتم درست شده باشد تا اینکه حالت فیزیکی متغیرش بتواند ارتباطی نزدیک و تنگاتنگ با یک اندیشه پیشرفته داشته باشد؟ به چه دلیل نقش اخیرالذکر این عضو نمی‌تواند با این امر سازگار باشد که کل آن یا برخی از اجزای پیرامونی آن که مستقیماً با محیط تماس دارند، ابزار و راهکاری چنان ظریف و حساس پدید آورند که بتوانند حتی به تأثیر یک اتم بیرونی حساس باشند و آن را ثبت کنند؟

علتش این است که آنچه را فکر یا اندیشه می‌گوئیم (۱) خود یک چیزی منظم است و (۲) تنها در مواد، یعنی ادراک‌ها و تجربه‌هایی که خود درجه‌ای از نظم را دارند، به کار می‌رود. این امر دو پیامد دارد. نخست، نظمی فیزیکی، که برای رابطهٔ نزدیک با اندیشه (چنانچه مغز من با فکر من دارد) می‌بایست سازمانی بسیار منظم داشته باشد و این بدان معنی است که رویدادهای اندرون آن می‌باید با دقت بسیار بالایی از قوانین اکید فیزیک پیروی کنند. دوم اینکه اثراتی که دیگر اشیاء بیرونی بر آن دستگاه منظم فیزیکی می‌گذارند، به روشنی با ادراک‌ها و تجربه‌های فکر مربوط به آنها مطابقت داشته باشد که به گفته من تشکیل‌دهندهٔ مادهٔ آنست. بنابراین اندر کنش‌های فیزیکی میان دستگاه ما و سایرین علی‌القاعده خود می‌بایست درجهٔ معینی از نظم فیزیکی را داشته باشند، به عبارتی آنها نیز می‌باید تا میزان معینی از دقت از قوانین اکید فیزیک پیروی کنند.

## ۶. قوانین فیزیکی متکی بر آماری و در نتیجه تنها تقریبی‌اند

اما چرا همهٔ این‌ها نمی‌تواند توسط زیست‌مندی که تنها از شمار متوسطی از اتم‌ها درست شده و نسبت به اثر یک یا چند اتم حساس است، پدیدار شود؟

چونکه می‌دانیم همهٔ اتم‌ها به طور پیوسته حرکت گرمایی کاملاً نامنظم دارند، که با هرگونه رفتار نظام دار مخالفت می‌کند و این امر مانع از آن می‌شود که رویدادهای واقع میان شمار کمی از اتم‌ها بتوانند خود را بر قانون قابل تشخیصی وفق دهند. تنها در سایه همیاری شمار بسیار عظیمی از اتم‌ها است که قوانین آماری آغاز به مهار کردن رفتار اینگونه هیئت‌ها (ensembles) می‌کنند و دقت آن با افزایش شمار اتم‌ها بیشتر می‌شود. همه قوانین شیمیایی و فیزیکی که نقش مهمی در حیات زیست‌مندان ایفا می‌کنند، از این نوع آماری‌اند؛ هرگونه قانونمندی و نظام مندی دیگری که بتوان گمان کرد، پیوسته در نتیجهٔ حرکت گرمایی بی‌وقفهٔ اتم‌ها، مختل و از کار انداخته می‌شود.

## ۷. صحت آنها بر دخالت شمار بسیار زیادی از اتم‌ها استوار است نخستین مثال (پارامنیتم)

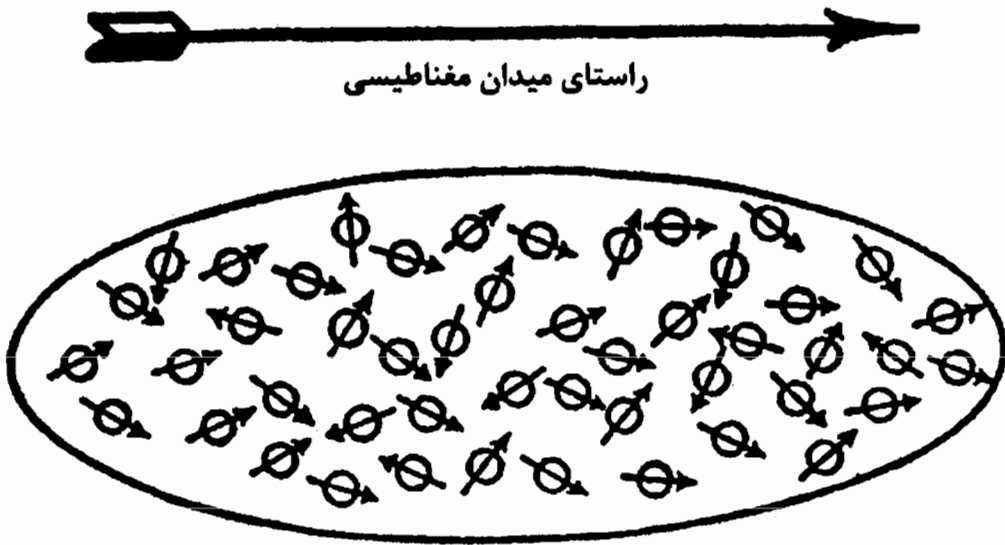
اجازه دهید این را با چند مثال تشریح کنم که به طور تصادفی از میان هزاران نمونه برداشته‌ام و شاید در واقع برای خواننده‌ای که برای نخستین بار با چنین وضعی از امور آشنا می‌شود، خیلی خوشایند نباشد - وضعی که برای فیزیک و شیمی نوین همان اندازه بنیادین است که واقعیت تشکل زیست‌مندان از یاخته‌ها در زیست‌شناسی، یا قانون نیوتون در نجوم و یا حتی دنباله اعداد صحیح ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ... در ریاضیات بنیادین تلقی می‌شود.

یک نفر واقعاً تازه وارد نباید انتظار داشته باشد که از صفحات بعدی درک و شناختی کامل از موضوعی پیدا کند که با چهره‌های درخشانی چون لودویگ بولتزمان و ویلارد گیبس (Ludwig Boltzmann & Willard Gibbs) مرتبط‌اند و در کتب درسی تحت عنوان ترمودینامیک آماری بررسی می‌شوند.

اگر لوله درازی از کوارتز را که حاوی گاز اکسیژن است در یک میدان مغناطیسی قرار دهیم، دیده خواهد شد که گاز مغناطیسی می‌شود.<sup>۱</sup> مغناطیسی شدن از آنجا سرچشمه می‌گیرد که ملکول‌های اکسیژن خود مغناطیس‌های کوچکی هستند و مانند سوزن قطب نما تمایل به آرایش یافتن به موازات میدان دارند.

---

۱. دلیل اینکه از گاز استفاده شده این است که ساده‌تر از مایع یا جامد است و گرچه مغناطیسی شدن آن بسیار خفیف است، در کار بررسی نظری مشکلی پیش نمی‌آورد.



شکل ۱. پارامنیتم

اما نباید گمان کرد که همهٔ ملکول‌ها به موازات قرار می‌گیرند. چونکه اگر میدان را دو برابر کنید مغناطیسی شدن اکسیژن مورد آزمایش دو برابر می‌شود و ضریب تناسب به سمت میدان‌های فوق العاده قوی می‌رود، یعنی مغناطیسی شدن با سرعت اعمال میدان افزایش می‌یابد.

این نمونهٔ روشنی از یک قانون صرفاً آماری است. حرکات حرارتی، که آرایشی نامنظم ببار می‌آورند، پیوسته با آرایشی که میدان میل دارد به وجود آورد مقابله می‌کنند. اثر این تلاش‌ها در واقع تنها آن است که برای زوایای بین محور دو قطبی‌ها با جهت میدان، حاده بودن نسبت به منفرجه بودن اندکی ترجیح داشته باشد. گرچه اتم‌های منفرد جهتشان را بی‌وقفه تغییر می‌دهند، به‌طور میانگین (به خاطر تعداد بیشمارشان) آرایش در راستای میدان و متناسب با آن، یک برتری ثابت و اندک دارد. این توجیه زیرکانه از آن فیزیکدان فرانسوی پال لانژون (P. Langevin) می‌باشد و می‌توان آن را به شکل زیر مورد بررسی قرار داد. اگر مغناطیسی شدن خفیف واقعاً در نتیجهٔ تمایلات متضاد است، یعنی میدان مغناطیسی که میل به موازی کردن ملکول‌ها دارد و حرکت گرمایی که آرایش‌های هر دمبیل را پدید می‌آورد، بایستی بتوان با تضعیف حرکات گرمایی، یعنی کاهش دما، به جای افزایش میدان، مغناطیسی شدن را افزایش داد. این انتظار توسط آزمایش که نشان می‌دهد مغناطیسی شدن با عکس دمای مطلق تناسب دارد، یعنی با رابطه نظری

مربوطه (قانون کوری) وفق کمی دارد، تأیید می‌شود. ادوات نوین حتی ما را قادر می‌سازد که با کاهش دما حرکات گرمایی را تا آن حد کاهش دهیم که تمایل میدان در آرایش دادن ملکول‌ها، اگر نه کامل، دست‌کم تا حد کافی اثر خود را اعمال کند و بخش قابل توجهی از ملکول‌ها را در وضع «مغناطیسی شدن کامل» قرار دهد. در چنین وضعی دیگر انتظار نمی‌رود که مغناطیسی شدن با دوبرابر شدن میدان، دوبرابر گردد بلکه هر چه میدان افزایش یابد، مغناطیسی شدن کمتر افزایش پیدا می‌کند و به مقداری می‌گراید که «اشباع» گفته می‌شود. این انتظار نیز به‌طور کمی با تجربه ثابت شده است.

باید توجه داشت که این رفتار کلاً بستگی به شمار زیاد ملکول دارد که در ایجاد مغناطیسی شدن مشهود همیاری دارند. وگرنه به هیچ وجه مغناطیسی شدن مقدار ثابتی پیدا نمی‌کرد بلکه به‌طور کاملاً نامنظم ثانیه به ثانیه در تغییر بود و بر تغییر و تحول تضاد میان حرکات گرمایی و میدان، گواهی می‌داد.

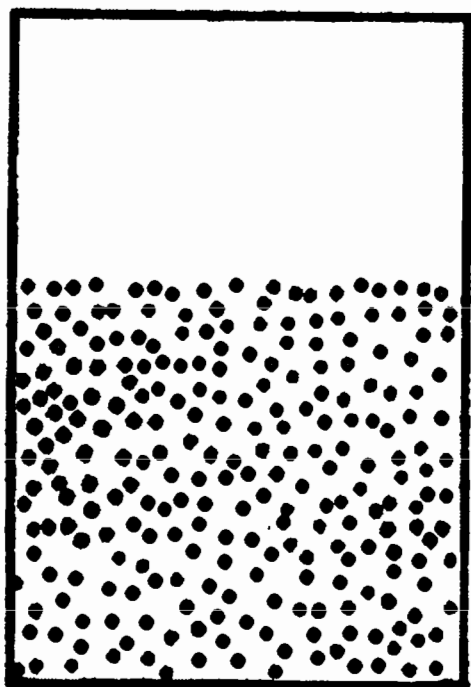
### نمونه دوم (حرکت براونی، نفوذ)

اگر پایین یک ظرف شیشه‌ای بسته را از ابر، که خود از قطرات بسیار ریز درست شده، پر کنید خواهید دید که مرز بالایی آن آهسته آهسته و با سرعتی معین، که توسط گرانروی (viscosity) هوا، و اندازه و جرم ویژه قطرات تعیین می‌شود، فرو می‌نشیند. اما اگر به یکی از قطرات در زیر میکروسکوپ بنگرید خواهید دید که پیوسته با سرعتی ثابت فرو نمی‌نشیند، بلکه حرکات بسیار نامنظمی از خود نشان می‌دهد که حرکات براونی (Brownian) گفته می‌شوند و تنها به‌طور میانگین با یک ته‌نشینی منظم مطابقت دارند.

این قطرات اتم نیستند اما به اندازهٔ بسنده کوچک و سبک‌اند که تحت تاثیر اصابت یک ملکول منفرد، که پیوسته با سطوح‌شان برخورد می‌کنند، قرار بگیرند و در نتیجه به اطراف لگد می‌خورند و تنها به‌طور میانگین اثر گرانش را دنبال می‌کنند. همین مثال نشان می‌دهد که اگر قرار بود حواسمان تحت تاثیر اصابت چند ملکول باشد ادراکات ما چه اندازه خنده‌دار و نامنظم می‌بود. باکتریها و زیست‌مندان دیگری آنقدر کوچکند که شدیداً تحت تاثیر چنین پدیده‌ای هستند و حرکاتشان تحت تاثیر هوسهای حرارتی محیط پیرامون‌شان است و چاره‌ای ندارند. اگر راهکاری



برای جابجایی از خودشان می داشتند شاید می توانستند در رفتن از گله‌ای به گله‌ی دیگر توفیق یابند. اگرچه با قدری مشکل چونکه حرکات گرمایی همانند امواج یک دریای ناآرام قایق کوچک‌شان را به این ور آن ور پرتاپ می‌کند.



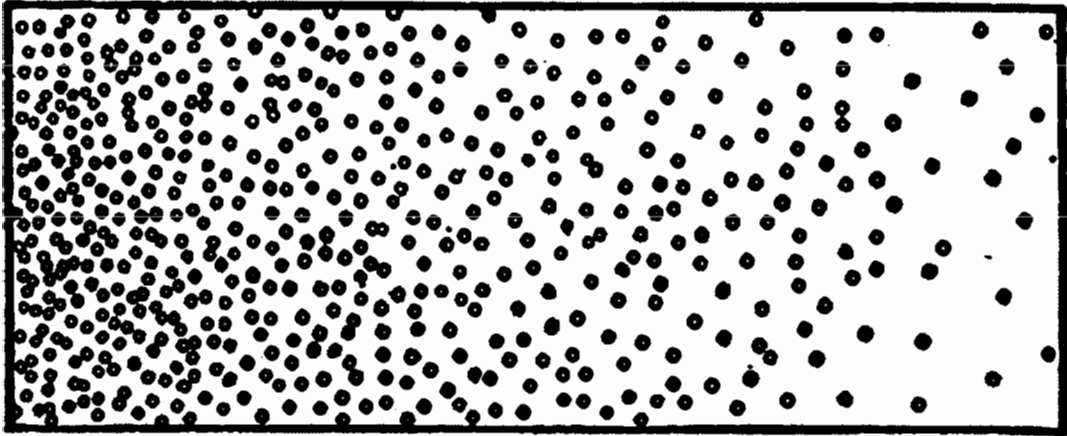
شکل ۳. حرکت براونی یک ذره افتان



شکل ۲. مه در حال فرونشستن

پدیده‌ی بسیار همانند حرکت براونی، حرکت نفوذ است. ظرفی را در نظر آورید که از شاره‌ای (سیالی) مانند آب پر شده و اندکی از یک جسم رنگی مانند پرمنگنات پتاسیم در آن حل شده، اما نه به گونه‌ای که غلظتش یکنواخت باشد بلکه آنسان که در شکل نشان می‌دهد غلظت پرمنگنات (که در شکل ۴ به شکل نقاطی نمایش داده

شده) از سمت چپ به راست کاهش پیدا می‌کند. اگر این دستگاه را به حال خود بگذارید، فرایند بسیار آهسته «نفوذ» رخ می‌دهد و پرمنگنات از سمت چپ به راست یعنی از غلظت بالا به پایین، گسترش می‌یابد تا اینکه سرانجام پرمنگنات در همه جا یکسان توزیع شود.



شکل ۴. نفوذ جسمی که غلظتش در محلول از چپ به راست تغییر دارد

نکته شایان توجه راجع به این فرایند بس ساده اما ظاهراً نه چندان جالب این است که به هیچ وجه آن جور که ممکنست گمان بریم، این کار به خاطر تمایل یا نیرویی که ملکول‌های پرمنگنات را از نواحی شلوغ به نواحی خلوت براند، رخ نمی‌دهد یعنی نه مانند مردم یک کشور که به نقاطی می‌روند که خلوت‌تر باشد. به هیچ وجه چنین چیزی در مورد ملکول‌های پرمنگنات رخ نمی‌دهد. هر کدام از آنها مستقل از دیگران، که به ندرت به هم می‌رسند، عمل می‌کند. هر کدامشان، چه در نواحی شلوغ یا خلوت، یک سرنوشت دارند و آن اینکه پیوسته تحت تاثیر ضربات ملکول‌های آب به این سو و آن سو پرتاب می‌شوند، گاهی به سمت غلظت بالا، گاه به سوی غلظت کم و گاه اریب. این گونه حرکت را اغلب شبیه حرکت آدم چشم بسته‌ای می‌انگارند که در یک محوطه بزرگ، بدون ترجیح در جهتی خاص، قدم می‌زند و پیوسته مسیر حرکتش تغییر می‌کند.

در دیداول وقتی این حرکات هر دمبیل و بختانه ملکول‌های پرمنگنات، که در مورد همه یکسان است، باعث جریانی منظم به سوی غلظت کمتر و سرانجام توزیعی یکسان، می‌شود خیلی شگفت‌آور است، اما تنها در همان دید اول چنان است. اگر در

شکل (۴) مقاطعی عمودی و باریک را، که در هر کدامشان توزیع غلظت یکنواخت است، در نظر آوریم، ملکول‌های پرمنگناتی که در یک مقطع خاص واقع‌اند در هر آن حرکات بختانه خود را خواهند داشت و در نتیجه به یک احتمال به مقاطع همسایه در چپ و راست آن خواهند رفت. اما دقیقاً در نتیجه همین امر، صفحه‌ای که دو مقطع همسایه را از هم جدا می‌کند توسط تعداد بیشتری ملکول از سمت چپ به راست مورد عبور خواهد بود تا در جهت عکس، آن هم به این دلیل ساده که در سمت چپ آن تعداد بیشتری ملکول نسبت به سمت راستش، قرار دارند و تاهنگامی که وضع چنین باشد بر آیندش به شکل یک جریان منظم از چپ به راست بروز خواهد کرد تا اینکه سرانجام توزیع یکنواخت گردد.

هنگامی که این ملاحظات به زبان ریاضی درآید قانون دقیق نفوذ به شکل یک معادله دیفرانسیل جزئی، بدست می‌آید.

$$\frac{\delta \rho}{\delta t} = D \nabla^2 \rho$$

که خواننده را با تشریح آن خسته نمی‌کنم، اگرچه معنای آن به زبان معمولی به اندازه کافی ساده است.<sup>۱</sup> دلیل اینکه قانون «دقیقا ریاضی» را ذکر می‌کنیم این است که می‌خواهیم تاکید کنیم که دقت فیزیکی‌اش به هر حال باید در هر کاربردی مورد چالش قرار گیرد. به خاطر مبتنی بودن بر احتمال (شانس) صرف، اعتبار آن تقریبی است. این که، علی القاعده، تقریب خیلی خوبی است، به این دلیل است که شمار ملکولهایی که در پدیده همکاری دارند، بسیار بسیار زیاد است. هر چه شمارشان کمتر باشد، انتظار می‌رود که انحراف‌های خیلی هر دمبیل بزرگتر شوند - و در شرایطی مناسب می‌توان مشاهده‌شان کرد.

## ۹. نمونه سوم (حدود دقت در سنجش)

مثال سومی که می‌گوییم شباهت بسیار نزدیکی با دومی دارد اما به‌طور خاصی جالب است. بیشتر اوقات فیزیکدان‌ها از یک جسم سبک که به تار یا رشته نازک و

۱. محض دانستن: غلظت در هر نقطه‌ای دلخواه نسبت به زمان، با آهنگی متناسب با زیادتی (یا کاستی) نسبی غلظت در پیرامون بسیار کوچک آن، افزایش (یا کاهش) می‌یابد. ضمناً قانون رسانش گرما نیز دقیقاً به همین شکل است و به جای «غلظت»، «دما» قرار می‌گیرد.

بلندی آویزان است برای سنجش نیروهای ضعیف، که موجب انحراف آن از وضع تعادلی اش می‌شوند، بهره می‌گیرند، مثلاً نیروهای الکتریکی، مغناطیسی یا گرانشی که موجب پیچش جسم حول محور قائم می‌شود. (که البته جنس جسم سبک باید متناسب با نوع آزمایش گزیده شود). تلاش‌های مستمر در بهبود دقت این ابزار متداول یعنی «ترازوی پیچشی» منجر به رسیدن به یک حد شده که خود شایان توجه و جالب است. تلاش در گزینش جسمی هر اندازه سبکتر و تاری هر اندازه نازکتر - به منظور هر چه بیشتر حساس کردن آن نسبت به خفیف‌ترین نیروها - با حدی مواجه شده که در آن، جسم آویخته نسبت به حرکات گرمایی ملکولها و ضربات آنها حساس شده شروع به «رقص» بی وقفه و نامنظمی حول نقطه تعادلش می‌کند که شبیه لرزش قطره در مثال دوم است. اگر چه این رفتار حدی مطلق را برای دقت سنجش با این ترازو پیش نمی‌آورد، حدی عملی را باعث می‌شود. اثر حرکات حرارتی که غیر قابل مهار است با اثر نیروی مورد سنجش رقابت می‌کند و موجب می‌شود که تک انحراف مشهود، بی‌اهمیت جلوه کند. در نتیجه برای حذف اثر حرکت براونی دستگاه می‌بایست مشاهدات را تکثیر کرد. گمان می‌کنم این مثال برای بررسی ما اختصاصاً روشنگر باشد، چونکه اندام‌های حسی ما بالاخره خود نوعی وسیله‌اند و می‌توان دید که اگر خیلی حساس باشند چه بیفایده می‌شوند.

### ۱۰. قاعده $\sqrt{n}$

تا اینجا این بود از مثال‌ها. تنها اضافه می‌کنم که هیچ قانونی از فیزیک یا شیمی، از میان آنهایی که در ارتباط با درون یک زیستمند و یا مربوط به اندر کنش آن با پیرامونش هستند، نیست که نشود به عنوان مثال ذکر کرد. توصیف مفصل شاید پیچیده‌تر باشد اما نکته برجسته همیشه یکسان خواهد بود و در نتیجه شرح آنها باعث تکرار بیمورد و یکنواختی مطالب خواهد شد.

اما می‌خواهم مطلب خیلی مهمی را دربارهٔ میزان دقتی که در هر قانون فیزیکی می‌توان انتظار داشت و قانون  $\sqrt{n}$  نام دارد، اضافه کنم. برای این کار نخست یک مثال ساده می‌آورم و سپس عمومیت می‌دهم.

اگر بگوئیم گازی معین تحت شرایط فشار و دمای خاصی یک چگالی معین دارد و اگر این را اینگونه بیان کنم که در یک حجم معین (با اندازه‌ای که به نوع آزمایش

مربوط می‌شود) تحت این شرایط، درست  $n$  ملکول گاز وجود دارد، مطمئن باشید که اگر شما گفته‌اید مرا در یک لحظه خاص مورد آزمایش قرار دهید خواهید دید که دقت ندارد و اختلاف حاصل در حد  $\sqrt{n}$  است. بنابراین اگر  $n=100$  باشد، اختلاف مزبور حدود ۱۰ یا به عبارتی خطای نسبی ۱۰٪ خواهد بود. اما اگر  $n$  مساوی یک میلیون باشد، تفاوت یا انحراف در حدود ۱۰۰۰ یعنی خطای نسبی ۰/۱٪ خواهد بود. به تقریب این قانون آماری کاملاً عمومیت دارد. قوانین فیزیک و شیمی با یک خطای نسبی در حدود  $1/\sqrt{n}$  عدم دقت دارند، که  $n$  تعداد ملکولهایی است که در پیدایش قانون همکاری دارند. یعنی اعتبار آن را در نواحی ای از مکان یا زمان (یا هر دو) که برای ملاحظات خاص یا آزمایشی معین اهمیت دارد، تضمین می‌کنند.

بنابراین از این ملاحظات هم می‌بینیم برای اینکه یک زیست‌مند از مزایای قوانین نسبتاً دقیق هم برای حیات درونیش و هم برای سروکارش با دنیای بیرون، بهره‌مند شود، می‌بایست ساختاری نسبتاً درشت داشته باشد. وگرنه شمار ذراتی که با هم همکاری دارند بسیار کم و قانون هم بی‌دقت خواهد بود. الزامی که اختصاصاً شاق است ریشه دوم است زیرا اگرچه مثلاً یک میلیون تعداد زیادی به نظر می‌رسد، دقت ۱ در هزار برای چیزی که ادعای «قانون طبیعت بودن» را دارد چندان مناسب نیست.

## ۲. راهکار وراثت

بودن ابدی است؛ زیرا. قوانین کارشان حفظ  
گنجینه‌های حیاتی است که کیهان زیبایی‌اش را از  
آن می‌گیرد.

کوتاه

### ۱۱. انتظار فیزیكدان سنتی سوا از بی‌اهمیتی، غلط است

بنابراین به این نتیجه می‌رسیم که یک زیست‌مند و تمامی فرایندهای زیستی  
مربوطه‌ای که وی تجربه می‌کند می‌بایست ساختار «بس اتمی» شدید (متشکل از  
اتم‌های بسیار بسیار زیاد - م) داشته باشد و می‌باید در برابر اینکه رویدادهای  
هردمبیل «تک اتمی» به نقش و اهمیت زیادی دست یابند، حراست گردد. فیزیكدان  
«ساده‌لوح» به ما گوشزد می‌کند که این امر برای اینکه قوانین فیزیکی برای زیست‌مند  
دقتی بسنده داشته باشند و بر بنیاد آنها کارکرد منظم و سامان یافته‌ی تحسین‌آمیز  
خود را بنانند، ضروری می‌باشد. اما آیا نتیجه‌گیری‌های استقرایی انجام شده از دید  
زیست‌شناختی (یعنی صرفاً از دیدگاه فیزیکی) با حقایق واقعی زیست‌شناختی  
تطبیق دارند؟

در نگاه نخست گرایش به این است که گمان کنیم نتیجه‌گیری‌ها بیهوده‌اند. یک  
زیست‌شناس مثلاً سی‌سال پیش می‌گفته که گرچه خیلی مناسب است که یک  
سخنران در محافل عمومی بر اهمیت فیزیک آماری در زیست‌مندان، همانند  
جاهای دیگر، تاکید کند، اما این نکته چیزی جز یک توضیح واضح‌ات آشنا  
نمی‌باشد. زیرا طبیعتاً نه تنها بدن یک فرد بالغ از هر یک از گونه‌های عالی موجودات

زنده بلکه هر یاخته‌ی سازنده‌ی آن دارای شماری نجومی از انواع اتم‌ها است. و هر فرایند فیزیولوژیک خاصی که می‌بینیم چه در درون یاخته، و خواه در اندر کنش آن با پیرامون، به نظر می‌رسد - یا سی سال پیش به نظر می‌رسید - که با چنان تعداد بیشماری از اتم‌ها و فرایندهای تک اتمی مرتبط‌اند که جملگی قوانین مربوطه در فیزیک و شیمی فیزیک، حتی در برابر انتظارات شدید فیزیک آماری از لحاظ «اعداد بزرگ» - یعنی قاعده  $\sqrt{n}$  - ایمن خواهد بود.

امروز می‌دانیم که این عقیده اشتباه می‌بوده است. چنانچه اکنون خواهیم دید، گروه‌های اتمی بسیار کوچک، آنقدر کوچک که نتوانند قوانین آماری دقیق را بروز دهند، نقش غالبی در رویدادهای خیلی منظم و قانونمند موجود زنده ایفا می‌کنند. اینها نموده‌های مشهود بزرگ مقیاسی را که زیست‌مند طی رشدش کسب می‌کند، تحت‌اختیار دارند و خصوصیات مهم عملکرد آن را تعیین می‌کنند و در جملگی اینها قوانین خیلی دقیق و قاطع زیست‌شناختی به نمایش گذارده می‌شود.

لازم است مطلب را با خلاصه‌ای کوتاه از وضعیت در زیست‌شناسی، به خصوص بیشتر در ژنتیک شروع کنم - به عبارتی می‌بایست وضعیت کنونی در موضوعی را خلاصه کنم که در آن استاد نیستم. اما چاره‌ای ندارم و از این بابت به‌ویژه از هر زیست‌شناسی به خاطر خصلت سرسری و تفننی بودن خلاصه‌ام، پوزش می‌خواهم. از سوی دیگر می‌خواهم اندیشه‌های متداول را تقریباً به‌طور جزمی پیش رویتان بگذارم. نمی‌توان انتظار داشت که فیزیکدان نظری بیچاره بتواند شواهدی تجربی را که از یک سو شامل بسیاری آزمایش‌های طولانی، به هم وابسته، و زیبای تکثیر نسل است که در آنها نبوغ واقعاً بی‌سابقه‌ای به کار رفته، و از سوی دیگر شامل مشاهدات مستقیم یاخته زنده، با تمامی ظرافت‌هایی که میکروسکوپی امروزی میسر می‌کند، با صلاحیت و خبرگی بررسی کند.

## ۱۲. رمز نوشته‌ی وراثت (گروموزم‌ها)

اجازه دهید کلمه «طرح» یک زیست‌مند را به آن مفهوم که زیست‌شناسان «طرح چهاربعدی» می‌نامند به کار برم که معنای آن نه تنها ساختار و نقش زیست‌مند در سنین بلوغ یا در مرحله‌ی میانی دیگر می‌شود بلکه کل مراتب رشد فردی

(ontogenetic) از تخم بارور شده تا بلوغ را که زیست‌مند آغاز به تولید مثل می‌کند، در برمی‌گیرد. تمامی این طرح چهار بعدی در اختیار و مهار همان تک یاخته یعنی تخم بارور شده است. افزون بر این می‌دانیم که اصولاً این طرح توسط بخش کوچکی از آن یاخته یعنی هسته تعیین می‌شود. در «حالت آرامش» عادی یاخته، هسته معمولاً به شکل شبکه کروماتین<sup>۱</sup> در تمامی یاخته پخش است. اما در فرایندهای مهم حیاتی در تقسیم یاخته (میتوز و میوز - رک مطالب بعدی) متشکل از یک عده ذرات رشته مانند یا میله‌ای شکل، که کروموزم نامیده می‌شوند، پدیدار می‌شوند که تعدادشان ۸، ۱۲ و یا ۴۶ در انسان می‌شود. اما در واقع باید این اعداد را به شکل ۲×۴، ۲×۶، ۲×۲۳، ..... می‌نوشتیم و به بیان مفهوم متداول زیست‌شناسان، از دو دسته ذرات حرف می‌زدیم. چونکه گرچه گهگاه کروموزم‌های منفرد به روشنی تمییز داده می‌شوند و از روی شکل و اندازه منفرد می‌شوند، هر دو دسته تقریباً به‌طور کامل یکسان‌اند. چنانچه هم‌اکنون خواهیم دید یک دسته از مادر (یاخته تخم) و یک دسته هم از پدر (اسپرماتوزوئید بارور کننده) می‌آید. این کروموزم‌ها، یا شاید تنها تار اسکلت محوری آن چیزی که عملاً در زیر میکروسکوپ به عنوان کروموزم می‌بینیم، هستند که تمامی طرح رشد آتی فرد و کارکرد آن در حالت بالغ را در اختیار دارند. هر دسته کامل کروموزم دارای رمز کامل است و علی‌القاعده دو نسخه از رمز کامل در یاخته‌ی بارور حضور دارد که ابتدایی‌ترین مرحله‌ی فرد آینده را تشکیل می‌دهد.

اینکه ساختار تار کروموزوم را یک رمز نوشته نامیده‌ایم منظورمان همان چیزی است که زمانی لاپلاس آن را ذهن تمام‌گشای می‌انگاشت، ذهنی که هر رابطه‌ای علی‌اناً برایش گشوده می‌شد و از ساختارشان می‌توانست بگوید که آیا یک تخم تحت شرایط مناسب به خروسی سیاه، مرغی خالدار، یک مگس یا یک علف ذرت، یک خرنده، یک جیرجیرک، یک موش، یا یک زن رشد و تکامل خواهد یافت. به این مفهوم این راهم باید افزود که بیشتر اوقات ظواهر یاخته‌های تخم بسیار مشابه‌اند و حتی در مواردی که این چنین نیست، مانند تخم نسبتاً بزرگ پرندگان یا خرنده‌گان،

---

۱. یعنی ماده‌ای که توسط فرایند رنگ‌آمیزی خاصی که در روش‌های میکروسکوپی به کار می‌رود، رنگین می‌شود.



تفاوت آنقدرها در ساختارهای اساسی نیست که در مواد غذایی، که به دلایلی روشن افزونتر می‌باشند.

### ۱۳. رشد بدن به وسیله تقسیم یاخته (میتوز)

کروموزم‌ها در رشد فردی (ontogenesis) <sup>۱</sup> چگونه رفتار می‌کنند؟  
رشد یک زیستمند از تقسیم‌های پیاپی یاخته حاصل می‌شود. اینجور تقسیم یاخته را میتوز می‌نامند. با توجه به تعداد بیشمار یاخته‌ای که بدن، را می‌سازند، این رویداد، آن طور که انتظار می‌رود، یک رویداد خیلی مکرر در حیات یاخته نمی‌باشد. در ابتدا رشد تند است و یاخته تخم به دو «یاخته دختر» تقسیم می‌شود که در گام بعدی نسلی متشکل از ۴ و سپس ۸، ۱۶، ۳۲، ۶۴ و... غیره را پدید می‌آورد. بسامد (فرکانس) تقسیم دقیقاً در تمامی قسمت‌های پیکر رشد یابنده یکسان نمی‌ماند، از این رو نظم اعداد بالا حفظ نمی‌شود. اما با یک حساب ساده می‌توان از روی افزایش تند آنها فهمید که به طور میانگین ۵۰ تا ۶۰ تقسیم پیاپی برای تولید یاخته‌های یک انسان بالغ - و یاده برابر آن با توجه به تبادل یاخته‌ها در طول حیات <sup>۲</sup> بسنده می‌کند. بنابراین یاخته‌های بدن من به طور میانگین اخلاف پنجاهم یا شصتم یاخته تخمی هستند که از آن ریشه گرفته‌ام.

### ۱۴. در میتوز هر کروموزم همانندسازی می‌شود

کروموزم‌ها در میتوز چه می‌کنند؟ آنها دو برابر می‌شوند - هر دو دسته، هر دو نسخه رمز، همانندسازی می‌کنند. این فرایند به شدت زیر میکروسکوپ بررسی شده ولی برای تشریح مفصل در اینجا خیلی پیچیده است. نکته شایان توجه اینکه هر یک از دو «یاخته دختر» جهیزیه‌ای حاوی دو دسته اضافه و کامل از کروموزم‌ها که عیناً مانند یاخته والد هستند، دریافت می‌کند. بنابراین از لحاظ گنجینه <sup>۳</sup> کروموزمی همه یاخته‌های بدن دقیقاً یکسان‌اند.

۱. رشد فرد در طول عمرش - در مقایسه با تطور گونه‌ای (phylogenesis) طی دوران‌های زمین شناختی  
۲. به طور خیلی تقریبی یکصد یا یکهزار میلیارد  
۳. امید است زیست‌شناسان بخاطر اینکه در این شرح کوتاه، مورد استثنای موزائیکی را اشاره نمی‌کنم، مرا می‌بخشند.

از آنجاکه از این ابزار خیلی کم سردر می‌آوریم و جز این نمی‌توانیم گمان بریم که این که همهٔ یاخته‌ها، حتی کم‌اهمیت‌ترها، نسخه‌ای کامل (یک جفت) از رمز نوشته را در اختیار داشته باشند به گونه‌ای با کارکرد زیستمند خیلی مرتبط است. زمانی پیش روزنامه‌ها بما گفتند که ژنرال مونتگومری در کارزار آفریقایی اش این نکته را مدنظر داشت که هر یک از سربازانش از تمامی طرح وی به دقت مطلع باشد. اگر چنین چیزی درست باشد (که باتوجه به هوشیاری و قابلیت اعتماد لشگریانش، امکان دارد) شباهتی عالی و بسیار بجایی با مورد ما خواهد داشت. شگفت‌آورترین واقعیت، دو برابر شدن دسته کروموزم‌هاست که در سراسر تقسیم‌های میتوزی پابرجاست. اینکه این امر جنبه‌ی برجسته‌ی ساختکار ژنتیکی است، به بهترین وجه از یک و تنها یک استثنا از این قاعده روشن می‌شود که اکنون پیرامون آن به بحث می‌پردازیم.

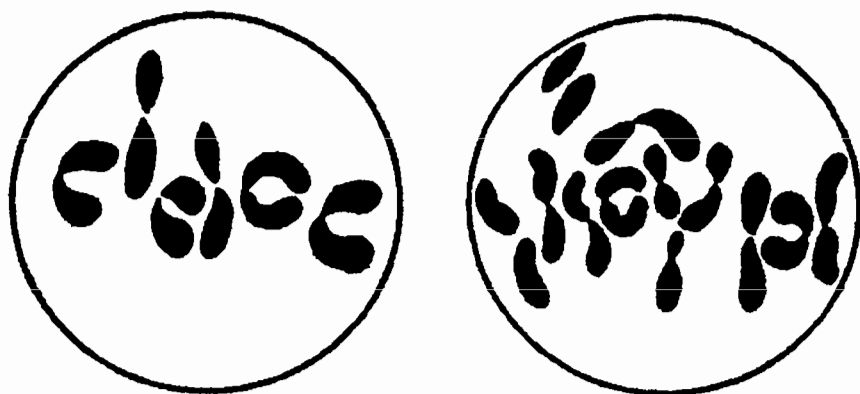
### ۱۵. تقسیم کاهشی (میوز) و باروری (ادغام گامت‌ها)

اندکی پس از این که رشد فرد آغاز شد. دسته‌ای از یاخته‌ها برای پدید آوردن گامت‌ها، یعنی یاخته‌های اسپرم و یا تخم، در مرحله‌ای واپسین، ذخیره می‌شوند که بسته به مورد، برای تولید مثل فرد به هنگام بلوغ مورد نیازاند. «ذخیره یا رزرو شدن» بدین معنی است که این یاخته‌ها در این مدت به کار دیگری نمی‌آیند و تقسیم‌های میتوزی بسیار کمتری پیدا می‌کنند. تقسیم استثنایی یا کاهشی (به نام میوز) راهی است که سرانجام در بلوغ، از این یاخته‌های ذخیره، گامت‌ها پدید می‌آیند، که علی‌القاعده تنها اندکی پیش از ادغام گامت‌ها syngamy رخ می‌دهد. در تقسیم میوزی دسته جفت کروموزم یاختهٔ والد به دو دسته منفرد تقسیم می‌شود، که هر کدامشان به یکی از دو یاختهٔ دختر یعنی گامت‌ها می‌روند. به عبارتی در میوز، دو برابر شدن کروموزم انسان که در میتوز رخ می‌دهد، پیش نمی‌آید بلکه تعداد کروموزم‌ها ثابت می‌ماند و در نتیجه هر گامت تنها نیمی از آن، یعنی تنها یک دسته کامل از رمز، نه دو تا از آن را، دریافت می‌کند، برای نمونه در انسان تنها ۲۳، نه  $46 = 2 \times 23$  کروموزم.

یاخته‌هایی که تنها یک دسته کروموزم دارند، «تک نهاد» (haploid) - از کلمه یونانی haplós به معنای منفرد) می‌نامند. بنابراین گامت‌ها تک نهادند و

یاخته‌های معمولی «جفت نهاد» (diploid - از کلمه *diplóos* به معنای جفت). گهگاه افرادی یافت می‌شوند که همهٔ یاخته‌های بدنشان سه، چهار،... و یا به طور کلی چندین دسته کروموزوم، دارند که اینها را به ترتیب «سه نهاد»، «چهار نهاد» و یا «چند نهاد» tetraploid, triploid., polyploid، می‌نامند. در عمل ادغام، گامت نر (اسپرماتوزوئید) و گامت ماده (تخم) که هر دو تک نهادند، به هم جوش می‌خورند و تشکیل یاخته بارور که یک جفت نهاد است، می‌دهند. در این یاخته یک دسته از کروموزوم از مادر و دسته دیگر از پدر می‌آید.

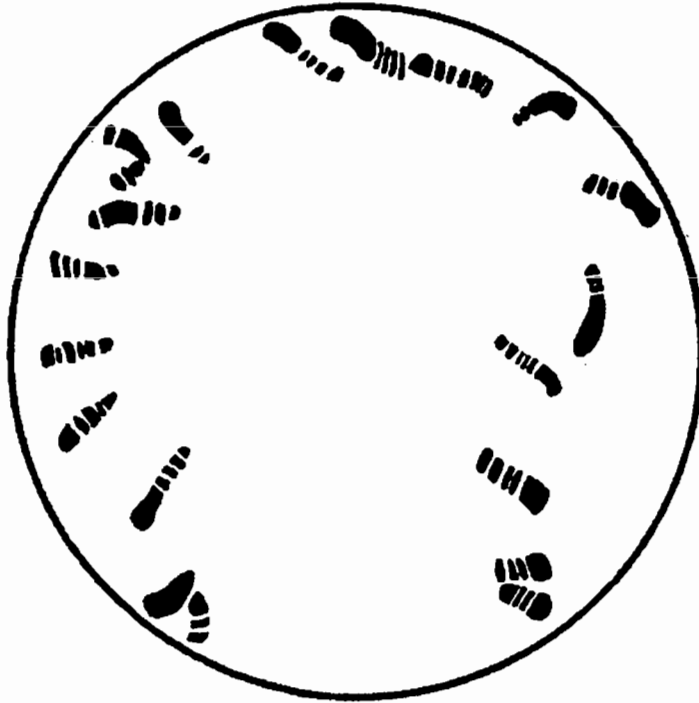
شکل‌های ۵ و ۶ به این مقصود که بدانید کروموزوم‌ها در زیر میکروسکوپ چگونه به نظر می‌رسند، ارائه شده‌اند.\* در شکل ۷ کوشیده‌ام تا چهره‌ای از سه فرایند اساسی میتوز، میوز و ادغام (باروری) را در مورد مگس کوچک میوه موسوم به درزفیل (Drosophila) که نقش بسیار برجسته‌ای در ژنتیک نوین بازی می‌کند و عدد کروموزومی (تک نهاد haploid) ۴ دارد، به ترسیم درآورم. این چهار کروموزوم گوناگون مطابق راهنمای (الف) در درون شکل متمایزگشته، که در آن دسته کروموزوم یک یاخته جفت نهاد (diploid) جسمانی، در مقیاس بزرگ نمایش داده شده است. این کار برای فهم نگاره‌های (ب) تا (د) که صرفاً ترسیمی و در مقیاس کوچکتر



شکل ۵. کروموزوم‌های جفت شده در یاخته‌های مادری گردهٔ دو نوع گونه از *Tradescantia*. سمت راست: شش جفت موجود در یک یاخته که تثبیت و با رنگ آستیک آرسنین رنگ‌آمیزی شده است (رونمایی از یک عکس). سمت چپ: دوازده جفت در یک یاخته‌ی زنده (پس از عکس برداری با نور فرابنفش و درشت‌نمایی ۱۰۰۰×).

\* برای ناآشنایان، کتب زیست‌شناسی دبیرستان توصیه می‌شود. م

کشیده شده‌اند. برای رهایی وجدان باید اعتراف کنم که در مورد میوز هم در شرح پیشین و هم در نگاره، یک ساده انگاری به کار برده‌ام که برای منظوری که داریم اهمیتی ندارد.<sup>۱</sup>



شکل ۶. کروموزم‌های گرسنگی کشیده‌ی دانه‌های گرده‌ی *Fritillaria pudica* پس از سرما دادن. نوارهای کمرنگ قطعات بی‌اثر را نشان می‌دهند (پس از عکسبرداری در  $\times 1800$ ).

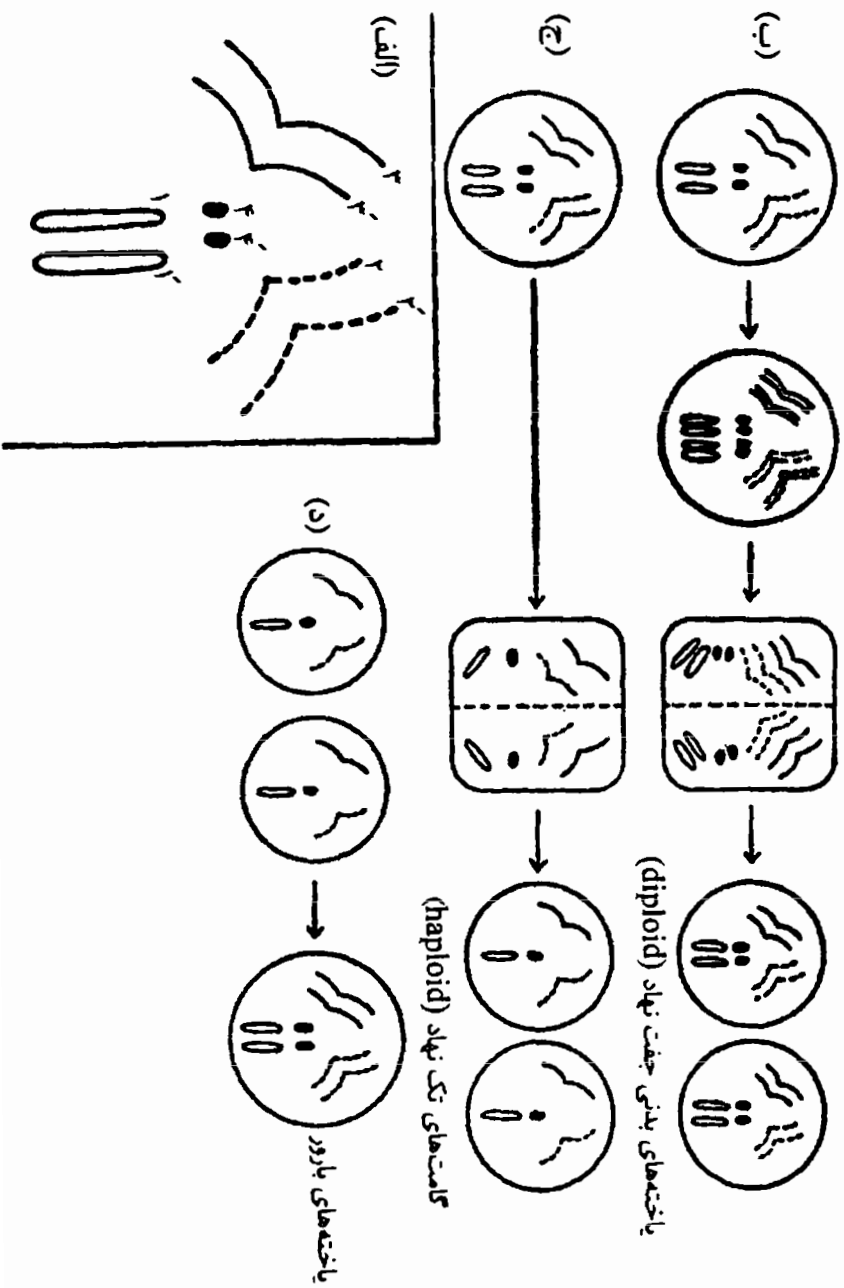
## ۱۶. افراد تک نهاد (haploid)

یک نکته دیگر نیاز به توضیح دارد اگرچه برای منظور ما لازم نمی‌باشد واقعاً جالب است زیرا در واقع نشان می‌دهد که یک رمز نگاشته نسبتاً کامل از «طرح» در هر دسته منفرد از کروموزم‌ها حضور دارد.

مواردی از میوز است که کمی بعد از باروری دنبال نمی‌شود و یاخته تک نهاد (گامت) در آن فرصت تقسیم‌های متعدد میتوزی پیدا می‌کند و منجر به ساخت یک

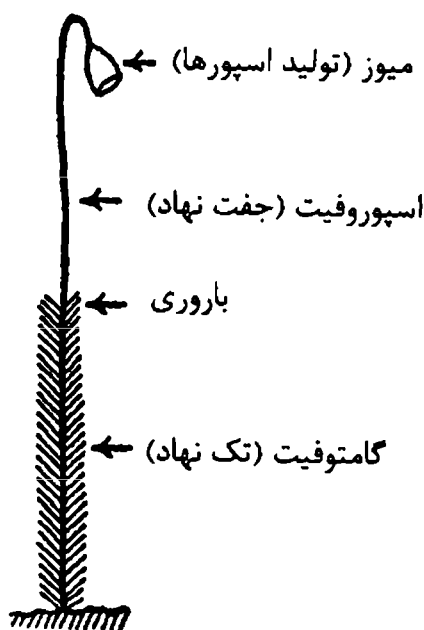
---

۱. در واقع میوز یک تقسیم بدون دو برابر شدن شمار کروموزم نیست، بلکه دو تقسیم پیاپی است که تقریباً تنها با یک دو برابر شدن پیوستگی دارد. نتیجه این می‌شود که به سادگی یکباره چهار گامت تک نهاد (haploid) پدید می‌آید نه دوتا.



شکل ۷. الف) -  $2 \times 4$  کروموزوم یک‌بایخته‌ی جسمانی در زئولا. شکلها نشانگر چهار جفت همانند (homologous) است که در ترسیم‌های بعدی اقتباس شده‌اند. ب) - تقسیم طبیعی (میوز) یک بایخته بدنی جفت نهاد. ج) - تقسیم کاهش‌ی (میوز) یک بایخته بدنی جفت نهاد، که تشکیل گامت‌های تک نهاد می‌کند. د) - باروری (syngamy). یک نهاد گامت‌های نر و ماده متحد شده یک تخم بارور جفت نهاد پدید می‌آورند.

موجود کاملاً تک نهاد می‌شود. چنین است در مورد زنبور نر که از یاخته‌های بارور نشده و لذا تخم‌های تک نهاد ملکه یا به اصطلاح به طریق parthenogenetic تولید می‌شود. به عبارتی زنبور نر پدر ندارد! تمامی یاخته‌های آن تک نهاداند و اگر دلتان خواست می‌توانید آنرا یک اسپرم خیلی بزرگ شده بیانگرید و در واقع چنانچه همه می‌دانند ایفای چنین نقشی یک وظیفه و تنها در عمرش به شمار می‌آید. با این وجود چنین دیدگاهی شاید مسخره باشد زیرا این مورد آنطورها منحصر به فرد نیست. خانواده‌هایی از گیاهان اند که در آن‌ها گامت تک نهادی که در این موارد از میوز حاصل می‌شود و اسپور (spore) گفته می‌شود، به زمین می‌افتد و مانند یک تخم به یک گیاه تک نهاد واقعی رشد می‌کند که قابل مقایسه با جفت نهاد است. شکل (۸) ترسیم ساده‌ای از یک خزه (moss) را که در جنگلها می‌شناسیم، نشان می‌دهد.



شکل ۸. تناوب نسل‌ها

قسمت برگردار پائین که گامتوفیت (gametophyte) گفته می‌شود، تک نهاد است و در انتهای بالایی‌اش اندام‌های جنسی و گامت‌ها تکمیل می‌شوند که از طریق باروری متقابل به روش معمولی گیاهی جفت نهاد، یعنی ساقه برهنه‌ای که در انتهایش کپسولی دارد، بوجود می‌آورند. این ساقه را اسپوروفیت (sporophyte)

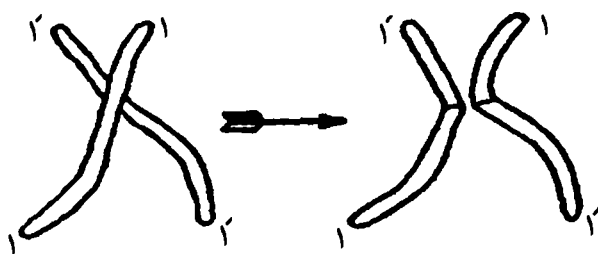
می‌گویند چون که از راه میوز اسپورهایی را در کپسول بالایی پدید می‌آورد. هنگامی که کپسول باز می‌شود، اسپورها به زمین می‌افتند و به شکل یک ساقه برگدار رشد می‌کنند، و غیره. البته به درستی این رویدادها را تناوب نسل‌ها گفته‌اند. شاید بشود بهمین ترتیب چنانچه بخواهیم به موارد معمولی مانند انسان و حیوانات نیز چنین بنگریم. اما در نتیجه علی‌القاعده، گامتوفیت (gametophyte) - بسته به مورد - نسل تک یاخته‌ای، اسپرم یا تخم با عمری خیلی کوتاه است. بدن ما با اسپورفیت مطابقت دارد و اسپورهای ما یاخته‌های ذخیره شده‌ای هستند که از آنها به طریق میوز، نسل تک یاخته‌ای سرچشمه می‌گیرد.

### ۱۷. نقش برجسته تقسیم کاهشی

رویداد مهم و واقعاً سرنوشت ساز در تولید مثل فرد، باروری نیست بلکه میوز است. یک دسته کروموزم‌ها از پدر و دسته‌ای هم از مادر است. نه شانس و نه سرنوشت می‌تواند در آن دخالت کند. هر مرد یا هر زن<sup>۱</sup> نیمی از وراثتش را به مادر و نیمی به پدر می‌دهد و اینک اغلب یکی از آنها غلبه دارند، به دلایلی است که بعداً به آن می‌رسیم. (البته خود جنسیت ساده‌ترین مورد چنین غلبه‌ای است).

اما هنگامی که منشاء وراثت خود را به پدر بزرگ و مادر بزرگتان ردیابی می‌کنید، مورد فرق می‌کند. بگذارید توجهم را به دسته‌ای از کروموزم‌های پدری‌ام به ویژه یکی‌شان مثلاً شماره ۵ متمرکز کنم. این نسخه‌ای است درست همانند شماره پنجگی که پدرم از پدرش گرفته و یا پنجگی که از مادرش گرفته است. این که کدام را گرفته با احتمال ۵۰:۵۰ در میوزی تعیین شده است که در بدن پدرم در نوامبر ۱۸۸۶ رخ داده و تولید اسپرمی نموده که چند روز بعد در پیدایش من نقش داشته است. دقیقاً همین داستان را می‌توان درباره کروموزم‌های ۱، ۲، ۳، ... و ۲۳ در دسته پدری‌ام و بهمین ترتیب عیناً درباره هر یک از کروموزم‌های مادری‌ام، تکرار کرد. نکته این است که همه این ۴۶ مورد کاملاً از هم مستقل‌اند. اگر شده بود که بدانیم که کروموزم ۵ پدری از پدر بزرگم ژوزف شرودینگر آمده، باز هم کروموزم شماره ۷ با شانسی برابر می‌توانست از وی و یا از همسرش Marie née Bogner باشد.

۱. برای پرهیز از اطاله کلام در این خلاصه از حیطة بسیار جالب تعیین جنسیت و خصوصیات وابسته به جنس (مانند کوررنگی) چشم پوشی کرده‌ام.



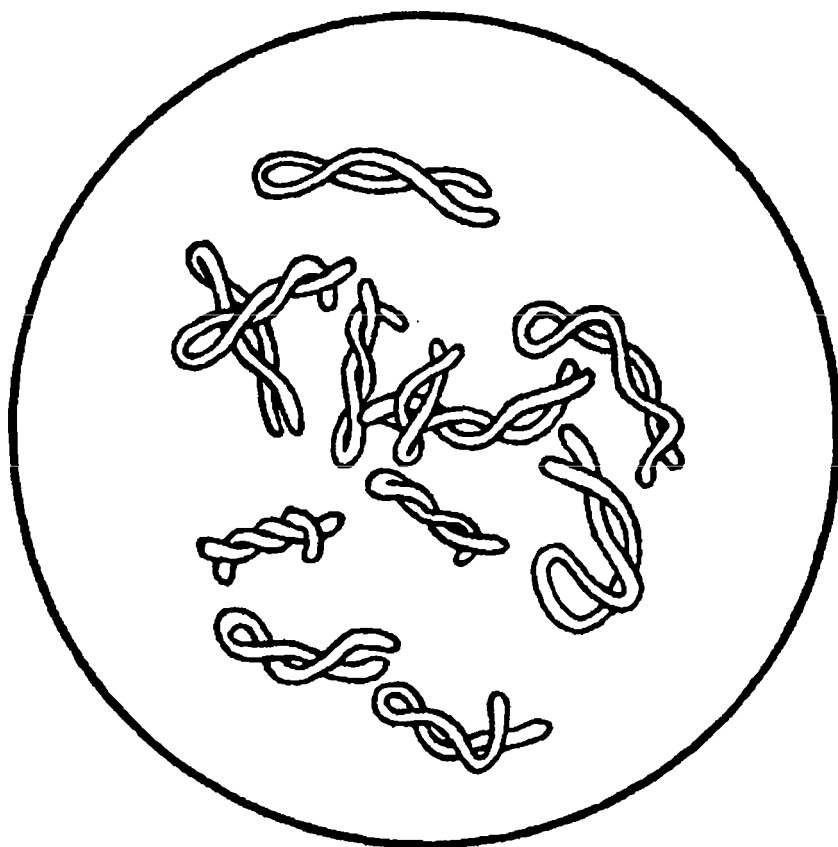
شکل ۹. تقاطع (crossing-over): سمت چپ: دو کروموزم همتا به هنگام تماس. سمت راست: پس از مبادله پاره‌ها و سوا شدن از هم

## ۱۸. تقاطع محل خصوصیات

اما در اختلاط وراثتی اجداد فرصتی گسترده‌تر از آنچه در بخش پیشین به نظر رسید، به شانس و اقبال داده شده است. در آنجا به طور ضمنی فرض و یا حتی آشکارا گفته شد که تمامی یک کروموزم یا از مادر بزرگ و یا از پدر بزرگ است. به عبارتی کروموزم‌های منفرد بدون تقسیم تحویل داده می‌شوند در حالی که در واقعیت عمل همیشه این چنین نیست. پیش از آنکه فرضاً در بدن پدر تقسیم کاهشی روی دهد هر دو کروموزم «همتا» (homologous) در تماس تنگاتنگ با هم قرار می‌گیرند که گهگاه در حین این تماس، پاره‌هایی از خود را مطابق شکل ۹ مبادله می‌کنند. شکل ۱۰ ترسیمی از عکس مربوط به چنین رویدادی را که در آن حتی تماس‌های نزدیک‌تر و چندگانه رخ داده، نشان می‌دهد. در نتیجه این فرایند، که «تقاطع» (crossing-over) گفته می‌شود، دو خاصیت که در پاره‌های مربوطه آن کروموزم واقع‌اند در نوه از هم سوا خواهند بود و در یکی پیرو پدر بزرگ و در دیگری پیرو مادر بزرگ خواهد بود. پدیده تقاطع که نه به ندرت و نه مکرر رخ می‌دهد، اطلاعات بسیار ارزنده‌ای راجع به جایگاه خصوصیات در کروموزم‌ها به ما داده است.

برای توجیه کامل می‌بایست مفاهیمی را مطرح کنیم که پیش از فصل بعد ارایه نشده‌اند (مانند ناهم جفتی heterozygosity و غلبه dominance). اما چون این امر ما را از گستره این کتابچه بیرون می‌برد، بگذارید بی‌درنگ به نکته‌ی قابل توجه اشاره کنم.





شکل ۱۰. دوازده کروموزم جفت شده در یک یاخته مادر گرده سوسن *Fritillaria Chitalensis*. نقاطی که حلقه‌ها به هم می‌رسند نشانه موقعیت‌های تقاطع میان کروموزم‌ها است (از عکسی با بزرگنمایی ۱۶۰۰×)

اگر تقاطعی رخ نمی‌داد، دو خاصیت که از یک کروموزم ریشه می‌گرفتند همیشه با هم منتقل می‌شدند، یعنی هیچ خلفی یکی از آنها را بدون دیگری دریافت نمی‌کرد. اما اگر دو خاصیت از دو کروموزم متفاوت گرفته شوند، یا به احتمال ۵۰:۵۰ از هم جدا می‌شوند و یا اینکه تماماً از هم جدا می‌شوند. مورد اخیر هنگامی است که آنها روی کروموزم‌های همتای یکی از اجداد واقع‌اند، که هرگز نمی‌توانند با هم بروند.

این قواعد و شانسیها در اثر تقاطع به هم می‌ریزد. بنابراین احتمال بروز چنین رخدادی را می‌توان از روی ثبت دقیق ترکیب درصد فرزند طی آزمایش‌های تناسل مفصلی که برای چنین منظوری برنامه‌ریزی شده، بدست آورد. در بررسی آماری از

این فرضیه‌ی کاری استقبال می‌شود که هر چه دو خصلت واقع بر روی یک کروموزم به هم نزدیکتر باشند به هنگام تقاطع وابستگی‌شان (linkage) کمتر از هم گسسته می‌شود زیرا شانس اینکه نقطه تبادل میان آنها باشد، کمتر است. در صورتی که خصوصیات واقع در دو انتهای کروموزم در هر تقاطع از هم سوا می‌شوند. (عین همین مطلب درباره‌ی ترکیب مجدد خصوصیات واقع بر کروموزم‌های همتای یک نیا صدق می‌کند.) باین ترتیب انتظار می‌رود که از روی «آمار وابستگی» بتوان به گونه‌ای «نقشه خصوصیات» در هر کروموزم دست یافت.

این پیشگویی‌ها کاملاً تأیید شده‌اند. در مواردی که موفق به آزمایش کامل شده‌اند (عمدتاً درباره‌ی درزُفیل، اما نه فقط این موجود) خصوصیات مورد آزمون حقیقتاً به همان تعداد گروه مجزا که با هم وابستگی ندارند تقسیم می‌شوند که کروموزم‌های گوناگون (چهارتا درزُفیل) وجود دارد. در درون هر گروه می‌توان یک نقشه خطی از خصوصیات را ترسیم کرد که به‌طور کمی توجیه‌گر میزان وابستگی بین هر کدام از دو گروه‌ها می‌باشد. بنابراین کمترین تردیدی نیست که این گروه‌ها در روی یک خط قرار گرفته‌اند و خود شکل میله‌ای کروموزم نشانگر این امر است.

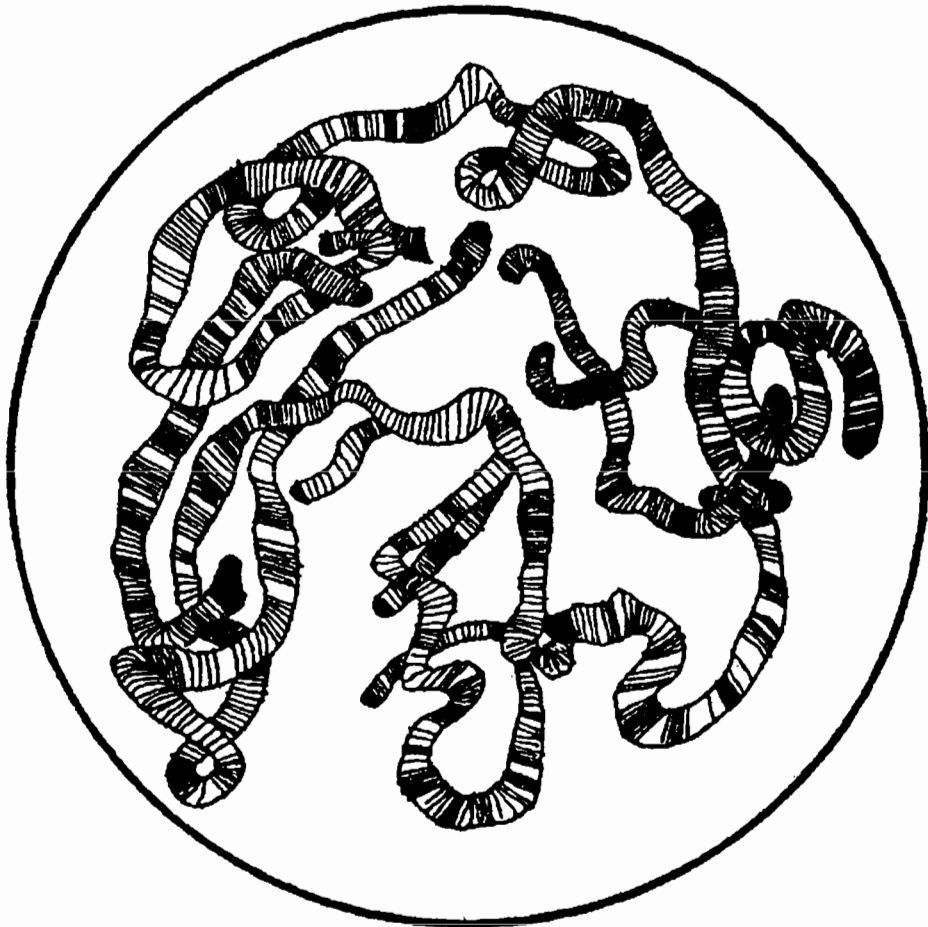
البته این ترسیمی که تا اینجا از ساختار وراثت ارایه شده، خیلی خالی و بیرنگ و حتی ساده‌لوحانه است، چونکه هنوز دقیقاً نگفته‌ایم که منظورمان از خصوصیت چیست. به نظر کافی و ممکن نمی‌آید که بتوان طرح یک زیستمند را که اساساً یک واحد یا یک «کل» است به «خصوصیات» مشخصی تفکیک کرد. آنچه واقعاً در هر مورد می‌گوییم این است که یک جفت نیا از یک جنبه‌ی خاص و کاملاً مشخص (گیریم که یکی چشمانش آبی و دیگری قهوه‌ای) تفاوت داشتند و اینکه فرزندشان از این لحاظ یکی از این دو را دنبال می‌کند. آنچه را در کروموزم شناسایی می‌کنیم جایگاه این تفاوت است. (که آن را به زبان تخصصی «کانون» (locus) یا اگر ساختاری فرضی مادی رازیربنای آن تصور کنیم، «ژن» می‌نامیم.) به نظرم تفاوت خصوصیت و نه خود خصوصیت واقعاً مفهوم بنیادی محسوب می‌شود اگرچه متوجه تضاد ادبی و منطقی این بیان هستم. هنگامی که در فصل بعد از جهش‌ها سخن بگوییم و بحث از این حالت خشکی که تاکنون داشته بیرون آید و رنگ و روحی به خود بگیرد، خواهیم دید که تفاوت‌های خواص واقعاً مشخص و منفرداند.

## ۱۹. حداکثر اندازه ژن

ما واژه ژن را برای حامل مادی و فرضی یک خصیصه ارثی مشخص به کار بردیم. اکنون می‌بایست دو نکته را که به بحثمان مربوط می‌شود، مورد تاکید قرار دهیم. نخست اندازه آن یا بهتر بگوییم حداکثر اندازه چنان حاملی است یعنی تا چه حجم کوچکی می‌توان موقعیت آن را ردیابی کرد. نکته دوم تداوم یا دایمی بودن ژن است، که از پایداری طرح وراثتی استنباط می‌شود.

درباره‌ی اندازه دو گمانه‌ی مستقل وجود دارد، یکی مبتنی بر شواهد ژنتیکی است (آزمایش‌های تناسل) و دیگری بر شواهد یاخته‌شناختی (رویت مستقیم در زیر میکروسکوپ) استوار است. اولی در اصل خیلی ساده است. پس از آنکه موقعیت شمار قابل توجهی از خصایص (کلان یا درشت‌مقیاس) یک موجود (مانند درزفیل) را در یکی از کروموزم‌های خاص آن شناسایی کردند، تنها کافی است که طول آن کروموزم را به تعداد آن خصایص تقسیم و حاصل را در سطح مقطع ضرب کنیم. چونکه البته ما تنها چنان خصایصی را متفاوت می‌خوانیم که گهگاه در نتیجه‌ی تقاطع از هم سوا می‌شوند و در نتیجه نمی‌توانند ناشی از یک ساختار (میکروسکوپی یا ملکولی) واحد باشند. از سوی دیگر روشن است که تخمین ما تنها می‌تواند یک اندازه‌ی حداکثر را بدهد زیرا که همزمان با پیشرفت کار تحلیل‌های ژنتیکی، شمار خصایص هم پیوسته افزایش می‌یابد.

گمانه دیگر، اگرچه مبتنی بر بررسی‌های میکروسکوپی است، در واقع خیلی کمتر سراسر است. برخی یاخته‌های درزفیل (برای نمونه، یاخته‌های غدد بزاقی آن) به دلایلی بسیار بزرگ شده هستند و همچنین کروموزم‌هایشان. در این کروموزم‌ها نوارهای تاریک بسیار زیادی در عرض تارها مشاهده می‌شود، شکل (۱۱). C.D. Darlington گفته است که گرچه تعداد این نوارها (۲۰۰۰ در موردی که وی به کار می‌برد) قدری بیشتر است اما رویهمرفته تقریباً برابر تعداد ژن‌هایی است که از طریق آزمایش‌های تخم‌کشی (تناسل) برای آن کروموزم بدست آمده است. از این رو وی گمان دارد که این نوارها نشانگر ژن‌های واقعی (یا فاصله ژن‌ها) هستند. وی، در مورد یک یاخته با اندازه متعارف از تقسیم درازای کروموزم به تعداد ژن‌ها (۲۰۰۰)، حجم ژن را برابر حجم مکعبی به ضلع ۳۰۰ آنگسترم برآورد می‌کند. با توجه به



شکل ۱۱. هسته یاخته غده ترشحی مگس دَرزُفِیلا *Drosophila melanogaster* در حالت آرامش. کروموزم‌ها هشت بار تکثیر شده‌اند و به شکل یک سلسله صفحات پهن هر کدام حاوی ۲۵۶ ژن در آمده‌اند. ژنهای درشت‌تر نوارهای تیره‌تری دارند. (از روی عکسی با بزرگنمایی ۱۵۰۰×).

تقریبی بودن این تخمین می‌توان آن را برابر اندازه‌ای که از روش نخست به دست می‌آید تلقی نمود.

## ۲۰. اعداد کوچک

بحث کامل پیامدهای فیزیک آماری بر همه حقایقی که می‌گویم - یا شاید بگویم پیامدهای این حقایق در کاربرد فیزیک آماری در یاخته زنده - بعداً می‌آید. اما در اینجا بگذارید توجه‌تان را به این نکته جلب کنم که ۳۰۰ آنگسترم برابر ۱۰۰ یا ۱۵۰ فاصله اتمی در یک مایع یا جامد است، بنابراین یک ژن قطعاً نمی‌تواند بیش از یک یا

چند میلیون اتم داشته باشد. چنانچه دیدیم این عدد (از دیدگاه دستور  $\sqrt{n}$ ) طبق فیزیک آماری - یعنی طبق فیزیک - برای اینکه واجد رفتار منظم و قانونمند باشد خیلی کوچک به شمار می آید. حتی اگر همه این اتمها نقشی یکسان می داشتند، چنانچه در گاز یا یک قطره مایع چنین است، باز هم کوچک می بود. در حالی که یک ژن قطعاً و مطمئناً یک قطره یکنواخت نمی باشد. شاید ملکول پروتئینی\* بزرگی است که در آن همه اتمها، همه بنیانها، همه حلقه های نامتجانس (heterocyclic) نقشی جداگانه ایفا می کنند. که تقریباً با نقش اتمها، بنیانها و حلقه های مشابه تفاوت دارد. به هر تقدیر این عقیده پیشگامان علم ژنتیک چون هالدین (Haldane) و دارلینگتون است و به زودی به آزمایش های ژنتیکی اشاره می کنیم که تا حد بسیار زیادی این نظریه را ثابت می کنند.

## ۲۱. جاودانگی

اکنون به پرسش بسیار مرتبط دوم پردازیم: در وراثت با چه میزان از جاودانگی در خصلت ها روبرو هستیم و به ساختار مادی حامل شان چه باید نسبت دهیم؟ در واقع پاسخ این پرسش را بدون هیچ بررسی خاصی می توان داد. خود همین امر که از خواص ارثی سخن می گوئیم تائیدی بر مطلق بودن جاودانگی است. نباید فراموش کرد که آنچه از پدر یا مادر به فرزند می رسد این یا آن ویژگی مانند بینی خمیده، انگشتان کوچک، آمادگی ابتلا به روماتیسم، هموفیلی، دورنگی، و غیره نیست. چنین خصایصی رامی شود به آسانی برای بررسی قوانین وراثت برگزید. بلکه در حقیقت کل انگاره (چهار بعدی) «روبنای ژنتیکی» (phenotype) یعنی سرشت ظاهر و مشهود فرد است که بدون تغییر قابل توجهی طی نسل ها از نو ساخته شده و طی قرن ها پایدار مانده - گرچه نه طی ده ها هزار سال - و در هر انتقال عمل حمل توسط ساختار مادی هسته های دو یاخته، که با اتحادشان یاخته بارور شده را می سازند، انجام می شود.

---

\* امروزه می دانیم که ژن بخشی کوچک از ملکول دو رشته ای بسیار بلند (مارپیچ مضاعف) دی.ان.ا. (DNA) است که با برخی پروتئین ها در هسته یاخته اندرکنش دارد و رویهمرفته با همکاری این پروتئین ها نقش خود را ایفا می کند. م

این یک شگفتی است که فراتر از آن تنها یکی بزرگتر وجود دارد، که اگر هم با آن رابطه تنگاتنگ دارد، در ترازوی متفاوت واقع است. منظورم این واقعیت است که ما، که تمامی وجودمان بر عملکرد متقابلی شگفت و دقیقاً از همین نوع مبتنی است، در عین حال توانایی آن را داریم که دانش قابل توجهی راجع به آن پیدا کنیم. فکر می‌کنم امکان دارد که این دانش تانزدیکی فهم کامل از شگفتی نخست به پیش رود. اما دومی شاید ورای درک بشری باشد.

### ۳. جهش‌ها

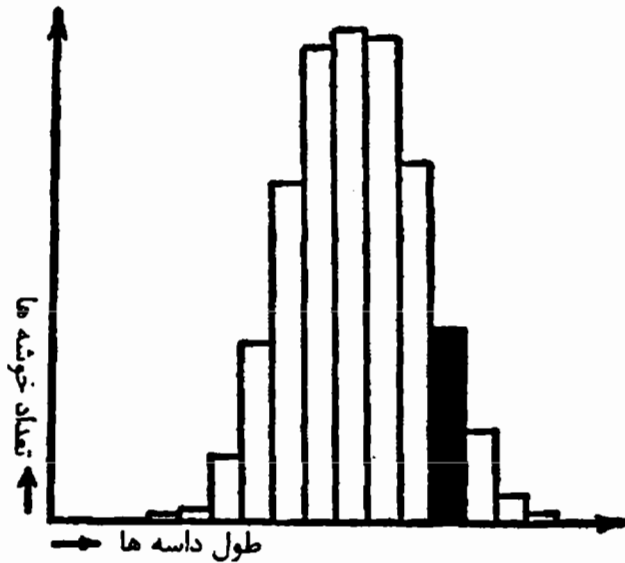
و آنچه در ظاهری لرزان به اهتزاز است تو با اندیشه‌هایی جاودانه ثابتش خواهی داشت.  
کوتاه

#### ۲۲. جهش‌های «پرش مانند» - زمینه کارکرد گزینش طبیعی

حقایق کلی که تاکنون به عنوان شاهد تداوم مورد ادعا برای ساختار ژن، پیش رو گذاشتیم شاید آنقدر برای ما آشنا باشند که جالب یا قانع‌کننده به نظر نرسند. اما در اینجا برای یک بار این گفته‌ی معمول که استثناءها قاعده را اثبات می‌کنند، مصداق دارد. اگر در شباهت فرزندان و والدین استثنایی وجود نمی‌داشت، نه تنها از آزمایش‌هایی که مفصلاً راهکار وراثت را بر ما آشکار کرده محروم می‌شدیم، بلکه از آن آزمایش‌های عظیم و میلیون‌برابری طبیعت که گونه‌ها را بر اساس گزینش طبیعی و بقای مناسب‌ترین شکل می‌دهد، نیز.

بگذارید این موضوع مهم و آخر را برای شروع بحثم در آرایه حقایق مربوطه بردارم - باز با معذرت و یادآوری این که من یک زیست‌شناس نیستم.

امروزه به یقین می‌دانیم که داروین در اشتباه بود که تغییرات کوچک، پیوسته و تصادفی، را که حتی در همگن‌ترین جمعیت‌ها احتمال وقوع دارد، به عنوان ماده‌ای که گزینش بر مبنای آن کار می‌کند، تلقی کرد. چونکه ثابت شده اینها به ارث برده نمی‌شوند. این حقیقت به اندازه‌ای کافی مهم است که تشریح کوتاهی را می‌سزد. چنانچه خوشه‌هایی از یک خرمن جو از یک رده‌ی ناب پرورده را برداشته، قد داسه‌های شان را خوشه به خوشه اندازه بگیرید و نتایج آماری‌تان را رسم کنید



شکل ۱۲. آمار طول داسه‌های یک گونه جو ناب پرورده. نوار سیاه برای کشت به کار رفته است (جزئیات مبنای تجربی ندارد بلکه تنها جهت تشریح تنظیم شده است).

نمودار زنگوله‌ای شکلی مانند شکل (۱۲) بدست خواهید آورد. در این شکل تعداد خوشه‌هایی که داسه‌هایی به یک اندازه معین دارند، برحسب قد داسه رسم شده است. به عبارتی: قد متوسط و معینی غلبه دارد و انحرافات نسبت به آن در هر دو سمت با بسامدهایی معین وجود دارد. حال گروهی از خوشه‌ها را بردارید (که در شکل نوار مربوطه‌اش سیاه نشان داده شده) که قد داسه‌هایش از متوسط قدری بلندتر است اما تعدادش آنقدر هست که بتوان در مزرعه کاشت. اگر همین آمارگیری برای این نمونه انجام می‌شد، داروین انتظار می‌داشت که نمودار مربوطه به سمت راست جابجا شود. یعنی انتظار می‌داشت که از راه‌گزینش، میانگین قد داسه افزایش یابد. در حالی که اگر یک رده‌ی واقعی از جو ناب پرورده به کار رفته باشد، چنین چیزی پیش نمی‌آید و نمودار آماری جدید و حاصل از جوهای گزیده شده همانند نخستین نمودار خواهد بود. همچنین است در موردی که اگر در آزمایش از دسته خوشه‌هایی که داسه‌هایشان کوچک است، بهره‌گرفته شود. گزینش ما هیچ اثری ندارد. چونکه تغییرات کوچک و پیوسته به ارث برده نمی‌شوند. اما حدود چهل سال پیش دُوری (de Vries) هلندی مشاهده کرد که حتی در لابلای رده‌های ناب پرورده، شمار بسیار اندکی، مثلاً دو یا سه در ده‌ها هزار، با تغییراتی «پرش مانند» پدیدار می‌شوند.



معنای «پرش مانند» این نیست که تغییر آنقدر زیاد و قابل توجه است، بلکه از این لحاظ که یک عدم پیوستگی در کار است و میان معدودی که تغییر یافته و کثیری که تغییر نکرده‌اند، حدواسطی وجود ندارد. دُوری این را جهش (mutation) نامید. حقیقت مهم، عدم پیوستگی است و این امر فیزیکدان نظریه کوانتومی را بیاد این می‌اندازد که بین دو تراز انرژی مجاور، انرژی حدواسطی وجود ندارد. به این ترتیب فیزیکدان خواهد خواست که نظریه جهش دُوری را به‌طور تمثیل، نظریه کوانتومی زیست‌شناسی بخواند، بعداً خواهیم دید که این امر خیلی بیش از یک تمثیل با ترسیم است. جهش‌ها در واقع بخاطر پرش‌های کوانتومی در ژن‌ها هستند. اما هنگامی که دُوری نظریه‌اش را در سال ۱۹۰۲ اعلام کرد، نظریه کوانتوم دوساله بود. تعجبی ندارد که یک نسل کشید تا ارتباط تنگاتنگ این دو کشف شود.

### ۲۳. تناسلشان درست است، یعنی کاملاً به ارث برده می‌شوند

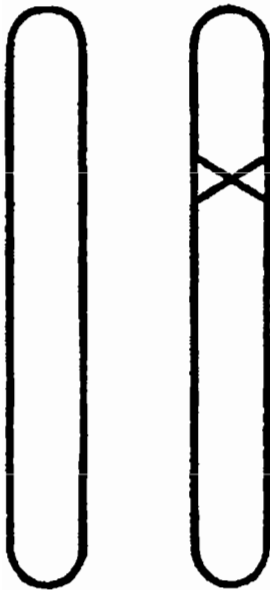
جهش‌ها کاملاً همانگونه که خصوصیات اصلی و تغییر نیافته به ارث برده می‌شود، به ارث برده می‌شوند. برای نمونه، در خرمن جوی که نخست در بالا در نظر گرفتیم، شاید اندکی از خوشه‌ها داسه‌هایی خیلی بیرون از گستره تغییراتی که در شکل (۱۲) دیدیم، دارند، فرضاً اصلاً داسه ندارند. احتمال دارد که اینها نمایشگر یک جهش دُوری باشد و تناسلی واقعی خواهند داشت، یعنی همهٔ اخلافشان هم به تساوی بی‌داسه خواهند بود.

از این رو یقیناً جهش تغییری در ذخیرهٔ وراثتی است و بایست به وسیله نوعی تغییر در ماده‌ی وراثتی توجیه‌شود. به راستی بیشتر آزمایش‌های مهم تناسلی که راهکار وراثت را بر ما آشکار نموده، متشکل از تحلیل‌های دقیق اخلاقی بوده که، طبق نقشه قبلی، از تقاطع میان افراد جهش یافته (یا در خیلی موارد دارای چند جهش) با افراد جهش نیافته و یا افرادی که جهش متفاوتی یافته‌اند، حاصل شده‌اند. از سویی دیگر، جهش‌ها به خاطر تناسل واقعی‌شان، وسیله‌ای مناسب‌اند که گزینش طبیعی می‌تواند کار خود را روی آن پیاده کند و طبق داروین از طریق حذف نامناسب، و زنده نگه داشتن مناسبترین‌ها گونه‌هایی را پدید آورد. یعنی باید در نظریه‌ی داروین بجای «تغییرات اتفاقی اندک»، «جهش‌ها» را به کاربرد (همان‌طور که نظریه کوانتوم هم «پرش کوانتومی» را به جای انتقال پیوسته‌ی انرژی

به کار گرفته است). در سایر جنبه‌ها تغییر اندکی در نظریه داروین لازم بوده، بشرطی که نظری را که بیشتر زیست‌شناسان به آن پابندند، درست فهمیده باشم.<sup>۱</sup>

## ۲۴. استقرار. مغلوب و غالب

در اینجا لازم است برخی حقایق و مفاهیم بنیادین دیگر راجع به جهش‌ها را از نظر بگذرانیم و آنهم باز اندکی به‌طور جزمی، و بدون اینکه مستقیماً نشان دهیم چگونه یکی یکی براساس شواهد تجربی سر برمی‌آورند.

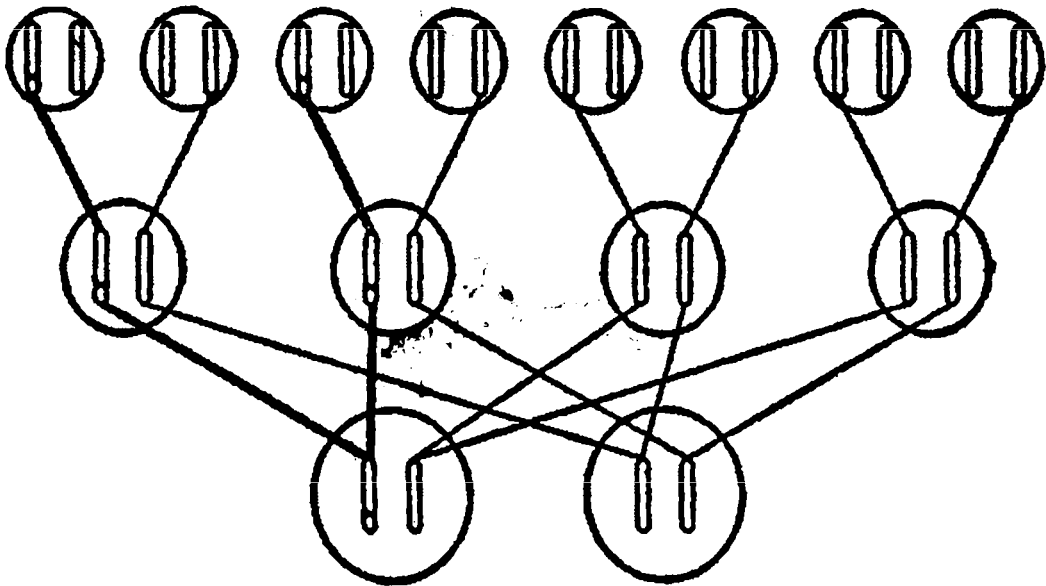


شکل ۱۳. جهش یافته‌های ناهم جفت (heterozygous). ضربدر نشان دهنده‌ی ژن جهش یافته است.

باید انتظار داشت که یک جهش مشهود معین، حاصل تغییری در یک ناحیه‌ی مشخص در یکی از کروموزم‌ها باشد، و چنین نیز هست. نکته مهم اینکه می‌دانیم که این تغییر تنها در یکی از کروموزم‌هاست و نه در کانون (locus) مربوطه‌ی کروموزم هم‌تا (homologous). شکل (۱۳) این موضوع را به‌طور ترسیمی، با علامت ضرب به

۱. درباره‌ی این پرسش که آیا گرایشی قابل توجه در جهش‌ها به این که در جهتی سودمند یا مرجح وقوع یابند به‌گزینش طبیعی کمک کرده است (اگر جانشین آن نشده باشد) بحث‌های کافی صورت گرفته است. نظر شخصی من در این باره اهمیتی ندارد؛ اما لازم است گفته شود که غایت «جهش‌های جهت یافته» در تمامی بحث‌های دنباله‌کنار گذاشته شده است. افزون بر این در اینجا نمی‌توانم وارد مقوله بازی میان ژن‌های «تعویض» (Switch) و «پلی‌ژن‌ها» به هر اندازه که ممکن است در راهکار واقعی گزینش و تکامل، نقش داشته باشند، بشوم.

عنوان کانون جهش یافته، نمایش می‌دهد. این واقعیت که تنها یکی از کروموزم‌ها مبتلا هستند، هنگامی ظاهر می‌شود که فرد جهش یافته (اغلب موسوم به جهش یافته - mutant) با فرد جهش نیافته در آمیزد. زیرا دقیقاً نیمی از اخلاف خصلت جهش یافته و نیم دیگر خصلت طبیعی بروز می‌دهند. این چیزی است که مطابق شکل (۱۴) در نتیجه جدایی دو کروموزم به هنگام میوز در یاخته‌ی جهش یافته، انتظار می‌رود. این یک «شجره نسب» است که هر فرد (از سه نسل پیاپی) را با جفت کروموزم مورد نظر ما نشان می‌دهد.



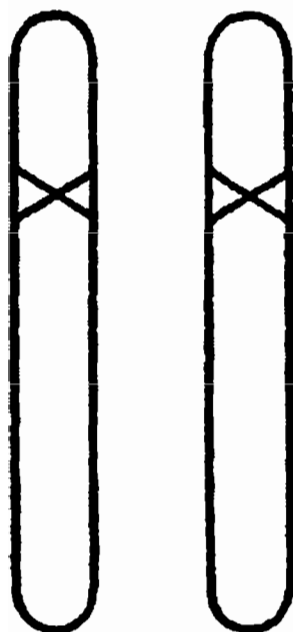
شکل ۱۴. به ارث بردن یک جهش. خطوط مستقیم در عرض شکل نشان دهنده انتقال یک کروموزم و خطوط مضاعف نشانه انتقال کروموزم جهش یافته است کروموزم‌های نسل سوم که منظور نشده‌اند، از همسران نسل دوم که در این نگاره نیستند، آمده‌اند. فرض شده که اینها غریبه و عاری از جهش‌اند.

لطفاً توجه کنید که اگر هر دو کروموزم فرد جهش یافته مبتلا می‌بودند، تمامی فرزندان وراثتی یکسان (مختلط) ولی متفاوت از هر کدام والدین دریافت می‌کردند. اما آزمایش در این زمینه به آن سادگی که از مطالب گفته شده برمی‌آید، نیست. پیچیدگی ناشی از دومین حقیقت مهم است و آن اینکه جهش‌ها بیشتر اوقات نهفته هستند. نهفته یعنی چه؟

در یاخته جهش یافته دو «نسخه رمز نوشته» دیگر یکسان نیستند؛ آنها دو «قرائت» یا «ورزه» (version) را در یک محل ارائه می‌کنند. شاید خوب باشد که بی‌درنگ بگوئیم، این که ورزه اصلی را «راستین» و جهش یافته را «مرد» بیانگاریم، اگر چه وسوسه کننده، اما نادرست است. بایستی آنها را در اصل واجد حقوق مساوی بدانیم - زیرا خصوصیات طبیعی نیز از جهش‌ها برخاسته‌اند.

آنچه در واقع رخ می‌دهد این است که طبق یک قاعده کلی، «انگاره» فرد یکی از دو ورزه یعنی یا طبیعی و یا جهشی را دنبال می‌کند و آنی که دنبال می‌شود، غالب و دیگری مغلوب گفته می‌شود. به عبارتی بسته به اینکه جهش بی‌درنگ در تغییر انگاره نقش داشته باشد یا نه، آن را غالب یا مغلوب می‌نامند.

جهش‌های مغلوب حتی بیش از جهش‌های غالب رخ می‌دهند و خیلی هم مهم‌اند، اگر چه نخست ابدأ خودنمایی نمی‌کنند. برای اینکه برانگاره اثر کنند باید در هر دو کروموزم حضور داشته باشند، شکل (۱۵). چنین افرادی هنگامی تولید می‌شوند که دو جهش یافته‌ی مغلوب و مساوی تقاطع کنند و یا اینکه یک جهش یافته با خودش تقاطع کند. که این در مورد گیاهان دوجنسی بخودی خود رخ می‌دهد. به آسانی می‌شود دید که در این موارد نزدیک به یک چهارم اخلاف از اینگونه خواهند بود و انگاره‌ی جهش یافته را به طور مرئی نمایش خواهند داد.



شکل ۱۵. جهش هم جفت (homozygous) حاصل در یک چهارم اخلاف حاصل از خودباروری جهشی‌های ناهم جفت (heterozygous) - شکل (۱۳) - و یا از تقاطع دو تا از آنها

## ۲۵. معرفی قدری زبان تخصصی

گمان دارم توصیف چند واژه تخصصی مطالب را روشن خواهد کرد. برای آنچه که من «ورزه» (version) رمز نوشته» نامیده‌ام – خواه نسخه اصل باشد و خواه جهش یافته – واژه‌ای آلل (allele) پذیرفته شده است. هنگامی که مانند شکل (۱۳) ورزه‌ها متفاوت اند، فرد را نسبت به کانون (locus) مربوطه ناهم جفت (heterozygous) می‌گویند و هنگامی که مساویند، مانند فرد جهش نیافته، یا مانند مورد شکل (۱۵)، وی را هم جفت (homozygous) می‌گویند. بنابراین آلل مغلوب تنها هنگامی بر انگاره اثر می‌گذارد که هم‌جفت باشد، در صورتی که آلل غالب، چه هم جفت یا ناهم جفت، انگاره‌ای یکسان پدید می‌آورد. بیشتر اوقات رنگ بر نبود آن (یا سفیدی) غلبه دارد. در نتیجه یک نخود تنها هنگامی گل سفید می‌دهد که هر دو کروموزم مربوطه‌اش «آلل مغلوب مربوط به رنگ سفید» را داشته باشند، به عبارتی برای سفیدی «هم‌جفت» باشد. در این صورت تناسلش واقعی و تمامی اخلافش سفید خواهند بود. اما یک «آلل سرخ» (و دیگری سفید، یعنی «ناهم‌جفت») باعث پیدایش گل سرخ می‌شود، چنانچه وقتی هر دو آلل سرخ («هم‌جفت») باشند. تفاوت این دوی آخر هنگامی پدیدار می‌شود که برخی اخلاف سرخ ناهم‌جفت گل سفید می‌دهند و سرخ هم‌جفت تناسلش واقعی (یعنی سرخ) خواهد بود.

این حقیقت که دو فرد ممکن است در صورت ظاهر عیناً یکسان ولی در توارث‌شان متفاوت باشند، آنقدر مهم است که یک تفکیک دقیق را طلب می‌کند. متخصصان ژنتیک می‌گویند اینها روبنای ژنتیکی‌شان (phenotype) یکسان اما زیربنای ژنتیکی‌شان (genotype) تفاوت دارد. بنابراین محتوای پاراگراف پیشین را می‌توان به زبانی خیلی تخصصی چنین خلاصه کرد:

«یک آلل مغلوب تنها هنگامی بر روبنای ژنتیکی (phenotype) اثر می‌گذارد که زیربنای ژنتیکی (genotype) هم جفت (homozygous) باشد.»

گهگاه این واژه‌های تخصصی را به کار خواهیم برد ولی هر گاه لازم باشد معنایشان را به خواننده یادآوری خواهیم کرد.

## ۲۶. اثر زیانبار تناسل با نزدیکان (close-breeding)

البته هنگامی که جهش‌های مغلوب، فقط ناهم جفت‌اند (heterozygous)، زمینه‌کار برای گزینش طبیعی نمی‌باشند. اگر زیانبخش باشند، چنان که اغلب جهش‌ها هستند، با این وجود حذف نخواهند شد چونکه نهفته‌اند. از اینرو ممکن است جهش‌های نامناسب زیادی رویهم انباشته شوند، بدون اینکه بی‌درنگ آسیبی برسانند. اما البته به نیمی از اخلاف انتقال می‌یابند، که این برای کاربرد در انسان، احشام، ماکیان، یا هرگونه‌ی دیگری که کیفیت خوب آن برای ما مطرح است، اهمیت دارد. در شکل (۱۴) فرض شده که فرد مذکور (برای مشخص بودن - فرضاً خودم) جهشی مغلوب و ناهم جفت دارد و در نتیجه بروز نمیکند.

به فرض اینکه همسرم عاری از این جهش باشد، نیمی از فرزندانمان (خط دوم) حامل آن خواهند بود، باز به شکل ناهم جفت (heterozygous). اگر این فرزندان با همسرانی جهش نیافته درآمیزند، (که به خاطر شلوغ نشدن شکل حذف شده‌اند)، یک چهارم نوه‌هایمان به‌طور میانگین، نیز چنین (حامل - ناهم جفت) خواهند بود. هرگز هیچ خطر شیطانی ظاهر نمی‌شود مگر اینکه افراد یکسان مبتلا، با هم تقاطع داده شوند، چنانچه یک تامل ساده نشان می‌دهد، یک چهارم فرزندان، که هم جفت‌اند (homozygous) آسیب را بروز خواهند داد. پس از خودباروری (که تنهادر گیاهان دو جنسه رخ می‌دهد)، بیشترین خطر در مورد ازدواجی میان دختر و پسری از خودم می‌باشد. زیرا هر کدامشان به احتمال ۵۰:۵۰ به‌طور نهان مبتلا بوده یا نمی‌باشند. یک چهارم این ازدواج‌های محارم خطرناک‌اند، بخاطر اینکه یک چهارم کودکانشان آسیب را بروز خواهند داد. بنابراین ضریب خطر برای یک فرزند حاصل از تناسل محارم  $\frac{1}{16}$  است.

به همین ترتیب ضریب خطر برای فرزندان حاصل از ازدواج دو نوه‌ی من (با تناسل پاک)، که نسبت به هم خاله‌زاده یا عموزاده، دایی‌زاده یا عمه‌زاده‌اند،  $\frac{1}{64}$  می‌شود. این احتمالات چندان با اهمیت جلوه نمی‌کنند و معمولاً مورد دوم پذیرفته و تحمل می‌شود. اما نباید فراموش کرد که ما نتایج فقط یک آسیب نهفته‌ی ممکن در یکی از زوجین والد (من و همسر) را در نظر گرفته‌ایم. در حقیقت هر دوی زوجین به احتمال زیاد بیش از یک نقص نهفته از این نوع را

دارند. چنانچه بدانید دارای یک نقص ژنتیکی مشخص هستید، باید به این نتیجه برسید که یکی از ۸ خاله‌زاده، عمه‌زاده، دایی‌زاده، و یا عموزاده‌تان هم مانند شما باشد. آزمایش‌های گیاهی و حیوانی چنین نشان می‌دهد که افزون بر نارسایی‌های جدی و کمیاب، خیلی نقایص کوچک هستند که احتمالاتشان با هم ترکیب و کلاً باعث وخیم کردن وضع فرزندان نزدیکان می‌شود. چون دیگر ما نقایص خلقتی را به شکل وحشتناکی که لاکدُمونی‌ها در کوه تیگه تُس (Taygetos, Lacedomonians)\* از میان می‌بردند، حذف نمی‌کنیم، باید درباره انسان، که در موردش گزینش طبیعی مناسبترین، عمدتاً کاهش یافته و در واقع حتی معکوس شده، نگرشی بسیار جدی داشته باشیم. اثر ضدگزینشی کشتار جمعی جوانان سالم ملت‌ها به شیوه‌های نوین، چندان نمی‌تواند با این نظر مقابله کند که شاید در شرایط بسیار ابتدایی، جنگ ارزش‌گزینشی مثبت را در بقاء مناسبترین قبیله داشته است.

## ۲۷. ملاحظات کلی و تاریخی

این حقیقت که هنگامی که آلل مغلوب ناهم‌جفت (heterzygous) باشد، کاملاً مورد استیلای آلل غالب واقع می‌شود و هیچگونه اثری از خود بروز نمی‌دهد، شگفت‌انگیز است. اما دست کم بایستی یادآور شد که این رفتار استثناهایی دارد. هنگامی که گل میمون سفید هم‌جفت (homozygous) را با گل میمون قرمز (لاکی) هم‌جفت می‌آمیزند، همه اخلاف بلافصل رنگی میان این دو دارند، یعنی صورتی (نه قرمز خونی که شاید انتظار برود). مورد مهمتری که در آن هر دو آلل اثرشان را همزمان اعمال می‌کنند، در گروه‌های خونی است. ولی در اینجا نمی‌توانیم وارد بحث آن بشویم. شگفت‌آور نخواهد بود که سرانجام ثابت شود که مغلوبیت درجاتی داشته باشد و بستگی به حساسیت آزمون‌هایی داشته باشد که برای بررسی «روبنای ژنتیکی» به کار می‌بریم.

شاید اکنون جای آن باشد که سخنی از سرآغاز تاریخ ژنتیک بگوییم. ستون

---

\* احتمالاً به داستانی اشاره دارد که مردمی کوه‌نشین ناقص الخلقه‌های خود را از کوه پرت و نابود می‌کردند. م

فقرات نظریه، قانون وراثت، خصوصیاتی که والدین در آنها تفاوت دارند به نسل‌های پیاپی، و به‌طور مشخص‌تر، تمیز غالب - مغلوب، مدیون یک کشیش گریگوری (آگوستینی) بنام گریگور مندل (۸۴-۱۸۲۲) است، که امروزه شهرت جهانی دارد. مندل چیزی را جمع به جهش و کروموزم‌ها نمی‌دانست. وی در باغ صومعه‌اش در برون Brunn (Brno) آزمایش‌هایی با لوبیا که انواعش را پرورش داده بود، انجام داد و پس از آمیزش آنها، اخلاف نخست، دوم، سوم و... را مورد ملاحظه قرار داد. شاید بشود گفت که وی با جهش یافته‌های آماده شده‌ی ساخت طبیعت آزمایش کرد. وی نتایج را از ۱۸۶۶ در نشریه‌ی انجمن تحقیقات طبیعی *Naturforschender Verein* in Brunn انتشار داد. ظاهر آهیچکس علاقه خاصی به سرگرمی کشیش نداشت و قطعاً هیچکس کوچکترین گمانی نمی‌برد که کشف او در قرن بیستم ستاره‌ی راهنمای شاخه تازه‌ای از علم که امروزه جالبترین مبحث است، شود. مقاله‌ی وی در فراموشی بود تا اینکه در سال ۱۹۰۰ به‌طور مستقل و همزمان توسط سه نفر دیگر یعنی کورنس Correns (در برلین) و دُوری (در آمستردام) و چرماک - Tschermak (در وین) از نو کشف شد.

## ۲۸. لزوم کمیابی رویداد جهش

تاکنون بیشتر توجه‌مان به جهش‌های زیانبار بوده که شاید بیشتر باشند، اما قطعاً باید گفت که ما با جهش‌هایی هم روبرو می‌شویم که امتیازاتی دارند. اگر یک جهش خودبخودی گام کوچکی در رشد و تکمیل یک گونه باشد، چنین برداشتی می‌شود که تغییری، با پذیرش احتمال زیانبار بودنش، به‌طور الله‌بختکی به «بوته آزمایش» گذاشته شده، چون در آن صورت خودبه‌خود حذف می‌شده است. این امر به نکته‌ای مهم اشاره کرد. برای اینکه جهش‌ها وسیله‌ی مناسبی برای کارگزینش طبیعی باشند، بایستی رویدادهایی کمیاب باشند، چنان که هستند. اگر آنقدر فراوان بودند که فرضاً با احتمال زیاد دوجینی از انواع‌شان در یک فرد وجود می‌داشتند، علی‌الاصول، جهش‌های زیانبار بر آنهایی که مزیت دارند، غلبه کرده سبب می‌شدند که به عوض اصلاح‌گونه در نتیجه‌ی گزینش، بهبود نیافته بماند و یا اینکه از میان برود. محافظه‌کاری نسبی که از میزان بالای تداوم ژن‌ها عاید می‌شود، جنبه اساسی دارد. می‌توان مشابه این امر را در کار یک واحد سازنده در یک کارخانه پیدا کرد. برای



تکمیل روش‌های بهتر لازم است که نوآوری‌ها را، حتی اگر اثبات نشده‌اند به آزمایش گذاشت. اما برای اینکه تایید شود که آیا این نوآوری‌ها برون‌دهی (محصول) را بهبود یا کاهش می‌دهد، لازم است که هر بار فقط یکی از آنها را، در حالی که سایر اجزای عمل ثابت نگهداشته شده، وارد کرد.

## ۲۹. جهش‌های ناشی از اشعه ایکس

اکنون باید یک سلسله آزمایش‌های نبوغ‌آمیز در کار پژوهشی ژنتیک، که بیشترین ارتباط را با موضوع بحث ما دارد، مورد مرور قرار دهیم.

درصد جهش‌ها در اخلاف، یا به عبارتی آهنگ (نرخ) جهش، را می‌توان با تابش پرتوهای ایکس و یا گاما تا چند برابر آهنگ کوچک طبیعی افزایش داد. جهش‌هایی که به این ترتیب پدیدار می‌شوند به هیچ وجه با جهش‌های طبیعی تفاوت ندارند (مگر اینکه تعدادشان بیشتر است) به گونه‌ای که گمان می‌رود هرگونه جهش طبیعی را با اشعه ایکس نیز می‌توان پدید آورد. در مگس دُرُزفِیلا خیلی از جهش‌های خاص خودبخود در کشت‌های بسیار زیاد، مرتب تکرار می‌شوند، که موقعیتشان را در کروموزم طبق روش‌هایی که در بخش ۱۸ گفتیم، تعیین و به هر کدام اسمی مخصوص خودشان را داده‌اند.

به این ترتیب حتی چیزی بنام «آلل‌های چندگانه» پیدا شده که افزون بر نوع طبیعی جهش نیافته دو یا چند «ورزه (version) - قرائت» از همان محل در رمز کروموزم قرار دارند به این ترتیب برای هر «کانون» (locus) دو یا چند شق گوناگون وجود دارد که هر جفت‌شان وقتی به‌طور همزمان در کانون‌های مربوطه در دو کروموزم هم‌تا (homologous) باشند، نسبت‌شان به هم از نوع «غالب - مغلوب» می‌باشد.

آزمایش‌های مربوط به جهش‌های ناشی از پرتو ایکس چنان وانمود می‌کند که هر «تبدیل» خاص، خواه تبدیل فرد طبیعی به جهش یافته‌ای معین و یا برعکس، «ضریب پرتو ایکس» انفرادی خود را دارد. این ضریب نشان دهنده‌ی درصد اخلاقی است که وقتی والدین پیش از لقاح در معرض یک واحد از دُز (dosage) پرتو ایکس قرار گرفته باشند، به شکل خاصی جهش پیدا می‌کنند.

### ۳۰. قانون نخست. جهش یک رویداد تنها است

قوانین حاکم بر آهنگ جهش القایی بی‌اندازه ساده و بسیار روشن‌گراند و من در اینجا از گزارش تیموفیف (N.W. Timofeëff) در مجله *Biological Reviews* vol (1934) 9 بهره می‌گیرم که بخش عمده‌اش از کارهای زیبنده‌ی وی سرچشمه می‌گیرد. قانون نخست از این قرار است.

(۱) افزایش جهش دقیقاً متناسب با مقدار پرتو (دُزاژ) تابیده شده است، به گونه‌ای که عملاً می‌توان (چنان که من گفتم) از یک ضریب افزایش نام برد. ما آنچنان با تناسب ساده خو گرفته‌ایم که متوجه اهمیت پیامدهای این قانون ساده نمی‌شویم. برای اینکه بهتر دستگیرمان شود، بیاد آوریم که مثلاً قیمت یک کالا همیشه با مقدار آن تناسب ندارد. در زمانهای عادی یک مغازه‌دار ممکن است از خرید شش پرتغال توسط شما چنان ذوق زده شود که وقتی شما تصمیم به خرید دوازده تا می‌کنید، وی کمتر از دو برابر قیمت آن از شما طلب کند و در زمان‌های کمیابی عکس آن ممکن است رخ دهد. در مورد کنونی خودمان به این نتیجه می‌رسیم که اگر نیم دُزاژ نخست، مثلاً یکی از هر یک هزار خلف را جهش می‌دهد، هیچ اثری بر دیگران ندارد یعنی آنها را در برابر جهش مستعد و یا ایمن نمی‌کند و گرنه نیمه دوم دُزاژ دیگر یک از هزار جهش نمی‌داد. در نتیجه جهش اثری انباشته شدن نیست که از تجمع اثرات اندک تابش‌های پیاپی که همدیگر را تقویت کنند پدید آید. بلکه یک رویداد تنها و منفرد است که در حین تابش در یکی از کروموزم‌ها رخ می‌دهد. اما چه نوع رویدادی؟

### ۳۱. قانون دوم - استقرار رویداد

پاسخ این را قانون دوم می‌دهد، یعنی

(۲) اگر کیفیت تابش (طول موج)، در گسترده‌ای پهناور از اشعه ایکس نرم تا پرتوهای گامای سخت، تغییر داده شود، چنانچه دُزاژ به کار رفته، برحسب واحد موسوم به  $I$  (روتگن) یکسان باشد، ضریب افزایش ثابت می‌ماند. یعنی اینکه دُزاژ بر حسب کل تعداد یون‌های حاصل در واحد حجم از یک ماده‌ای استاندارد مناسب در زمان و مکانی که والدین در معرض تابش قرار گرفته‌اند، سنجیده شود.

هوا را بعنوان ماده‌ی استاندارد برگزیده‌اند زیرا نه تنها آسانتر است بلکه جرم اتمی آن حدود میانگین جرم اتمی بافت‌های زنده است. حد پایین مقدار یونیزاسیون‌ها یا فرایندهای وابسته بدان<sup>۱</sup> (برانگیختگی‌ها) در بافت را به سادگی می‌توان از ضرب کردن تعداد یونیزاسیون‌های هوا در نسبت چگالی (بافت به هوا-م) آنها بدست آورد. به این ترتیب روشن است و هم با بررسی‌های دقیق تایید شده است که رویداد منفردی که سبب جهش می‌شود یونیزاسیونی (یا فرایندی مشابه) است که در حجمی «بحرانی» از یاخته‌های زایا (germ cell) رخ می‌دهد. این حجم بحرانی چه اندازه‌ای دارد؟ این را می‌شود از آهنگ جهشی که مشاهده می‌شود به این ترتیب تخمین زد: اگر دُراز ۵۰۰۰۰ یون در سانتیمتر مکعب موجب پیدایش جهشی خاص با احتمال تنها یک در هزار برای هر گامت مخصوص (که در ناحیه مورد تابش قرار گرفته) بشود، نتیجه می‌شود که برای بروز آن جهش، حجم بحرانی، یعنی «هدف» مورد «اصابت» یک یونیزاسیون برای حصول جهش، تنها ۱/۱۰۰۰ از ۱/۵۰۰۰۰ سانتیمتر مکعب، یعنی پنجاه میلیونیم سانتیمتر مکعب است. البته این اعداد، اعدادی واقعی و درست نیستند، بلکه به منظور تشریح موضوع عنوان شده‌اند. برای تخمین واقعی از یکی از مقالات دلبروک (M. Delbrück, N.W. Timofeëff and K.G. Zimmer)<sup>۲</sup> پیروی می‌کنیم که در عین حال منشاء اصلی نظریه‌ای می‌باشد که در دو فصل آتی به تشریح آن خواهیم پرداخت. ایشان به اندازه‌ای می‌رسد که تنها در حدود ده برابر میانگین فاصله اتمها به توان سه می‌باشد یعنی اینکه شامل حدود یکهزار اتم می‌شود. ساده‌ترین تفسیر این نتیجه این است که هرگاه یک یونیزاسیون (یا برانگیختگی) در فاصله‌ای که ۱۰ اتم از نقطه خاصی در کروموزم دورتر نباشد، رخ دهد احتمال خوبی برای جهش وجود دارد. اکنون این را بیشتر مورد بررسی قرار می‌دهیم.

گزارش تیموفیف نکته‌ای عملی در بردارد که نمی‌توانم از یاد آوریش خودداری کنم، اگرچه البته به بررسی کنونی ما ارتباطی ندارد. در زندگی نوین مواقع زیادی

۱. حد پایین به این دلیل که سایر فرایندها از سنجش یونیزاسیونی می‌گریزند، اما ممکن است در جهش زایی کارآمد باشند.

2- Nachr.a.d. Biologie d. Ges. d. Wiss. Göttingen, vol. 1,p.189(1935).

پیش می‌آید که انسانی باید در معرض پرتوهای ایکس قرار بگیرد. آسیب‌های مستقیم چون سوختگی، سرطان اشعه ایکس و عقیم شدن به خوبی شناخته شده می‌باشند و اقدامات حفاظتی چون صفحات سربی و یا پیشبندهای سربی و غیره به ویژه برای کسانی مانند پرستاران و پزشکان که پیوسته با این تابش‌ها سروکار دارند، تدارک شده‌اند. نکته این است که حتی هنگامی که این گونه خطرات حتمی به طرزی موفقیت‌آمیز ممانعت می‌شوند، باز هم خطر غیرمستقیم جهش‌های کوچک و مضر در یاخته‌های زایا (germ cells) وجود دارد. جهش‌هایی مانند آنهایی که درباره نتایج نامطلوب ازدواج با بستگان نزدیک، تصور کردیم. به عبارتی شدیدتر و شاید هم ساده لوحانه‌تر، چنانچه مثلاً مادر بزرگی مدت زمانی طولانی پرستار دستگاه اشعه ایکس بوده، آسیب‌پذیری ازدواج میان نوه‌های وی خیلی بیشتر خواهد بود. این مطلب نباید موجبات نگرانی افراد را فراهم کند. اما هرگونه احتمال آلودن تدریجی نسل بشری با جهش‌های نهفته و ناخواسته، نگرانی است که باید مدنظر جامعه قرار گیرد.

## ۴. شواهد کوانتوم مکانیکی

و پرواز آتشین تخیل روح در یک تصویر، در یک تمثیل فرو می‌نشیند.

کوتاه

### ۳۲. در فیزیک کلاسیک جاودانگی توجیه‌ناپذیر است

به این ترتیب با کمک دستگاه فوق العاده تحسین برانگیز پرتو ایکس (که چنان که فیزیکدان به یاد دارد سی سال پیش ساختار تفصیلی شبکه اتمی بلورها را ظاهر ساخته بود) تلاش‌های متفق زیست‌شناسان و فیزیکدانان در این اواخر توانسته است حد بالای اندازه ساختار میکروسکوپی که مسئول یک شاخصه‌ی بزرگ مقیاس (large scale) معین در فرد باشد - یعنی «اندازه یک زن» - را تا خیلی بیش از آنچه در بخش ۱۹ گفتیم کاهش دهد. اکنون با این پرسش جدی روبروایم: چگونه می‌توان از دیدگاه فیزیک آماری با این حقیقت کنار آمد که ساختار ژن ظاهراً تنها شمار کمی اتم (حدود یکهزار یا کمتر) را در بردارد و با این وجود از خود منظم‌ترین و قانونمندترین فعالیت را بروز می‌دهد آن هم توأم با پایداری یا جاودانگی که در مرز معجزه قرار می‌گیرد.

بگذارید یک بار دیگر وضعیت شگفت‌آور را باز کنم. برخی از اعضای سلسله هابسبورگ (Habsburg) لب‌های پایین‌شان یک بد ترکیبی خاص دارد (لب هابسبورگی) و وراثت آن با دقت بررسی و به‌طور کامل همراه با تصاویر تاریخی‌شان توسط فرهنگستان پادشاهی وین و با حمایت خانواده، انتشار یافته است. معلوم شده که خصیصه مزبور یک آلل به تمام معنا مندلی نسبت به شکل طبیعی لب است. اگر

توجه‌مان را به تصویر عضوی از خانواده در قرن شانزدهم و اخلافش که در قرن نوزدهم زیسته‌اند متمرکز کنیم می‌توان با اطمینان پنداشت که ساختار مادی ژن مسئول این خصیصه غیرطبیعی، طی قرن‌ها نسل به نسل ادامه داشته و در هر یک از تقسیمات سلولی نه چندان فراوانی که در این میان رخ داده به درستی و بدون کم و کاست تولیدمثل شده است. افزون بر این شمار اتم‌های مربوطه در ساختار ژن، به احتمال به همان اندازه‌ی موارد مربوط به آزمایش‌های اشعه ایکس است. ژن در تمامی این مدت در دمایی حدود  $37^{\circ}\text{C}$  نگهداری شده است. چگونه بفهمیم که ژن طی قرن‌ها در برابر تمایل نظم برانداز حرکات گرمایی، دوام آورده است؟

اگر یک فیزیکدان انتهای قرن نوزدهم می‌خواست تنها با اتکا به قوانین طبیعی شناخته‌ی زمانش که آنها را خوب می‌فهمید و توجیه می‌کرد، به پاسخ این پرسش مبادرت ورزد، سردرگم می‌بود. شاید در واقع پس از اندکی تامل در وضعیت آماری، پاسخ میداد (چنانچه خواهیم دید به درستی) که: این ساختارهای مادی، تنها می‌توانند، ملکول باشند. در آن زمان شیمی از وجود، و از پایداری گاهی بسیار زیاد این همبسته‌های اتمی، دانسته‌های بسیار گسترده‌ای داشت. اما سرشت ملکول‌ها شناخته نبودند یعنی پیوندهای متقابل میان اتم‌ها که باعث حفظ شکل یک مولکول می‌شود، هنوز معمایی ناگشوده بود. در حقیقت ثابت شده که پاسخ مزبور درست است. اما تا آنجا که معمای پایداری زیست‌شناختی تا معمایی همانند در پایداری شیمیایی ردیابی می‌شود چندان ارزشی ندارد زیرا تا زمانی که اصل روشن و ناشناخته باشد، شواهدی که نشان دهند دو جنبه‌ی ظاهراً یکسان به یک اصل متکی هستند، همیشه مشکوک بنظر می‌رسند.

### ۳۳. قابل توضیح با نظریه کوانتوم

در این مورد توضیحی از دیدگاه نظریه کوانتومی ارایه می‌شود. در سایه دانش امروزی، راهکار وراثت رابطه تنگاتنگی با خود بنیاد نظریه کوانتومی دارد، و در واقع بر آن متکی است. نظریه کوانتوم در سال ۱۹۰۰ توسط ماکس پلانک کشف شد. ژنتیک امروزی نیز به سال ۱۹۰۰ که در آن دوری و چرماک پژوهش‌های مندل راز نو کشف کردند، و نیز مقاله دوری درباره‌ی جهش‌ها (۱۹۰۱ تا ۱۹۰۳) برمی‌گردد. بنابراین تولد این دو نظریه‌ی بزرگ تقریباً همزمان است و جای شگفتی نیست که

پیش از ارتباط میان این دو لازم بود هر دو به میزانی از بلوغ برسند. در مورد نظریه کوانتوم بیش از یک ربع قرن یعنی تا ۱۹۲۶-۷ طول کشید تا اینکه اصول کلی نظریه کوانتومی پیوند شیمیایی توسط ف. لندن و و. هایتر پی ریزی شود. نظریه هایتر - لندن در برگیرنده زیرکانه ترین و ظرافتمندانه ترین مفاهیم حاصل از آخرین پیشرفت های نظریه کوانتوم (موسوم به «مکانیک کوانتومی» یا «مکانیک موجی») است که ارایه آن بدون بهره گیری از حسابان (calculus) امکان پذیر نیست و یادست کم مجلد کوچکی مانند این را طلب می کند. اما اکنون که خوشبختانه همه ی کارها انجام و افکار ما روشن شده است، بنظر ممکن می رسد که بتوان به نحوی سراسر تر، ارتباط میان پرش های «کوانتومی» و جهش ها را بعنوان آشکارترین موضوع مطرح نمود. و در اینجا می خواهیم همین کار را بکنیم.

### ۳۴. نظریه کوانتومی - حالت های منفصل - پرش های کوانتومی

کشف بزرگ نظریه کوانتوم، جنبه های انفصالی (discreteness) بود که در کتاب طبیعت پیدا کرد، آنهم در وضعی که بنابر نظراتی که تا آن زمان پیروی می شد، هر چیزی جز پیوستگی مهمل انگاشته می شد.

نخستین مورد از اینگونه، به کارمایه (energy) مربوط می شد. در مقیاس بزرگ، کارمایه یک جسم مدام تغییر می کند. برای نمونه یک آونگ که به نوسان درآورده شده، توسط مقاومت هوا کند می شود. اما شگفت این است که در مورد یک دستگاه (system) در ابعاد اتمی لازم می آید که بپذیریم رفتارش به گونه ای دیگر است. به دلایلی که نمی توان در اینجا واردشان شد، باید انگاشت که یک دستگاه (system) کوچک، به خاطر سرشت خود، تنها می تواند مقادیر خاص و منفصلی از کارمایه (energy) را داشته باشد، که ترازهای کارمایه خاص آن می نامند. انتقال از یک حالت (وضعیت) به حالتی دیگر را، که رویدادی ناشناخته و مرموز است، معمولاً «پرش (جهش) کوانتومی» (quantum jump) می نامند.

اما کارمایه تنها خصوصیت یک دستگاه نیست. باز همان آونگ را در نظر آوریم، اما نوع دیگری از آن که بتواند انواع حرکات را انجام دهد، گوی سنگینی که توسط بندی از سقف آویزان است. می توان آن را وادار کرد تا در امتداد شمال - جنوب، یا شرق - غرب و یا هر راستای دیگر یا دایره یا بیضی حرکت کند و به کمک باد حاصل از

یک دستگاه دم می‌توان حرکت آن را به‌طور پیوسته از یک وضع به وضعی دیگر تغییر داد.

اما در مورد دستگاه‌های کوچک بیشتر اینگونه خصوصیات یا مشابه آنها، که نمی‌توانیم وارد جزئیاتش بشویم، به‌طور ناپیوسته (گسسته، انفصالی) تغییر می‌کنند، یعنی اینها هم مانند کارمایه «کوانتیده» (quantized) هستند.

نتیجه این موضوع‌ها این می‌شود که هنگامی که تعدادی از هسته اتم‌ها و الکترون‌های محافظشان خود را در نزدیکی همدیگر می‌یابند و «دستگاهی» (system) را به وجود می‌آورند، به خاطر سرشتشان دیگر نمی‌توانند هر آرایشی را که ما خیال می‌کنیم به خود بگیرند. اصل نهادشان تنها «حالت‌های» منفصل اما متعددی را برای گزینش در اختیارشان می‌گذارد.<sup>۱</sup> معمولاً اینها را تراز یا تراز کارمایه می‌گوئیم، زیرا که کارمایه بخشی بسیار مرتبط با خصوصیت است اما باید به یادداشت که توصیف کامل خیلی بیش از کارمایه را در بر می‌گیرد. به‌طور مجازی می‌توان یک حالت را به معنای آرایشی خاص از تمامی ذرات انگاشت.

گذار از یکی از این آرایش‌ها به آرایشی دیگر یک پرش کوانتومی است. اگر این حالت کارمایه‌اش بیشتر باشد (تراز کارمایه بالاتر)، می‌بایست از بیرون، دست‌کم به اندازه‌ی تفاوت دو تراز کارمایه به دستگاه کارمایه رسانده شود تا اینکه این گذار میسر شود. گذار به تراز پایین‌تر می‌تواند خودبخود رخ دهد و مازاد کارمایه به شکل تابش ساطع می‌شود.

### ۳۵. ملکول‌ها

در میان دسته حالت‌های منفصل معین یک عده اتم منتخب، امکان دارد (اما نه الزاماً) پایین‌ترین تراز و وجود داشته باشد که حاکی از نزدیک‌ترین فاصله هسته اتم‌ها نسبت به هم باشد. در چنین حالتی اتم‌ها تشکیل یک ملکول می‌دهند.

---

۱. در اینجا شقی را که در تحلیل‌های مخصوص عامه بیان می‌شود و برای مقصود کنونی ما بسنده می‌کند، ارایه می‌کنم اما وجدانم از اینکه یک خطای معروف را تکثیر می‌کنم، معذب است. داستان واقعی خیلی پیچیده‌تر از اینها است زیرا شامل مواردی که گهگاه حالت دستگاه با عدم قطعیت روبرو است، می‌شود.



نکته‌ای که در اینجا باید تاکید کرد این است که ملکول الزاماً از پایداری خاصی برخوردار است؛ یعنی آرایش آن نمی‌تواند تغییر کند مگر اینکه دست کم تفاوت کارمایه لازم برای رساندنش به تراز کارمایه بلافاصله بعد، از بیرون به آن رسانده شود. از این رو این تفاوت کارمایه، که مقدار مشخصی دارد، به‌طور کمی میزان پایداری ملکول را تعیین می‌کند. به این ترتیب رابطه‌ی تنگاتنگ این امر با اصل بنیان نظریه کوانتومی، یعنی انگاره‌ی ترازهای انرژی معین، به روشنی دیده می‌شود.

باید از خوانندگان پوزش بخواهم که این ترتیب مطالب و اندیشه‌ها را که توسط حقایق شیمیایی کاملاً به اثبات رسیده و در توجیه واقعیت بنیادین پیوندها و ظرفیت و خیلی تفصیلات شیمیایی مربوط به ساختار ملکولها، انرژی پیوندها، پایداری شان در دماهای گوناگون و غیره، بسیار موفق بوده‌اند، مسلم انگاشتم. منظورم نظریه هایتر - لندن است که چنانچه عرض شد نمی‌توانم وارد تفصیل آن بشوم.

### ۳۶. پایداری شان وابسته به دما است

باید خود را با بررسی نکته‌ای قانع کنیم که از نظر پرسش زیست شناسانه ما اهمیت فراوانی دارد و آن پایداری یک ملکول در دماهای گوناگون است. دستگاه اتم‌های موردنظرمان را ابتدا در حالت کمترین کارمایه، فرض می‌کنیم. فیزیکیان خواهد گفت که ملکول در دمای صفر مطلق است. برای رساندن آن به حالت بالا یا تراز بعدیش مقدار معینی کارمایه لازم است. راحت‌ترین راه تامین این کارمایه «گرمایش» ملکول است به این ترتیب که آن را به محیطی با دمای بالاتر («حمام») می‌برید و می‌گذارید که دستگاه‌های دیگر (اتم‌ها و ملکولها) به آن برخورد کنند. با در نظر گرفتن بی‌نظمی تامی که حرکات گرمایی دارند، هیچ حد دمایی تیز و دقیقی در کار نیست که در آن «ترفیعی» مزبور فوراً و قطعاً انجام شود. بلکه در هر دمایی احتمالی کمتر یا بیشتر برای وقوع ترفیع وجود دارد که این شانس با افزایش دمای حمام بیشتر می‌شود. بهترین راهی که می‌شود این شانس را ابراز داشت، بیان میانگین زمانی است که باید برای وقوع ترفیع صبر کرد، یعنی «زمان انتظار».

در سایه پژوهشی که م. پولانی و ا. ویگنر انجام داده‌اند،<sup>۱</sup> «زمان انتظار»<sup>۲</sup> بستگی به نسبت دو کارمایه دارد، یکی خود تفاوت کارمایه، لازم برای ترفیع (که با  $W/kT$  نمایش می‌دهیم)، و دیگری کارمایه‌ای که شدت حرکات گرمایی در دمای مورد بحث را مشخص می‌کند.  $T$ ، یعنی  $kT$  است ( $T$  دمای مطلق و  $kT$  شاخص کارمایه است).<sup>۲</sup> منطقی به نظر می‌رسد که هرچه ترفیع نسبت به میانگین کارمایه گرمایی، یعنی نسبت  $W/kT$  بیشتر باشد، احتمال وقوع ترفیع کمتر و زمان انتظار بیشتر می‌شود. آنچه شگفت آور است، این است که اندک تغییر در نسبت  $W/kT$  تا چه اندازه زیاد بر زمان انتظار اثر می‌گذارد. برای نمونه (به پیروی از دلبروک) اگر  $W$  سی برابر  $kT$  باشد زمان انتظار ممکن است به کوتاهی  $1/10$  ثانیه باشد، اما اگر  $W$  پنجاه برابر  $kT$  باشد، زمان مزبور به ۱۶ ماه و اگر  $W$  شصت برابر باشد، زمان به ۳۰۰۰۰ سال افزایش می‌یابد!

### ۳۷. میان پرده ریاضی

شاید خوب باشد برای کسانی که مورد پسندشان است، به زبان ریاضی دلیل این حساسیت عظیم به تغییر در پله‌ی تراز کارمایه یا دما را یادآور شده به چند نکته فیزیکی مشابه اشاره نمایم. علت این است که زمان انتظار، که آن را  $t$  می‌گیریم، مطابق یک تابع نمایی به نسبت  $W/kT$  بستگی دارد، یعنی

$$t = \tau e^{W/kT}$$

که در آن  $\tau$  ثابت کوچکی در حدود  $10^{-14}$  تا  $10^{-13}$  ثانیه است. اما این تابع نمایی مخصوص جنبه‌ی تصادفی ندارد. این رابطه مکرر در نظریه آماری گرماده می‌شود، آنسان که گویی فقرات آن را تشکیل می‌دهد. در واقع ملاک عدم احتمال جمع شدن تصادفی کارمایه‌ای به اندازه  $W$  در بخش خاصی از دستگاه است و هنگامی که چند برابر میانگین کارمایه  $kT$  نیاز باشد، این عدم احتمال به شدت زیاد می‌شود.

در واقع یک کارمایه برابر  $W = 30 kT$  (که در مثال بالا یاد کردیم) بسیار کمیاب

1. E. Wigner, M. Polanyi, Zeitschrift für Physik, Chemie (A) Haber-Band p 439(1928).

۲.  $k$  ثابت عددی موسوم به ثابت بولتزمان است.  $\frac{3}{2} kT$  میانگین کارمایه جنبشی یک اتم گاز در دمای  $T$  است.

است و علت اینکه به زمان انتظار زیادی منجر نمی‌شود (در مثال ما ۱/۱۰ ثانیه) این است که  $\tau$  خیلی کوچک است. این ضریب یک معنای فیزیکی دارد. مقدارش در حدود دوره تناوب ارتعاشاتی است که پیوسته در دستگاه رخ می‌دهد. به‌طور خیلی کلی شاید بتوان گفت که معنایش این است که شانس انباشت کارمایه لازم  $W$  گرچه خیلی کم است، در هر ارتعاش مجدداً و مجدداً پدیدار می‌شود یعنی  $10^{13}$  تا  $10^{14}$  بار در هر ثانیه.

### ۳۸. نخستین اصلاحیه

در ارایه این ملاحظات به عنوان نظریه‌ی پایداری ملکول، به‌طور ضمنی فرض شده است که اگر پرش کوانتومی که «ترفیع» نامیدیم به فروپاشی کامل ملکول نینجامد، دست‌کم، به آرایش کاملاً متفاوتی از همان اتم‌ها در ملکول - به زبان شیمیدان یک ملکول ایزومر - خواهد انجامید یعنی ملکولی که از همان اتم‌ها اما با آرایشی متفاوت درست شده است (که در کاربرد زیست‌شناختی نشانگر آلی متفاوت از همان کانون (locus) است و پرش کوانتومی هم نشانگر جهش خواهد بود).

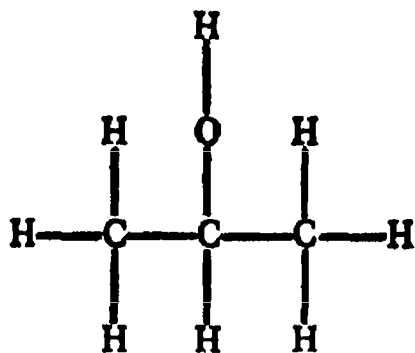
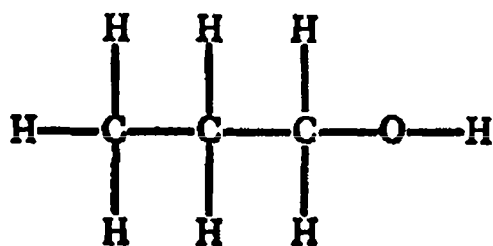
برای مجاز بودن این تفسیر دو نکته‌ی اصلاحیه برداستانی که محض مفهوم‌تر کردنش عمداً ساده کردیم، لازم می‌باشد. از سبکی که آن را گفتم شاید تصور شود که گروه اتم‌ها تنها در پایین‌ترین حالت کارمایه‌ای شان سازنده‌ی چیزی بنام ملکول اند و در حالت بلافاصله بالاتر «چیز دیگری» می‌شوند. این چنین نیست. در واقع در دنبال پایین‌ترین حالت، انبوهی از سلسله ترازها که در کل تغییر قابل ملاحظه‌ای در آرایش را سبب نمی‌شوند، قرار گرفته‌اند و اینها با ارتعاش‌های کوچک میان اتم‌ها که در بخش ۳۷ از آن یاد کردیم، مطابقت دارند. اینها نیز «کوانتیده‌اند» اما پله‌های میان ترازها نسبتاً کوچک‌اند. از این رو برخورد‌های ذرات «حمام گرما» می‌تواند در دماهای نسبتاً پایین موجبات ترفیع به این ترازها را فراهم کند. اگر ملکول ساختاری کشیده باشد، می‌توان این ارتعاش‌ها را امواجی صوتی با بسامد بالا انگاشت که از ملکول می‌گذرند بدون اینکه آسیبی به آن برسانند.

بنابراین نخستین اصلاحیه چندان جدی نیست: بایستی از تصور ترازهای «ساختار ظریف ارتعاشی» چشم‌پوشی کنیم، و منظور از عبارت «تراز بالای بعدی» تراز بعدی می‌باشد که با یک تغییر در آرایش اتم‌ها مطابقت می‌کند.

### ۳۹. دومین اصلحیه

توضیح اصلحیه دوم خیلی سخت تر است زیرا با برخی جنبه‌های حیاتی اما نسبتاً پیچیده‌ی تجسم ترازهای گوناگون مرتبط است. عبور آزاد میان دو تراز تنها به شرط تامین کارمایه محدود نیست، ممکن است مسدود باشد؛ و ممکن است حتی گذر از حالت بالا به پایین هم مسدود باشد.

خوبست از حقایق تجربی شروع کنیم. شیمیدانان شناخته‌اند که یک گروه از اتم‌ها می‌توانند به بیش از یک راه به هم پیوسته، ملکولی را تشکیل دهند. چنین ملکول‌هایی را همپار (isomer) می‌گویند (متشکل از پاره‌های یکسان = isos = یکسان، mero = پاره). همپاری (isomerism) استشنا نیست، بلکه قاعده است. هر چه ملکول بزرگتر باشد، گزینه‌های همپاری آن بیشتر است. شکل (۱۶) یکی از ساده‌ترین موارد، یعنی دو پروپیل الکل، را نشان می‌دهد که هر دو از ۳ کربن (C)، ۸ هیدروژن (H)، و یک اکسیژن (O) درست شده‌اند.<sup>۱</sup>



شکل ۱۶. دو همپار (isomer) پروپیل الکل

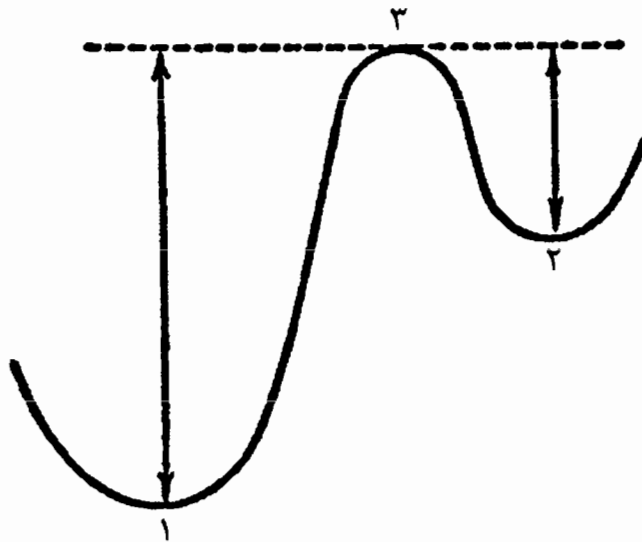
۱. الگوهای ملکولی که در طی سخنرانی از گوی‌های چوبی سیاه، سفید و سرخ به ترتیب بجای کربن، هیدروژن و اکسیژن بهره‌گیری شد در اینجا نشان داده نشده زیرا شباهت واقعی‌شان باملكول‌های واقعی خیلی بیش از آنچه در شکل (۱۶) نشان داده‌شده، نیست.

اتم اکسیژن می‌تواند میان هر هیدروژن و کربن متصل به آن قرار گیرد، اما تنها دو موردی که در شکل نشان داده شده، موادی متفاوت از هم‌اند و در واقع هم‌چنین است. جمله ثابت‌های فیزیکی و شیمیایی شان با هم تفاوت دارد. همچنین کارمایه شان متفاوت است و نمایانگر «ترازهای متفاوتی» می‌باشند.

نکته شایسته توجه این که هر دو ملکول کاملاً پایدارند، به‌گونه‌ای که انگار هر دو «پایین‌ترین تراز» هستند. هیچ تبدیل خودبخودی میان ایندو رخ نمی‌دهد.

دلیلش این است که این دو آرایش همسایه هم نیستند. گذار از این حالت (یا ملکول) به دیگری از راه آرایش‌های واسطی صورت می‌گیرد که کارمایه‌ای بیش از هر کدام از این دو دارند. به بیانی خام، می‌بایست اکسیژن از یک موقعیت کنده و در موقعیتی دیگر نهاده شود. راهی برای اینکار میسر نیست مگر عبور از آرایش‌هایی که کارمایه‌ی نسبتاً بالاتری دارند. گاهی این وضعیت را مطابق شکل (۱۷) ترسیم می‌کنند که در آن ۱ و ۲ نشان دهنده دو همپار موردنظر و ۳ نشانه «آستانه» میان ایندو، و پیکان‌ها نشان دهنده «ترفیعات» یعنی انرژی‌های لازم برای رفتن از ۱ به ۳ و یا از ۲ به ۳ است.

اکنون می‌توانیم به ارایه «اصلاحیه دوم» بپردازیم و آن اینکه در کاربرد زیست‌شناسانه‌مان تنها به اینگونه تبدیل یا گذارهای «همپاری» توجه داریم. در



شکل ۱۷. آستانه کارمایه (۳) میان ترازهای همپاری (۱) و (۲). پیکان‌ها نشان دهنده‌ی کمترین کارمایه لازم برای گذاراند.

بخش‌های ۳۵ تا ۳۷ هنگامی که پایداری را تشریح می‌کردیم منظور نظرمات همین‌ها بود. منظورمان از «پرش کوانتومی» گذار از یک آرایش ملکولی پایدار به آرایشی دیگر بود. کارمایه مورد نیاز تبدیل (که با  $W$  نشان دادیم)، تفاوت واقعی میان ترازها نیست بلکه تفاوت میان حالت آغازین تا آستانه (هرکدام از پیکان‌های شکل (۱۷) - بسته به مورد) می‌باشد.

گذارهایی که میان حالت آغازین و نهایی‌شان، آستانه‌ای نباشد در کاربرد زیست‌شناسانه ما اصلاً جالب نیستند. عملاً هیچ نقشی در پایداری ملکول ندارند. چرا؟ چون هیچ اثر بادوامی ندارند و ناشناخته می‌مانند. زیرا به محض این که رخ می‌دهند، به حالت آغازین برمی‌گردند زیرا هیچ چیز مانع از آن نمی‌باشد.

## ۵. بحث و آزمون الگوی دلبروک

در واقع آنسان که نور خود و تاریکی را نمایان می‌سازد، حقیقت نیز معیار خود و خطامی باشد.  
اسپینوزا، اخلاق، قسمت دوم، ۴۲

### ۴۰. تصویر کلی ماده ژنتیکی

از این ملاحظات پاسخی بس ساده به پرسش مان؛ یعنی اینکه آیا این ساختارهایی که از اتمهایی نسبتاً اندک درست شده‌اند، توانایی استقامت در برابر اختلالات ناشی از حرکات گرمایی در دراز مدت را که ماده وراثتی پیوسته با آنها رو در رو است، دارند؟ پیدا می‌کنیم. فرض خواهیم کرد که ساختار یک ژن، ساختار یک ملکول گنده‌ای باشد که تنها می‌تواند تغییرات ناپیوسته‌ای داشته باشد که عبارت از نوآرایی اتم‌هاست و به ملکولی همپار (isomer) می‌انجامد.<sup>۱</sup> نوآرایی ممکن است تنها بر بخش کوچکی از ژن اثر کند و شمار بس زیادی از نوآرایی‌های گوناگون امکان‌پذیر است. برای اینکه تبدیل وضعیت، رویدادی کمیاب باشد می‌بایست آستانه‌های کارمایه که آرایش واقعی را از هر یک از همپارهای ممکن جدا می‌کند، به اندازه‌ی کافی بالا باشد (در مقایسه با میانگین کارمایه گرمایی یک اتم). ما این رویدادهای کمیاب را جهش‌های خودبخودی می‌انگاریم.

بخش‌های پایانی این فصل به این اختصاص دارد که این تصویر از ژن و جهش را

---

۱. برای آسانی باز هم تبدیل یا گذار را گذار همپاری (isomeric) می‌نامم، اگرچه نمی‌توان احتمال هرگونه تبادل با محیط را از نظر دور داشت.

(که عمدتاً از دلبروک، فیزیکدان آلمانی برگرفته شده) از طریق مقایسه مفصل با حقایق ژنتیکی، به آزمایش بگذاریم. پیش از اقدام به این کار شاید مناسب باشد که اشاراتی به بنیاد و نهاد کلی نظریه داشته باشیم.

#### ۴۱. بی‌مانندی تصویر

آیا برای پرسش زیست‌شناختی‌مان مطلقاً لازم بود که ریشه کاوی کنیم و تصویری بر کوانتوم مکانیک بنا نماییم؟ به جرأت می‌گویم این اندیشه که ژن یک ملکول است، امروز حرف پیش‌پاافتاده‌ای است. خیلی کم‌اند زیست‌شناسان آشنا یا ناآشنا با مکانیک کوانتوم، که با این موافق نباشند. در بخش ۳۲ کوشیدیم که این را به عنوان تنها توجیه معقول از تداوم مشهود، در دهان فیزیکدان پیش از کوانتوم بگذاریم. سایر ملاحظات درباره‌ی همپاری (isomerism)، کارمایه آستانه، نقش برجسته نسبت  $W/kT$  در تعیین احتمال یک تبدیل همپاری - همه چیزهایی هستند که می‌توان بر اساس صرفاً تجربی و بدون توسل صریح به نظریه کوانتوم، وارد کرد. پس چرا با این شدت بر دیدگاه کوانتوم مکانیکی اصرار می‌ورزم، اگرچه واقعاً نتوانستم در این کتابچه روشن کنم و شاید خیلی از خوانندگان را هم خسته کرده باشم؟

مکانیک کوانتومی نخستین جنبه‌ی نظری است که با یک سلسله اصل موضوع (اصول اولیه) توجیه‌گر تمامی انواع تجمعات اتمی است که واقعاً در طبیعت با آنها روبرو می‌شویم. پیوندهایتر - لندن شاخص یگانه و بارز این نظریه است که به منظور توجیه پیوند شیمیایی ابداع نشده است. بخودی خود به شکلی جالب و شگفت‌انگیز بر ما وارد و از ملاحظات کاملاً متفاوت بر ما تحمیل می‌شود. ثابت می‌شود که دقیقاً با حقایق مشهود شیمیایی مطابقت دارد و چنانچه گفتم شاخصه‌ای بارز است و آنقدر خوب مورد فهم است که با قطعیتی معقول می‌گوید که در پیشرفت‌های بعدی نظریه کوانتومی «چنین چیزی دوباره رخ نخواهد داد».

در نتیجه، با اطمینان می‌شود اعلام کرد که توجیه ملکولی دیگری غیر از آن برای ماده وراثتی وجود ندارد. جنبه‌ی فیزیکی قضیه، امکان دیگری را در توجیه تداوم آن بجای نمی‌گذارد. اگر تصویر دلبروک توفیق نیابد، باید از کوشش باز ایستیم. این نخستین نکته‌ای است که عرض می‌کنم.

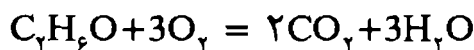


## ۴۲. برخی سوء برداشت‌های سنتی

اما شاید پرسیده شود: آیا واقعاً ساختارهای پایداری متشکل از اتم‌ها، به جز ملکول‌ها وجود ندارند؟ آیا یک سکه‌ی طلا که مثلاً چندین هزار سال در یک گوری دفن شده، خصلت‌های چهره‌ای را که بر آن نقش بسته حفظ نکرده است؟ درست است که سکه از شمار عظیمی از اتم‌ها درست شده، اما قطعاً در این مورد میل نداریم صرف حفاظت شکل را به آمار اعداد بزرگ نسبت دهیم. همین ملاحظات در مورد انبوه بلورهایی که با ظرافت و پاکی در یک صخره نهفته‌اند و بدون تغییر طی دوران‌های زمین شناختی در آن مانده‌اند، به کار می‌آیند.

این امر ما را به نکته‌ی دومی که می‌خواهم تشریح کنم، می‌رساند. موارد ملکول، جامد و بلور واقعاً با هم تفاوتی ندارند. در سایه دانش امروزی اینها اساساً یکسان‌اند. متأسفانه آموزش مدارس برخی دیدگاه‌های سنتی را که خیلی سال است کهنه شده‌اند و شناخت ما از حالت واقعی اوضاع را مبهم می‌کنند، ادامه می‌دهد.

در واقع آنچه در مدرسه درباره‌ی ملکول‌ها فرا گرفته‌ایم به ما این اندیشه را نمی‌دهد که ملکول‌ها بیشتر به حالت جامد شباهت دارند تا حالات آبگونه یا گاز. برعکس به ما آموخته‌اند که دقیقاً میان یک تغییر فیزیکی مانند ذوب یا تبخیر، که در آن ملکولها سالم می‌مانند (مثلاً الکل، خواه به شکل جامد، مایع یا گاز همیشه از یک ملکول  $C_2H_6O$  درست شده است) و یک تغییر شیمیایی مثلاً سوختن الکل، تمیز دهیم که در مورد اخیر یک ملکول الکل با سه ملکول اکسیژن دچار یک نوآرایی شده و تشکیل دو ملکول دی اکسید کربن و سه ملکول آب می‌دهند.



درباره‌ی بلورها (Crystals) هم به ما گفته‌اند که تشکیل شبکه‌های تناوبی مرتبه‌ی سه می‌دهند که در آن گاهی اوقات ساختار یک ملکول منفرد قابل تشخیص است، چنانچه در مورد الکل و بیشتر ترکیبات آلی چنین است، در حالی که در سایر بلورها، مثلاً سنگ نمک (NaCl)، نمی‌توان مرز ملکولهای NaCl را به خوبی مشخص کرد، چونکه هر اتم Na به‌طور متقارن توسط شش اتم کلر محاصره شده و برعکس. در

نتیجه این که کدام جفت‌ها (اگر جفتی باشد) شرکای ملکولی هم به شمار می‌آیند، بیشتر اختیاری است.

سرانجام اینکه به ما گفته‌اند یک جامد می‌تواند بلورین باشد یا نباشد که مورد اخیر را «بی‌ریخت» (amorphous) می‌نامند.

### ۴۳. «حالت‌های» گوناگون ماده

اکنون تا این حد پیش نمی‌روم که بگویم همه‌ی این بیانات کاملاً نادرست است. از لحاظ عملی برخی اوقات درست می‌باشند. اما از لحاظ ساختار ماده می‌بایست به گونه‌ای دیگر مرز و حدود را ترسیم نمود. تمایز بنیادین، میان دو رشته «معادله» ترسیم شده در زیر است:

ملکول = جامد = بلور

گاز = مایع = بی‌ریخت

می‌بایست اینها را به طور کوتاه تشریح کنم. جامدهایی که در اصطلاح بی‌ریخت نامیده می‌شوند، یا در واقع بی‌ریخت نیستند یا اینکه جامد واقعی نیستند. پرتوهای ایکس نشان داده‌اند که الیاف زغال چوب «بی‌ریخت»، دارای ساختار عادی بلورین گرافیت است. در نتیجه زغال چوب هم جامد و هم بلورین است. هرگاه ساختاری بلورین نیابیم باید آن جسم را مایعی با گرانیروی (viscosity - اصطکاک درونی) بسیار بالا انگاشت. چنان جسمی دمای ذوب و گرمای نهان ذوب مشخصی ندارد و جامد واقعی نمی‌باشد. هنگامی که گرم می‌شود، آهسته آهسته نرم می‌شود و سرانجام بدون هیچگونه ناپیوستگی مایع می‌شود. (بیاد دارم که در انتهای جنگ جهانی اول در وین چیزی قیر مانند به جای قهوه بما می‌دادند که آنقدر سخت بود که برای خرد کردن آجرک‌های آن تیشه لازم بود و سطوح شکستگی خیلی صاف و براق بودند. با این وجود این تکه‌ها در اثر ماندن رفتاری مانند مایع داشتند و در ته ظرفی که در آن قرار داشتند متراکم می‌شدند که به این خاطر عاقلانه نبود آنها را چند روزی به آن شکل رها نمود).

پیوستگی حالت‌گازی و مایع داستانی شناخته شده است. می‌توان هرگازی را بدون ناپیوستگی باگذر از «دور» نقطه موسوم به نقطه بحرانی، به مایع تبدیل کرد. اما ما وارد این بحث نمی‌شویم.

#### ۴۴. تمایزی که واقعاً اهمیت دارد

همه چیز را در طرح ترسیم شده‌ی بالا مستدل ساختیم مگر نکته اصلی را، یعنی اینکه می‌خواهیم یک ملکول را جامد = بلور تلقی کنیم. علت این است که اتم‌هایی که سازنده یک ملکول اند چه تعدادشان کم باشد یا زیاد توسط نیروهایی به هم متحد شده‌اند که سرشتی همانند نیروهای سازنده‌ی جامدها و بلورها دارند. ملکول همان جمود ساختار یک بلور را عرضه می‌دارد. به یاد دارید که همین جمود ساختاری است که از آن پایداری ژن را موجه و استنباط می‌کنیم.

تمایزی که واقعاً در مورد ساختار ماده معنی می‌دهد این است که اتم‌ها توسط نیروهای «جامدکننده‌ی» هایتر - لندن به هم پیوسته‌اند یا نه. در یک جامد و یک ملکول همه‌شان با نیروهای مزبور به هم پیوسته‌اند. در یک گاز تک اتمی (مانند بخار جیوه) این چنین نیست. در گازی متشکل از ملکول‌ها، تنها اتم‌های هر ملکول چنان به هم پیوند دارند.

#### ۴۵. بلور بی تناوب (aperiodic crystal)

یک ملکول کوچک را می‌توان «نطفهٔ یک جامد» نامید. با شروع از چنین نطفه‌ی جامد کوچک، به نظر می‌رسد که دو راه برای بنا کردن تجمع‌هایی هر چه بزرگتر وجود داشته باشد. یک راه نسبتاً خسته‌کننده عبارتست از تکرار مکرر همان ساختار در سه بعد و این راهی است که در یک بلور در حال رشد دنبال می‌شود. هنگامی که تناوب برقرار شد دیگر حد معینی برای اندازه‌ی تجمع در میان نیست. راه دیگر، ساختن تجمع‌هایی هر چه گسترده‌تر بدون توسل به تکرار خسته‌کننده است؛ و همین وضعی است که در مورد ملکول آلی هرچه پیچیده‌تر رخ می‌دهد و در آن هر اتم و هر گروه اتمی نقش انفرادی خود را دارند، و اصلاً هم ارزشی دیگری اتم‌ها یا گروه‌ها نمی‌باشند (برخلاف یک ساختار تناوبی). از این رو شاید بتوان اینها را به درستی بلور یا جامد بی‌تناوب نامید و فرضیه خود را چنین بیان داشت: عقیده داریم که یک ژن - یا شاید کل رشته کروموزومی<sup>۱</sup> یک جامد بی‌تناوب باشد.

۱. یعنی اینکه انعطاف فوق العاده آن مشکلی به بار نمی‌آورد، چنانچه درباره‌ی یک سیم نازک

## ۴۶. انواع محتویات در رمز مینیاتوری متراکم است

همیشه این پرسش مطرح بوده است که چگونه چنین ذره مادی کوچک یعنی هسته‌ی بارور شده، می‌تواند رمز نوشته‌ای چنان ظرافت بار را در برداشته باشد که همه تکامل آتی زیست‌مند را رقم زند؟ تنها ساختار مادی قابل تصویری که انواع آرایش‌های ممکن (همپاری) را که بتوانند دستگاهی پیچیده از «تعتین‌ها» را در یک محدوده‌ی فضایی کوچک فراهم آورد، اتحادی بسیار سامان یافته از اتم‌ها است، که از مقاومتی بسنده در حفظ نظم خود برخوردار است. در حقیقت نیازی نیست که شمار اتم‌ها در چنین ساختاری بسیار زیاد باشد تا اینکه شمار نامحدودی از آرایش‌های ممکن را میسر سازد. برای روشن شدن موضوع رمز مورس (Morse) را در نظر آورید. از کنار هم گذاشتن دو رمز نقطه و خط تیره در گروه‌های چهارتایی می‌توان سی جور کلمه دو حرفی ساخت. اکنون اگر علامت سومی به این دو بیافزایید و گروه‌هایی که از ده عضو بیشتر نداشته باشند بسازید، می‌توانید ۸۸۵۷۲ نوع «کلمه» بسازید و همین‌طور با استفاده از پنج علامت و گروه‌هایی تا ۲۵ حرف، تعداد کلمات به ۳۷۲۵۲۹۰۲۹۸۴۶۱۹۱۴۰۵ می‌رسد.

شاید اعتراض شود که تشبیه بالا ناقص است زیرا علایم مورس می‌تواند ترکیبات گوناگونی داشته باشد (مثلاً ۰۰- و یا ۰۰) و اینها با همپاری (isomerism) مورد نظر ما مطابقت ندارد. برای جبران این بیابید از مثال سوممان تنها ترکیباتی را برداریم که دقیقاً ۲۵ علامت دارند و دقیقاً ۵ تا از هر پنج نوع علامت (۵ نقطه، ۵ خط تیره، ...) را دارا می‌باشند. با یک محاسبه سرانگشتی تعداد ترکیب‌ها تقریباً حدود ۶۲۳۳۰۰۰۰۰۰۰۰ می‌شود که محض آسانی، عدد دقیق را حساب نکرده‌ام.

البته در واقعیت به هیچ وجه «همه» آرایش‌ها از گروه‌های اتمی نماینده یک ملکول ممکن نمی‌باشند. افزون بر این مسئله این نیست که یک رمز به‌طور دلخواهی پذیرفته شود، چونکه رمز نوشته خود باید عاملی فعال در انجام رشد و تکامل باشد. اما از سویی تعدادی که در مثال مزبور برگزیدیم (یعنی ۲۵) خیلی کوچک است و تنها آرایش‌های ساده در یک خط را در نظر آورده‌ایم. آنچه

می‌خواهیم روشن کنیم این است که با تصور ملکولی از زن، دیگر غیر قابل تصور نیست که رمز مینیاتوری دقیقاً با یک طرح و نقشه‌ی پیچیده و مشخص برای رشد و تکامل مطابقت داشته باشد و الزاماً به گونه‌ای ابزارهای اجرای آن را هم در خود دارا باشد.

#### ۴۷. مقایسه با حقایق: درجه پایداری؛ ناپیوستگی جهش

حال بگذارید به مقایسه تصویر نظری با واقعیت‌های زیست شناختی بپردازیم. نخستین پرسش بدیهی این است که آیا می‌توان میزان بالای پایداری را که مشاهده می‌کنیم، توجیه کرد. آیا مقادیر آستانه‌ای که لازم است - مضارب بالایی از میانگین کارمایه گرمایی - معقول است، و آیا اینها در گستره شناخته شده در شیمی هستند؟ این پرسشی پیش پا افتاده است که می‌توان بدون مراجعه به جدول‌ها بدان پاسخی مثبت داد. ملکول هر ماده‌ای که شیمیدان بتواند در یک دمای معین جدا سازد می‌بایست دست‌کم دقایقی عمر داشته باشد. (دست پایین را گرفتیم، و علی‌القاعده عمرشان خیلی بیشتر است.) بنابراین مقادیر آستانه‌ای که شیمیدان می‌بیند الزاماً درست در حدود مقداری است که عملاً برای توجیه هر میزان از پایداری که زیست شناس با آن روبرو است لازم می‌باشد. زیرا از بخش ۳۶ بیاد داریم که آستانه‌هایی که در گستره‌ی حدود ۱:۲ تغییر می‌کنند توجیه‌گر طول عمرهایی بین کسری از ثانیه تا هزاران سال می‌باشند.

اما بگذارید محض مراجعه بعدی ارقامی را یادآور شوم. نسبت  $W/kT$  در مثال یاد شده در بخش ۳۶ یعنی

$$\frac{W}{kT} = ۳۰ \text{ و } ۵۰ \text{ و } ۶۰$$

که به ترتیب طول عمرهای

$$\frac{۱}{۱۰} \text{ ثانیه و } ۱۶ \text{ ماه و } ۳۰۰۰۰ \text{ سال}$$

را دادند، به ترتیب در دمای اتاق با مقادیر آستانه‌ی

$$۰/۹، ۱/۵، \text{ و } ۱/۸ \text{ الکترون ولت مطابقت دارند.}$$

بایستی واحد «الکترون ولت» را که برای فیزیکدان بسی آسان است، توضیح دهم زیرا که قابل تصور است. برای نمونه عدد سوم (۱/۸) معنی‌اش این است که الکترونی

که توسط یک ولتاژ ۲ ولتی شتاب گرفته به اندازه‌ای کافی کارمایه کسب کرده که بتواند در یک اصابت تبدیلی را سبب گردد. (محض مقایسه یک باتری قلمی چراغ قوه جیبی ۱/۵ ولت دارد.)\*

با این ملاحظات می‌توان تصور کرد که یک تغییر آرایش همپاری (isomeric) در بخشی از ملکول مان که ناشی از افت و خیز اتفاقی در کارمایه ارتعاشی باشد، عملاً می‌تواند رویدادی آنقدر نادر باشد که بتوان آن را جهشی خودبخودی تلقی کرد. به این ترتیب ما می‌توانیم براساس خود اصول کوانتوم مکانیک شگفت‌آورترین واقعیت مربوط به جهش‌ها را توجیه کنیم، یعنی واقعیتی که نخستین بار توجه دوری را به خود جلب کرد و آن تغییرات «جهش‌کننده» بدون وقوع شکل‌های واسطه است.

#### ۴۸. پایداری ژن‌های گزیده شده طبیعی

با کشف اینکه آهنگ جهش طبیعی توسط هرگونه تابش یونیزان (یونیزه‌کننده) زیاد می‌شود، به نظر می‌رسد که می‌توان آهنگ طبیعی را به فعالیت پرتوزایی (رادیو اکتیویته) خاک، هوا و تابش‌های کیهانی نسبت داد. اما مقایسه کمی؛ نتایج اشعه ایکس نشان می‌دهد که «تابش طبیعی» بی‌اندازه ضعیف است و تنها می‌تواند اندکی از آهنگ طبیعی جهش را پاسخگو باشد.

مسلم که می‌بایستی جهش‌های طبیعی کمیاب را به وسیله افت و خیزهای بختانه‌ی حرکات گرمایی توجیه کنیم، نباید خیلی تعجب کنیم که طبیعت چنان مقادیر آستانه ماهرانه‌ای را برگزیده که برای کمیاب ساختن جهش لازم می‌باشد. چونکه پیشتر در این سخنرانی ما به این نتیجه رسیدیم که جهش‌های مکرر برای تکامل زیانبخش‌اند. افرادی که در اثر جهش، آرایشی از ژن را کسب می‌کنند که پایداری کافی ندارد، شانس خیلی کمی برای دیدن بقای طولانی اخلافشان که به سرعت جهش می‌یابند، دارا می‌باشند. گونه‌ها از آنها رها خواهند شد و ژن‌های پایدار را از راه گزینش طبیعی جمع خواهند کرد.

---

\* در متن اصل ۳ ولت بود که چون باتری‌های امروزی ۱/۵ ولت دارند، رقم اخیر نوشته شده است. م

## ۴۹. گاه کم ثباتی جهش یافته‌ها

اما البته درباره‌ی جهش یافته‌هایی (mutants) که در آزمایش تکثیر حضور دارند و به عنوان جهش یافته برای بررسی اخلافشان انتخاب می‌کنیم، هیچ دلیلی وجود ندارد که همه‌شان آن پایداری و ثبات بالا را از خود نشان دهند. چونکه هنوز «مورد آزمایش» قرار نگرفته‌اند - یا اگر هم شده‌اند، به خاطر جهش پذیری بسیار بالای‌شان در «نسل‌های وحشی» طرد شده‌اند. به هر ترتیب به هیچ وجه جای شگفتی نیست که عملاً ببینیم برخی از این جهش یافته‌ها جهش پذیری بسیار بیشتری نسبت به ژن‌های «وحشی»\* دارند.

## ۵۰. دما بر ژن‌های ناپایدار کمتر از پایدار اثر دارد

این به ما امکان می‌دهد که فرمول جهش پذیری مان یعنی

$$t = \tau e^{W/kT}$$

را بیازماییم. (به یاد داریم که  $t$  زمان انتظار مربوط به یک جهش با آستانه کارمایه  $W$  است.) اکنون می‌پرسیم  $t$  چگونه با دما تغییر می‌کند؟ به آسانی از فرمول بالا می‌توان نسبت تقریبی مقدار  $t$  در دمای  $T + 10$  را نسبت به دمای  $T$  بدست آورد، یعنی

$$\frac{t_{T+10}}{t_T} = e^{-10W/kT^2}$$

چون توان منفی است، طبیعتاً نسبت از یک کوچکتر است. یعنی اینکه با افزایش دما، زمان انتظار کاهش و جهش‌پذیری افزایش پیدا می‌کند. این موضوع را می‌شود با آزمایش سنجید، چنانچه در مورد مگس درزفیل در گستره‌ای از دما که زنده می‌ماند، آزمایش شده است. نتایج در دید اول شگفت‌آور بوده است. جهش در ژن‌های وحشی که جهش‌پذیری کم دارند به طور چشمگیری افزایش یافت اما در برخی ژن‌های جهش یافته که جهش‌پذیری بالا داشتند، افزایش نیافت و یا به هر ترتیب خیلی کمتر افزایش پیدا کرد. و این دقیقاً همان چیزی

---

\* واژه وحشی (wild) را معمولاً برای گونه پایدار و غالبی که در طبیعت به وفور یافت می‌شود بکار می‌برند. م

است که از مقایسه دو فرمول انتظار داریم. طبق فرمول نخست برای اینکه  $t$  زیاد باشد (ژن پایدار) می‌بایست که نسبت  $W/kT$  زیاد باشد. اما طبق فرمول دوم همین امر باعث کوچکی نسبت محاسبه شده می‌شود، یعنی جهش‌پذیری به طور چشمگیری با دما افزایش می‌یابد. (مقادیر واقعی ظاهراً بین  $\frac{1}{2}$  و  $\frac{1}{5}$  است. عکس این مقدار یعنی حدود  $2/5$  چیزی است که در واکنش‌های شیمیایی ضریب وانتیروف نام دارد.)

### ۵۱. چگونه پرتوهای ایکس جهش می‌آفرینند

برگردیم به آهنگ جهش القا شده توسط پرتوهای ایکس. از آزمایش‌های تکثیر و تناسل دریافتیم که اولاً یک رویداد منفرد، جهش را سبب می‌شود (از تناسب آهنگ جهش با دُراژ)، و دوم اینکه این رویداد منفرد می‌بایست یک یونش (ionization) یا فرایندی همسان آن باشد که در حجم معینی، تنها در مکعبی حدوداً به ضلع ده فاصله‌ی اتمی رخ دهد تا اینکه جهشی پیش آید (از نتایج کمی و از این حقیقت که آهنگ جهش مستقل از طول موج است و بستگی به حاصل جمع (انتگرال) چگالی یونش دارد) مطابق تصویر ما، روشن است که کارمایه لازم برای فائق آمدن بر آستانه بایستی توسط فرایندی انفجارگونه، یونش و یا برانگیختگی تامین گردد. علت اینکه آن را انفجارگونه می‌نامم این است که کارمایه‌ای که در یک یونش صرف می‌شود (اتفاقاً توسط خود پرتو ایکس صرف نمی‌شود بلکه توسط الکترونی که بوجود می‌آورد) به خوبی دانسته می‌باشد و مقدار نسبتاً زیادی حدود  $30$  الکترون ولت است. یک چنین کارمایه عظیمی باعث گرمای بسیار زیاد پیرامون نقطه‌ی اصابت و تخلیه کارمایه گردیده از آنجا به شکل «موج گرما»، موجی از نوسان‌های شدید اتم‌ها، به دیگر نقاط می‌گسترده. اینکه یک چنین موج گرمایی هنوز بتواند کارمایه‌ی آستانه لازم یا  $1$  یا  $2$  الکترون ولت را، در یک «گستره‌کنش» میانگین (average range of action) در حدود ده فاصله اتمی، تامین کند، بعید به نظر نمی‌رسد. گرچه به احتمال زیاد یک فیزیکدان فاقد پیشداوری می‌توانست گستره‌ی کنش اندک کمتری را پیش‌بینی کرده باشد. اینکه در خیلی از موارد اثر انفجار یک تبدیل همپاری منظم نبوده، بلکه لطمه به کروموزم می‌باشد قابل انتظار بوده، در عمل هم دقیقاً مشاهده شده است، و اگر تقاطع‌های زیرکانه باعث حذف همتای آسیب‌نندیده (کروموزم همتا



از دسته دوم) و جایگزینی اش با همتایی که ژن مربوطه اش کشنده است بشود، این لطمه مرگ آور می شود.

## ۵۲. کارآیی شان بستگی به جهش پذیری خودبخودی ندارد

از تصویری که اشاره شد می توان به آسانی خیلی از جنبه های دیگر را فهمید، اگرچه نتوان پیش بینی کرد. برای نمونه یک جهش یافته ی ناپایدار به طور میانگین آهنگ جهش اش در اثر تابش ایکس خیلی بیشتر از یک نوع پایدار نیست. بنابر آنچه گفته شد، با انفجاری که ۳۰ الکترون ولت کارمایه در اختیار می نهد قطعاً انتظار نمی رود که تفاوت چندانی کند که کارمایه آستانه مورد نیاز اندکی کمتر یا بیشتر، مثلاً ۱ یا ۱/۳ ولت باشد.

## ۵۳. جهش های برگشت پذیر

در برخی موارد تبدیلی در دو جهت مورد بررسی قرار گرفته است، یعنی از یک ژن «وحشی» به یک جهش یافته ی خاص و برعکس از آن جهش یافته به سمت ژن وحشی. در این گونه موارد آهنگ طبیعی جهش گاهی یکسان و گاهی بسیار متفاوت است. در دید نخست این امر گیج کننده است زیرا چنین به نظر می رسد که آستانه ای که باید بر آن فائق آمد در هر دو مورد یکسان است. اما البته نیاز نیست چنین باشد، چونکه بایستی از تراز کارمایه ی آرایش آغازین سنجیده شود، که این می تواند در مورد ژن وحشی متفاوت از جهش یافته باشد. (رک شکل ۱۷، صفحه ۶۴ که در آن «۱» می تواند آلل وحشی و «۲»، جهش یافته باشد که پایداری کمتر آن با پیکان کوتاه تر نمایش داده شده است.)

رویه مرفته گمان دارم که «الگوی» دلبروک از پس آزمایش ها بخوبی برمی آید و بهره برداری از آن در ملاحظات بعدی معقول می باشد.

## ۶. نظم، بی‌نظمی و آنتروپی

نه جسم روح (ذهن) را وادار به فکر می‌کند و نه روح  
جسم را به حرکت یا سکون و یا هر چیز دیگر، اگر  
چنان چیزی باشد، وامی دارد.

اسپینوزا - اخلاق قسمت ۳، 2Prop

### ۵۴. یک نتیجه‌گیری مهم از الگو

بگذارید به آخرین عبارت بخش ۴۶ برگردم. در آنجا کوشیدم توضیح دهم که تصویر  
ملکولی ژن، دست‌کم تصویرپذیر ساخت «که رمز مینیاتوری باید انطباق یک به یک با  
طرحی بسیار پیچیده و مشخص از رشد و تکامل داشته و به گونه‌ای ابزارهای اجرایی  
آن را در برداشته باشد». خوب، اما چگونه این را انجام می‌دهد؟ چگونه تصویرپذیری را  
به فهم راستین تبدیل خواهیم کرد؟

به نظر می‌رسد که الگوی ملکولی دلبروک، در تمام کلیتش فاقد هرگونه اشاره‌ای  
به اینکه نهاد ژنتیکی چگونه کار می‌کند، می‌باشد. در حقیقت انتظار ندارم در  
آینده‌ی نزدیک اطلاعات مفصلی درباره‌ی این پرسش از فیزیک، عاید شود. البته یقین  
دارم پیشرفت ما از زیست‌شیمی و تحت هدایت فیزیولوژی و ژنتیک، ادامه خواهد  
یافت.

از توصیف کلی که در بالا ارائه شده هیچگونه اطلاعات تفصیلی درباره‌ی کارکرد  
ساختار ژنتیکی بدست نمی‌آید. این امر واضح و روشن است. اما شگفتا که تنها یک  
استنتاج کلی از آن عاید می‌شود و اعتراف دارم که تنها انگیزه‌ی من در نوشتن این  
کتاب همین بوده است.

از تصویر کلی دلبروک دربارهٔ ماده‌ی وراثتی چنین ظاهر می‌شود که ماده‌ی زنده، در عین حال که از «قوانین فیزیک» در آن حد که تاکنون تثبیت شده، سرپیچی نمی‌کند، احتمالاً مستلزم «قوانین دیگری از فیزیک» که تاکنون شناخته نشده‌اند نیز بشود، که با وجود این هرگاه پدیدار شوند آنها نیز مانند پیشینی‌ها بخشی از پیکره‌ی علوم را خواهند ساخت.

### ۵۵. نظم مبتنی بر نظم

این رشته‌ای باریک از افکار است که در معرض بیش از یک سوء تعبیر می‌باشد. تمامی صفحات آتی به روشن کردن این مطلب اختصاص دارد. یک بینش اولیه، خام کاملاً عاری از خطا، از ملاحظات زیر بدست می‌آید:

در قسمت اول کتاب توضیح دادیم که قوانین فیزیک، انسان که می‌دانیم، آماری‌اند<sup>۱</sup> و خیلی باگرایش طبیعی چیزها به سوی بی‌نظمی مرتبط‌اند.

اما برای سازش دادن ثبات ماده‌ی وراثت با حجم کوچکش مجبور شدیم که برای گریز از گرایش به بی‌نظمی «ملکول را اختراع» کنیم، آنهم در واقع ملکولی فوق‌العاده بزرگ که می‌باید شاهکاری از نظم کاملاً تمایز یافته و تحت حراست عصای جادویی مکانیک کوانتومی باشد. با این «اختراع» قوانین بخت و احتمال به هم نمی‌ریزد، بلکه نتایج شان تغییر می‌کند. فیزیکدان با این حقیقت آشنا است که قوانین فیزیک سنتی توسط مکانیک کوانتایی تغییر پیدا می‌کنند، به ویژه در دماهای پایین. موارد زیادی از این وجود دارد که یکی‌اش حیات است که علی‌الخصوص از همه تکان دهنده‌تر می‌باشد. به نظر می‌رسد که حیات رفتاری منظم و قانونمند از ماده است که انحصاراً بر مبنای گرایش آن از نظم به بی‌نظمی تکیه نداشته بلکه تا اندازه‌ای بر نظم موجود که حفظ می‌شود، اتکا دارد.

امیدوارم بتوانم دیدگاهم را برای فیزیکدان - و تنها برای وی - به این طریق روشن سازم که بگویم: به نظر می‌رسد که موجود زنده یک دستگاه کلان (ماکروسکوپی) است که در پاره‌ای از رفتارش به رفتار صرفاً مکانیکی (در مقایسه با

۱. بیان این مطلب بعنوان یک عمومیت کلی دربارهٔ «قوانین فیزیک»، شاید مورد چالش قرار بگیرد. این نکته در فصل ۷ کتاب مورد بحث قرار خواهد گرفت.

ترمودینامیکی) همه دستگاه‌هایی گرایش پیدا می‌کند که هنگام رسیدن به صفر مطلق می‌گیرند و بی‌نظمی ملکولی‌شان از میان می‌رود. گرایش پیدا می‌کند. برای غیر فیزیکدان سخت است که باور کند که قوانین معمولی فیزیک، که به چشم وی نمونه‌ی دقت غیرقابل سرپیچی است، بنیانش بر گرایش آماری ماده به بی‌نظمی استوار باشد. در فصل اول نمونه‌هایی را ارائه کردم. اصل کلی مربوط به این موضوع، قانون دوم ترمودینامیک (اصل آنتروپی) و بنیان آماری هم شهرت آن می‌باشد. در بخش‌های ۵۶ تا ۶۱ خواهیم کوشید تا پیامدهای اصل آنتروپی را در رفتار کلان موجود زنده - با چشم پوشی فعلی از آنچه درباره کروموزم‌ها، وراثت و غیره دانسته می‌باشد - ترسیم کنم.

## ۵۶. موجود زنده از زوال به تعادل می‌گریزد

خصوصیت بارز حیات چیست؟ کی قطعه‌ای از یک ماده را زنده می‌گویند؟ هنگامی که چیزی انجام می‌دهد، حرکت می‌کند، با پیرامونش مبادله مواد می‌کند و غیره و این کار را خیلی طولانی‌تر از یک جسم بی‌جان تحت همان شرایط انجام می‌دهد. هنگامی که دستگاهی (system) زنده نباشد منزوی و یا در محیطی یکنواخت قرار داده شود، معمولاً در نتیجه اصطکاک‌ها به زودی به سکون می‌گراید، یعنی اختلاف پتانسیل‌های الکتریکی یا شیمیایی از میان می‌روند، موادی که میل به ساختن ترکیب تازه‌ای دارند کارشان را انجام می‌دهند و در اثر انتقال گرما، دما در همه جا یکسان می‌شود. زان پس کل دستگاه (system) به توده‌ای از ماده‌ی مرده می‌پژمرد و حالتی همیشگی پدیدمی‌آید که در آن هیچ رویداد مشهودی رخ نمی‌دهد. فیزیکدان این حالت را تعادل ترمودینامیکی یا «بیشینه‌ی آنتروپی» می‌نامد.

عملاً یک چنین حالتی معمولاً به تندی بدست می‌آید، از لحاظ نظری بیشتر اوقات این حالت هنوز تعادل مطلق، یعنی بیشینه‌ی واقعی آنتروپی نمی‌باشد. اما آنگاه رویکرد نهایی به سوی تعادل خیلی کند صورت می‌گیرد که می‌تواند از ساعت‌ها تا سال‌ها و قرن‌ها و ... به طول انجامد. برای نمونه - مثالی که رویکرد آن باز هم نسبتاً تند است: اگر لیوانی از آب خالص و لیوانی از آب قند را با هم زیر یک سرپوش شیشه‌ای کاملاً بسته در محلی با دمای ثابت بگذاریم، در ابتدا بنظر می‌رسد که چیزی رخ نمی‌دهد و در ظاهر تعادلی کامل برقرار شده است. اما پس از یکی دو روز

دیده می‌شود که آب خالص به خاطر بالاتر بودن فشار بخارش به آهستگی تبخیر و بر روی آب قند می‌نشیند و اگر این لیوان پر باشد، سرریز می‌شود. تنها هنگامی که همه‌ی آب خالص تبخیر شد، قند به هدف نهایی‌اش که توزیع یکسان خود در همه‌ی آب موجود است، می‌رسد.

هیچگاه اینگونه گرایش‌های آهسته به سمت تعادل را نمی‌شود با حیات اشتباه گرفت و ما می‌توانیم از آنها در اینجا چشم‌پوشی کنیم. علت یادآوری اینها خلاص کردن خود از اتهام بی‌دقتی است.

### ۵۷. از «آنتروپی منفی» تغذیه می‌کند

به خاطر همین پرهیز از زوال تند به حالت بی‌اثر «تعادل» است که یک زیست‌مند تا این اندازه معمایی بنظر می‌آید، به حدی که از همان آغاز اندیشه‌ی بشری ادعا شده که نوعی نیروی غیر فیزیکی و فوق طبیعی (نیروی حیاتی، ذره وجودی) در زیست‌مند در کار است و هنوز هم در برخی محافل چنین ادعا دارند.

موجود زنده چگونه از این زوال پرهیز می‌کند؟ پاسخ بدیهی چنین است: با خوردن، آشامیدن، نفس کشیدن، و در مورد گیاهان جذب و ترکیب. واژه‌ی تخصصی اینها سوخت و ساز است. کلمه *metabólein* به یونانی یعنی تبدیل یا مبادله. مبادله چه چیزی؟ بی‌تردید در ابتدا منظور تبادل مواد بوده است. (مثلاً کلمه‌ی آلمانی برای *metabolism*، تبادل ماده یا *stoffwechsel* است.) اینکه تبادل ماده آن چیز اساسی باشد بی‌معنا و مهمل است. هر اتم نیتروژن، اکسیژن، گوگرد و غیره بخوبی هر اتم از همان نوع است. پس از تبادل آنها چه عاید می‌شود؟ در گذشته برای مدتی کنجکاوی‌مان را باگفتن اینکه ما از کارمایه (انرژی) تغذیه می‌شویم، فرو می‌نشانند. در برخی کشورهای خیلی پیشرفته (نمی‌دانم آلمان یا ایالات متحده، یا هر دو) در فهرست غذای رستوران‌ها علاوه بر قیمت، محتوای کارمایه هر پرس از غذا نیز نوشته شده بود، که اگر دقیقاً توجه شود بهمان اندازه مهمل است. محتوای کارمایه‌ی یک زیست‌مند بالغ همان وضع پایداری را دارد که محتوای مادی آن. از آنجا که یک کالری ارزشی برابر هر کالری دیگر دارد، نمی‌شود فهمید که صرف تبادل چه سودی دارد. پس آن چیز گرانبهایی که در غذای ما وجود دارد و ما را از مردن باز می‌دارد چیست؟ پاسخ آن آسان است هر فرایند، رویداد، اتفاق - هر چه خواهیدش نامید، در

یک کلام آنچه در طبیعت رخ می‌دهد معنایش افزایش آنترופی در آن بخش از دنیا است که آن رویداد در آن رخ می‌دهد (بنابراین یک موجود زنده پیوسته آنترופی‌اش را افزایش می‌دهد - یا شاید بتوان گفت آنترופی مثبت به وجود می‌آورد - و در نتیجه میل دارد به حالت خطرناک بیشینه آنترופی، که مرگ است، بگراید. تنها کاری که می‌تواند بکند این است که از آن دوری کند، یعنی زنده بماند، به این طریق که پیوسته از پیرامونش آنترופی منفی بکشد - که چنانچه به زودی خواهیم دید ثمره‌ی بسیار مثبت به همراه دارد. یا به زبانی ساده‌تر، بنیادی‌ترین چیز در سوخت و ساز این است که زیست‌مند در حین حیاتش خود را از همه‌ی آنترופی که به ناچار تولید می‌کند، رها می‌سازد.)

## ۵۸. آنترופی چیست؟

آنترופی چیست؟ بگذارید تاکید کنم که این یک مفهوم یا اندیشه‌ی مبهم و تار نیست، بلکه یک کمیت فیزیکی قابل اندازه‌گیری همانند طول یک میله، دمای هر نقطه از یک جسم، گرمای نهان یک بلور معین، یا گرمای ویژه‌ی هر جسمی می‌باشد. در نقطه صفر دمای مطلق (حدوداً  $273^{\circ}\text{C}$ -) آنترופی هر جسمی برابر صفر است. هنگامی که به آهستگی و طی گام‌هایی کوچک و برگشت‌پذیر، جسمی را به حالتی دیگر ببریم (حتی اگر بدان وسیله سرشت فیزیکی یا شیمیایی جسم تغییر کند و یا به دو یا چند پاره با خصوصیات فیزیکی و شیمیایی متفاوت، تقسیم شود) آنترופی به اندازه‌ای معین زیاد می‌شود و می‌توان از تقسیم هر بخش از گرمای داده شده در آن عمل به دمایی که گرما در آن مبادله شده و تعیین حاصل جمع‌شان این مقادیر را بدست آورد. برای نمونه هرگاه جامدی را ذوب می‌کنید، افزایش آنترופی به اندازه‌ی حاصل تقسیم گرمای ذوب بر دمای نقطه ذوب می‌باشد. از اینرو دیده می‌شود که واحد آنترופی بر حسب  $\text{Cal}/\text{C}^{\circ}$  است. (همانگونه که کالری واحد گرما و سانتیمتر واحد طول است.)

## ۵۹. مفهوم آماری آنترופی

این تعریف تخصصی از آنترופی را تنها به این منظور یادآور شدم که آنترופی را از حوزه‌ی تار و اسرارآمیزی که اغلب آن را پوشانیده به در آورم. در اینجا برای ما خیلی

مهمتر تاثیر مفهوم آماری نظم و بی‌نظمی است که ارتباط آن در سایه پژوهش‌های بولتزمان و گیبس در فیزیک آماری هویدا گردید. این ارتباط نیز یک ارتباط کمی و دقیق است که توسط رابطه‌ی زیر بیان می‌شود.

$$k \text{ Log } D = \text{آنترپی}$$

که در آن  $k$  ثابت بولتزمان ( $1.38 \times 10^{-23} \text{ cal/}^\circ\text{C}$ )، و  $D$  معیاری کمی از بی‌نظمی اتمی در جسم مورد نظر است. توضیح کمیت  $D$  به زبان ساده غیر تخصصی و کوتاه، خیلی سخت و غیرممکن است. بی‌نظمی مورد اشاره بخشی متعلق به حرکات گرمایی و بخشی متشکل از آمیختن هر دمبیل اتم‌ها و ملکول‌های گوناگون، به عوض خالص جدا ماندن‌شان<sup>۱</sup>، است، برای نمونه ملکول‌های قند و آب در مثال پیشین. این مثال معادله‌ی بولتزمان را خوب روشن می‌کند. «پخش تدریجی» قند در تمامی آب قابل دسترس، باعث افزایش  $D$  و در نتیجه آنترپی (یعنی لگاریتم  $D$ ) می‌شود. همچنین روشن می‌شود که هرگونه گرماسانی، اغتشاش‌های حرارتی، و در نتیجه  $D$ ، یعنی آنترپی را افزایش می‌دهد. علی‌الخصوص به روشنی دیده می‌شود که هنگامی که بلوری ذوب می‌شود، ساختار منظم و همیشگی اتم‌ها یا ملکول‌های آن به هم می‌ریزد و شبکه‌ی بلوری به یک توزیع بختانه که پیوسته در تغییر است، تبدیل می‌شود.

یک دستگاه (system) منزوی یا دستگاهی واقع در یک محیط یکنواخت (که در بحث کنونی بهتر است آن را بخشی از دستگاه مورد توجه‌مان منظور کنیم) آنترپی‌اش را افزایش می‌دهد و کم و بیش به سرعت به حالت آنترپی بیشینه و بی‌اثر می‌گراید. هم اکنون می‌پذیریم که این قانون بنیادین فیزیک صرفاً گرایش اشیاء به سوی حالت هبایی (درهم ریخته chaotic) را می‌رساند - همان گرایشی که کتاب‌های یک کتابخانه یا کاغذها و مقالات روی یک میز کار دارند - مگر این که ما آن را مرتفع کنیم. (در این مورد مشابه حرکات حرارتی نامنظم، این است که این اشیاء را دستکاری کنیم ولی سر جای خودشان نگذاریم.)

۱. منظور اجزای خالص پیش از مخلوط شدنشان است - م

### ۶۰. سازماندهی با استخراج «نظم» از پیرامون حفظ می‌شود

چگونه می‌توان توانایی شگفت‌آوری را که بدان وسیله یک موجود زنده زوالش به تعادل ترمودینامیکی (مرگ) را به تاخیر می‌اندازد، براساس نظریه آماری بیان کرد؟ جلوتر گفته شد: «از آنتروپی منفی تغذیه می‌کند»، چنانچه گویی جریانی از آنتروپی منفی را به خود جلب می‌کند تا اینکه جبران افزایش آنتروپی که خود خلق می‌کند، بشود و به این ترتیب خود را در تراز پایدار و نسبتاً پایین از آنتروپی نگه دارد.

اگر  $D$  معیاری از بی‌نظمی باشد، عکس آن  $1/D$  را می‌توان معیار مستقیم نظم انگاشت. چون لگاریتم  $1/D$  برابر منفی لگاریتم  $D$  است می‌توان رابطه‌ی بولترمان را چنین نوشت:

$$-(\text{آنتروپی}) = k \log(1/D)$$

در نتیجه به جای کلمه نامانوس «آنتروپی منفی» می‌توان گفت: آنتروپی با علامت منفی، خودش معیار نظم می‌باشد و بنابراین ابزاری که بدان وسیله یک زیستمند خود را در حالت پایا (stationary) با نظمی نسبتاً بالا (= تراز نسبتاً پایینی از آنتروپی)، نگه میدارد، در واقع مکیدن نظم از پیرامونش می‌باشد. این نتیجه‌گیری کمتر از آنچه در ابتدا به چشم می‌آید، تناقض‌آمیز است. بلکه بیشتر تقصیر سادگی آن است. در واقع در مورد حیوانات رده‌ی بالا نوع نظمی که از آن تغذیه می‌کنند، بخوبی می‌شناسیم؛ یعنی حالت بسیار منظم ماده در ترکیبات کم و بیش پیچیده‌الی که غذای آنها را می‌سازند. پس از بهره برداری‌شان، آنها را به شکلی فرو پاشیده بر می‌گردانند. البته نه کاملاً فرو پاشیده، چونکه هنوز گیاهان می‌توانند از اینها بهره گیرند. (البته اینها بیشترین منبع «آنتروپی منفی» شان را از آفتاب دارند.) رک به یادداشت مندرج در پایان فصل ۶



## ۷. آیا حیات مبتنی بر قوانین فیزیک است

اگر کسی هرگز تناقض نگوید، دلیلش باید این باشد

که اصلاً هیچ وقت چیزی نمی‌گوید.

میگل دُاونامونو (Miguel de Unamuno)،

نقل از مصاحبه

### ۶۱. انتظار قوانینی جدید در زیست‌مند

آنچه می‌خواهم در این آخرین فصل به طور کوتاه روشن سازم این است که از همه‌ی آنچه راجع به ساختار ماده‌ی زنده فرا گرفته‌ایم، باید آماده باشیم که کارکرد آن را به گونه‌ای بیابیم که غیرقابل کاستن به قوانین معمولی فیزیک باشد. و این نه بر این بنیان که «نیروی تازه‌ای» یا هر چیز دیگری، رفتار تک‌اتم‌ها را در درون یک موجود زنده هدایت می‌کند، بلکه به این خاطر که ساختمانش با آنچه تاکنون در آزمایشگاه فیزیک آزمایش کرده‌ایم تفاوت دارد. به بیانی خام، یک مهندس آشنا با ماشین‌های حرارتی پس از بررسی یک موتور الکتریکی تنها خواهد دید که کارکرد این ماشین طبق اصولی است که هنوز وی نمی‌فهمد. وی می‌بیند که مسی که در دیگ‌ها برایش آشنا است در اینجا به شکل سیم‌هایی ظریف و بلند در سیم پیچ‌ها به کار رفته، آهنی که در اهرم‌ها و میله‌ها و استوانه‌های بخار آشنا است در اینجا صفحات درون سیم‌پیچ‌های مسی را می‌سازد. وی قانع خواهد شد که مس همان مس و آهن همان آهن است و تابع قوانین طبیعی یکسان‌اند و حق با او می‌باشد. اما تفاوت ساختمانی چنان است که وی را برای راه متفاوتی از طرز کار آماده سازد. وی گمان نخواهد برد که یک موتور الکتریکی توسط شبکی رانده می‌شود چونکه باگرداندن یک کلید، بدون جوشاور (دیگ بخار) و بخار، شروع به چرخیدن می‌کند.

## ۶۲. مروری بر وضعیت زیست‌شناختی

پیدایش رویدادها در چرخه حیات یک زیست‌مند چنان نظم و انضباطی از خود نشان می‌دهد که شبیه هیچ چیزی در ماده‌ی بی‌جان نمی‌باشد. دیده می‌شود که این امر به طرز بسیار عالی توسط گروهی از اتم‌های بسیار نظام یافته تنظیم و مهار می‌شود که خود تنها بخش بسیار کوچکی از کل هر یاخته را می‌سازد. افزون بر این از دیدگاهی که از ساختار جهش پیدا کرده‌ایم به این نتیجه می‌رسیم که جابجایی تنها تعداد کمی از اتم‌ها در گروهی از «اتم‌های حاکم» در یاخته‌ی زایا (germ cell) برای بروز تغییرات کاملاً مشخص در خصوصیات کلان زیست‌مند (روبنای ژنتیکی - م) بسنده می‌کند.

این حقایق از جالبترین چیزهایی است که علم امروز آشکار ساخته است و شاید تمایل داشته باشیم که بالاخره اینها را کاملاً غیر قابل قبول نپنداریم. به نظر می‌رسد که استعداد زیست‌مند در تمرکز «جریانی از نظم» بر خود، و بدان وسیله گریز از زوال در هبای (بی‌نظمی chaos) اتمی - «نوشیدن نظم» از یک سرچشمه مناسب - با حضور «جامدهای بی‌تناوب»، یعنی ملکول‌های کروموزم مرتبط است که بی‌تردید نماینده اتحادیه اتمی بسیار منظم با بالاترین درجه‌ای که می‌شناسیم می‌باشد - یعنی از لحاظ نقشی که هر اتم یا گروه اتمی، در اینجا ایفا می‌کند، خیلی فراتر از بلور تناوبی می‌باشد.

خلاصه اینکه شاهد رویدادی هستیم که نظم موجود، هم توانایی حفظ خود و هم زایش رویدادهای منظم را بروز می‌دهد. این به خودی خود به حد کافی پذیرفتنی و ستودنی است، گرچه این امر بی‌تردید ما را به تجربیاتمان در ارتباط با نظام اجتماعی و سایر امور که با فعالیت زیست‌مندان مرتبط است، وامی‌دارد. انگار چیزی شبیه یک دور باطل (vicious cycle) تداعی می‌شود.

## ۶۳. خلاصه وضع فیزیکی

هر جور که باشد باید دوباره تاکید کرد که این وضعیت نه تنها برای فیزیکدان ستودنی بلکه هیجان انگیزترین است، زیرا که بی‌سابقه است. برخلاف اعتقاد عمومی، روند منظم رویدادها که تحت قوانین فیزیکی هستند، هرگز نتیجه یک آرایش بسیار

منظم از اتم‌ها نمی‌باشد. مگر اینکه آن آرایش، اتم‌های خود را به دفعاتی بس زیاد، یا مانند بلوری تناوب دار یا مانند مایع یا گازی که از شمار بسیار زیادی از اتم‌ها یا ملکول‌های یکسانی ساخته شده تکرار کرده باشد. حتی هنگامی که شیمیدان با یک ملکول پیچیده در لوله آزمایش سروکار دارد، همواره با تعدادی از ملکولهای یکسان روبرو است و قوانین وی بر آنها حاکم است مثلاً وی ممکن است به شما بگوید که یک دقیقه پس از اینکه واکنش معینی را آغاز کرده نیمی از ملکولها واکنش داده خواهند بود و پس از دقیقه دوم سه چهارم شان چنان خواهند کرد و غیره. اما درباره‌ی اینکه یک ملکول خاصی جزو آنانی است که وارد واکنش شده یا نشده وی نمی‌تواند پیشگویی کند. این امری صرفاً بختانه است.

این‌ها صرفاً تاملات نظری نمی‌باشند. مطلب این نیست که هرگز نمی‌توانیم سرنوشت گروهی کوچک و منفرد از اتم‌ها و یا حتی یک اتم منفرد را بنگریم. گاهی می‌توانیم. اما هرگاه این کار را می‌کنیم بی‌نظمی کامل مشاهده می‌کنیم، که از همکاری‌شان نظم میانگین پدیدار می‌شود. در بخش نخست مثالی را اشاره کردیم. حرکت یک ذره کوچک معلق در یک مایع کاملاً نامنظم است. اما اگر خیلی از چنین ذراتی حضور داشته باشند، از حرکات نامنظم‌شان پدیده‌ی منظم نفوذ (پخش) پدید می‌آید.

فروپاشی یک اتم پرتوزا (radioactive) قابل رویت است (مسیرش بر یک صفحه فلورسانت با چشمک زدن‌هایی منور می‌شود). اما اگر یک اتم پرتوزا به شما داده شود، عمر احتمالی آن خیلی کمتر از یک گنجشک سالم معلوم است. واقعاً چیزی جز این نمی‌شود گفت که: تا هنگامی که این اتم پابرجاست (که این ممکن است هزاران سال باشد) احتمال فروپاشی اش ظرف یک ثانیه بعد، خواه کم یا زیاد، همواره یکسان می‌ماند. با وجود این همین عدم تعین فردی آشکار، به قانون نمایی دقیق فروپاشی درباره‌ی شمار زیاد اتم‌های پرتوزای یکسان، منجر می‌شود.

## ۶۴. تباین شگفت

در زیست‌شناسی با وضعیتی کاملاً متفاوت روبروایم. یک گروه کوچک از اتم‌ها که تنها در یک نسخه وجود دارند، رویدادهای منظمی را به بار می‌آورند که با همدیگر و پیرامون، طبق قوانینی بس ظریف هماهنگی دارند. گفتم تنها یک نسخه چونکه

بالاخره موارد تخم‌مرغ و زیست‌مندان تک یاخته‌ای را داریم و این درست که در مراحل بعدی یک زیست‌مند مرتبه بالاتر، نسخه‌ها تکثیر می‌شوند. اما تا چه اندازه؟ آن طور که فهمیده‌ام در یک پستاندار بالغ چیزی در حدود  $10^{13}$ . این چه مقدار است! تنها یک میلیونیم شمار ملکولهای یک اینچ مکعب از هوا. گرچه حجیم است، اگر متراکم شود قطره‌ای بسیار کوچک از مایع پدید می‌آید و بنگرید که عملاً چگونه توزیع شده‌اند. هر یاخته یکی از آنها را در خود جای داده (یا دوتا، اگر دیپلوئیدی را در نظر بگیریم). از آنجا که از قدرت این دفتر مرکزی کوچولو در یاخته‌ی منفرد باخبریم، آیا شبیه حکومت‌های محلی که در سراسر بدن پراکنده‌اند و به آسانی با هم از طریق رمز مشترکشان با هم ارتباط برقرار می‌کنند، نمی‌باشند؟

خوب، این یک توصیف زیبا است که کمتر عالمانه تا شاعرانه به نظر می‌آید. اما نیازی به تخیل شاعرانه نیست. بلکه تنها با تأمل علمی هوشیارانه در می‌یابیم که در اینجا ما با رویدادهایی مواجهیم که روند منظم و قانونمندشان توسط «راهکاری» کاملاً متفاوت از «راهکار احتمالاتی» فیزیک، رهبری می‌شود. چونکه یک واقعیت مشهود این است که بنیاد هدایتگر در هر یاخته در انجمنی منفرد از اتم‌ها نهفته است که تنها یک نسخه (یا گاهی دو نسخه) از آن وجود دارد. و یک حقیقت مشهود دیگر اینکه این به بروز رویدادهایی می‌انجامد که نمونه‌ی انتظام هستند. خواه شگفت‌زده شویم و خواه جداً ستودنی تلقی کنیم که گروهی کوچک اما بسیار منظم از اتم‌ها قادر است اینگونه رفتار کند، وضعیت وضعیتی بی‌سابقه است و در هیچ جایی به جز در ماده زنده یافت نمی‌شود. فیزیکدان و شیمیدانی که ماده‌ی بی‌جان را بررسی می‌کنند، هرگز شاهد پدیده‌هایی که باید این سان تعبیر شود، نبوده‌اند. موردی پیش نیامد و در نتیجه نظریه‌مان برای آن به کار نرفت. منظور نظریه آماری زیباست که حقاً آنهمه به آن افتخار کردیم چونکه به ما امکان داد تا پس پرده را ببینیم و تماشاگر نظم شکوهمند قانون فیزیکی دقیق که از بی‌نظمی ملکولی سربرمی‌آورد باشیم، زیرا آشکار کرد که قانون افزایش آنتروپی که مهمترین، عمومی‌ترین و تمام شمول‌ترین قانون است، را می‌توان بدون هیچ پیش فرض خاصی فهمید، چونکه خود چیزی نیست جز بی‌نظمی ملکولی.

## ۶۵. دو راه برای پدید آوردن نظم

نظمی که در پیدایش حیات پیش رو می آید از خاستگاه متفاوتی سرچشمه می گیرد. به نظر می رسد که از دو «ساختار» گوناگون می شود رویدادهای منظم پدید آورد: «ساختار آماری» که «نظم را از بی نظمی» فراهم می کند و راه تازه ای که «نظم از نظم» می باشد. به زعم یک ذهن فاقد پیشداوری، این اصل دومی خیلی ساده تر و باورکردنی تر است. بی تردید چنین است. به همین دلیل است که فیزیکدان ها اینهمه مفتخر به طرفداری از ساختار نخست یعنی اصل «نظم از بی نظمی»، شدند که عملاً طبیعت از آن پیروی می کند و به تنهایی باعث فهم و شناخت خط سیر عظیم رویدادهای طبیعی - در مرتبه نخست بازگشت ناپذیری شان می شود. اما نمی توان انتظار داشت که «قوانین فیزیکی» که از آن به دست می آیند مستقیماً در توجیه رفتار ماده ای جاندار، که بارزترین خصیصه هایش آشکارا و تا حدی زیاد بر «نظم از نظم» مبتنی است، بسنده باشند. نمی شود انتظار داشت که دو ساختار کاملاً متفاوت، به یک نوع قانون بیانجامد - انتظار نخواهید داشت که کلید چفت خودتان در خانه همسایه را نیز باز کند.

بنابراین نباید از اشکالی که در تفسیر حیات با قوانین عادی فیزیک داریم، مأیوس شویم. زیرا این چیزی است که با توجه به اطلاعاتی که از ساختار ماده ای زنده پیدا کرده ایم، انتظار می رود. باید آماده باشیم تا نوع تازه ای از قانون فیزیک را که در موجود زنده حکمفرما است بیابیم. یا اینکه، اگر اَبَر فیزیکی (super-physical) نگوئیم، آن را نافیزیکی تلقی کنیم؟

## ۶۶. اصول تازه برای فیزیک غریبه نیست

نه. آنگونه نمی اندیشم. چون که اصل تازه ای که در میان است، اصالت فیزیکی دارد: به گمانم آن چیزی جز تکرار اصل مکانیک کوانتایی نمی باشد. باید قدری مفصل توضیح دهم که شامل موشکافی، اگر نگوییم اصلاح، آنچه پیش از این اعلام کردم یعنی، همه قوانین فیزیکی بنیان شان بر آمار استوار است، می شود.

تکرار مکرر این ادعا نمی تواند موجب پیدایش تناقض نشود. چونکه در حقیقت پدیده هایی هستند که خصیصه های هویدای شان آشکارا مستقیماً بر اصل «نظم

از نظم» استوار است و به نظر می‌رسد که هیچ ربطی با آمار یا بی‌نظمی ملکولی ندارند.

نظم منظومه شمسی و حرکات اختران تقریباً برای همیشه پابرجاست. صور اختران کنونی پیوندی مستقیم با صور هر زمانی خاص در عهد اهرام دارا می‌باشد و می‌توان تا آن زمان را ردیابی معکوس کرد و بالعکس. کسوف و خسوف‌هایی تاریخی را می‌توان محاسبه کرد و دیده شده که با مدارک تاریخی تطابق نزدیک دارد و حتی در برخی موارد موجب تصحیح تقویم آنها شده است. این محاسبات هیچ آماری را نیاز ندارند، تنها بر قانون جاذبه‌ی عمومی نیوتون تکیه دارند.

همچنین بنظر نمی‌آید که حرکت منظم یک ساعت خوب یا هر وسیله‌ی مکانیکی دیگر، کاری با آمار داشته باشد. کوتاه سخن اینکه انگار همه‌ی رویدادهای صرفاً مکانیکی مشخصاً و مستقیماً از اصل «نظم از نظم» پیروی می‌کنند. اگر گفتیم «مکانیکی» بایستی این واژه را با دیدی وسیع در نظر گرفت. چنانچه می‌دانید یک نوع ساعت خیلی مفید، مبتنی بر انتقال منظم ضربان‌های الکتریکی از یک مولد برق است.

مقاله کوچک و جالبی از ماکس پلانک درباره‌ی موضوع «نوع پویایی و آماری قانون» (Dynamische und Statistische Gesetzmässigkeit) را به یاد می‌آورم. تمایز دقیقاً مانند چیزی است که ما اینجا «نظم از نظم» و «نظم از بی‌نظمی» نامیده‌ایم. هدف آن مقاله این بود که نشان دهد چگونه قانون جالب نوع آماری که بر رویدادهای کلان مقیاس حاکم است، از قوانین «پویایی»، که گمان می‌رود بر رویدادهای خورد (مقیاس کوچک - م)، یعنی اندرکنش‌های اتم‌ها و ملکولهای منفرد حاکم‌اند، تشکیل یافته است. نوع اخیر، از پدیده‌های مکانیکی کلان مقیاس مانند حرکت اختران و یا یک ساعت و غیره روشن می‌شود.

بنابراین دیده می‌شود که «اصل تازه‌ی» نظم از نظم که باکمال جدیت از آن به عنوان کلید واقعی در شناخت حیات یاد کرده‌ایم، چیز تازه‌ای در فیزیک نمی‌باشد. حتی دیدگاه پلانک تقدم آن را تأیید می‌کند. به نظر می‌رسد که داریم به این نتیجه مسخره می‌رسیم که کلید شناخت حیات این است که بر یک راهکار صرف، «عملکرد یک ساعت» به مفهوم پلانک، مبتنی است. به نظرم این نتیجه‌گیری آنطورها هم مسخره و کاملاً غلط نیست، بلکه بایستی آنرا با «احتیاط کافی» پذیرفت.

## ۶۷. حرکت ساعت

بیا بیا حرکت یک ساعت واقعی را تجزیه و تحلیل کنیم. به هیچ وجه صرفاً یک پدیده‌ی مکانیکی نمی‌باشد. یک ساعت صرفاً مکانیکی فنر نمی‌خواهد و کوک کردن نیاز ندارد و هرگاه شروع به کار کند تا ابد ادامه خواهد داد. اما یک ساعت واقعی بی فنر پس از چند تک تک آونگش می‌ایستد و کارمایه‌ی مکانیکی اش به گرما بدل می‌شود. این امر یک فرایند بسیار پیچیده‌ی اتمی است. تصویر کلی که فیزیکدان از آن می‌سازد وی را ملزم می‌کند که بپذیرد که عکس این فرایند کاملاً غیرممکن نمی‌باشد: امکان دارد یک ساعت بی فنر به خرج کارمایه گرمایی چرخ دنده‌ها و محیطش، ناگهان شروع به حرکت کند. در این صورت فیزیکدان خواهد گفت که: ساعت استثنائاً دچار یک حمله‌ی حرکت براونی شده است. در فصل نخست (بخش ۹) دیدیم که در یک ترازوی پیچشی خیلی حساس (الکترومتر یا گالونومتر) همیشه چنین چیزی رخ می‌دهد. البته در مورد یک ساعت اتفاق چنین چیزی بی اندازه غیرممکن است. اینکه آیا حرکت یک ساعت را از نوع رویدادهای پویایی یا آماری (به اصطلاح پلانک) تلقی کنیم، بستگی به نگرش مان دارد. اگر آن را یک پدیده‌ی پوینده بیانگاریم، توجه مان را روی حرکت منظم آن متمرکز می‌کنیم که این حرکت توسط یک فنر نسبتاً نحیف حفظ می‌شود و بر اختلالات کوچک حرکات گرمایی غلبه می‌کند که ممکنست نادیده انگاریم. اما اگر به یاد آوریم که ساعت بی فنر تدریجاً در اثر اصطکاک کند می‌شود، درمی‌یابیم که این فرایند تنها به عنوان یک پدیده‌ی آماری قابل درک است.

هر اندازه که اثرات اصطکاک و حرارتی در یک ساعت، ناچیز باشند نمی‌توان تردید داشت که عملاً نگرش دوم که این‌ها را نادیده نمی‌انگارد، بنیادی تر است، حتی هنگامی که ساعت مفروض حرکتی منظم دارد توسط فنری رانده می‌شود. زیرا نباید تصور کرد که ساز و کار محرک واقعاً سرشت آماری فرایند را از میان برمی‌دارد. تصویر فیزیکی واقعی شامل این احتمال هم هست که حتی یک ساعت با حرکت منظم به یکباره جهت حرکتش را عوض کند - به خرج گرمای محیط اطرافش. اما احتمال چنین رویدادی «باز هم اندکی کمتر از» یک «حمله براونی» در ساعت بدون ساز و کار محرک، است.

## ۶۸. سرانجام، گردش ساعت آماری است

بگذارید وضعیت را مرور کنیم. مورد «ساده‌ای» که ما مورد تجزیه و تحلیل قرار دادیم نماینده‌ی خیلی موارد دیگر است در واقع همه آن‌ها چنان می‌نمایند که از اصل تمام شمول آمار ملکولی پرهیز می‌کنند. قطعات ساعتی که از مواد فیزیکی حقیقی درست شده‌اند (در مقایسه با ساعت تخیلی) «ساعت‌های» حقیقی نیستند. شاید عنصر شانس کم و بیش کاهش یابد، شاید احتمال اینکه ساعت به یکباره کاملاً خراب شود خیلی ناچیز باشد، اما به هر حال همیشه پابرجاست. حتی در حرکت اختران اثرات اصطکاکی و گرمایی از فکر به دور نیست. در نتیجه، چرخش (حرکت وضعی) زمین در اثر اصطکاک جزر و مد، آهسته آهسته کاهش می‌یابد و همزمان با این کاهش، ماه تدریجاً از زمین دور می‌شود، که اگر زمین کمره‌ی کاملاً صلب چرخانی می‌بود، رخ نمی‌داد.

با این وجود حقیقت این است که «گردش ساعت‌های فیزیکی» آشکارا جنبه‌های بسیار بارز «نظم از نظم» را به نمایش می‌گذارند. از همان نوعی که فیزیکدان راه‌نگام مواجهه با آن در موجود زنده، به هیجان درآورد. بنابراین در نهایت می‌بینیم که شاید این دو مورد وجه اشتراکی دارند. باید دید که این چیست و چه تفاوت بارزی باعث می‌شود که به هر حال مورد موجود زنده موردی بدیع و بی‌همتا باشد.

## ۶۹. نظریه نرنست

کی یک دستگاه فیزیکی - هر انجمنی از اتم‌ها - «قانون پویایی» (به قول پلانک) یا ویژگی‌های «گردش ساعت» را به نمایش می‌گذارد؟ کوانتوم مکانیک پاسخ کوتاهی به این پرسش دارد و آن دمای صفر مطلق است. همچنان که به دمای صفر نزدیک می‌شویم اثر بی‌نظمی‌های ملکولی بر رویدادهای فیزیکی از میان می‌رود. در واقع این نتیجه‌ای نبود که از راه نظری به آن رسیده باشند، بلکه از بررسی دقیق واکنش‌های شیمیایی در گستره‌ای وسیع از دما و برون‌یابی نتایج تا دمای صفر که عملاً نمی‌توان به آن رسید کشف شده است. این همان «نظریه گرمایی» والتر نرنست (Nernst) است که گاهی، وبجا، نام افتخارآمیز «قانون سوم ترمودینامیک» را بر آن نهاده‌اند (قانون نخست همان اصل بقای انرژی، و قانون دوم، اصل آنتروپی است).



نظریه کوانتوم بنیانی منطقی برای قانون تجربی نرنست فراهم می‌آورد و همچنین به ما امکان می‌دهد تا تخمین زنیم که یک دستگاه تا چه اندازه می‌باید به صفر مطلق نزدیک شود تا اینکه رفتاری تقریباً «پوینده» از خود بروز دهد. در هر مورد خاص چه دمایی عملاً هم سنگ صفر مطلق است؟

باید بدانید که نیاز نیست که همیشه این دما خیلی پایین باشد. در حقیقت کشف نرنست الهام گرفته از این حقیقت بود که حتی در دمای اتاق آنتروپی نقش بسیار ناچیزی در خیلی از واکنش‌های شیمیایی دارد. (یادآور می‌شوم که آنتروپی معیاری مستقیم از بی‌نظمی ملکولی، یعنی لگاریتم آن است).

### ۷۰. ساعت آونگی اساساً در صفر مطلق است

درباره ساعت آونگی چطور؟ برای ساعت آونگی، دمای اتاق عملاً همسنگ دمای صفر است. و به همین دلیل «پوینده» کار می‌کند. اگر آن را سرد کنید به همان منوال به کارش ادامه خواهد داد (به شرطی که همه ذرات روغن کاری آن را بزدایید). اما اگر به گرم کردن آن به بالاتر از دمای اتاق ادامه دهید، به آن کار ادامه نخواهد داد زیرا سرانجام ذوب خواهد شد.

### ۷۱. رابطه‌ی میان ساعت و زیست‌مند

این مطلبی پیش پا افتاده به نظر می‌آید اما گمان دارم که به یک نکته اصلی اشاره دارد. ساعت‌ها می‌توانند «پوینده» عمل کنند چونکه از جامداتی درست شده‌اند، که شکل‌شان با نیروهای هایتلر - لندن حفظ شده و قدرت این نیروها برای گریز از گرایش بی‌نظمی حرکات گرمایی در دمای معمولی بسنده می‌کند.

حال گمان دارم که چند کلمه دیگر برای آشکار سازی وجه تشابه یک ساعت و یک زیست‌مند لازم است و آن هم تنها اینکه زیست‌مند هم بنیادش بر جامد است، بلوری بی‌تناوبی که سازنده‌ی ماده وراثتی است و عمدتاً از بی‌نظمی حرکات حرارتی کنار کشیده است. اما لطفاً مرا متهم نکنید که گفته‌ام تارهای کروموزمی همان «چرخ‌دنده‌های ماشین زنده» اند - دست کم نه بدون مراجعه به نظریات ژرفی که زیربنای این تشابه می‌باشند.

زیرا که در واقع بیاد آوردن تفاوت اساسی میان این دو و توجیه القاب بدیع و بی سابقه در مورد زیست‌مندی، کمتر نیاز به سخن بافی دارد. بارزترین خصوصیات عبارتند از: نخست توزیع عجیب و غریب چرخ دنده‌ها در یک موجود بس یاخته‌ای، که در موردش شاید آن توصیف شاعرانه بخش ۶۴ را ترجیح دهیم؛ دوم این حقیقت که البته چرخ دنده منفرد ساخته‌ی بشر نیست، بلکه ظریف‌ترین شاهکاری است که تاکنون در راستای خطوط کوانتوم مکانیک خداوند بدست آمده است.

### یادداشت‌هایی بر فصل ششم

اظهارات مربوط به *آنتروپی منفی* با تردید و مخالفت همکاران فیزیکدان روبرو شده است. نخست اجازه دهید که بگویم اگر مخاطبم آنان بودند به جای این می‌بایست بحث را روی *انرژی آزاد* مطرح می‌کردم که در این خصوص مفهومی آشنا تر است. اما این واژه بسیار تخصصی از حیث زبانی خیلی نزدیک انرژی است و برای خواننده معمولی تمیز میان این دو مشکل است و به احتمال وی از کلمه آزاد برداشتی کم و بیش عامیانه خواهد داشت. در حالی که واقعاً مفهومی است بس ظریف که کشف ارتباطش با اصل نظم - بی‌نظمی بولتزمان مشکل‌تر از فهم *آنتروپی* و «*آنتروپی* با علامت منفی» است، که ضمناً اختراع من نمی‌باشد. از اتفاق این دقیقاً همان چیزی است که بحث اصلی بولتزمان حول آن شکل گرفته است.

اما ف. سیمون به درستی بمن یادآور شده است که ملاحظات ساده‌ی ترمودینامیکی من نمی‌تواند توجیه‌کننده اجبارمان در خوردن ماده «به حالت بسیار منظم از ترکیبات آلی کم و بیش پیچیده» به جای ذغال سنگ یا خمیر الماس باشد. حق با ایشان است. اما باید برای خواننده‌ی معمولی توضیح دهیم که یک تکه ذغال سنگ یا الماس نسوخته به همراه مقداری اکسیژن که برای سوختنش بسنده کند، نیز به زعم فیزیکدان یک حالت بسیار منظم است. به این مطلب توجه کنید: اگر اجازه واکنش یعنی سوختن ذغال سنگ را بدهید، گرمای زیادی پدید می‌آید. با از دست دادن این گرما به پیرامون، دستگاه مقدار قابل توجهی افزایش *آنتروپی* ناشی از واکنش را رها می‌کند و به حالتی می‌رسد که در واقع در آن همان *آنتروپی* سابقش را دارد.

اما نمی‌توانستیم از کربن دی‌اکسیدی که از واکنش به دست می‌آید تغذیه کنیم. بنابراین سیمون در تذکرش به من بسیار درست می‌گوید که واقعاً محتوای کارمایه غذایی مان اهمیت دارد؛ در نتیجه بی‌اعتنایی‌ام به فهرست غذا نابجا است. کارمایه نه تنها برای جایگزینی کارمایه مکانیکی که بدنمان اعمال می‌کند لازم است بلکه برای گرمایی که پیوسته به پیرامون می‌دهیم لازم است، و اینکه ماگرما از دست می‌دهیم نه تنها اتفاقی بلکه از روی نیاز است. چونکه به این وسیله ما از شر آنتروپی اضافی که در فرایندهای فیزیکی حیات مان تولید می‌کنیم، رها می‌شویم.

انگار این موضوع می‌رساند که دمای بالای حیوانات خون‌گرم این امتیاز را دارد که آنها را قادر می‌سازد تا از آنتروپی‌شان زودتر رهایی یابند تا بدان وسیله از فرایند حیاتی شدیدتری برخوردار باشند. نمی‌دانم که تا چه حد واقعیت در این بحث نهفته است (که مسئولش خودم هستم، نه سیمون).

شاید یک نفر علیه این استدلال کند که از دیگر سو خیلی از حیوانات خون‌گرم در برابر اتلاف سریع گرما از پوششی از خز یا پر حفاظت شده‌اند. بنابراین شاید توازی که من میان دمای بدن و «شدت حیات» گمان دارم، به سبکی سراسر است تر توسط قانون وانتهوف که در بخش ۵۰ یادآور شدم، قابل توجیه باشد: دمای بالاتر سرعت واکنش‌های شیمیایی مربوط به حیات را افزایش می‌دهد. (این که عملاً چنین است به تجربه در گونه‌هایی که دمای پیرامونشان را به خود می‌گیرند، ثابت شده است).

## پایان سخن: دربارهٔ جبر و اختیار

به عنوان پاداش برای تلاش جدی که در تشریح و روشن کردن جنبه‌ی صرفاً علمی مسئله مورد نظرمان، به شکلی ساده، به کار بردم، اجازه می‌خواهم که دیدگاه شخصی و الزاماً ذهنی خود از پیامدهای فلسفی آن را اضافه کنم.

طبق شواهدی که در صفحات پیشین ارائه شد، رویدادهای جائی - گاهی (space-time) در بدن یک موجود زنده که با فعالیت ذهن، شعور و یا هر عمل دیگر وی مطابقت دارد، اگر قطعاً جبری و تعینی نباشد، به هر ترتیب آماری - جبری است. (باتوجه به ساختار پیچیده‌شان و توجیه آماری پذیرفته شده از فیزیکوشیمی). می‌خواهم به فیزیکدان تاکید کنم که به گمان من و برخلاف عقیده برخی محافل، عدم قطعیت کوانتومی نقشی که از لحاظ زیست‌شناختی وارد باشد در آنها ندارد، مگر شاید در تشدید نقش خصلت اتفاقی صرف آنها در رویدادهایی چون میوز، جهش القاشده از پرتوهای ایکس و غیره - که به هر حال این امری است آشکار و کاملاً شناخته شده.

بخاطر بحث مان بگذارید که این امر را یک واقعیت بیانگام، چنانچه گمان دارم، اگر احساس مشهور و نامطلوب «خود را یک سازوکار (مکانیسم) صرف دانستن» نمی‌بود، هر زیست‌شناس منصف و بی‌طرف می‌پذیرفت. چون از خودنگری مستقیم چنان پنداشته می‌شود که با اختیار تناقض دارد.

اما تجارب نزدیک و بلافصل، هر اندازه هم که گوناگون و نامتجانس باشند، منطقیاً نمی‌توانند همدیگر را نقض کنند. بنابراین بگذارید ببینیم که آیا نمی‌توان از این دو مقدمه (فرض اولیه) زیر استنتاجی درست و نامتناقض بدست آورد:

الف - بدن من به مانند یک سازوکار (مکانیسم) صرف طبق قوانین طبیعت کار می‌کند.

ب - با وجود این از تجربه‌ی مستقیم و بی‌چون و چرا می‌دانم که من حرکاتش را رهبری می‌کنم، اثراتشان را از پیش می‌دانم، که ممکن است سرنوشت ساز و بس مهم باشند، که در آن صورت حس مسئولیت کرده، تمامی مسئولیت را بر عهده می‌گیرم. گمان دارم که تنها برداشت ممکن از این دو واقعیت (fact)، این است که من (من، در گسترده‌ترین مفهوم آن، یعنی هر ذهن هوشیاری که «من» را گفته یا حس کرده است) کسی هستم، اگر چنان باشد، که اختیار «حرکت اتم‌ها» را طبق قوانین طبیعت در دست دارم.

در یک ملاء فرهنگی (حلقه فرهنگی) که برخی مفهوم‌ها (که روزگاری معنای وسیعتری در میان مردمان داشت و یا هنوز دارد) محدود یا تخصصی شده، شجاعت می‌خواهد که این نتیجه‌گیری را به زبان ساده‌ای که لازمه آن است، ابراز داشت. در اصطلاح مسیحیت گفتن: «در نتیجه منم خدای متعال» هم کفرآمیز و هم دیوانگی است. اما خواهشمندم که این برداشت‌های ذهنی را فعلاً کنار نهیم و ببینیم که آیا اشاره‌ی بالا نزدیکترین فاصله‌ای نمی‌باشد که زیست‌شناس بتواند با یک اشاره به اثبات خدا و جاودانگی برسد؟

بخودی خود این بصیرت تازه نیست. آنطور که می‌دانم نخستین مدارک بشری به ۲۵۰۰ سال پیش یا پیشتر از آن برمی‌گردد. از اوانِ اوپانیشادهای بزرگ، شناختِ آتمان = برهمن (athman = brahman) خودِ شخصی برابر خودِ جاویدان همه جا حاضر و همه عالم است) در فکر هندیان نه تنها کفرآمیز نبود، بلکه نمایشگر جوهره ژرفترین بصیرت نسبت به رویدادهای جهان هستی بوده است. و تلاش همه‌ی دانشوران ودانتا (وداها Vedanta) واقعاً این بود که پس از فراگیری تلفظ بالبان شان، این والاترین اندیشه از تفکرات را در ذهن شان نقش بندند.

زان پس، بارها اولیا و عرفای قرون بسیار، مستقلاً و در عین حال در هم‌نواپی کامل با یکدیگر (تا اندازه‌ای مانند ذرات یک گاز آرمانی) هر کدام تجربه‌ی یگانه خود را از حیات به گونه‌ای توصیف کرده که می‌توان در این جمله فشرده کرد: خدا شده‌ام. برای ایدئولوژی غربی، این اندیشه غریب‌تر بوده است، علی‌رغم این که شوپنهاور و دیگر شیفتگان واقعی که، وقتی به چشمان هم می‌نگرند آگاه می‌شوند که اندیشه‌ها

و شعف‌شان عدداً یکی است. نه اینکه مشابه یا یکسان باشد؛ اما علی‌القاعده احساساً چنان مشغله دارند که به روشن‌اندیشی نمی‌پردازند، که از آن لحاظ خیلی به اولیا و عرفا شباهت دارند.

اجازه دهید چند نکته دیگر را یادآور شوم، هیچگاه شعور به صورت کثرت تجربه نمی‌شود بلکه تنها به صورت مفرد. حتی در موارد آسیب‌شناسانه‌ی شعور شکافته یا شخصیت دوگانه، این دو تناوب دارند و هرگز همزمان با هم پدیدار نمی‌شوند. در خواب و رویا ما به‌طور همزمان چند شخصیت را بازی می‌کنیم، اما متمایز از هم: و مایکی از آنها هستیم و به جای او مستقیماً عمل می‌کنیم و حرف می‌زنیم، در حالی که اغلب مشتاقانه از شخص دیگر انتظار پاسخ یا عکس‌العمل داریم، بدون اینکه از این واقعیت آگاه باشیم که این ما هستیم که حرکات و صحبت‌هایش را درست همانند خودمان، در اختیار داریم.

پس چگونه اصلاً اندیشه‌ی کثرت (که آنچنان قاطعانه توسط نویسندگان اوپانی‌شاد مخالفت شده) پدیدار شده است؟ شعور خود را در ارتباط تنگاتنگ و وابسته با حالت فیزیکی ناحیه‌ای محدود از ماده، یعنی بدن (جسم) می‌یابد. (به تغییرات ذهن در حین رشد بدن، مانند بلوغ، سالخوردگی، خرفتی، غیره یا اثرات تب، مسمومیت، نشئه‌گی (narco-sis)، جراحات مغزی و غیره، توجه کنید.) به این ترتیب جمع‌کثیری از بدن‌های مشابه وجود دارد و در نتیجه کثرت شعور یا ذهن، فرضیه‌ای بسیار وسوسه‌انگیز است. شاید همه‌ی نابغه‌های ساده و اکثریت فیلسوفان غرب این را پذیرفته‌اند.

این تفکر بلافاصله به اختراع ارواحی به تعداد جسم (بدن)‌های موجود و این پرسش که آیا مانند جسم‌ها فانی‌اند و یا نه جاویدند و برای خود قادر به بودن‌اند (قائم بالذات) می‌انجامد. شق نخست به مذاق سازگار نیست در حالیکه دومی حقایقی را که زیربنای فرضیه کثرت‌اند به صراحت نادیده می‌گیرد، فراموش، یا طرد می‌کند. پرسش‌های ابلهانه‌تری نیز مطرح شده‌اند: آیا حیوانات هم روح دارند؟ حتی پرسیده شده که آیا تنها زنان یا مردان روح دارند.

چنین پیامدهایی، حتی اگر موقتی باشند، بایستی ما را نسبت به فرضیه کثرت که در همه‌ی اعتقادات غربی مشترک است، مشکوک سازد. اگر با کنار گذاشتن خرافات‌های بزرگ، اندیشه‌ی خام کثرت روح را نگهداریم و با پذیرش اینکه روح هم

نابود شدنی است و همراه جسم همتای خود از میان می‌رود، آیا به مهمل بزرگتری نگراییده خواهیم بود؟

تنهاگزینه‌ی ممکن این است که تجربه‌ی بیواسطه را که شعور، یگانه‌ای است که جمع و کثرتش شناخته نیست، یعنی تنها یک چیز است و آنچه که کثرت به نظر می‌رسد صرفاً یک سلسله جنبه‌های گوناگون از همین یک چیز است که از یک فریب پدیدار شده (مایای هندی‌ها)؛ همین خیال در تالاری از آینه‌ها پدید می‌آید و بهمین ترتیب گاوریسانکار (Gaurisankar) و کوه اورست یک قله از آب در آمدند چونکه از دره‌های مختلف، متفاوت بچشم آمده بودند.

البته داستان‌های ماهرانه‌ای از ارواح در ذهن‌های ما نقش بسته که مانع پذیرش ما از چنین شناختی می‌شود. برای مثال، گفته می‌شود که درختی در بیرون از پنجره‌ام وجود دارد اما من واقعاً درخت را نمی‌بینم. با یک وسیله زیرکانه، که تنها گام‌های اولیه و نسبتاً ساده‌اش مکشوف است، تصویری از درخت واقعی در ذهن من می‌افتد و این آن چیزی می‌شود که من حس می‌کنم. چنانچه شما کنار من بایستید و به همان درخت بنگرید، درخت تصویرش را در روح شما هم می‌اندازد. من درخت خودم را می‌بینم و شما هم درخت خود را (که به هم شبیه‌اند)، و اینکه خود درخت چیست نمی‌دانیم. مسئول این گزافه، کانت است. در نظامی از اندیشه‌ها که شعور را یگانه (singulare tantum) می‌انگارد به آسانی با بیان اینکه آشکارا تنها یک درخت در کار است و همه تصویر بازی‌ها یک داستان جن و پری است.

با این وجود هر کدام از ما بی‌چون و چرا برداشتمان این است که کل تجربه و حافظه‌مان واحدی را تشکیل می‌دهد که کاملاً با هر کس دیگر تمایز دارد و همین را «من» می‌گوییم. من چیست؟ اگر از نزدیک مورد تحلیل قرار دهید، گمان دارم که آن را بیش از یک مجموعه داده‌های منفرد (تجربه‌ها و محفوظات)، یعنی پرده‌ای که آنها رویش جمع شده‌اند، خواهید یافت. و در بررسی نزدیک از نفس خود، درخواهید یافت که آنچه را که «من» می‌نامید زیربنایی است که آنها رویش جمع شده‌اند. ممکن است به کشوری دور دست بروید و همه دوستانتان را نبینید و شاید تقریباً همه‌شان را فراموش کنید. دوستان تازه‌ای پیدا می‌کنید و با آنها به همان شدت دوستان قدیم زندگی را شریک می‌شوید. در حالی که به زندگی تازه مشغولید بخاطر آوردن دوستان قدیم اهمیتش کمتر و کمتر می‌شود. «جوانی که روزی من بود» را شاید به

عنوان سوم شخص ازش یاد کنید. قهرمان داستانی را که می‌خوانید شاید به قلبتان نزدیکتر و قطعاً زنده‌تر و شناخته‌تر باشد با وجود این هیچ شکست واسط یا مرگی در کار نبوده است و حتی اگر یک هیپنوتیست ماهر تمامی خاطرات گذشته‌تان را بیرون کشد، نخواهید فهمید که او شما را کشته است. به هیچ وجه فقدان وجود شخصی در کار نیست تا متاسف شویم و نه اینکه هرگز خواهد بود.

### یادداشتی بر پایان سخن

دیدگاهی که در اینجا ارائه شد هم‌تراز چیزی است که اخیراً هاکسلی (Aldous Huxley) به درستی فلسفه جاوید (حکمت خالده) نامیده است. کتاب زیبای وی (ناشر Harper & brothers، لندن ۱۹۴۵) به تنهایی نه فقط برای توضیح اوضاع احوال بلکه چرا درک مخالف این همه مشکل و دیدارش این همه مسئولیت باراست، مناسب است.



# حیات چیست؟ پنجاه سال بعد

اندیشه‌هایی درباره‌ی آینده‌ی زیست‌شناسی

ویراستاران

مایکل پی. مورفی (بخش زیست‌شناسی - دانشگاه آتاگو - دوندین)

و

لوک اِج. اُنیل (بخش زیست شیمی - دانشکده تثلیث - دابلین)

## سرآغاز

در تاریخ ۲۰ تا ۲۲ سپتامبر ۱۹۹۳ همایشی در دانشکده تثلیث (Trinity College) در شهر دابلین (Dublin) - ایرلند به مناسبت بزرگداشت پنجاهمین سالگرد سخنرانی‌های اروین شرودینگر تحت عنوان **حیات چیست؟** برگزار شد. در این همایش دانشمندان از شماری از زمینه‌ها اندیشه‌های خود را به همان سبک شرودینگر درباره‌ی پنجاه سال آینده زیست‌شناسی ارایه کردند که این کتاب در برگیرنده بیشتر آن گفته‌ها است. افزون بر این مطالب چند دانشمندی که نتوانستند در همایش سخنرانی کنند در اینجا آمده است.

## پدیدآورانگان

Ruth Braunizer

*A-6236 Alpbach 318, Tirol, Austria*

Christian de Duve

*ICP 75.50, Avenue Hippocrate 75, B-1200 Brussels, Belgium*

Jared Diamond

*Department of Physiology UCLA Medical Center, 10833 Le Conte Avenue,  
Los Angeles, CA 90024-1751, USA*

Manfred Eigen

*Max Planck Institut für Biophysikalische Chemie, Postfach 2841, D-37077 Göttingen  
Germany*

Stephen Jay Gould

*Museum of Comparative Zoology, Harvard University, 26 Oxford Street, Cambridge  
MA 02138, USA*

Hermann Haken

*Institute for Theoretical physics & Synergetics, University of Stuttgart, Stuttgart,  
Germany*

Stuart A. Kauffman

*Santa Fe Institute, 1660 Old Pecos Trail, Suite A, Santa Fe, NM 87501 , USA*

James J. Kay

*Environment and Resource Studies, University of Waterloo, Waterloo, Ontario,  
Canada N2L 3G1*

J. A. Scott Kelso

*Program in Complex Systems & Brain Sciences, Center for Complex Systems, Florida  
Atlantic University, Boca Raton, FL, USA*

John Maynard Smith

*Biology Building, The University of Sussex, Falmer, Brighton, Sussex BN1 9QG, UK*

Michael P. Murphy

*Department of Biochemistry, University of Otago, Box 56, Dunedin, New Zealand*

Luke A.J.O'Neill

*Department of Biochemistry, Trinity College, Dublin 2, Ireland*

Roger Penrose

*Mathematical Institute, 24-29 St Giles, Oxford OX1 3LB, UK*

Eric D. Schneider

*Hawkwood Institute, P.O. Box 1017, Livingston, MT 59047, USA*

Eörs Szathmary

*Department of Plant Taxonomy and Ecology, Eötvös University, Budapest, Hungary*

Walter Thirring

*Institut für Theoretische Physik, Universität Wien, Boltzmannngasse 5, A-1090 Wien, Austria*

Lewis Wolpert

*Department of Anatomy and Developmental Biology, University College and Middlesex School of Medicine, Windeyer Building, Cleveland Street, London W1P 6DB, UK*

## پیشگفتار

مایکل مورفی    بخش زیست‌شیمی - دانشگاه آتاگو - دوندین  
 لوک آنیل    بخش زیست‌شیمی دانشکده تثلیث، دابلین، ایرلند

این کتاب حاصل مقالات ارایه شده در همایشی است که در دانشکده تثلیث (Trinity College) در سال ۱۹۹۳ به مناسبت پنجاهمین سال مجموعه سخنرانی‌های شرودینگر تحت عنوان *حیات چیست؟* که در سال ۱۹۴۳ در همین دانشکده ارایه شده، برگزار گردید. شرودینگر برنده‌ی جایزه نوبل فیزیک و از بنیانگذاران نظریه کوانتوم به دعوت ایمون دو والرا (Eamon de Valleria) اولین نخست وزیر ایرلند جنوبی در سال ۱۹۳۹ به دابلین آمد تا کرسی فیزیک نظری در موسسه تحقیقات پیشرفته را بپذیرد (Kilmister, ۱۹۸۷ و Moore ۱۹۸۹). پس از اشغال اتریش توسط نازی‌ها، شرودینگر از کرسی فیزیک نظری دانشگاه گراتس (Graz) اخراج شده بود و پس از آن به دابلین دعوت شد. در دابلین شرودینگر جا افتاد و به یکی از روشنفکران اصلی شهر تبدیل شد. وی تا سال ۱۹۵۶ در دابلین زندگی کرد و سپس به اتریش برگشت و پنج سال پس از آن درگذشت.

شرودینگر علایق پژوهشی گسترده‌ای داشت و در دابلین افزون بر فیزیک نظری به مطالعه فلسفه و زیست‌شناسی پرداخت. در این کتاب ما به تفکرات شرودینگر در زیست‌شناسی می‌پردازیم. در مجموعه‌ی *حیات چیست؟* شرودینگر روی دو موضوع در زیست‌شناسی متمرکز شد: ماهیت توارث و ترمودینامیک

موجودات زنده (زیستمندان). عقاید شرودینگر در زمینه‌ی توارث تحت تاثیر دلبروک بود در حالی که نظرات بولتزمان بخش عمده‌ی کار شرودینگر را در زمینه‌ی ترمودینامیک زیستمندان تحت الشعاع قرار داد. در نخستین ارائه از نظرات خویش در زمینه‌ی زیست‌شناسی، شرودینگر به سخنرانی‌های عمومی پرداخت. موسسه تحقیقات پیشرفته دابلین موظف است که همه ساله یک سخنرانی عمومی ترتیب دهد و در فوریه ۱۹۴۳ شرودینگر سه سخنرانی برای همگان در دانشکده تثلیث دابلین ایراد کرد. این سخنرانی در میان دابلینی‌ها شهرت داشت و بیش از چهارصد نفر در سراسر جلسات سخنرانی‌ها شرکت کردند. بی‌تردید بخشی از این استقبال مردم از عنوان عجیب سخنرانی‌ها بود و دلیل دیگر محدودیت‌های ناشی از جنگ جهانی بود که حتی کشوری بی‌طرف چون ایرلند را هم تحت‌الشعاع قرار داده بود، اما شرودینگر هم سخنرانی ماهر بود که می‌توانست شنونده را مجذوب خودگرداند.

مجموعه سخنرانی‌ها توسط انتشارات کمبریج به چاپ رسید و مورد استقبال بین‌المللی قرار گرفت (شرودینگر، ۱۹۴۴). خیلی‌ها این کتاب را خواندند و یکی از با نفوذترین کتاب‌های تاریخ علم شد (Kilmister, ۱۹۸۷). علیرغم نفوذ این کتاب، به ویژه در بنیانگذاری زیست‌شناسی ملکولی (Judson, ۱۹۷۹) نقش دقیق حیات چیست؟ هنوز تعیین نشده است (Judson, ۱۹۷۹ و Pauling, ۱۹۸۷, Perutz, ۱۹۸۷ و Moore, ۱۹۸۹). بی‌تردید بخشی از نفوذ و جذابیت کتاب ناشی از خامه شیوا و استدلال‌های روشن آن بوده است. شرودینگر در کتاب خود را فیزیکدان ساده اندیشی ارائه می‌کند که به نظام‌های زنده به گونه‌ی دستگاه‌های (system) فیزیکی می‌نگرد. روشن است که این نگرش در آن زمان هم وجود داشته اما حیات چیست؟ این تفکر را رواج داد و دانشمندان را ترغیب نمود که زمان بررسی مسایل زیست‌شناختی فرارسیده است.

اما نظرات مطرح شده در کتاب چه هستند؟ شرودینگر دو موضوع اصلی وراثت و ترمودینامیک را بر پایه عقاید خود مورد بحث قرار می‌دهد. در موضوع نخست که «نظم از نظم» نامیده می‌شود، شرودینگر می‌گوید که چگونه زیستمندان اطلاعات را از نسلی به نسل دیگر انتقال می‌دهند. شالوده‌ی این بحث مقاله معروف Tomofeff-Ressovsky, Zimmer & Delbrück (۱۹۳۵) است. این مقاله راجع

به آسیب جهشی در مگس سرکه است که از روی آن اندازه‌ی ژن در حدود ۱۰۰۰ اتم تخمین زده شد. مسئله‌ای که یاخته با آن روبرو بود این است که چگونه ژنی به این اندازه می‌تواند از گسیختگی‌های حرارتی در امان بماند و باز هم اطلاعاتش را به نسل‌های بعدی برساند. نظر شرودینگر این بود که مسئله به این شکل حل می‌شود که این ژن نوعی بلور بی‌تناوب (aperiodic crystal) است و اطلاعات در ساختارش به شکل رمز نوشته‌ای ضبط است. چنانچه می‌دانیم درستی این گفته‌ی پیامبرانه در اثر کارهای انجام شده روی دی.ان.ا (DNA) به اثبات رسیده و باور اصلی زیست‌شناسی ملکولی را تشکیل می‌دهد. موضوع دوم مورد بحث شرودینگر «نظم از بی‌نظمی» بود. مشکلی که زیست‌مندان با آن روبرویند این است که چگونه ساختار منظم و غیر محتمل خود را در برابر قانون دوم ترمودینامیک نگهدارند. شرودینگر نشان داد که حفظ نظم در داخل زیست‌مند به خرج بی‌نظمی در پیرامون رخ می‌دهد اما واژه «منفانتروپی» (negentropy) که وی برای این فرایند ابداع کرد توسط سایر دانشمندان خیلی استقبال نشد (برای نمونه Pauling, ۱۹۸۷).

در پنجاه سالی که از سخنرانی شرودینگر می‌گذرد، با موضوع «نظم از نظم» خو گرفته‌ایم و بیشتر موفقیت‌های شگفت‌انگیز در زیست‌شناسی ملکولی از درست بودن اشارات این اندیشه حکایت دارد. بیشتر شهرت حیات چیست؟ بر همین استوار است. اندیشه «نظم از بی‌نظمی» چندان مهم به نظر نمی‌رسد. اما اکنون که ترمودینامیک دستگاه‌های دور از تعادل و ساختارهای فرسایشگر (dissipative) در دستگاه‌های زنده به کار برده می‌شوند، شاید اهمیت این موضوع خودنمایی کند. شاید پنجاه سال دیگر کتاب حیات چیست؟ به دلیل پیشگویی‌هایش در زمینه‌ی ترمودینامیک بیشتر مورد توجه قرار گیرد تا پیش بینی‌هایش درباره‌ی ساختار ژن. اگرچه اثر کتاب حیات چیست؟ مورد اذعان است، نظراتش توسط برخی به عنوان «بی‌اصالت» و یا «اشتباه» مورد انتقاد قرار گرفته است (Pauling, ۱۹۸۷) و (Perutz, ۱۹۸۷). در حالی که برخی دیگران از آن دفاع کرده‌اند (Schneider, ۱۹۸۷) و (Moore, ۱۹۸۷). درست است که خیلی از مطالب صریح در حیات چیست؟ به‌طور ضمنی در آثار پیشین عنوان شده‌اند. اما آنچه منتقدین مورد توجه قرار نمی‌دهند این است که فیزیکدانی دور از موضوع تخصصی‌اش توانسته است محرک تحقیق

باشد. اینگونه میانرشته‌ای عنوان کردن پرسشهای جنجالی در علم متداول نیست و در حیات چیست؟ تفکرات یک فیزیکدان، الهام‌بخش پژوهشگران بعدی شده است. با همین روحیه بوده است که یادبود سخنرانی‌های پنجاه سال پیش اروین شرودینگر برگزار می‌شود.

در این راستا تعدادی مقاله که در آن دانشمندان به پیشی‌بینی آینده زیست‌شناسی پرداخته‌اند گردآوری کرده‌ایم. شاید خیلی از مطالب کتاب حاضر در آینده اشتباه از آب در آیند. اما اعتقاد داریم که همین روحیه کاشفانه بهترین روش برای بزرگداشت چاپ کتاب حیات چیست پنجاه سال پیش می‌باشد.

## مراجع

- Judson, H. F. (1979). *The Eighth Day of Creation: Makers of the Revolution in Biology*. New York: Simon & Schuster.
- Kilmister, C. W. ed. (1987). *Schrödinger: Centenary Celebration of a Polymath*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Moore, W. J. (1987). Schrödinger's entropy and living organisms. *Nature* 327, 561.
- Moore, W. J. (1989). *Schrödinger: Life and Thought*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Pauling, L. (1987). Schrödinger's contribution to chemistry and biology. In *Schrödinger: Centenary Celebration of a Polymath*, ed. C. W. Kilmister, pp. 225–233. Cambridge: Cambridge University Press.
- Perutz, M. F. (1987). Erwin Schrödinger's What is Life and molecular biology. In *Schrödinger: Centenary Celebration of a Polymath*, ed. C. W. Kilmister, pp. 234–251. Cambridge: Cambridge University Press.
- Schneider, E. D. (1987). Schrödinger's grand theme shortchanged. *Nature* 328, 300.
- Schrödinger, E. (1944). *What is Life? The Physical Aspect of the Living Cell*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Timoféeff-Ressovsky, N. W., Zimmer, K. G. & Delbrück, M. (1935). *Nachrichten aus der Biologie der Gesellschaft der Wissenschaften Göttingen* 1, 189–245.



## از زیست‌شناسی قرن بیستم چه خواهد ماند؟

مانفرد آیگن    موسسه ماکس پلانک برای شیمی و زیست‌شیمی، گوتینگن آلمان

شکل اصلی این سخنرانی در سال ۱۹۹۳ در کتاب *انسان، فناوری و آینده* به چاپ رسیده که چکیده‌ای از یک سمینار بین‌المللی برگزار شده از سوی فرهنگستان علوم مهندسی سوئد در استکهلم می‌باشد.

### از انسان چه می‌ماند؟

ما خود را در دهه‌ی آخر قرن بیستم می‌یابیم، پیش از این هیچ‌قرنی چنین تأثیر ژرفی بر زندگی انسان نداشته است. شاید هیچ‌قرنی چنین ترس و نگرانی در عمق روح بشر بجای نگذاشته باشد. ما به همه چیز شک کرده‌ایم. این روزها هنگامی که کشف مهمی می‌شود، مانند گذشته نخستین پرسش این نیست که «آیا برای بشریت نفعی دارد؟»، بلکه این است که «چه زیانی دارد و چگونه از سلامت و رفاه ما خواهد کاست». رفاه کنونی ما عمدتاً در سایه‌ی دانش بوجود آمده و طول عمر به حدود ۷۵ سال رسیده یعنی به حد زیست‌شناختی عمر طبیعی نزدیک شده است. در ابتدای قرن بیستم میانگین درازی عمر بشر در حدود ۵۰ سال و در ابتدای قرن نوزدهم تنها ۴۰ سال بود. در کشورهای در حال توسعه نیز میانگین درازی عمر در حال رشد است، هر چند نمودار آن در حدود ۵۰ سال از کشورهای صنعتی عقب‌تر است. البته میانگین درازی عمر برای ما در حال رسیدن به حد بالای خود است. با

این وجود، به طرز بی سابقه، نگران آینده‌ایم. چنین وضعیتی علیرغم این واقعیت وجود دارد که در بخش سیاسی چنان بنظر می‌رسد که برخی از دهشتناک‌ترین پیشامدهای بشر در این قرن در حال جبران شدن است، به نظر نمی‌آید که در این دهه‌ی آخر قرن بتوان نتیجه گرفت که این تغییرات واقعاً به سوی بهتر شدن اشاره دارند.

این دهه نه تنها پایان قرن بلکه پایان هزاره نیز هست. ما احساس می‌کنیم که باید به راهی که طی شده و راهی که پیش رو است نظر افکنیم. مشکل ما در پرسش زیر متبلور می‌شود: آیا انسان تا پایان هزاره‌ی بعدی دوام خواهد آورد؟ در یک هزاره تقریباً سی نسل می‌گنجد اما درک مستقیم ما از یکی دو نسل فراتر نمی‌رود. این سی نسل را می‌توان روی یک صفحه کاغذ فهرست کرد، اما هزار سال از درک ما به دور است. شارلمانی چه می‌توانسته درباره‌ی زمان ما پیش بینی کند؟ برای هرگونه برون‌یابی از آینده، تجربه‌ی مناسب از گذشته لازم است. اما باز هم آنچه واقعاً جدید باشد تعجب‌آور است. در علوم پایه نیز فرقی نمی‌کند. دیدگاه‌های نو، افق‌هایی تازه از فرصت‌ها را به روی ما می‌گشایند. افزون بر این تمامی چیزهایی که زندگی روزمره‌مان را شکل می‌دهند، اصولاً بر کشف‌ها و دیدگاه‌های گذشته‌ی نزدیک استوارند. هر آنچه به راستی می‌توان درباره آینده گفت تقریباً گفتن بدیهیات (truism) است: تغییرات روش زندگی‌مان در هزاره آتی خیلی ریشه‌ای‌تر از چیزی خواهد بود که در این قرن رو به اتمام، رخ داده است.

جمعیت جهان در حال حاضر به شکل هذلولی در حال رشد است. تفاوت رشد هذلولی با رشد نمایی (exponential) که معمولاً در نشریات مربوطه می‌بینیم در چیست؟ در رشد نمایی جمعیت در فواصل زمانی یکسان و پیاپی دو برابر می‌شود اما در رشد هذلولی این فاصله‌ی زمانی پیوسته کوتاه‌تر می‌شود. آهنگ ثابت درصد موالید به رشد نمایی می‌انجامد اما افزون بر این به دلیل بهبود بهداشت و درمان پزشکی برای نوزادان و کودکان در کشور در حال توسعه، درصد بیشتری از مردم به بلوغ جنسی می‌رسند. آخرین باری که جمعیت جهان دو برابر شد ۲۷ سال طول کشید و اکنون ۵/۵ میلیارد نفر از ما روی زمین زندگی می‌کنیم و چنانچه رشد هذلولی جمعیت به همان منوالی که در صد سال گذشته رخ داده، ادامه یابد تا سال

۲۰۲۰ جمعیت به ۱۲ میلیارد نفر و در سال ۲۰۴۰ به سمت بینهایت خواهد گرایید! خیال می‌کنم رسانه‌ها از قول من خواهند گفت: «دانشمندی پیشگویی می‌کند که فاجعه رشد در سال ۲۰۴۰ رخ خواهد داد» اما صبر کنید تنها پیش بینی که می‌توانم با اطمینان بکنم این است که این واقعه رخ نخواهد داد و نمی‌تواند رخ دهد زیرا منابع زمین محدوداند. نمی‌دانیم که قرن آینده ما را به کجا خواهد برد. با وجود این، این ناآگاهی‌کننده وضعیت تلخ و نامساعد ما نمی‌باشد. بلکه بسی ناگوارتر از آن این است که نمی‌توانیم از رفتار رشد کنونی چیزی استنباط کنیم، حتی در اصل. در نزدیکی چنین تکینگی (singularity) کوچکترین افت و خیز می‌تواند تقویت‌گشته و پیامدهای عظیمی بدنبال داشته باشد. فجایعی کوچک و یا جهانی، رشد جمعیت دنیا را محدود خواهد کرد. چنین فجایعی یقیناً برایمان تازگی ندارد. همچنین می‌دانیم که در برابر اینگونه پیشامدها تاب ایستادن نداریم. اشکال در اخلاقیات ما است که متعلق به زمانی است که بقای بشر (یا واحدهای جمعیتی کوچکتر) باید از راه موالید زیاد تضمین می‌شد.

شاید خواهید گفت که جمعیت کشورهای صنعتی مدتها پیش به تعادل رسیده‌است. در برخی کشورها حتی روبه کاهش است. با وجود این تراکم جمعیت در آنها به اندازه‌ای است که اگر همه سرزمین‌ها چنین چگالی را می‌داشت، جمعیت دنیا ۳۰ تا ۴۰ میلیارد می‌شد. بنا به بررسی راجر رول این حداکثر جمعیتی است که کره زمین با به کارگیری همه‌ی امکانات بالقوه‌اش می‌تواند تامین کند. اگر برداشت محصول در تمامی سطح کره زمین به اندازه آنچه فعلاً در پر محصول‌ترین محل (مثلاً ایالت آیوا در ایالات متحده) بدست می‌آید، برسد باز هم به زور برای تغذیه این همه جمعیت بسنده خواهد کرد. هیچ چشم‌اندازی برای کامیابی همگانی نخواهد بود. عددی که بدست آورده شاید برای برخی مناطق، تولید سرشار را میسر می‌سازد اما در بیشتر جاها با کمبود فاجعه‌آمیزی روبرو خواهند بود. در این تحلیل حتی از مشکلات زیست محیطی که از تسلط ما خارج می‌شوند نیز دم نزده‌ام. همچنین یادی از تنگناهای مربوط به بهره‌وری از منابع و در تولید کارمایه (انرژی) و بهداشت و موارد اضطراری‌های پزشکی نکرده‌ام.

بگمانم اینها به عنوان یک مقدمه بسنده باشد. منظورم از اینها این بود که پیشینه‌مان پیش از آنکه روند آینده بشریت را در نظر آوریم، تشریح کرده باشم، این

چیزی است که نباید در تصورمان از آینده علم و انتظارات و بیم و امیدهایمان، فراموش کنیم.

اکنون به موضوع اصلی برمی‌گردم و با جمع‌بندی وضع کنونی صحنه را ترسیم می‌کنم.

## زیست‌شناسی قرن بیستم

حق داریم که نیمه دوم قرن بیستم را دوره‌ی زیست‌شناسی ملکولی بنامیم چنانچه نیمه‌اولش عصر اتم نام گرفته است. در واقع فیزیکدان‌ها بودند که نخست به تحلیل مفهوم حیات پرداختند، اگرچه این اقدام در ابتدا در راستای درستی نبود. نمونه‌های بارز آن کتاب فیزیک و راز حیات آلی نوشته‌ی پاسکوال جردن در ۱۹۴۵ و حیات چیست؟ اروین شرودینگر در ۱۹۴۴ است که ما در این مجلد سالگرد آن را جشن می‌گیریم. کتاب شرودینگر یک مبدأ دوران ساز بود، نه به این لحاظ که رویکردی سودمند در شناخت حیات ارائه کرد بلکه بدین خاطر نیز که الهام بخش افقهای فکری نو شد. بخش اعظم محتوای پیامبرگونه‌ی کتاب شرودینگر را خیلی پیشتر شیمیدان‌ها و زیست‌شیمیدان‌ها بررسی و تحلیل کرده بودند. اما پیش از او هیچکس به این صراحت به دنبال اصولی بنیادین غور نکرده بود. با این وجود این نظریه پردازان صرف نبودند که جهت زیست‌شناسی را عوض کردند و دانش نوین زیست‌شناسی ملکولی را بنیان نهادند. آنان در برابر پیچیدگی موجودات زنده ناتوان ماندند. بلکه این کار توسط فیزیکدانانی انجام شد که با بهره‌گیری از شناختمان از نهاد شیمیایی فرایندهای حیاتی به مثابه یک سکوی خیزش شروع به آزمایش به شیوه‌هایی کاملاً نوین نمودند. فیزیکدانی نظری مانند ماکس دلبروک از مکتب گوتینگن تحت تاثیر اصل مکملیت نیلزبوهر بر آن شد که درباره جزئیات وراثت به کندوکاو پردازد. این مبنای ژنتیک فاژها (Phages) شد. سپس لینوس پاولینگ، فیزیکدانی از مکتب سومرفلد، به جستجوی فهمی ژرفتر از سرشت پروتئین‌ها که مجریان ملکولی یاخته‌های زنده‌اند، پرداخت. در این راستا وی متوجه عناصر ساختاری بنیادینی شد که مانند خط اتصالی میان شیمی و زیست‌شناسی بودند. چشمگیرتر از همه، فرانسیس کریک (Francis Crick)، یک فیزیکدان فنی که در زمان جنگ جهانی درگیر مسائل رادار بود، و با همکاری جیمز واتسون

(James Watson) در سال ۱۹۵۳ توانستند از روی بازتاب‌های اشعه ایکس مربوط به دی.ان.ا، ساختار مارپیچ مضاعف آن را پدیدار سازند. آنچه این کشف را اهمیت می‌بخشد این است که در این فرایند پی بردند که اطلاعات ژنتیکی چگونه ذخیره می‌شود و از یک نسل به نسلی دیگر انتقال می‌یابد. در دانشگاه کمبریج هم ماکس پروتز (Perutz) که در آزمایشگاه کاوندیش (Cavendish) زیر نظر لارنس براگ (Bragg)، کاشف روش تفسیر الگوهای پراش اشعه ایکس، کار می‌کرد، از این روش برای پی بردن به ساختار ملکولهای پیچیده چون رنگدانه گلبول‌های قرمز خون یعنی هموگلوبین بهره‌گرفت و با همیاری جان کندرو (Kendrew) توانستند برای نخستین بار طرح تفصیلی یک ماشین ملکولی را بدست آورند. این بود چگونگی پیدایش زیست‌شناسی ملکولی.

امروزه ما درک وسیعی از طرح ملکولی یاخته‌های زنده داریم که شامل سازوکارهای تفصیلی فرایندهای ملکولی زیربنای عملکرد یاخته‌ها هستند. از اختلالها و از کار افتادن چنان عملکردها که به شکل علایم بالینی بس‌گوناگون تظاهر می‌کنند، و از چگونگی نابودی چرخه حیاتی یک زیست‌مند توسط انگل‌هایی چون قارچها و ویروس‌ها آگاهی داریم. در حقیقت حتی می‌توانیم در تنظیم این فرایندهای حیاتی تا آن حد پیش رویم که برای همیشه برنامه ژنتیکی‌شان عوض شود. صنعت کنونی داروسازی که گرایش بیشتری به شیمی دارد، به‌طور روزافزون به بهره‌گیری از دانش تفصیلی ما در زیست‌شناسی ملکولی و فرصت‌های فنی وابسته بدان روی نموده است. بی‌تردید پژوهش‌های بنیادی دربرگیرنده‌ی فناوری موسوم به دی.ان.ای نو ترکیب می‌باشد. بدون این فناوری، درباره‌ی ساختارهای ملکولی دستگاه ایمنی، یا درباره‌ی ژن‌های سرکوبگر سرطان (آنکوژن‌ها) و یا ایدز - AIDS - چه می‌توانستیم بدانیم.

قصدم نیست برایتان فهرستی شبه‌الفبایی از همه‌ی فرازهای زیست‌شناسی ملکولی را برشمارم و نه اینکه می‌خواهم شما را با فهرستی از نام‌های کسانی مانند ایوری (Avery)، لوریا (Lauria) و دلبروک تا نکر (Necher) و ستاکمان (Stackman) که در خلق آنها به نحو احسن نقش داشته‌اند، روبرو کنم. نه اینکه در بیاناتم منظور دارم که به زیست‌شناسی نیمه اول این قرن بپردازم به جز این که اختصاصاً اشاره کنم که تنها به تکمیل مفاهیم بزرگ قرن نوزدهم مانند نظریات

چارلز داروین، گریگور مندل، ژرف‌اندیشی‌های لوئی پاستور، روبرت کُخ، امیل فون بهرینگ (Von Behring) و پاول ارلیخ، محدود نمی‌شود. نیمه‌ی اول قرن بیستم عمدتاً در اثر کارهای اتو واربورگ، اتو می‌رهوف، شاگردانش هانس کربس (Krebs)، فریتس لیپمان (Lipmann) و بسیاری دیگران، بنیانی شیمیایی را پی‌ریزی کردند که با اتکا به آن زیست‌شناسی ملکولی نیمه دوم قرن توانست رشد و توسعه یابد. بیشتر ترجیح می‌دهم که به پرسشهای بنیادین زیست‌شناسی بپردازم. پاسخ به آنها تنها از راه گردآوری اطلاعات ملکولی مفصل در قرن بیستم به منصفه امکان رسیده است. به این ترتیب از آستانه گذشته وارد قرن بیست و یکم خواهیم شد و نگاهی به آینده خواهیم افکند. خیلی از پرسش‌هایی که امروزه می‌توانیم مطرح کنیم تنها در قرن بیست و یکم پاسخی قانع‌کننده خواهند یافت.

## حیات چیست؟

این نه تنها پرسش مشکلی است بلکه شاید حتی پرسش درستی نباشد. آنچه را که زنده می‌گوییم از چنان خصوصیات و توانایی‌های ناهمگنی برخوردار است که محال است تعریفی مشترک ارائه شود که حتی اشاره‌ای به گوناگونی مضمون آن بنماید. دقیقاً همین غنا، تنوع و پیچیدگی است که یکی از خصوصیات ضروری حیات به شمار می‌آید. شاید خیلی دیر نیاید تا راجع به باکتری E. Coli و یا مگس سرکه در زوفیلا همه چیز را بدانیم. اما در آن صورت در مورد انسان چه؟

قطعاً در آن زمان معقول‌تر خواهد بود بپرسیم: چگونه یک نظام زنده از نظامی که غیرزنده است تفاوت دارد؟ این گذار در تاریخ سیاره ما و یا در کل گیتی کی و چگونه رخ داده است؟

به عنوان یک شیمیدان اغلب از من می‌پرسند: چه تفاوتی میان یک نظام شیمیایی مزدوج (coupled chemical system) هر چند به دلخواه پیچیده و یک نظام زنده که آن هم چیزی جز وفوری از واکنش‌های شیمیایی نیست، وجود دارد؟ پاسخ این است که همه‌ی واکنش‌های یک نظام زنده برنامه‌تنظیم شده و صادره از یک مرکز اطلاعاتی را دنبال می‌کنند. هدف این برنامه‌ی واکنش، تولید مثل تمامی اجزای دستگاه از جمله همانندسازی خود برنامه، یا دقیق‌تر ماده حامل آن است. هر بازسازی با امکان تغییری اندک در برنامه توأم است. رشد رقابتی همه نظام‌های

تغییر یافته آنها را از لحاظ کارایی در برابر محک‌گزینش می‌گذارد: «مسئله بودن یا نبودن است».

در این ساختار سه شاخصه اصلی که در تمامی نظام‌های زنده‌ی شناخته شده وجود دارد، یافت می‌شود:

- ۱- تولید مثل: بدون این خاصیت اطلاعات پس از هر نسل از دست می‌رود.
- ۲- جهش: بدون این خاصیت اطلاعات تغییر نمی‌کند و در نتیجه حتی به وجود نمی‌آید.
- ۳- سوخت و ساز (متابولیسم): که بدون آن نظام سریعاً به تعادل می‌رسد و امکان تغییر بیشتر از میان می‌رود (چنانچه شرویدینگر به درستی این موضوع را در ۱۹۴۴ دریافت کرده بود).

نظامی که ویژگی‌های نامبرده را از خود نشان دهد به ناچار‌گزینش‌پذیر خواهد بود. منظورم این است که «گزینش» چیزی اضافی و اعمال شده از بیرون نمی‌باشد. به عبارتی معنی ندارد که بپرسیم چه کسی انتخاب می‌کند. یعنی‌گزینش خود شکلی ذاتی از خود سامانی (self-organization) است و چنانچه امروزه می‌دانیم نتیجه‌ی فیزیکی تولید مثل آلوده به خطا و بس دور از تعادل می‌باشد. تعادل ساختاری را برمی‌گزینند که بیشترین پایداری را دارد. در حالی که «گزینش» -مقوله‌ای که با تعادل سنخیت ندارد - ساختاری را برمی‌گزیند که از پایداری بسنده برخوردار باشد و به‌طور بهینه با انجام برخی وظایفی که تضمین‌کننده بقا و رشد زیست‌مند است، تطبیق دارد. تکامل بر پایه‌ی‌گزینش طبیعی متضمن تولید اطلاعات است.

برای اینکه اطلاعات به‌طور ساختاری تثبیت گردد بایستی دسته نمادهایی طبقه بندی شده، مانند حروف الفبا و یا نمادهای دوتایی رمزی رایانه (کامپیوتر) تعریف شوند. افزون براین برای ساختن کلمات از نمادها نیاز به روابط پیوندی میان نهادها است و برای جمله سازی نیاز به قواعد ترکیب. قطعاً همچنین امکاناتی جهت خواندن دنباله‌هایی از نمادها لازم است و سرانجام اینکه اطلاعات تنها آن چیزهایی است که می‌توان فهمید و ارزیابی کرد. توانایی سروکار با اطلاعات در زبانمان با وجود یک دستگاه مرکزی اعصاب جفت و مرتبط است.

اما این امور در مورد یک ملکول چه شکلی به خود می‌گیرند؟ ذخیره کردن

اطلاعات در درون یک ملکول منوط به همان پیش شرط یعنی «قابل خواندن» بودن و «ارزیابی» (محک) شدن است. تنها با اسیدهای هسته‌ای (nucleic) بود که ملکولها آغاز به خواندن کردند. این توانایی از «برهمکنش مکمل» یعنی اتحاد ویژه و ذاتی میان جفت‌های همساز در قطعات ساختمانی اسید هسته‌ای سرچشمه می‌گیرد. بنابراین پایه‌ی پردازش اطلاعات ملکولی زوج شدن بازها است، که آن را واتسون و کریک کشف کردند. این خاصیت که در ابتدا شیمیایی صرف است، فراتر از شیمی می‌رود زیرا که قطعات ساختمانی شیمیایی در واقع به جای نمادهای اطلاعاتی عمل می‌کنند. تکامل، نخست ملکولی، سپس یاخته‌ای، و سرانجام در موجود زنده، تنها از راه تولیدمثل و گزینش میسر بود. یعنی دیگر بر اساس معیارهای شیمیایی، گزینش صورت نگرفت، بلکه بر پایه رمزگذاری کارکردی اطلاعات انجام شد. فرق انسان و باکتری E. Coli در ساختار شیمیایی یا بهره‌وری بیشتر نیست، بلکه در محتوای اطلاعاتی بیشتر است (در حقیقت اطلاعات در انسان هزار برابر باکتری است). این اطلاعات رمزگذار وظایفی مشکل‌تر است که رفتار پیچیده‌تر را مقدور می‌کند.

چنان که بازسازی ما از بررسی‌های تطبیقی بر روی سازش دهنده‌های رمز ژنتیکی برمی‌آید، پردازش اطلاعات در سطح مادون یاخته در حدود  $0/5 \pm 3/8$  میلیارد سال پیش رخ داده است. بنابراین احتمالاً حیات در روی زمین و نه جای دیگر در کهکشان آغاز شده است و از عمر کره زمین پیرتر و خیلی هم جوان‌تر نمی‌باشد. یعنی به محض فراهم شدن امکانات، حیات شروع شده است. حیات به شکل تک یاخته دست کم  $3/5$  میلیارد سال پیش وجود داشته است. باید پذیرفت که راه رسیدن به شاهکارهای تکامل یعنی گیاهان متشکل از تعداد زیادی یاخته، حشرات، ماهی‌ها، پرندگان و پستانداران، راهی بس دراز و دشوار بوده است و تمام ۳ میلیارد سال صرف همین کار شده و در این صحنه‌ی پرشور، انسان تنها یک میلیون سال پیش پا به عرصه نهاده است.

زیست‌شناسان ملکولی با نشان دادن وجوه اشتراک ژنوم\* موجودات زنده، نظریه بنیادین داروین را تأیید کرده‌اند. اطلاعات، یا در این باره اطلاعات ژنتیکی، از

\* تمامی ژن‌های یک یاخته یا موجود. م



راه‌گزینشِ پیاپی تشکیل می‌شود. داروین اصول خود را درباره‌ی تکامل موجودات زنده‌ی خودمختار ابراز کرد. به گمان وی تعمیم این اصول به نظام‌های مادون‌یاخته، یا برای پاسخ به پرسش‌هایی چون بوجود آمدن شکل‌های نخستین حیات، و یا نخستین یاخته‌های خودمختار از کجا آمده‌اند، جرأت زیادی می‌خواست. داروین در یکی از موارد، گمانه‌زنی‌اش را با «اگر» آغاز کرد و بی‌درنگ اشاره کرد که «اوه چه اگر بزرگی». شناخت هیجان‌انگیز این است که امروزه می‌دانیم که گزینش طبیعی در سطح یاخته مانند دی.ان.ا. و آر.ان.ا. که توانایی همانندسازی دارند، عمل می‌کند و در نتیجه بر پایه‌ی خصوصیات فیزیکوشیمیایی ملکولها قابل اشتقاق است، این امر شکافی که فیزیک و شیمی را از یکسو و زیست‌شناسی را از دیگر سو جدا می‌کرد، پر می‌کند. اما بدان اشارت نیست که زیست‌شناسی چیزی جز فیزیک و شیمی به مفهوم معمولی آنها نمی‌باشد. بلکه صرفاً نشان می‌دهد که بین فیزیک، شیمی و زیست‌شناسی یک پیوستگی وجود دارد. فیزیک نظام‌های زنده، دستگاه‌های خاص خود را دارد، فیزیک تولید اطلاعات است. نظریه نوین خودسامانی از لحاظ تفصیل بسی فراتر از داروین می‌رود و پرسش‌هایی را پاسخ می‌دهد که در زمان وی می‌بایست ناگشوده می‌ماندند و یا حتی معماگونه می‌نمودند. میراث داروین گواه و بازتابی از قرن نوزده می‌باشد.

لودویگ بولتزمان یک بار در ۱۸۸۶ گفته است: اگر از من پرسیده شود که قرن حاضر چه نامیده خواهد شد، قرن آهن، قرن بخار، یا الکتریسیته، بی‌تردید باید بگویم هیچکدام، بلکه قرنی که در آن سازوکارهای طبیعت به تسخیر درآمدند، قرن داروین. یقیناً در اینجا بولتزمان در ستایشش از داروین بیش از اندازه فروتنی نشان داده است. امروزه روشن است که فروکاستن پدیده‌های حیاتی به ادراکی مکانیکی از طبیعت، تنها یک روی سکه است. قوانین طبیعی که زیر بنای گزینش طبیعی و تکامل‌اند، هرگونه ادراک علی مکانیکی صرف را کنار می‌زنند و دنیایی باز با آینده‌ای تعین‌ناپذیر را توصیف می‌کنند. این تغییر اصل مسلم (paradigm)، شاید تنها موردی در علوم که شایسته‌ی عنوان را دارد، محدود به زیست‌شناسی نبوده بلکه تمامی فیزیک را طی چند دهه‌ی گذشته فراگرفته، پیامدهایش را مدتی بس طولانی اعمال خواهد کرد. همزمان با پی‌بردن به اینکه اطلاعات چگونه پدید می‌آید، بین طبیعت و آگاهی پُلی ساخته خواهد شد.

## چگونه اطلاعات (زیست‌شناختی) ایجاد می‌گردد

از میانه‌ی قرن بیستم نظریه‌ای بنام نظریه اطلاعات بوجود آمده است. اما بانی این نظریه یعنی کلاد شانون (Shannon) از ابتدا خاطر نشان کرد که این نظریه با تبادل اطلاعات سروکار دارد، نه خود اطلاعات. در این نظریه اطلاعات به‌طور صرف مد نظر نیست بلکه دانسته فرض می‌شود: سلسله‌ای از نمادها، از میان خیلی صور دیگر، که بدون توجه به محتوای مفهومی و یا ارزش آن می‌بایست حین انتقال محفوظ بماند. در این نظریه، اطلاعات صرفاً به عنوان معیاری از پیچیدگی نمایان می‌شود. یک توالی متشکل از دو نماد مانند صفر و یک به درازای  $N$ ، دارای  $2^N$  حالت ممکن توالی می‌باشد. حتی برای توالی‌های کوتاهی به درازای ۳۰۰ (پاراگرافی کمتر از نیم صفحه)، شمار پاراگراف‌های ممکن بیش از تعداد اتم‌های دنیا است. تنها یک نظریه‌ی پویای گزینش می‌تواند تفاوت بین ترادف‌های معنی‌دار و بی‌معنی را از طریق شروط سنجشگر محتوای معنایی (semantic) و یا روبنای ژنتیکی (phenotypic)، توجیه کند. برای آنکه این محتوا بتواند به‌طور تکاملی بهینه شود بایستی با آهنگی محدود از خطا، همانندسازی شود. در واقع برای آهنگ خطا (error rate) آستانه‌ای وجود دارد که بلافاصله در پایین آن تکامل به‌طور بهینه صورت می‌گیرد ولی در بالای آن تکامل دچار فاجعه‌ی خطایی می‌شود و درست مانند یک «تبدیل فاز» در مواد، تبخیر می‌شود.

در اینجا ترمیمی از جهان بینی داروینی پدیدار می‌شود. گزینش طبیعی صرفاً بازی بین جهش‌های بختانه (random) و گزینش قطعیتی و الزاماً سازگار نمی‌باشد. با وجود چنان تعدادی زیاد از گزینه‌های ممکن، گمانه زنی موفق برای جهش‌های سودمند خیلی به ندرت رخ می‌دهد. امروزه می‌توان این بازی میان شانس و ضرورت را به آسانی روی رایانه شبیه‌سازی کرد. دیده می‌شود که اگر فرایندی بدین منوال رخ دهد، بسیار آهسته پیش می‌رود. اگر گزینش طبیعی بدین شکل پیش رفته بود ما وجود نمی‌داشتیم.

در واقع تکامل ملکولی در نزدیکی آستانه‌ی خطا، طیف وسیعی از جهش‌ها را دربرمی‌گیرد. در این حالت، سازش یافته‌ترین (مناسبترین) گونه، موسوم به «وحشی» که در نظریه داروین نقش مهمی بازی می‌کند، در قیاس با کل جمعیت

موجود در سطح ملکولی، تنها در شماری کم حضور دارد. اما این شمار زیاد از جهش‌ها، حول و حوش بهترین نوع سازش یافته قرار دارند و در نتیجه میانگین توالی مشترک، نماینده‌ی کل جامعه بشمار می‌آید. زیست‌شناس‌های ملکولی می‌دانند که چگونه می‌توان چنین توالی‌ها را تعیین نمود. آزمایش‌های همسان‌سازی (cloning) نشان داده‌اند که نوع وحشی دقیقاً با میانگین طیف وسیعی از ترادف‌های ممکن برابر است. این جامعه در اصل متشکل از جهش یافته‌هایی است که می‌توانند با بازدهی بالا همانندسازی شوند. آزمایش بر جوامع ویروسی این استنتاج نظری را تأیید می‌کند. از آنجا که در چنین توزیع ملکولی یا ویروسی که در زیر آستانه‌ی خطا کاملاً پایدار است، میلیاردها نسخه کم و بیش جهش یافته وجود دارد درست به این می‌ماند که در میلیاردها مجرای موازی تاس انداخته شود. اگر جهشی پیدا شود که با محیط سازگارتر باشد، دیگر آن توزیع جامعه‌ی پیشین زیر آستانه‌ی خطا نخواهد بود. به عبارتی جامعه ناپایدار شده، محتوای اطلاعاتی‌اش تبخیر می‌شود تا اینکه حول نوع وحشی جدید شکل بگیرد. علیرغم پیوستگی فرایندهای ملکولی که زیربنای تکامل را تشکیل می‌دهند، دیده می‌شود که تکامل از راه جهش‌های گسسته پیش می‌رود، گزینش به این دلیل که خاصیت کل جامعه است و نمایانگر مجموعه‌ای عظیم از عملیات موازی است، تا این اندازه کارآمد عمل می‌کند. چنانچه بخواهیم چنین فرایندی را شبیه‌سازی کنیم، نیاز به رایانه‌ی تازه‌ای است که موازی کار کند. اجرای این شبیه‌سازی با رایانه‌های دنباله‌ای (serial) کنونی نیاز به زمان و امکانات مالی غیرممکن دارد. طبیعت نشان می‌دهد که رایانه‌ی آینده باید چه شکلی باشد. مغز یک چنین رایانه‌ی موازی است. میلیاردها یاخته عصبی (neuron) هر کدام با ۱۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰۰ یاخته مشابه از راه سیناپس‌ها در ارتباطند. دستگاه ایمنی بدن نیز یک شبکه‌ی یاخته‌ای با همین پیچیدگی‌ها می‌باشد.

در پایان قرن بیستم متوجه مطرح شدن پرسشهای مشابهی در شاخه‌های گوناگون زیست‌شناسی هستیم. این پرسشها را می‌توان مشترکاً چنین عنوان نمود: «اطلاعات چگونه پدیدار می‌شود؟» چنین پرسشی برای فرایند تکامل در سطح ملکولی، برای فرایند تفکیک در سطح یاخته، و برای فرایند تفکر در شبکه‌ای از یاخته‌های عصبی مصداق دارد. تازه هیجان انگیزتر از آن پی بردن به این نکته است که ظاهراً طبیعت اصول بنیادین یکسانی را در ژنتیک ملکولی، دستگاه ایمنی و

دستگاه عصب مرکزی، برای انجام کارهای فنی گوناگون، به کار گرفته است. در ایالات متحده آمریکا، دهه‌ی ۱۹۹۰ را به عنوان دهه‌ی پژوهشهای مغز تعیین کردند. میراث پژوهشهای زیست‌شناختی این قرن، شناختی ژرف از فرایندهای تولید اطلاعات در جهان زنده خواهد بود. شاید این امر پاسخی به پرسش «حیات چیست؟» را در برداشته باشد.

اما «مشکل در پیچ و مهره‌ها است». به زودی ما نقشی ساختمانی خیلی از موجودات زنده را خواهیم دانست و خواهیم فهمید که چگونه اینها طی تکامل پدیدار شده‌اند. اما ریشه‌های تاریخی همچنان کاملاً محو و ناپیدا مانده‌اند. گذشتگان می‌پرسیدند که مرغ اول آمده یا تخم مرغ؟ اما امروزه این پرسش به این شکل مطرح می‌شود: پروتئینها نخست آمدند یا اسیدهای هسته‌ای؟ نقش (کارکرد) نخست آمد یا اطلاعات؟ دنیای آر.ان.ا که دارای یک مقننه‌ی ژنتیکی و یک مجریه‌ی کارکردی است می‌تواند پاسخ این معما باشد. اما اعتراف داریم که هنوز نمی‌دانیم که نخستین ملکول آر.ان.ا چگونه وارد دنیا شده است. از دیدگاه تاریخی می‌بایست «نخست» پروتئینها آمده باشند. اما پیشینه‌ی تاریخی الزاماً با پیشینه‌ی علیتی یکسان نیست. بهینه‌سازی تکامل نیاز به ذخیره کردن اطلاعات همانند ساز دارد که می‌دانیم تنها اسیدهای هسته‌ای چنین توانایی را دارند. پس آر.ان.ا یا پیشسازی از آن لازم بوده است تا گردونه‌ی تکامل را به حرکت وادارد.

اکنون ما در وضعی هستیم که بتوانیم در آزمایشگاه‌ها فرایند تولید اطلاعات را از نظام‌هایی که هر دو مؤلفه یعنی پروتئین‌ها (آنزیم‌ها) و اسیدهای هسته‌ای (مخزن اطلاعات) را دارا هستند، مشاهده کنیم. از این لحاظ ویروسها نظام‌های الگویی شایان توجه بشمار می‌آیند. اما ویروس‌ها نمی‌توانسته‌اند در دنیای پیش از حیات وجود داشته باشند. آنها برای حیاتشان یک یاخته‌ی میزبان نیاز دارند، چونکه به کمک آنها تکامل یافته‌اند. به عبارتی شاید ویروسها در دوران پس از پیدایش حیات پدیدار شده‌اند. با این وصف در محیط شیمیایی میزبان گونه شباهت زیادی با پیشسازهای آر.ان.ا ویروس‌گونه وجود دارد.

افزایش آگاهی ماطی بیست سال گذشته درباره‌ی فرایند تولید اطلاعات شروع به بار نشستن کرده است. با بهره‌گیری از روش‌های آزمایشگاهی خواهیم توانست که داروها و درمان‌های طبیعی تازه‌ای را بسازیم. این مهارت‌ها منحصر به سطح ملکولی

نیستند. به همین منوال موجودات زنده را در سطح رشد فردی‌شان خواهیم شناخت. برای نمونه خواهیم توانست در تومرها دخالت کنیم و فروپاشی‌شان را سبب شویم، خواهیم توانست دستگاه عصبی و کارکرد آن را الگوسازی کنیم. حیات مصنوعی و رایانه‌های اندیشمند دیگر به افسانه‌های علمی تخیلی واگذار نخواهد شد. به زحمت می‌توان اثر اینها را بر زندگی بشر سنجید.

اما محدودیت‌هایی طبیعی و اصولی پیش رو خواهد بود. مجبور خواهیم بود بفهمیم که بخش‌هایی از دانش‌مان را به کار بریم، چه بخش‌هایی را علیرغم آگاهی‌مان از مشکلات جنبی‌شان، به کار بریم و در چه جنبه‌هایی نباید دخالت کنیم، چه برسد که بخواهیم به کار بریم. کاربرد کورکورانه و شیداگونه همان اندازه زیانمند است که ممنوعیت‌های اکید. ما، یعنی کل جامعه باید به‌طور منطقی دریابیم که چه باید و چه نباید بشود. دقیقاً در همین نکته است که من بزرگترین مشکل ناگشوده‌ی قرن آینده را می‌بینم.

### چه مشکلاتی در پایان قرن بیستم ناگشوده می‌ماند

برخی از مسایل در بالا مطرح شده‌اند. اما حتی اگر فهرست محدودی از مسایلی که می‌توان به‌طور دقیق تعریف کرد تهیه کنیم، به حدی غیرقابل تصور طولانی خواهد شد. پس تنها می‌شود نمونه‌هایی آورد و من دو مسئله از زمینه‌ی پژوهشی خود برگزیده‌ام: یک مسئله علمی که اثر مهمی بر جامعه دارد، و دوم مسئله‌ای که جامعه اثر مهمی بر علم دارد.

یک مسئله که علیرغم شدیدترین تحقیقات هنوز حل نشده مانده است، ایدز (AIDS) است. ایدز چیست؟ کلمه‌ی ساخته شده از حروف اول «عارضه‌ی نارسایی اکتسابی ایمنی» (acquired immunodeficiency syndrom) است. بیماری با یک ویروس آغاز می‌شود، یا محتاطانه‌تر رابطه‌ی علی با یک عفونت ویروسی دارد. اینکه آیا این ویروس برای شروع بیماری لازم و کافی است در حال حاضر مورد بحث و بررسی شدید است. دو نوع زیرگونه‌ی این ویروس‌ها یعنی HIV-1 و HIV-2 شناخته شده‌اند. افزون بر این شمار زیادی از ویروس‌های میمونی شناسایی شده‌اند که در حالی که در میزبان طبیعی خود بیماری ایجاد نمی‌کنند، اگر به جوامع میمونی دیگر انتقال یابند ایجاد بیماری می‌کنند. مرکز مهار بیماریها (در آتالانتا - ایالات

متحده) نشان داده است که به‌طور میانگین بین ابتلاء به ویروس و پیدایش علایم بیماری دهسال می‌کشد. به‌طور دقیق‌تر ۵۰٪ از کسانی که به ویروس آلوده می‌شوند پس از دهسال علایم بیماری ایدز در آنها ظاهر شده به سرعت دستگاه ایمنی شان مختل می‌شود. پس از این بیماری ایدز همیشه منجر به مرگ می‌شود، آن هم بیشتر در اثر آلودگی به عوامل بیماری‌زایی که در شرایط عادی دستگاه ایمنی به آسانی از پس آنها بر می‌آمده است. بسیاری از بیماران در اثر ذات‌الریه، که از راه باکتری *Mycobacterium tuberculosis* انتقال یافته، از بین می‌روند. این باکتری بشکل نهان در نیمی از مردم حضور دارد. در طول دورانی که علایم ظاهر نشده‌اند تعداد ویروس ایدز در موجود زنده بسیار اندک است. در این دوره، موجود زنده پادتن‌های (antibodies) زیادی می‌سازد که به وسیله‌ی آنها حضور ویروس تشخیص داده می‌شود. در ایالات متحده شمار موارد ثبت شده‌ی ایدز اکنون (۱۹۹۳) از ۱۰۰۰۰۰۰ متجاوز است و حدس زده می‌شود که در همه جهان تعداد مبتلایان ایدز در حدود ۱۰۰۰۰۰۰۰ نفر باشد که تمرکز آن در آفریقای مرکزی و غربی و جنوب شرقی آسیا است. هیچ درمانی برای ایدز وجود ندارد.

بیماری ایدز از کجا می‌آید؟ عمر ویروس چه اندازه است؟ کی نخستین بار در جهان ایدز دیده شده؟ برای پاسخ به این پرسش‌ها عجیب‌ترین نظریه‌ها به هم پرداخته شده است. نهایت اینکه گفته‌اند ویروس به‌طور مصنوعی در آزمایشگاه‌های نظامی آمریکا ساخته شده و به‌طور اتفاقی به محیط زیست سرایت کرده است. این مهمل است. تجزیه و تحلیل توالی ژنتیکی این ویروس تاریخ تکاملی آن را بازگو می‌کند و یا دست کم آن را به‌طور کمی محدود می‌کند. نتایج بدین قرار است:

\* هر دو زیرگونه‌ی انسانی ویروس یعنی HIV-1 و HIV-2 همچنین همه‌ی ویروس‌های میمونی که اکنون شناخته هستند از یک نیای مشترک حاصل شده‌اند که تاریخ‌شان به هزار سال پیش می‌رسد.

\* همه‌ی توالی‌های HIV و SIV (ویروس میمونی Simian Immunodeficiency Virus) حدود ۲۰٪ موقعیت‌های مشترک دارند و همردیفی‌های (sequence homology) روشنی با سایر ویروس‌های پس‌نورد (retrovirus) پستانداران، دارا می‌باشند. بنابراین ویروس ایدز از نوادگان خانواده‌ی باستانی از ویروس‌ها است که به میلیونها سال پیش می‌رسد.

\* اکثریت موقعیت‌های متغیر دارای زمان جایگزینی حدود ۱۰۰۰ سال هستند. رفتار ویژه‌ی ویروس‌های پس‌نورد، به ویژه عفونت‌زایی شان، می‌تواند در چنین مدت زمانی شدیداً تغییر کند. بنابراین بلاهایی مانند ایدز می‌توانند بیایند و بروند و در برخی از گونه‌ها بیش از دیگران عفونت‌زا باشند.

\* بخش کوچکتری از موضع‌ها (حدود ۱۰٪) فوق‌متغیر است و آهنگ جایگزینی‌اش نزدیک ۳۰ سال است. باین وجود همین بخش‌ها به اندازه‌ای هستند که در میان‌شان شمار زیادی از جهش‌یافته‌های (mutants) فرّار، یعنی آنهایی که توسط دفاع دستگاه ایمنی سرکوب نمی‌شوند، وجود دارد. این پدیده سرانجام دستگاه ایمنی را فرسوده می‌کند و شاید همین دلیل اصلی بیماری زایی ویروس ایدز باشد.

\* یقیناً پیش از ۱۹۶۰ ویروس ایدز در ایالات متحده اروپا یا ژاپن ظاهر نشده است. در آفریقا شکل‌های مرتبط آن را می‌توان تا قرن پیش ردیابی کرد. طی صد سال گذشته انتقال عرضی از میمون به انسان دیده می‌شود. نقطه کانونی HIV-1 در آفریقای مرکزی و از HIV-2 در آفریقای غربی قرار دارد. این دو ویروس مانند بسیاری از ویروس‌های مختص میمون‌ها چند قرن پیش از همدیگر جدا شده‌اند. بیماری زایی شدید این ویروس سه علت دارد:

۱- از آنجا که ویروس HIV یک ویروس پس‌نورد است، ژنوم آن در درون برنامه ژنتیکی یاخته‌ی میزبان ادغام می‌شود. همین که یاخته‌ای به ویروس مبتلا شد دیگر نمی‌تواند خود را از اطلاعات ویروسی رها کند. حداکثر این است که بتواند بیان (ابراز expression) ژن ویروس را سرکوب کند.

۲- هدف ویروس خود دستگاه ایمنی است که مرکز فرمان آن توسط ویروس فلج می‌شود.

۳- به دلیل بالا بودن آهنگ جهش، که ضمناً درست در آستانه خطا قرار دارد، ویروس طیف وسیعی از جهش‌یافته‌ها (mutants)، از جمله شمار زیادی جهش‌یافته‌های فرّار را دارا می‌باشد.

ویروس ایدز تحت فشار گزینش طبیعی که از سوی میزبان اعمال می‌شود بدون وقفه تکامل می‌یابد. سرانجام فرد مبتلا در برابر یک انگل بسیار ساده که معمولاً بی‌خطر است، بی‌دفاع می‌شود.

مشکل مبارزه با این ویروس در استعداد بسیار بالایش در سازش با پیرامون خود است. ویروس می‌تواند به کمک جهش یافته‌های کناره رو، از چنگ سازوکارهای پدافندی میزبان بگریزد. اکنون که راهبرد (strategy) ویروس شناخته شد، دورنمایی از پیدایش یک راهبرد فراهم می‌شود که طی آن می‌توان با توجه به کناره‌گریزی ویروس شانس بقای آن را از میان برد. برای پیدا کردن چنین راهبردی نه تنها نیاز به فناوری ژنتیکی است بلکه نیاز به آزمایش‌های حیوانی نیز می‌باشد. موضع ما درباره‌ی این موضوعات هرچه باشد واقعیت این است که حدود ۱۰ میلیون نفر تا قرن بیست و یکم علایم ایدز را از خود نشان خواهند داد. بعید به نظر می‌رسد که هیچکدامشان زنده بمانند مگر اینکه تا آن زمان درمان موثری یافته باشیم.

مسئله دوم مورد نظرم قطبیتی عکس مسئله بالا را دارد یعنی جهتش از جامعه به سوی علم است. اکنون چند سالی است که در آلمان قانونی برای ژن داریم که واقعاً از سخت‌ترین نوع خود در دنیا است. این قانون اثرات فلج‌کننده‌ای بر پژوهش و توسعه صنعتی داشته است. از سوی دیگر باید تحسین کرد که تاکنون در هیچ جای دنیا حوادثی ناگوار و جدی رخ نداده است. پیشنهادات قانونی اخیر تا این حد پیش می‌روند که اثبات ایمنی مطلق یک روش را پیش از شروع آن طلب می‌کنند. اما «ایمنی مطلق» چیست؟ حتی امروزه هم پیش از بهره‌گیری از یک روش کار، هر آزمایشی که قابل تصور باشد انجام می‌شود و دوره‌ی احتیاطی طولانی طی می‌شود. امروزه خواسته می‌شود موضوعاتی که هنوز شناخته نیستند، کنار گذارده شوند. این کار پژوهش را به ایست کامل می‌رساند و در نتیجه توسعه و تکمیل داروهای جدید را غیرممکن می‌کند. (پیشنهادات مربوط به قوانین حمایت از حیوانات نیز به همین جهت هدایت خواهد شد.) مثالی می‌زنم. تا پیش از ابتدای دهه‌ی ۱۹۶۰ فلج فقرات کودکان Poliomyelitis بلای وحشتناکی در مناطق ما بود که گاهی به شکل مجزا و گاه به شکل همه‌گیر در جهان ظاهر می‌شد و بسیاری را تلف و خیلی را یک عمر فلج می‌نمود. در سال ۱۹۵۰ تنها ۳۰۰۰۰ مورد در ایالات متحده گزارش شدند. اما امروز به خاطر اعمال برنامه محکم مایه کوبی پیشگیرانه، این موارد تقریباً دیده نمی‌شوند. عامل این بیماری، ویروسی بنام Picorna است. در حال حاضر دو نوع واکسن وجود دارد، یکی مخلوطی از ویروس‌های کشته شده (واکسن Salk) و دیگری ویروس تضعیف شده (واکسن Sabin) که ویروسی جهش یافته و غیر



بیماری زاست. اما این ویروس جهش یافته همچنان دستگاه ایمنی را تحریک و وادار به پاسخ می‌کند. و این، واکنش قویتر از واکنش در برابر ویروس مرده است. به دلیل وجود این واکنس مؤثر که به سادگی از طریق قطره‌های خوراکی وارد بدن می‌شود امروزه در جهان غرب این ویروس تقریباً به‌طور کامل از میان رفته است. گهگاهی این بیماری دیده می‌شود، اما این موارد نسبتاً ملایم و ساده‌اند.

تا اینجا همه چیز خوب بود. اما هنگامی که چند سال پیش توالی آر.ان.ای یکی از واکنس‌های ساین (نوع B) تعیین گردید و معلوم شد که ویروس جهش یافته نتیجه‌ی دو اشتباه در توالی نوع وحشی عفونت‌زا می‌باشد، بسیار غیرمترقبه بود. چنین ویروس جهش یافته‌ای می‌تواند در ۴۸ ساعت به نوع وحشی بازگردد. ظاهراً همین برهه زمانی برای اینکه دستگاه ایمنی بدن بتواند واکنش لازم را نشان دهد بسنده می‌کند. از آنجا که جهش‌ها، رویدادهایی هر دمبیل یا بختانه (کتره‌ای - random) هستند، گاه جهش برگشت به نوع وحشی تندتر رخ می‌دهد و ممکن است همین امر دلیل بروز گهگاهی این بیماری باشد. یقیناً در مورد ایدز چنین برنامه مایه کوبی می‌تواند همه‌گیری (اپیدمی) فاجعه‌آمیزی را به دنبال داشته باشد.

تفاوت ویروس فلج کودکان با ویروس ایدز چیست؟ ژنوم هر دوی آنها از یک ملکول آر.ان.اساخته شده است و آهنگ جهش‌ها در آنها نیز به یک اندازه است. با به کارگیری روش جدید تحلیل تطبیقی توالی‌ها (Comparative Sequence Analysis)، موسوم به «هندسه آماری»، دیده‌ایم که در مواضع مختلف رمزینه‌ها (codons) در ژنهای مرتبط با پروتئینهای سطحی ویروس، ناهمگنی گسترده‌ای در تثبیت جهش در مواضع رمزینه‌های ژن مربوط به پروتئین‌های سطح ویروس وجود دارد. هر واحد ساختاری پروتئین توسط رمزینه‌ای با سه موضع تعیین می‌شود. دوتای نخست، نوع مشخص آمینواسیدی را که باید در ترجمه وارد شود، تعیین می‌کنند. در حالی که تعویض سوم، آمینواسید جدیدی نمی‌دهد، یعنی روی ساختار پروتئین بی‌اثر است. در مورد ویروس ایدز آهنگ جهش در هر سه موضع بالا یکسان است و در نتیجه طیف وسیعی از پروتئین‌ها تولید می‌شوند که برخی‌شان از پاسخ ایمنی بدن می‌گریزند. اما در مورد ویروس فلج کودکان تقریباً تنها جهش‌هایی که تثبیت می‌شوند در موضع سوم واقع‌اند. دست‌کم، تقریباً در همه جهش‌یافته‌های گوناگون و بسیار گسترده‌ای که شناخته شده هستند، تنها در موضع سوم رمزینه‌هایشان

تفاوت دارند. این استخلاف‌ها آنقدر متعددند که تقریباً جابجایی کامل رخ می‌دهد در حالی که در مواضع اول و دوم تغییری وجود ندارد. این بدان معنا است که پروتئین‌های سطحی ویروس فلج‌کودکان به ندرت تغییر می‌کنند و در نتیجه هیچ جهش یافته‌ی فرّاری وجود ندارد. بنابراین در مدت کوتاهی دستگاه ایمنی بدن چشم‌باز می‌کند و دفاع مؤثری بر پامی دارد.

اما اکنون نکته اخلاقی داستان: چنانچه آگاهی داشتیم که ویروس جهش یافته‌ی واکسن سابین به این اندازه به ویروس وحشی بیماری‌زا نزدیک است، مسلماً در بهره‌گیری از آن بعنوان واکسن بزرگترین موانع در راه کاربردش تراشیده می‌شد. با نظرات امروزی قطعاً امکان نمی‌داشت که چنین کاری انجام شود، چونکه به سادگی می‌توان جهش‌ها را از راه مهندسی ژنتیک انجام داد و در چنین صورتی ما یک عامل بیماری‌زای مهندسی شده را دست‌گردان خواهیم کرد. در حالی که هیچ یک از این مطالب را در زمان معرفی واکسن سابین نمی‌دانستیم و در نتیجه حقاً و به درستی ویروس تضعیف شده را به‌طور تجربی آزمایش کردند. در آن زمان مطلقاً راه دیگری وجود نداشت.

البته یک ویروس مهندسی شده، با ویروس جهش یافته‌ای که به‌طور طبیعی وجود دارد فرقی اساسی ندارد. در یک مورد ما دستکاری می‌کنیم و می‌دانیم چه اتفاقی می‌افتد. در مورد دیگر طبیعت تغییر ایجاد می‌کند و ما نمی‌دانیم که اثرش چه می‌شود مگر آنکه به تجربه بیازماییم و ببینیم. یک روش راشوم و دیگری را طبیعی می‌انگاریم. در حالی که با اقدام آگاهانه بهتر می‌توان خطر را مرتفع کنیم تا کارهای ناآگاهانه. هنگامی که متن قانون ژن‌آلمان را بررسی می‌کنیم کراراً به اینگونه مهملات برمی‌خوریم. می‌خواهند که از هر خطری به‌طور ۱۰۰ درصد پرهیز شود و در عین حال بدون ملاحظه سایر پیامدهای غیرقابل تصور نیز پذیرفته شود. برای نمونه کار پژوهشی که ممکن است روزی خطری را دفع کند کاملاً متوقف می‌شود. پس روش مهندسی ژنتیک که کاملاً هم‌بی‌خطر نیست قطعاً درباره فلج‌کودکان به کار گرفته نمی‌شد یعنی عملاً به معنی مرگ شمار زیادی کودک می‌انجامید. واکسن سابین جان این کودکان را نجات داد چون کورکورانه به طبیعت اعتماد و ناآگاهانه خطرات ذاتی آن پذیرفته شد.

با این پیشینه این پرسش پیش می‌آید که تا کجا یک اکثریت بی‌تفاوت جامعه

باید تسلیم بحث‌های ایدئولوژیک یک اقلیت احساساتی در برابر نظرات متخصصین بشوند؟ بالاخره آزادی پژوهش، انسان که قانون اساسی آلمان تضمین می‌کند کدامست؟ البته به هیچ‌وجه منظورم نیست که آزادی را با بی‌قیدی یکی بگیریم. ما نه می‌توانیم همه‌ی دانش‌مان را به کار بگیریم و نه باید هر آنچه را در توان داریم انجام دهیم. اگر برای تصمیم‌گیری منطق راهنما نباشد چه می‌تواند؟ در مورد بمباران اتمی هیروشیما درایت سیاسی و نظامی کافی به کار گرفته نشد و در مورد حادثه راکتور اتمی چرنوبیل هم، عقل و فهم فنی بسیار کم بود. دانش را نمی‌توان «نامکشوف» و نادیده انگاشت. بلکه باید زندگی کردن با آن را فرا گرفت. باین منظور باید یک ساختار قانونی و معقول را فراهم آورد که در سطح بین‌المللی مورد اطاعت باشد. اما فراتر از آن ما مسئولیت اخلاقی داریم که دانش موجود را به نفع بشریت به کار بگیریم. خواه در کاستن رنج افراد، و خواه در تامین سلامت و تغذیه جامعه جهانی باشد. اکنون برمی‌گردم به چشم‌اندازی که در مقدمه به آن اشاره کردم. محیط زیستی سالم که غذای جمعیت چند میلیاردی جهان را تأمین کند، نظامی مکفی برای بهداشت و درمان «توده‌ی انسان‌ها»: اینها چیزهایی هستند که تنها هنگامی امکان‌پذیرند که کل دانش بشری به کار گرفته شود و این شامل پرورش موجودات زنده جدید ساخته شده توسط مهندسی ژنتیک در تولید غذا و همچنین بهره‌وری از کارمایه (انرژی) اتمی در تولید برق می‌شود.

### آینده: خود انسان موضوع بررسی است

ما در جامعه‌ای زندگی می‌کنیم که از مخاطره پرهیز دارد. آیا روزی خواهد رسید که جامعه به همین دلیل در را به روی علوم، به ویژه علوم بنیادی ببندد؟ به نظر من حتی عجیب نخواهد بود که شعار «پژوهش بنیادی - نه، خیلی ممنون!» را بر شیشه اتومبیل‌ها ببینیم. برخی از اعضای جنبش حمایت از حیوانات دست کم فعالیتشان در این سطح است. مخالفان نیروی اتمی خوشحالند که در پریزهای خانه‌شان برق جریان دارد. اصلاً نمی‌توان هیچ کار سودمندی انجام داد مگر اینکه همزمان با آن مخاطره نکنیم. در درازمدت هیچ کاری نکردن می‌تواند بدتر از مخاطره کردن از آب درآید. شعار به درد نمی‌خورد باید یاد بگیریم که خوبی‌ها و بدی‌های هر چیزی را بسنجیم.

هنگامی که از آینده پژوهش در زیست‌شناسی حرف می‌زنیم بحث‌مان درباره‌ی مسایل روزافزون سنجشِ مخاطره، از مسئولیت‌ها و اخلاقیات است زیرا که محور اصلی پژوهش‌های زیست‌شناختی، خود انسان و محیط زیست وی، و «محیط زیستش» در برابر انسان است. بنابراین نتایج پژوهش به همه کس مربوط می‌شود. نمی‌خواهم برای قرن آینده دورنمایی ترسیم کنم، چه رسد به هزاره آینده. به گفته فریدریش دورنمات Dürrenmatt مسایل تنها هنگامی به‌طور کامل تحلیل شده‌اند که بدترین رویدادهای ممکن را تصور کرده باشیم. البته آینده‌گراها معمولاً زیباترین تصویرها را ترسیم می‌کنند.

ما خواهیم توانست نهاد ژنتیکی بشر را بهتر از آنچه تاکنون تصور کرده‌ایم بررسی کنیم. ماشین‌هایی خواهیم داشت که بتوانند گنجینه‌ی وراثتی انسان را که شامل سه میلیارد حرف می‌شود، در کمتر از یک ماه قرائت کنند و به این ترتیب مطالعات تطبیقی میسر خواهد شد. به همین منوال خواهیم توانست توالی ژنتیکی سایر گونه‌های زنده را بدست آوریم و به ریشه‌های تکاملی خود پی ببریم. از مغز شناختی ژرف خواهیم داشت و رایانه‌هایی خواهیم ساخت که دست کم در برخی کارهای ویژه بسی فراتر از مغز عمل کنند. باور ندارم هرگز رایانه‌ای داشته باشیم که در جمیع توانایی‌ها به نزدیکی مغز انسان برسد. اما پیوند مغز و رایانه توانایی‌های «فوق بشری» را فراهم خواهد ساخت. ما نخواهیم توانست یک شبه بشر (Homunculus) بسازیم، اما ربات‌ها از توانایی‌هایی برخوردار خواهند بود که تاکنون تنها در قلمرو موجودات زنده دیده شده‌اند. اینکه این پدیده «حیات مصنوعی» نامیده بشود یا نه، صرفاً مسئله‌ای سلیقه‌ای است. خواهیم توانست سرطان را درمان کنیم زیرا که بیشتر و بیشتر به علل آن پی می‌بریم. افزون بر این در مورد بیمارهای قلبی در موقعیتی خواهیم بود که زودتر تشخیص دهیم و بدان وسیله امداد پزشکی زودتر به کمک آید. با این وجود در درازمدت مهم نیست که از چه بیماری می‌میریم زیرا تصور نمی‌کنم که حتی در آینده بتوان بیش از ۱۰۰ سال عمر کرد. نباید نگران این بود که شهرهای آینده سقف شیشه‌ای یا جو مصنوعی داشته باشد. اما قطعاً باید پرسید که کارمایه (انرژی) لازم برای حفظ یک اقتصاد پایدار و تجدیدپذیر از کجا تأمین خواهد شد؟ پاکیزه نگه‌داشتن آب و هواکاری است که آنتروپی زیادی تولید می‌کند. در اینجا یک آمادگی به موقع برای آینده لازم است. باید پذیرفت که کشفیات و اختراعاتی خواهند

آمد که اکنون نمی‌توان تصور کرد و دقیقاً به همین دلیل هر پیش‌نویس مفصلی از آینده در اشتباه خواهد بود. به عبارتی ما در همان موضعی هستیم که اگر همدوره‌ای‌های شارلمان از وی راجع به قرن بیستم پرسیده بودند.

علیرغم این، یک پیش‌امد حتمی است: اینکه آیا بشریت بهترین یا بدترین راه را بر خواهد گزید، بستگی به این خواهد داشت که آیا سرانجام بشریت چیزی را که طی پنج هزار سال تاریخ فرهنگی از درک آن عاجز بوده، فهمیده یا نه. یعنی توانسته باشد در جهت منافع بشریت منطقی عمل کند و دستورات اخلاقی کاملاً تعریف شده‌ای را بدست آورده باشد. این موارد اخیر مانند یک برنامه ژنتیکی است که همگی باید تابع آن باشند.

اکنون بشر در بالاترین پله‌ی نردبان تکامل ایستاده است. این حرف را به دلیل اینکه نمی‌توان موجود کاملتری را تصور کرد، نمی‌زنم. بلکه تکامل با پیدایش انسان به سکویی جدید رسیده که هیچ زیست‌مند دیگری به آن دست نمی‌یازد. تکامل باید به سبک کاملاً تازه‌ای به پیش رود. بر پایه‌ی گزینش طبیعی، تکامل مستلزم بازآوری پیوسته و جهش دار اطلاعاتی است که همانند حروف چاپخانه در ژن‌ها ثبت شده است، با شکل‌گیری ساختار و شبکه‌های یاخته‌ای، راه‌های ارتباطی تازه‌ای میان یاخته‌ها پدید آمده است. در ابتدا اینها از راه پیام‌های شیمیایی وساطت می‌شد که توسط گیرنده‌های خاص دریافت می‌شدند و سرانجام با وساطت علایم الکتریکی که به وسیله‌ی سیناپس‌ها دریافت می‌شوند به یاخته‌های بعدی انتقال داده می‌شدند. به این ترتیب یک رفتار همبسته و کلی ناشی از دستگاه یاخته‌های تمایز یافته تکامل یافت که تنها طرح آن از پیش در ژنوم برنامه‌ریزی شده بود. این گزینش است که ضامن سودمند بودن طرح به نفع کل موجود زنده می‌باشد و این با حالتی که در آن یاخته‌ها و اندام‌ها خلاف هم کارکنند، سازش ندارد. چنین تضادی تنها می‌تواند تبه‌گنی‌های (degeneration) آفت زده‌ای چون سرطان را به خود بگیرد. در دستگاه اعصاب مرکزی این روابط میان یاخته‌ای به زبانی تبدیل شده است که فرمان احساسات، رفتار، و حالات ما را در دست دارد. حتی این ابزار هم خاستگاهی ژنتیکی دارد و به گونه‌ای گزیده شده است که بر علیه‌گونه‌ها عمل نمی‌کند. اینگونه بود که بشر طی تکامل به پاخاست و این رفتار فردگرایانه و ویژه هرگونه که به‌طور ژنتیکی برنامه‌ریزی شده و ذاتاً خودخواهانه است، مبنای رقابت و خودنمایی را فراهم آورده

است. در عوض در جاهایی که نوع دوستی دیده می‌شود، در واقع در درازمدت، در خدمت گونه یا قبیله است که به نوبه‌ی خود به گونه‌ای به سود خود فرد می‌شود. بدین شیوه بشر به توانایی متمایزی نسبت به سایر پستانداران نخستین دست یافت که بتواند از تخلیه‌های الکترونی یاخته‌های اعصابش زبانی درونی را شکل دهد. شکل دادن نه تنها ارتباط میان اعضای گونه را آسان نمود، بلکه اساس و پایه توانایی ما در اندیشیدن و ضبط نتایج برای بشریت و رسانیدنشان به نسل‌های آتی، از راه نوشتن، گردید. این نشان‌دهنده‌ی ترازوی جدید از تبادل اطلاعات، همانند تراز نخستین اطلاعات ژنتیکی است که کیفیتی کاملاً تازه به شیمی بخشید. در سطح ذهن انسان نوع تازه‌ای از تکامل می‌تواند رخ دهد: تکامل فرهنگی بشریت.

اما مسئله‌ی کلیدی در همین جا است. بشریت چیزی همانند یک موجود چند یاخته‌ای نیست که در آن یاخته‌ها هر کدام زندگی خود را دارند و تنها تابع قانون ژنتیکی در جهت منافع کل جامعه‌ی یاخته باشند. اطلاعات فرهنگی به وسیله‌ی افراد به ارث برده نمی‌شوند، همان‌طور که اندکی رفتار پسندیده‌ی اجتماعی به ارث برده نمی‌شود. علیرغم چند هزار سال تکامل فرهنگی بشریت، انسان‌ها هنوز با وحشیگری نه چندان کمتر از گذشته در جنگ شرکت می‌کنند. خود فریبی است اگر گمان کنیم که رفتار پسندیده اجتماعی، طبیعی است و در برابر، رفتار نااجتماعی (asocial) چیزی آسیب شناسانه است. تنها رسم (هنجار) است. (norma) که در لاتین معنای قاعده و قانون دارد، یعنی رسم).

در اینجا خود را گرفتار معمایی ناب می‌یابیم. زیرا همه تلاش‌های گذشته‌ای که آزادی فردی را به انقیاد آورده، شخص را تا حد یک یاخته‌ی بی‌اراده و مجبور به تبعیت از یک تمامیت مرکزیت یافته تنزل داده‌اند، در درازمدت جامعه‌ی بشری را دچار آسیب ساخته و درگاهی موارد موجب از میان رفتن بخش‌هایی از بشریت شده است. این تجربه‌ها شکست خورده‌اند. بعضاً به دلیل اینکه زیست‌مند جدید، تمامی بشریت نبوده، بلکه گروهی خاص با منافع ویژه‌ی خود بوده‌اند که اغلب حقوق اولیه‌ی بشری را زیر پا نهاده‌اند. و بعضاً به این خاطر شکست خورده‌اند که «یاخته‌های مغز» این زیست‌مند عظیم عمدتاً انسان‌هایی معلول، خودخواه و خودمحور بوده‌اند که تنها دیوانه‌ی اعمال قدرت هستند. رنج و مصیبتی غیرقابل قیاس نتیجه شده است.

جهان بینی‌ها نمی‌توانند جایگزین منطق گردند. کلیه احزاب سیاسی که ادعای نظم حزبی دارند، باید به این نکته روی کنند. البته اینها همگی بر آرمان‌هایی تکیه دارند که پایه‌شان درست است، خواه خود را سوسیالیست بخوانند - چه کسی وجدان اجتماعی را قبول ندارد؟ - خواه سبزها باشند - چه کسی محیط زیست تمیز را دوست ندارد - خواه مسیحیان باشند - چه کسی دنیای بی‌رحم و صدقه‌می‌خواهد؟ همچنین درباره‌ی کسانی که معتقدند آزادی فردی بالاتر از همه چیز است. هر کدام از این انگیزه‌ها که به تنهایی به یک مسند جهان‌بینی نشانده شوند، علیه عقل سلیم ما راه می‌افتند که ضمناً نه تنها تفکر بلکه دستگاه عضلانی، احساسات و عواطف ما را هم درگیر می‌کند. حتی در آینده نیز به هیچ وجه نخواهیم توانست قضاوتمان را به یک رایانه بسپاریم.

نگاهی کوتاه به اوضاع کنونی جهان ما را بدبین می‌کند. نیمه نخست این قرن ما را دچار دو جنگ وحشتناک کرده است و ما چه درس‌هایی آموخته‌ایم؟ اگر تصمیم‌هایمان را بر منطق استوار نکنیم و بشریت را یک نهاد اخلاقی نیانگاریم هیچ چیز عوض نخواهد شد. آینده بشریت در تراز ژنتیک تصمیم گرفته نخواهد شد. ما به یک نظام اخلاقی که بشریت از آن تبعیت کند نیاز داریم. در اینجا است که تکامل از فرد به بشریت در انتظار وقوع است.

## حیات چیست؟ به عنوان مسئله‌ای در تاریخ

استفن جی گولد موزه جانورشناسی تطبیقی، دانشگاه هاروارد، کمبریج، ماساچوستس

### حیات چیست؟ به عنوان بیانیه‌ای نوگرایانه

تعریف واضحاتی می‌تواند بسیار مشکل باشد. نمونه‌ی خوب این مورد پاسخ لوئی آرمسترانگ\* به نامه ساده‌لوحانه‌ی یکی از طرفدارانش است که تقاضا کرده بود موسیقی جاز را تعریف کند. پاسخ وی این بود: «عزیز، اگر قرار باشد بپرسیم، هیچگاه نخواهیم دانست». به همین ترتیب اهمیت کتاب «حیات چیست؟ در زیست‌شناسی قرن بیستم غیرقابل انکار است اما دلایل اهمیت آن دانسته نیست. چنانچه پولونیوس (Polonius) پیر و سخن‌سنج گفته، زیرکی در کوتاه‌گویی است. کتابهای کوچک در حرفه‌ای که در آن ارزش‌ها با کمیت سنجیده می‌شوند، نعمت‌هایی بس کمیاب‌اند. اما به نظر می‌رسد که حیات چیست؟ در نود صفحه کوتاه‌تر و موجزتر از آن باشد که بتواند چنان اعتبار فکری را کسب کند (گرچه از دید صرفاً عملی اینگونه اختصار، گویای تفاوت اصلی بین توجه و بی‌خیالی در حرفه‌ای است که عمدتاً کنندگان بر آن سلطه دارند تا خواننده‌ها). برای نمونه فکر می‌کنم که می‌توانیم در مورد پاسخ درست (هرچند الزاماً مبتنی بر گمان) به معمای کهنه‌ی اگرهای تاریخ



مطمئن باشیم: اگر والاس (Wallace)\* وجود نمی‌داشت و داروین فرصت کافی برای نوشتن کتاب چند جلدی به جای کتاب فشرده و عجولانه منشأ گونه‌ها را می‌داشت، تاریخ علم چگونه تغییر می‌کرد؟ از آنجا که جامعه‌ی روشنفکری به وضوح تمایل به پذیرش نظریه تکامل داشت، پاسخ مسلماً این است که هیچ تغییری نمی‌کرد، مگر اینکه تعداد بیشتری با خواندن کتاب داروین مجاب می‌شدند. افزون بر این بیشتر زیربنای فکری کتاب **حیات چیست؟** که نظرات اولیه‌ی دلبروک درباره‌ی دلایل پایداری ژن‌ها است، کاملاً اشتباه از آب درآمد (کتاب Crow، ۱۹۹۲، صفحه ۲۳۸). پس چرا به درستی این نیم قرن را جشن می‌گیریم؟

نخست اینکه نمی‌توان شهادت بس مهم آنهمه بنیانگذاران زیست‌شناسی ملکولی درباره‌ی اهمیت ویژه‌ی این کتاب را بی‌اساس دانست. واتسون می‌گوید که کتاب شرودینگر در قانع کردن وی به مطالعه‌ی ساختار ژن‌ها تاثیر به‌سزایی داشته است (Judson، ۱۹۷۹) فرانسیس کریک نیز از تاثیر مشابهی یاد می‌کند ولی با همان تعجبی که خیلی از دیگران هم ابراز می‌کنند: «این کتاب توسط فیزیکدانی نوشته شده که از شیمی هیچ نمی‌داند. اما... عنوان کرد که می‌توان مسایل زیست‌شناختی را براساس فیزیک مطرح کرد. و این تصور را بار آورد که دیری نمی‌پاید که کارهای جالبی در این زمینه انجام خواهد شد» (همانجا، ص ۱۰۹). (درباره‌ی پدیده «تعجب» به اشاره‌ی جدید جیم کراو (Jim Crow، ۱۹۹۲، ص ۲۳۸) توجه شود): «هم رأی باگونتر استنت (Gunter Stent) نمی‌دانم که چرا این کتاب چنان تأثیری به جای گذاشته است، اما قطعاً می‌دانم که چیزی مرا در آن زمان به شدت تحت تاثیر قرار داد».

سپس کراو چکیده‌ی کاملی از ادعاها و بینش اصلی کتاب را ارائه می‌کند. در واقع دلیل دوم نفوذ این کتاب:

شاید این بود که شرودینگر ژن را یک بلور بی‌تناوب تشخیص داده بود، شاید این نظر وی بود که کروموزم پیامی نگاشته شده بشکل رمز است، شاید این بود که اعلام کرد «حیات از آنروپی منفی» تغذیه می‌شود. شاید به دلیل این برداشت

او بود که عدم قطعیت کوانتومی در سطح ژن در اثر تقسیم یاخته به قطعیت مولی تبدیل می‌شود. شاید تاکید او بر پایداری ژن و توانایی آن در تداوم نظم بود. شاید ایمان وی بود که همه‌ی مشکلات بسیار بدیهی در تعبیر حیات از دیدگاه قوانین فیزیکی، الزاماً نیازی به وضع قوانین فرا فیزیکی ندارد، اگرچه شاید به قوانین فیزیکی جدید نیاز باشد.

میل ندارم ارزش این بزرگداشت به موقع را با انکار اهمیت حیات چیست؟ لکه دار کنم. اما مایلم اشاره کنم که ادعای کلیدی شروودینگر مبنی بر اینکه رویکرد وی به زیست‌شناسی از عمومیتی تقریباً روشن برخوردار است، هم به لحاظ منطقی پا را از گلیم خود فراتر نهاده و هم از جنبه‌ی اجتماعی تحت تاثیر شرایط عصر خود بوده است. افزون بر این شاید این مظاهر محدودیت بتوانند ما را در درک این نکته یاری دهند که چرا جمع بزرگی از زیست‌شناسان که شامل همکاران خودم در زیست‌شناسی تکاملی و دیرین‌شناسی می‌شود، کمتر تحت تاثیر نظرات شروودینگر قرار گرفته‌اند و در این گرایش مانده‌اند که پاسخ حیات چیست؟ بیشتر در گرو توجه به مقولات زیستی است تا خوابهای فلسفی شروودینگر.

شروودینگر پیشگفتار خود را با شناسایی وحدت به عنوان آرزو و هدف بی‌چون و چرای علوم آغاز می‌کند:

ما از نیاکان شیفتگی به دانش یک کاسه و تمام شمول را به ارث برده‌ایم. حتی نام بالاترین سازمان‌های فراگیری دانش (منظور University - که در عربی جامعه و در فارسی دانشگاه ترجمه می‌شود. م) یادآور این نکته است که از گذشته و طی قرن‌های زیاد، جنبه‌ی جهان شمولی تنها چیزی است که به آن اعتبار کامل داده شده.... اما اکنون به روشنی احساس می‌کنیم که تازه اکتساب مطالب معتبر برای پیوستن همه‌ی دانسته‌ها و ایجاد یک تمامیت را آغاز کرده‌ایم.

شروودینگر این هدف یعنی «وحدت» را آرزوی بی‌چون و چرا و منطقی‌الزام همه‌ی دانشمندان در تمامی قرن‌ها قلمداد می‌کند. در حالی که دقیقاً عکس آن درست است. وحدت هدف قطعی جنبشی صریح بود که شرایط اجتماعی خاص جوانی

شروودینگر را در برمی‌گرفت، یعنی امید به حاکمیت عقل‌گرایی (rationalism) پس از ویرانی‌های برخاسته از ملی‌گرایی جنگ جهانی اول. هنگامی که خصلت وابستگی اجتماعی این اعتقاد اساسی شروودینگر به وحدت را درک کنیم در می‌یابیم که چرا پاسخ شروودینگر به اینکه «حیات چیست؟» عمومیت ندارد، بلکه باید آن را محصولی گذرا از مرحله‌ای از قرن بیستم دید. در سالهای ۱۹۲۰ «جنبش وحدت علوم» به عنوان جنبه‌ای عمده از مثبت‌گرایی منطقی در وین گسترش یافت. این جنبش که عمدتاً وابسته به رودولف کارنپ و اتونورات (Rudolph Carnap, Otto Neurath) تن از فیلسوفان برجسته‌ی حلقه‌ی وین (Wiener Kreis) بود، اعتقاد داشت که جملگی علوم دارای زبان، قوانین و روشهای یکسانی هستند و تفاوت‌های بنیادینی میان علوم فیزیکی و زیستی وجود ندارد. به همین روال چنانچه علوم طبیعی و علوم اجتماعی درست سازماندهی یابند، تفاوتی میانشان وجود ندارد.

جنبش وحدت علوم تاثیر زیادی در زیست‌شناسی داشت اگرچه به زعم خیلی این علم بسیار توصیفی و یا عاری از تحلیل بود و زیر چتر تعمیم علم قرار نمی‌گرفت (رک به مقاله‌ای Smocoritis, ۱۹۹۲ درباره‌ی نقش این مکتب در تکوین تکاملی (evolutionary synthesis) دهه‌های ۱۹۳۰ و ۱۹۴۰). شروودینگر در جایگاهی آرمانی برای ترجمه‌ی اهداف این جنبش در زیست‌شناسی قرار داشت. او در وین به دنیا آمده در همان شهر بزرگ شد و از دانشگاه وین فارغ‌التحصیل شد و در فیزیک - علم بنیادین یا بالاترین تراز دانش که طبق بنیادگرایان فلسفه‌ی فروکاست‌گرای (reductionist) جنبش وحدت علوم یا به‌طور کلی مثبت‌گرایی منطقی (logical positivism)، تمامی علوم حول آن گرد هم خواهند آمد - جایزه‌ی نوبل گرفت. چگونه شروودینگر می‌توانست کتابش را به جستجوی وحدت مبتنی بر قوانین فیزیک نگمارد؟

چنانچه اعتقاد شروودینگر به وحدت فروکاست‌گرایانه (reductionist) از جنبش وحدت علوم سرچشمه گرفته باشد در این صورت جنبش و پایه‌های فلسفی آن همچنین باید در نهاد نیروی فرهنگی بس گسترده‌تری که زان پس نوگرایی (modernism) نامیده می‌شود و تاثیر شگرفی بر هنر، ادبیات و معماری داشته، رخنه کرده باشد. نوگرایی بالاتر از هر چیز در پی کاهش (تقلیل)، سادگی، تجربه و جهان شمولی بود. ساختمانهای نوگرایانه (به «سبک بین‌المللی» که با هدف جهان

شمولی نامگذاری شده) به دست معمار توانایی چون میزوان در زه (Mies van der Rohe) ممکن است زیبا و قدرتمند باشند. اما هزاران مشتق سردستانه و زیر استاندارد، که اکنون در سراسر سیاره‌ی مادر حال ترک خوردن و فروپاشی اند بلای شهرهای جهان سوم و ضد ارزش‌های ناحیه‌گرایی و غرور محلی شده‌اند.

کتاب *حیات چیست؟* معمولاً به منزله‌ی بیانی از منطق لایتغیر علوم که رها از زمان است، تلقی می‌شود. پیشنهاد من قرائتی عکس از آن بمنزله‌ی سندی اجتماعی است که اهداف وحدت علوم را در چارچوب یک جهان‌بینی گسترده‌تری بنام نوگرایی ارائه می‌کند. در این صورت نارسایی‌ها و توانمندی‌های کتاب شرودینگر با شکست‌ها و پیروزی‌های نوگرایی، پیوند می‌خورد. من می‌توانم بخش عمده‌ای از روح نوگرایی، به ویژه خوشبینی و تعهد آن به درک متقابل بر پایه وحدت اصول را تحسین کنم. اما در عین حال تاکید آن به استانداردسازی در دنیایی با چنان تنوعی زبینه را نمی‌پسندم و فروکاست‌گرایی (reductionism) را که زیربنای جستجوی آن برای قوانین کلی مجزّد را تشکیل می‌دهد، رد می‌کنم.

در نسل ما این نارسایی‌های اجتماعی بسیار مشهود از نوگرایی (به ویژه تمایلش به اعطای سلطه‌ی یک سبک بر مدعیان منطقی دیگر) منجر به پیدایش جنبشی مخالف شده است که (بدون زحمت زیاد دادن به فکر خود) آن را پسانوگرایی (postmodernism) نامیده‌اند. هرچند که من بخش عمده‌ی پسانوگرایی رازشست می‌دانم (از بلاهت در معماری گرفته تا ابهام در ادبیات) و گرچه پیشرفته‌های پسانوگرایی را نباید واقعیت‌هایی والاتر انگاشت بلکه باید نشانی از اوضاع اجتماعی کنونی قلمداد کرد (همانگونه که نوگرایی هم بازتابی از دهه‌های پیشتر بود). با وجود این در رد عمومی پسانوگرایی از جستجوی نوگرایی برای یافتن راه‌حل‌هایی مجرد و منفرد ارزش بسیار زیادی می‌بینیم. به ویژه تاکید پسانوگرایی بر بازیگوشی و کثرت‌گرایی (pluralism)، تائید اهمیت بی‌کم و کاست جزئیات محلی، و ایمان آن بر اینکه هر چند حقیقت ممکن است یکتا باشد، (بسیاری از پسانوگرایان حتی این ادعا را هم نخواهند پذیرفت اما من از این تمایلات پوچ‌گرایی پرهیز دارم) دیدگاه‌هایمان از حقیقت می‌تواند به همان اندازه اعتبار متنوع داشته باشد که انواع دیدگاه‌های متأثر از اجتماع‌مان اعتبار دارد، را می‌ستایم. پسانوگرایی

به سختی می‌تواند پاسخی یکتا به پرسش «حیات چیست؟» را قبول کند، به ویژه پاسخی مانند شرودینگر که ریشه‌هایش در قلب نوگرایی تقلیل به ذرات بنیادی است.

کوتاه سخن اینکه بخش عمده‌ی کتاب شرودینگر را دوست دارم در حالی که نارسایی‌هایش را مظاهری از مسایل عمومی در فلسفه نوگرایی می‌دانم که در آن نفوذ کرده است و بعنوان یک زیست‌شناس تکاملی که به بررسی زیست‌مندان کامل و تاریخ‌شان توجه دارم، پاسخ شرودینگر را اشتباه نمی‌دانم اما به شکل اسفناکی جانبدارانه می‌دانم که به سختی برخی از ژرفترین موضوع‌های رشته‌ی مرا لمس می‌کند.

به سختی می‌توان شکل سازگارتر یا آشتی‌پذیرتری از تقلیل‌پذیری (فروکاست‌گرایی) را ارائه کرد که همانند بحث شرودینگر مرکز حیات چیست؟ را تشکیل دهد. زیرا وی ادعای منیع و قدیمی نیوتون را که طبق آن زیست‌مندان «چیزی جز» موجودات فیزیکی با پیچیدگی بس زیاد نمی‌باشند و بنابراین قابل کاهش به مفاهیم ملکه علوم‌اند، دنبال نمی‌کند. شرودینگر می‌پذیرد که زیست‌مندان متفاوت و بی‌همتایند. بالاخره باید آنها را به وسیله‌ی قوانین فیزیکی توجیه کرد، اما نه الزاماً با قوانینی که اکنون با آنها آشنائیم. بنابراین زیست‌شناسی همان قدر به فیزیک کمک می‌کند (در ارائه موضوعاتی که منجر به کشف این قوانین ناشناخته می‌شود) که فیزیک به زیست‌شناسی، تا سرانجام توجیهی واحد برای جملگی موضوعات ارائه شود.

از تصویری که دلبروک برای ماده‌ی وراثتی کرده چنین می‌نماید که گرچه زیست‌مندان ناقص قوانین فیزیکی معتبری که تاکنون کشف شده نمی‌باشد، احتمالاً «قوانین دیگری از فیزیک» که تاکنون کشف نشده‌اند را درگیر می‌کند و هنگامی که این قوانین کشف شوند کاملاً مانند قوانین پیشین در چارچوب علم قرار خواهند گرفت (شرودینگر، ۱۹۴۴، صفحه ۶۹).

سپس شرودینگر می‌کوشد تا ماهیت ماده‌ی وراثتی را از پیروی‌شان از قوانین فیزیکی مربوط به کوچکترین ذرات مادی غیرزنده، استنتاج کند.

از آنچه درباره‌ی ساختار ماده‌ی زنده آموخته‌ایم، باید آماده باشیم که کارکرد آن را به گونه‌ای بیابیم که نتوان به قوانین عادی فیزیک کاهش دهیم، آن هم نه بر این مبنا که نیروی جدید یا چیز دیگری وجود دارد که رفتار تک تک اتم‌های درون موجود زنده را تحت اختیار دارد، بلکه چون ساختمان ماده‌ی زنده با موادی که تاکنون در آزمایشگاه‌های فیزیک آزمایش شده‌اند، فرق دارد (شرودینگر ۱۹۴۴، صفحه ۷۶).

در دنیای جدید کوانتومی او، «سازوکار احتمالاتی فیزیک» (شرودینگر ۱۹۴۴ صفحه ۷۹) نظم کلان (ماکروسکوپی) را از بی‌نظمی ملکولی، می‌سازد: «نظریه‌ی آماری زیبای ما که حقاً به آن می‌بالیدیم، اجازه داد که پشت پرده را بنگریم و تماشاگر نظم پرشکوه و یا پیدایش قانون دقیق فیزیک از بی‌نظمی اتمی و ملکولی باشیم (شرودینگر ۱۹۴۴، صفحه ۸۰). پیچیدگی ماده‌ی وراثتی نیازمند اصل جدید نظم از نظم خواهد بود:

نظام‌مندی که در پیدایش حیات با آن روبروایم از سرچشمه دیگری می‌جوشد. بنظر می‌رسد که دو راهکار گوناگون برای پدید آوردن رخدادهای منظم پیش رو است: «راهکار آماری» که «نظم را از بی‌نظمی» می‌سازد و راهکار تازه‌ای که «نظم را از نظم» ... فیزیکدانان خیلی افتخار می‌کردند که اتفاقاً..... اصل «نظم از بی‌نظمی» را که طبیعت از آن پیروی می‌کند، پیدا کرده‌اند. اما نمی‌توان انتظار داشت که «قوانین فیزیکی» که از این اصل ناشی می‌شوند، بتوانند مستقیماً برای توجیه رفتار زیست‌مند که به روشنی عمدتاً به اصل «نظم از نظم» متکی است، بسنده کند. نمی‌شود انتظار داشت که دو راهکار کاملاً متفاوت قوانینی یکسان به ارمغان آورند، همانطور که نمی‌توان انتظار داشت کلید خانه‌ی ما، درب خانه‌ی همسایه را نیز بگشاید.

این مباحث شرودینگر را به معروفترین نتیجه‌گیری‌ش هدایت کرد. نتیجه‌گیری که موجب چنان نفوذ تاریخی کتاب کوچک شد: مفهوم ژن به عنوان «بلور بی‌تناوب» (aperiodic crystal).

## حیات چیست؟ پرسشی از کثرت‌گرایی (Pluralism)

### مسئله‌ای عنوانی

باتوجه به مطالب بالا اگر می‌گوییم که مشکل اصلی من با حیات چیست؟ در ادعایی است که عنوانش می‌رساند، امیدوارم چنین قضاوت نشود که من به اصطلاح مته بر خشخاش می‌نهم و یا خرده‌گیری می‌کنم. درست در صفحه‌ی اول شرودینگر می‌گوید پرسشی را که کتابش به آن پاسخ خواهد داد چیست:

مسئله‌ی بزرگ، مهم و بی‌اندازه مورد بحث این است که چگونه می‌توان مجموعه پدیده‌هایی را که در فضا و زمان در درون مرزهای یک زیستمند رخ می‌دهد، توسط فیزیک و شیمی پاسخگو بود (شرودینگر ۱۹۴۴، صفحه ۱).

(این فرمولبندی دست کم گستره‌ای به بزرگی یک زیستمند کامل را مطرح می‌کند، گرچه کتاب حیات چیست؟ زان پس خود را تقریباً منحصر به سرشت فیزیکی ماده توارثی می‌کند).

به شکلی کوتاه و تحت تاثیر جوّ نوگرایی تقلیل‌گرا شرودینگر می‌گوید هنگامی پاسخ «حیات چیست؟» را خواهیم یافت که بدانیم که کوچکترین اجزای ماده‌ی توارثی از چه ساخته شده و کارکرد عام و فراگیر آنها چگونه است. من ارزش بی‌اندازه‌ی شناخت ماهیت و ساختار مواد ژنتیکی را منکر نمی‌شوم. اما آیا این آگاهی پاسخ «حیات چیست؟» را می‌دهد؟ آیا موضوع خیلی بیش از آنی که یک چنین پرسشی با مفهوم محلی محسوس می‌تواند تداعی کند، نمی‌باشد؟ صرفاً از دیدگاه مکتبی بنام دیرین‌شناسی مجبورم فرمولبندی تنگ نظرانه‌ی شرودینگر را رد کنم زیرا که اگر تعریف وی را بپذیرم حرفه کاری‌ام بی‌ربط و یا در بهترین صورت، کاملاً حاشیه‌ای می‌شود. اگر پاسخ حیات چیست؟ دانستن نهاد فیزیکی ماده‌ی وراثتی باشد پس چرا حرفه‌ی دیرین‌شناسی می‌کوشد که تاریخ سیر تکاملی نژادهای حیوانی و گیاهی را در مقیاس میلیاردها سال ردیابی کند؟ در بهترین وضع کره‌ی زمین صرفاً صحنه‌ی ثبت و ضبط ریزه کاری‌های یک تاریخ است که توسط نظریه‌ای کاملاً مبتنی بر اساس درک کارکرد ماده در کوچکترین مقیاس تبیین می‌شود. از این دیدگاه دیرین‌شناسان نمی‌توانند هیچ نظریه‌ای بر اساس کلان سپهر

(macroworld) ارایه دهند و هیچ سهمی در ارایه پاسخ کلی به حیات چیست؟ ندارند. ما می‌توانیم از یک تاریخ واقعی و رخداده سند برداری کنیم و اگر بدینوسیله نظریه‌ای برنخیزد چنین فعالیتی بیهوده می‌شود.

### سرچشمه‌های ذاتی تقلیل

پس حیاتِ فراتر از کارکرد ریزترین تکه‌های آن چه می‌باشد؟ چرا اصلاً به فکرمان رسید که می‌توانیم چنین پرسشی فراگیر را در حوضه‌ای چنین محدود به شکلی بسنده پاسخگو باشیم و چرا عده‌ی زیادی از ما با پاسخ‌های جزئی مانند پاسخ شرودینگر قانع شدیم؟ بخشی از علت، سنت‌ها و عوامل اجتماعی است که بیرون از دیرین‌شناسی و سایر زمینه‌های زیست‌شناسی «تمام زیست‌مند» عمل می‌کنند. رشک به فیزیک موجب شد که احکام دانشمندان بزرگ این دانش، به ویژه برندگان جایزه‌ی نوبل را (زمینه‌ی علمی ما مورد التفات چنین جوایزی قرار نمی‌گیرد) مورد احترام فوق‌العاده قرار دهد و تا حدود زیادی از جستجوی نقد ایمن دارد. از سویی دیگر محبوبیت نوگرایی قدرتی فرسایش‌ناپذیر به تیغ کهنه‌ی فروکاست‌گرا عطا کرد. نبود افتخاری بسنده در موضوع کار خودمان نیز (باز هم ناشی از فروکاست‌گرایی و رشک فیزیک) ما را تحت تاثیر مرشدان سایر رشته‌ها قرار داد.

اما مجموعه عوامل دیگری هم وجود دارد که از سنت‌ها و شکل‌های توجیهی خودمان برمی‌خیزد - و بنابراین باید تنها خودمان را سرزنش کنیم که خیلی زود فروکاست‌گرایی را پذیرفته‌ایم و آمادگی زیادی داشته‌ایم که پدیده‌های خودمان را که منبعی بس غنی در تکوین نظریه‌ای برای بخش‌های زیادی از یک پاسخ جامع به «حیات چیست؟» است، رها کنیم. داروین‌سیسم سنتی نه تنها فروکاست‌گرایی را می‌پذیرد، بلکه مصرانه یک سبک تفکر فروکاست‌گرا را اشاعه می‌دهد که طبق آن حتی پیش از آنکه ژنتیک ملکولی شکل شدیدتری از آن را پیش رو نهد، صحنه زمین‌شناسی را از لحاظ نظری بی‌ربط می‌انگارد.

دو جنبه از جهان بینی داروینی اکید موجب تشویق تقلیل صحنه‌ی زمین‌شناسی تاریخ حیات، دست کم به دخالت‌های گذرای زیست‌مندان، اگر نه کاهش تا حد سرشت شیمی - فیزیکی ماده‌ی ژنتیکی، می‌شود. نخست اینکه نظریه‌گزینش طبیعی، یک کانون واحد تغییر علی را تلاش زیست‌مند برای بقای نسل معرفی



می‌کند - و صراحتاً هرگونه موقعیت علی فعال را در مورد هر واحد زیستی «فراتر» مانند گونه یا نظام اقلیمی (ecosystem) انکار می‌کند. زیبایی و بنیادگرایی (radicalism) دستگاه داروین در نفی آن از توسل به اصولی سازمان بخش (مانند نقش خداوند در نظرات قدیمی‌تر) و انتساب پدیدارشناسی (phenomonology) مرتبه‌ی بالاتر (مانند هماهنگی دستگاه‌های اقلیمی یا طراحی پسندیده معماری آلی)، به پیامدها یا فراورده‌های جانبی علیت سطح پایین می‌باشد.

دوم اینکه تحت بینش یکنواختی (یکپارچگی - uniformity) که به شکل موثر توسط مرشد او یعنی چارلز لایل (Charles Lyell) تبلیغ می‌شد، تمامی مقیاسهای زمانی و تمامی درجات پدیده‌ها به شکل جمع شدن و برون یافتهایی (extrapolation) از رویدادهای علی مشهود باکمترین اثر که پیوسته در لحظات رخ می‌دهند، جریان دارد - درّه بزرگ ایالت آریزونا، گرانند کانیون (Grand Canyon) ناشی از فرسایش ذره به ذره در طی میلیون‌ها سال پدید آمده، و روندهای تکاملی هم به مثابه افزایش تدریجی کوچکترین تغییرات طی نسلهای بیشمار می‌باشد.

این همواری و حرکت ملایم علی را از کوچکترین مقیاس‌های ساخت خود داروین درباره‌ی گزینش طبیعی به عنوان مشابه فرایندهای مشهود، حتی از کوچکترین مقیاس گزینش مصنوعی در اهلی کردن حیوانات و کشاورزی در می‌یابیم. اگر انسانها با دانش ناقص خود توانسته‌اند در چند قرن چنین تغییراتی ببار آورند، ببینید که طبیعت بی‌رحم و کارآمد در پهنه‌ی بیکران برون یابی شده چه می‌تواند کرده باشد:

همچنان که انسان با وسایل روش‌مند یا ناآگاهانه‌ای که برای انتخاب دارد می‌تواند نتایجی عظیم بیافریند، و آفریده، چرا طبیعت نتواند؟ انسان می‌تواند صرفاً بر ظواهر مشهود و بیرونی اثر کند در حالی که طبیعت محدود به صورت نیست... طبیعت می‌تواند بر هر عضو درونی و هر سایه‌ای از تفاوت‌های ساختاری، بر کل دستگاه حیات اثر کند... خواست‌ها و توان‌های انسان چه ناچیزاندا! زمانش چه کوتاه است! و بنابراین محصولات وی در برابر آنچه توسط طبیعت در ادوار گوناگون تاریخ فراهم آمده، چه کوچک است (داروین ۱۸۵۹، ص

افزون بر این صحنه‌ی طبیعت می‌تواند رویدادهای کوچک روزمره را به وسیله‌ی ابزار ساده‌ی زمان بسنجد، به هر اندازه‌ی دلخواه در آورد. برای مقیاس‌های بزرگتر نیروهای جدیدی نیاز نیست و هیچ بحرانی در ابعاد جهانی لازم نمی‌باشد. کارکرد فروکاست‌گرایی (reaductionism) به این دلیل است که ساختار علی تاریخ زمین و حیات، کاملاً در رویدادهای کمترین لحظات نمایان است.

این اعتقاد به یکنواختی علی پیش زمینه‌ای تدریجی را بنا نهاد که موجب پیدایش طیفی از اشتباهات در تاریخ طبیعی شد - از شمایل‌نگاری‌های (iconographies) تسکین‌بخش تاریخ حیات (Gould, ۱۹۸۹) به‌عنوان نردبان پیشرفت (برای ریخت‌شناسی morphology) و یا مخروطی که سطح مقطعش رشد می‌کند (در توضیح تنوع)، تا باور به تغییر آرام و پیوسته زمین‌شناختی که در سرآغاز مروری که اخیراً دیویز (Davies) درباره کتاب فاجعه‌گرایی نو (مکتب جدید حوادث طبیعی جدید neo-catastrophism) اثر درک ایجر (Derek Ager) پس از مرگ وی نوشته:

«فاشیست!» در میان سیاستمداران خیابانی این بدترین ناسزایی است که به عنوان پیش درآمد درباره عملکرد خیلی چپ‌گرای خشن‌تر ابراز می‌شود. در زمان من هم «فاجعه‌گرای نو» (neo - catastrophist) بدترین ناسزایی بود که به یک زمین‌شناس که می‌کوشید بیرون از باور حاکم یکنواختی‌گرایی گام بردارد، نثار می‌شد... ما ترجیح می‌دهیم باور کنیم که آنچه در تاریخ زمین مهم است فرایندهای درازمدت و تدریجی است... لایه‌های رسوبی تشکیل شده در یک محیط دریایی به عنوان تجمع اندک اندک ذرات که طی اعصار و قرون زمان مانند برف و باران بر کف دریا می‌بارند، تفسیر می‌شد (دیویز، ۱۹۹۳، صفحه ۱۱۵).

## حیات چیست؟ مسئله‌ای در سلسله مراتب و تاریخ

در فضای کثرت‌گرایانه‌ی فرانوگرا، نظریه امروزی تکامل از دیدگاه فروکاست‌گرایانه‌ی امثال شرودینگر (که پاسخ «حیات چیست؟» را در شناخت سرشت فیزیکی کوچکترین اجزاء می‌دانند) و نیز از دیدگاه داروین (که فرایندها و مقیاسهای زمانی تراز بالاتر را براساس برون‌یابی (extrapolation) علی

فرایندهای موجود در تک‌تک زیست‌مندان در اکتونی که شاهد آنیم، قابل توضیح می‌دانند) دوری می‌گزینند. دو موضوع، یکی سلسله مراتب و دیگری اقتضای تاریخی به ما کمک می‌کنند تا دریابیم که تحلیل‌های شرودینگر و داروین هر کدام بخشی از پرسش حیات چیست؟ را پاسخ می‌دهند و خیلی از پرسشهای مجاز و اساسی این ملقمه‌ی اعصار نیاز به نظریه‌هایی دارد - نه صرفاً یک پدیدارشناسی - که عملکرد و استخراج‌شان تنها از فرایندهای زمانی کلان و تبدیل‌های عمده‌ی تکامل بدست آید.

### سلسله مراتب

دو موضوع جداگانه که بر مفهوم عمومی سطوح سازمان‌یافتگی در زمان و مقدار تکیه دارند، ارایه‌ی توجیهی قانع‌کننده درباره‌ی حیات در مقیاس ژن‌ها و ساختمان آنها را مانع می‌شوند.

### سلسله مراتب در فرمولبندی نظریه‌ی تکاملی‌گزینش

بنیانگذاران نظریه‌ی تکاملی جدید همواره نوعی سلسله مراتب توصیفی را پذیرا بوده‌اند (رک به Dobzhansky، ۱۹۳۷ و نقد Gould، ۱۹۸۲). اما این دانشمندان عموماً یک تقلیل علی به تغییر بسامد ژن‌ها در جمعیت‌ها را پذیرفته‌اند. پیشنهادهایی که یک سلسله مراتب علی صریح را در نظریه‌گزینش طبیعی عنوان می‌کنند، باعث پیدایش بحث عمده‌ای از ابتدای سال‌های ۱۹۷۰ شده است. سلسله مراتب، در ملایم‌ترین شکل آن، براین باور است که رویدادهای تکامل کلان (macroevolution) هر چند که با فرضیه‌ی تکامل خرد (microevolution) سازگار است، با استناد به جهان خرد، قابل پیشگویی نمی‌باشد، بلکه مستلزم توجه مستقیم به پدیده‌های بزرگ مقیاس است (Ayala و Stebbins، ۱۹۸۱).

سلسله مراتب، در شکل قویتر آن، از ادعای کلیدی داروین، که مدعی است زیست‌مندان تنها کانون انحصاری گزینش طبیعی هستند (و یا حتی به استدلال تقلیل‌گرایانه‌تر داوکینز (Dawkins، ۱۹۷۶) و دیگران که طبق آن ژنها در نهایت نقش «اشخاص» را ایفا می‌کنند)، فاصله می‌گیرد. طبق نظریه سلسله مراتب در گزینش طبیعی، موجودات زنده در چند تراز صعودی در یک سلسله مراتب

ساختمانی برحسب میزان شمول - که میان آنها ژن‌ها، زیست‌مندان، و گونه‌ها برجستگی بیشتری دارند - جملگی می‌توانند (همزمان) به عنوان کانون‌های مجاز گزینش طبیعی عمل کنند. (گونه‌ها موجوداتی طبیعی‌اند، نه مجرد و کلیه ویژگی‌های کلیدی مانند فردیت، تولید مثل و توارث را - که اجازه می‌دهد تا یک وجود زنده به عنوان واحد گزینش عمل کند - دارا می‌باشد.) اگر گونه‌ها به خودی خود واحدهای مهم گزینش طبیعی بشمار آیند و چنانچه بخش عمده‌ی تکامل را باید موفقیت گزینشی و افتراقی گونه‌ها دانست نه غلبه‌ی برون‌یابی شده‌ی ژن‌های مطلوبتر در جمعیت‌ها، در این صورت الگوی تکاملی - بخش عمده‌ای از «حیات چیست؟» - را بایستی در چارچوب تداوم کامل گونه‌ها یعنی در مقیاس زمانی زمین‌شناختی، بررسی نمود (رک Stanley, ۱۹۷۵؛ Vrba & Gould, ۱۹۸۶؛ Lyod & Gould, ۱۹۳۳؛ Williams, ۱۹۹۲).

رفتار زمین. حتی اگر گزینش طبیعی می‌توانست تکامل را اصولاً در تمامی مقیاس‌ها براساس جمع و انباشت ساده بنا کند لازم‌ه‌اش این می‌بود که زمین هم باید برای میسر ساختن تغییرات تدریجی همکاری کند. اگر رفتار زمین چنان سرکشانه باشد که هرازگاهی سلسله پیامدهای انباشته شده تدریجی را از خط خارج کند و یا اصلاً با حوادث طبیعی (فجایع) عظیم (catastrophe) آنها را به سرآغازی نو وادارد، آنگاه علل الگوی کلی تکامل پیچیده خواهند بود - و در نتیجه جزء منتسب به رویدادهای کمیاب لحظه‌ی بزرگ را نمی‌توان براساس بررسی یکنواختی‌گرای (وحدت‌گرا uniformitarian) متداول از رخدادهای معمولی کنونی، درک کرد.

برهان مجازی نظریه آلوارز - (Krogh) Alvarez و همکاران، ۱۹۹۳) درباره‌ی نابودی جمعی ناشی از برخورد شهاب‌سنگی در اواخر دوران کرتاسه (Alvarez و همکاران ۱۹۸۰) سبب بازنگری کلی و تمایل به پذیرش نقش عمده‌ی چنین رویدادها در ترازهای بالای سلسله مراتب زمانها و اندازه‌ها شده است. دیویز (Davies) در نقد خود (۱۹۹۳، ص ۱۱۵) از یکنواختی‌گرایی سنتی چنین ادامه می‌دهد:

اکنون همه چیز تغییر کرده است. ما در حال بازنویسی تاریخ زمین (geohistory) هستیم. آنچه را که زمانی تسمه نقاله‌ای هموار می‌دیدیم اکنون

بشکل پله برقی می‌بینیم. کف هر پله نشانگر دوره‌ای طولانی است که نسبتاً آرام بوده در آن اتفاقات کمی رخ داده است. خیزهای پله مانند نشانگر صحنه تغییرات نسبتاً ناگهانی است که طی آن سرزمین و ساکنانش به حالتی تازه ترجمه شده‌اند. حتی متعصب‌ترین زمین‌شناسان از خیزش‌های تراسی (sedimentary surges)، مراحل انفجاری تکامل آلی، تاریکی‌های آتشفشانه، برخورد‌های قاره‌ای، و برخورد‌های وحشتناک شهابسنگی داد سخن می‌دهند. ما در عصر فاجعه‌گرایی نو (neocatastrophism) می‌زیسیم.

تنها سه نمونه از پدیده‌های تکاملی کلان را در نظر می‌گیریم که باید بخش عمده‌ای از پاسخ قانع‌کننده به «حیات چیست؟» باشند و در بیست سال گذشته خیلی مورد بحث بوده‌اند اما هنوز براساس شناخت ساختمان ماده ژنتیکی یا هر جور برون‌یابی معقول از این مقیاس خرد به تنهایی، قابل تحلیل نمی‌باشند.

(۱) روندهای تکاملی در دنیایی از تعادل‌های مکث آلود (Eldredge و Gould، ۱۹۷۲؛ Gould و Eldredge، ۱۹۷۳)، که طی آن جهت‌گرایی از توفیق افتراقی (differential) زیر گروه‌های گونه‌های پایدار در یک فاجعه نشأت گرفته‌اند (نه از تبدیلات غیر ژنتیکی (anagenetic) در رده‌ها (lineages) و در آن بخش عمده‌ی توفیق افتراقی گونه‌ها در نتیجه‌ی گزینش تقلیل‌ناپذیر (irreducible) در سطح خود گونه‌ها رخ می‌دهد.

(۲) نابودشدن‌های توده‌ای که هم تندتر است (برخی در نتیجه فجایعی که در مقیاس چند لحظه تا چند روز رخ داده، اما اثراتشان قرن‌ها تا هزاران سال طول کشیده) و هم اثراتشان شدیدتر، تواترشان زیادتر و قربانیانشان متفاوت‌تر از آن چیزهایی است که تاکنون براساس تصویر لایلی (Lyellian) سابق و مورد علاقه‌ی ما، قابل تصور بوده است.

(۳) محدودیت زمانی و اثر بزرگنمایی در مورد دوره‌های آغازین تاریخ حیات، به ویژه در مورد دوره «انفجار کامبرین» (Cambrian) که تقریباً تمامی طرح‌های عمده‌ی حیات چند یاخته‌ای را آغاز کرد. اکنون در سایه‌ی گاه‌سنجی‌های دقیق نوین با روش پرتوزایی، انفجار کامبرین به یک دوره حدود پنج میلیون ساله محدود شده است (Bowring و همکاران ۱۹۹۳). برخلاف نظرات ترقی‌گرای مرسوم گذشته،

که گمان داشتند فقط پیشسازان اشکال امروزی در این رویداد پدیدار شده‌اند، تحقیقات سی‌ساله‌ی مجدد بر روی سنگ‌های رُستی Burgess (shale - حاوی فون - fauna و آثار حیاتی نرم و جالب از دوره‌ی کامبرین میانه، بلافاصله پس از انفجار) نشان می‌دهد که گستره‌ی این طرح‌های کالبدی (anatomy) اولیه از مرزهای امروزی فراتر بودند (علیرغم بیش از ۵۰۰ میلیون سالی که پس از آن کالبدهای تازه پدیدار می‌شود) و اینکه تاریخ حیات پس از انفجار کامبرین عمدتاً داستان کاهش (تقلیل) امکانات اولیه بوده است. از زمان انفجار کامبرین، به استثنای یک مورد (Broyoza در آغاز دوره‌ی بعدی اردوویسیان - Ordovician) هیچ دودمان (phylum) تازه‌ای در شواهد سنگواره‌ای پدیدار نشده است. حال هر شرایط ژنتیکی یا رشدی چنین رویداد مهمی را میسر ساخته، اصل این است که موضوع روندی ساده و معمولی نداشته تا بتوان آن را از روند تغییرات داروینی در جمعیت‌های امروزی، برون‌یابی نمود. (رک Whittington، ۱۹۸۵ و Gould، ۱۹۸۹). بدون درک چنین پدیده‌هایی نمی‌توان به این پرسش که «حیات (چند یاخته‌ای) چیست؟» پاسخ داد.

## اقتضایی بودن تاریخ

حتی اگر همه‌ی تبیین‌های متکی بر «قوانین طبیعت» را که دلمان می‌خواهد به کار بریم و بر آن هر چه را از فهم و تسلط مان بر این قوانین و اصول تراز بالا و مقیاس بزرگ و زمان‌های بلند می‌فهمیم، بیافزاییم، باز هم بخشی بنیادین از «حیات چیست؟» را نخواهیم داشت.

رخدادهای دنیای طبیعی پیچیده ما را می‌توان در دو قلمرو گسترده قرار داد - یکی رویدادهای تکراری و قابل پیشگویی که از عمومیتی کافی برخوردارند و می‌توان آنها را به عنوان نتایج قوانین طبیعی توجیه کرد، و دیگری رویدادهای تصادفی بارز که در دنیایی پر از هبا (chaos - در هم برهمی) و نیز مملو از بختانگی (کتره‌گی) هستی شناسانه‌ی ناب، رخ می‌دهد. زیرا روایت‌های پیچیده تاریخی، تصادفاً در مسیری گشوده شده‌اند که در عمل رخ داده، و نه در مسیر گزینه‌های بیشمار دیگری که به همان اندازه محتمل بوده‌اند.

گرچه این رویدادهای اقتضایی در علم معمولی مورد اعتماد نیستند و تحقیر می‌شوند، می‌بایست به همان اندازه معنی‌دار، پیشگویانه، جالب و حتی نسبت به پیشگویی پذیره‌های مرسوم به همان اندازه قابل تحلیل گردند. رویدادهای اقتضایی در حقیقت قابل پیشگویی نیستند اما این خاصیت از خصلت جهان سرچشمه می‌گیرد - و در نتیجه آن، مانند هر چیز دیگری که طبیعت عرضه می‌کند، معنی‌دار می‌شود - نه اینکه از محدودیت‌های روش‌شناسانه ما برخاسته باشد. اگرچه رویدادهای اقتضایی در شروع یک توالی قابل پیشگویی نیستند، مانند هر رویداد دیگری پس از وقوع‌شان قابل توجیه می‌باشند. این توجیهات، به عنوان اقتضایی و نه قانونمند، مستلزم آگاهی از توالی تاریخی مشخصی که به آن نتیجه انجامیده، می‌باشد، زیرا چنان توجیهاتی باید به صورت روایتی باشند، نه به صورت استنتاجی (قیاسی deductive). اما خیلی از علوم طبیعی، از جمله رشته علمی خودم یعنی دیرین‌شناسی، از این لحاظ تاریخی اند و تنها هنگامی می‌توانند چنان اطلاعاتی را به ما بدهند که بایگانی بجا مانده به حد کافی غنی باشد.

یک تحقیرکننده‌ی اقتضا ممکن است همه‌ی ادعاهای بالا را بپذیرد اما باز هم بگوید: دو قلمرو شمارا قبول دارم اما علم تنها مخصوص ناحیه‌ی عمومیت بالا است. ناحیه اقتضایی «پائین» که کوچک و مسطح است توسط عظمتی گرانسنگ در بالا به زیر رفته و تنها فضایی حاوی جزئیات تفصیلی بی‌اهمیت در کارکرد بنیادین طبیعت شده است. اصل بحث من انکار همین تصور مرسوم، و تلاش در بازسازی قلمرو اقتضا به عنوان قلمروی گسترده و مهم مانند هر شکل استنتاجی از قوانین طبیعی می‌باشد. چونکه قلمرو اقتضا در برگیرنده‌ی پرسشهایی با این شکل متداول می‌باشد: چرا این، و نه یکی دیگر از هزاران چیز دیگر؟

می‌شود بحث عمده را به بهترین وجه به شکل یک مشاهده‌ی تاریخی یا روانشناختی مطرح کرد. در تکبر و خودبینی‌مان و در عین حال در ترس احترام آمیزمان، به این گرایش داریم که ژرف‌ترین پرسشهای زیست‌شناسانه خود را به شکل عمومیت‌هایی که توسط قانون طبیعی حل می‌شود، مطرح کنیم: چرا باید حیات توسط گزینش طبیعی روی موادی که از رمزهای اسیده‌های هسته (نوکلئیک) ساخته می‌شوند، اداره شود؟ چه چیزی در نظریه بومشناختی (ecological) به ما خواهد گفت که چرا زمین آنقدر حشرات زیاد و آنقدر موجودات

کوتوله pogonorphorans کم دارد؟ بالاخره حیات چیست؟ (به عنوان پدیده‌ای قابل پیشگویی که دوباره هم به همان ترتیب تکامل خواهد یافت و غیر از این نمی‌تواند باشد). اما همه‌ی این پرسشها از آنجا برمی‌خیزد که ما عاجزانه می‌خواهیم موضوعی گیج‌کننده‌تر و مشخص‌تری را بفهمیم: ما انسان‌ها کیستیم و چرا اینجا هستیم؟ چه درست و نغزگفته‌است پروتاگوراس که می‌گوید: «انسان ملاک سنجش همه چیز است» (خواه آن را نهایت انسان‌گرایی تعبیر کنیم و یا خواه یک ادعای تنگ‌نظرانه و محدودنگر). اکنون ما به عنوان یک گونه‌ی منفرد، که فراورده‌ی پایانی یک سلسله تصادفات هستیم و چنانچه حتی یکی از هزاران گام پیشین به مقداری جزئی به گونه‌ای دیگر رخ میداد (که احتمالاً هر کدام می‌توانستند چنان کنند) هرگز چیزی شبیه ما وجود نمی‌داشت - مایی که موجوداتی تصادفی هستیم، نه ضروریات قابل پیش‌بینی - قطعاً در قلمرو تصادفات قرار دادیم. و پرسش‌هایی که بخصوص واقعاً و عمیقاً با ما مرتبط می‌شوند، حتی اگر به شکل کنجکاوی‌هایی درباره‌ی ضروریات بی‌زمان مطرح شوند پرسش‌هایی هستند که بایستی برحسب اتفاقات پاسخ داده شوند.

اگر تفاوت‌های ناچیز در قلمرو تاریخ اقتضایی در وهله‌ی اول به نظر هر بیننده‌ای ناچیز و بی‌پیامد، برسد در نهایت به پیامدهایی چنان دور از هم می‌انجامد که «حیات چیست؟» را از اساس دگرگون می‌کند. اقتضا تنها قلمرو چیزهای ناچیز نیست. افزون بر این، موضوع اقتضا و تصادف شکنک وار (fractal) است و تمامی ابعاد تاریخ حیات از تحولات عمده‌ی زیست‌سپهری (biospheric cataclysms) گرفته تا ویژگی‌های یک رده‌ی دودمانی منفرد (lineage)، را فرا می‌گیرد. چرا هموساپینس اینجا است؟ - پرسشی که واقعاً ما را برمی‌انگیزد بپرسیم «حیات چیست؟» (چنانچه در لحظات صداقت می‌پذیریم). تصادف را در تمامی گام‌های شکنک خواهیم یافت. ما اینجا هستیم زیرا که فهرست گردونه‌ی مرگ فراورده‌های کالبدی انفجار کامبرین فاقد گروه کوچکی از مهره‌داران (chordate) «نومیدکننده» که در سنگ رستی بورجس (Burgess shale) جنس پیکایا (genus Pikaia) نماینده‌ی آن است، بود. (هر سیر تازه گردونه در قرعه‌کشی بورجس به پیدایش خانواده‌ای کاملاً متفاوت از خطوط دودمانی می‌انجامد. به این مفهوم، همه‌ی گروه‌هایی که امروز باقی هستند وجود خود را مدیون بخت و اتفاق هستند). اگر وارد بحث جان سالم بدر بردن پستانداران



بشویم، چنانچه شهابسنگِ آخرِ کر تاسه (نهایت اتفاق ناگهانی و بختانه از آسمان) در کار نمی‌بود، امروز دیناسورها بر دنیای مهره‌داران حاکم بودند و احتمالاً پستانداران هنوز به اندازه موش صحرایی می‌بودند که در سوراخ سنبه‌های دنیای خود محدود بودند (دیناسورها بیش از صد میلیون سال پیش از آن بر پستانداران حاکم بودند، چرا ۶۵ میلیون سال بیشتر از آن نه؟) اگر یک خط دودمانی میمون‌هایی (ape) را که ۱۰ میلیون سال پیش در جنگل‌های آفریقا بسر می‌بردند، مورد توجه قرار دهیم، چنانچه خشکسالی پیش نمی‌آمد جنگل‌ها به دشتزارها و علفزارها بدل نمی‌شدند. آن خط دودمانی، امروز در جنگل‌هایی که پایدار مانده‌اند به شکل میمون باقی مانده - من که از شق دیگری که پیش آمد\* کاملاً رضایت دارم، متشکرم.

شروودینگر از دوست داشتنی‌ها و نداشتنی‌های شکل‌دهنده خود چنین نوشته است: «موضوع هر چه بود، دانش‌آموز خوبی بودم. ریاضیات و فیزیک را دوست داشتم اما منطق دقیق و دستور زبان باستان را هم همینطور. تنها از برکردن داده‌ها و سال‌های «اتفاقی» تاریخی و زندگینامه‌ای نفرت داشتم. تعجب‌آور است که پیشاهنگی بزرگ که در یک انقلاب علمی، بختانگی (randomness) کوانتومی را در چارچوب قوانین طبیعت نهاده، صورت مقتضی تصادفی بودن رویدادهای کلان سپهر (macroworld) را نادیده انگاشته و تنها بخاطر تاریخی بودن‌شان آنها را ورای محدوده‌ی علم انگاشته است. یقیناً، چنانچه شروودینگر اعتقاد داشت، «حیات چیست؟» پرسشی است که باید در قلمرو قوانین طبیعت پاسخ گفته شود. اما در عین حال «حیات چیست؟» هر ذره‌اش مسئله‌ای در تاریخ است.

با کمینیستر فولر (Buckminster Fuller) که پیامبری امروزین است، اغلب می‌گوید «وحدت جمع است و دست کم دو می‌باشد». می‌بایست قوانین طبیعت و اقتضای تاریخ به منزله‌ی دو شریک یکسان در تلاش‌مان در پاسخ به «حیات چیست» به کار آیند. زیرا پیامبری از باستان یک بار گفته است (تورات، کتاب عاموص، ۳:۳): «دو می‌توانند با هم گام بزنند مگر آن که توافق میانشان باشد».

\* یعنی پیدایش انسان در اثر تبدیل جنگلها به دشت. م

- Alvarez, L. W., Alvarez, W., Asaro, F. & Michel, H. V. (1980). Extraterrestrial cause for the Cretaceous-Tertiary extinction. *Science* 208, 1095-1108.
- Bowring, S. A., Grotzinger, J. P., Isachsen, C. E., Knoll, A. H., Pelechaty, S. M. & Kolosov, P. (1993). Calibrating rates of early Cambrian evolution. *Science* 261, 1293-98.
- Crow, J. F. (1992). Erwin Schrödinger and the Hornless Cattle Problem. *Genetics* 130, 237-9.
- Darwin, Charles. (1859). *On the Origin of Species*. London: John Murray.
- Davies, G. L. H. (1993). Bangs replace whimpers. *Nature* 365, 115.
- Dawkins, R. (1976). *The Selfish Gene*. New York: Oxford University Press.
- Dobzhansky, T. (1937). *Genetics and the Origin of Species*. New York: Columbia University Press.
- Eldredge, N. & Gould, S. J. (1972). Punctuated equilibria: An alternative to phyletic gradualism. In *Models in Paleobiology*, ed. T. J. M. Schopf, pp. 82-115. San Francisco: Freeman, Cooper & Co.
- Gould, S. J. (1982). Introduction, Geneticists and Naturalists. In *Genetics and the Origin of Species*, ed. T. Dobzhansky, pp. xvii-xxxix. New York: Columbia University Press.
- Gould, S. J. (1989). *Wonderful Life*. New York: W. W. Norton & Co.
- Gould, S. J. & Eldredge, N. (1993). Punctuated equilibrium comes of age. *Nature* 366, 223-7.
- Judson, H. F. (1979). *The Eighth Day of Creation*. New York: Simon and Schuster.
- Krogh, T. E., Kamo, S. L., Sharpton, V. L., Marin, L. E. & Hildebrand, A. R. (1993). U-Pb ages of single shocked zircons linking distal K/T ejecta to the Chicxulub crater. *Nature* 366, 731-4.
- Lloyd, E. A. & Gould, S. J. (1993). Species selection on variability. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 90, 595-9.
- Schrödinger, E. (1944). *What is Life?* Cambridge: Cambridge University Press.
- Smocovitis, V. B. (1992). Unifying biology: the evolutionary synthesis and evolutionary biology. *Journal of the History of Biology* 26, 1-65.
- Stanley, S. M. (1975). A theory of evolution above the species level. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 72, 646-50.
- Stebbins, G. L. & Ayala, F. J. (1981). Is a new evolutionary synthesis necessary? *Science* 216, 380-7.
- Vrba, E. S. & Gould, S. J. (1986). The hierarchical expansion of sorting and selection: Sorting and selection cannot be equated. *Paleobiology* 12, 217-28.
- Whittington, H. B. (1985). *The Burgess Shale*. New Haven, CT: Yale University Press.
- Williams, G. C. (1992). *Natural Selection: Domains, Levels, and Challenges*. New York: Oxford University Press.

## تکامل خلاقیت بشر

### فرد دایامند

بخش زیست‌شناسی دانشکده پزشکی دانشگاه کالیفرنیا - لوس آنجلس - کالیفرنیا

چگونه شد که ما انسان‌ها اینهمه متفاوت از سایر حیوانات در آمده‌ایم؟ پیش از داروین، که نشان داد تفاوت‌های ما، از حیوانات تکامل یافته است. حتی امکان نداشت چنین پرسشی را مطرح نمود. خلقت ما متفاوت از حیوانات نیست بلکه طی زمان، متفاوت از آنها شده‌ایم.

تا گذشته‌ای نزدیک این پرسش که چگونه اینطور شده، در قلمرو انحصاری دیرین‌شناسی (paleontology) و کالبدشناسی تطبیقی (یا مقایسه‌ای comparative anatomy) بود. اما اکنون سیلی از بصیرت از خیلی زمینه‌های دیگر مانند زیست‌شناسی ملکولی، زبانشناسی، روانشناسی ادراکی (cognitive)، حتی تاریخ هنر در جریان است. در نتیجه به نظر می‌رسد که انگار سرانجام مشکل تکامل خلاقیت بشر حل شدنی است. یقیناً امروز این موضوع یکی از چالش‌دارترین پرسش‌های زیست‌شناسی می‌باشد.

علیرغم نظریه داروین هنوز همه ما جمله موجوداتی چون صدف خوراکی، سوسک، فاخته را زیر چتر مفهوم «حیوانات» یکجا جمع می‌کنیم، و آنها را متمایز از خودمان می‌دانیم - انگار که صدف، سوسک و یا فاخته با همدیگر وجه اشتراک بیشتری دارند تا با ما. حتی شمپانزه را به قعر حیوانیت می‌اندازیم و خود را به نحوی بارز بالا می‌انگاریم.

تمامی جنبه‌های بارز ما نهایتاً بیانگر خلاقیت بی‌نظیر ما است. فقط به برخی از صور بارزی که خلاقیت ما بخود می‌گیرد بیندیشید:

● بر خلاف هر حیوانی، ما از طریق زبان تکلم و کتب نوشته با هم ارتباط برقرار می‌کنیم.

● در نتیجه راجع به چیزهایی می‌دانیم که در مکان‌های دور و در گذشته‌های بسیار دور رخ داده است، مانند سخنرانی‌های شرو دینگر در ۱۹۴۳، کدام گونه‌ی حیوانی از آنچه که فردی از هم‌نوعانش در پنجاه سال پیش در قاره‌ای دیگر می‌اندیشیده، اطلاع دارد؟

● برای زندگی‌مان کاملاً به ابزار و ماشین‌ها وابسته‌ایم.

● خالق هنریم و از آن لذت می‌بریم.

● همچنین خلاقیت ما را در ابداع وسایل نسل‌کشی، سوءاستفاده از مواد اعتیادآور، لذت از شکنجه‌ی دیگران، و نابودی هزاران گونه‌ی دیگر، به کار می‌بندیم. هیچ گونه‌ی حیوانی هیچ‌یک از این‌ها را انجام نمی‌دهد، در نتیجه قوانین ایرلند و سایر کشورها قانوناً و اخلاقاً اصرار می‌ورزند که انسانها حیوان نیستند.

نه تنها هم اکنون ما یگانه و بارزیم: دیرین‌شناسی به ما می‌آموزد که در تاریخ حیات روی زمین نیز ما منحصر به فردیم. چنانچه تفاوت‌هایمان از حیوانات تنها تفاوت‌هایی در جاتی می‌بودند، شواهد فسیلی بما نشان می‌دادند که تریلوبیت‌ها (trilobites) در دوران پالئوزوئیک از ادوات سنگی، و دیناسورها پیش از فاصله کرتاسه / دوران سوم از تله موش‌های باتری دار و بابون‌ها در دوره میوسن نقاشی انگشتی را ابداع کرده بودند. اما این چهره‌های فناوری می‌بایست تا پیدایش هموساپینس‌ها منتظر می‌ماند.

دیرین‌شناسی، این فرض تاریخی ما در باره‌ی ارزشمند بودن هوش را قبول ندارد. گونه‌های واقعاً موفق کره‌ی زمین مانند سوسک و موش راه‌های بهتری را برای تفوق کنونی شان یافته‌اند و انرژی کمتری را صرف بافت مغز که پرهزینه است، کرده‌اند. ما نه تنها در کره زمین بلکه در نواحی نزدیک در کهکشان خودمان هم بی‌ماندیم زیرا کیهان‌شناسانی که پیوسته مترصد شنیدن علایمی از وجود هوش فرازمینی هستند چیزی جز سکوت گوش‌آزار از فضا نشنیده‌اند.

علیرغم همه‌ی شواهد موجود درباره منحصر به فرد بودنمان، به روشنی معلوم

است که ما اصلاً منحصر به فرد نیستیم. ما نه تنها جزو حیواناتیم، بلکه معلوم است که چگونه حیوانی هستیم. ما یکی از بوزینه‌های بزرگ آفریقایی هستیم\*<sup>۱</sup>. اجزای کالبدمان یکسان و تقریباً همه‌ی پروتئین‌هایمان نیز همانند است. در میان پروتئین‌هایی که توالی آمینواسیدهایشان در مورد انسان و بوزینه تا این زمان تعیین شده - یعنی پنج زنجیره هموگلوبین، میوگلوبین، سیتوکروم، کربونیک انیدراز، و فیبرینوپتیداز A و B - بیشترشان حتی در یک آمینواسید از یک گونه با گونه‌ی دیگر تفاوت ندارد. کل شمار تغییرات موجود در ۱۲۷۱ آمینواسیدی که توالی‌شان تعیین شده، تنها پنج می‌باشد.\*\*<sup>۲</sup>

برای قانع شدن از خویشاوندیمان با بوزینگان کافی است عده‌ای دانشجو و همکاران مان از کالج تثلیث (Trinity) را خلع لباس کرده و در باغ وحش لندن در قفس قرار دهیم و اجازه ندهیم با هم صحبت کنند و نگذاریم چند سالی به آرایشگاه بروند. در آن صورت روشن خواهد شد که آنها، و نیز ما، بوزینه‌هایی هستیم که ایستاده‌ایم و کمتر مو داریم.

امروزه شواهد فسیلی و ملکولی حاکی از آن است که نیا‌های ما حوالی هفت میلیون سال پیش از نیا‌های بوزینگانی که در آفریقا زنده‌اند، شاخه شدند. در مقیاس تکاملی این مدت زمان یک چشم به هم زدن یا خیلی کمتر از ۱٪ تاریخ حیات روی زمین به حساب می‌آید. در نتیجه دی.ان.ای ما هنوز ۹۸/۴٪ همسان دی.ان.ای دو گونه‌ی دیگر یعنی شمپانزه معمولی و شمپانزه کوتوله است. شباهت دی.ان.ای‌های ما و شمپانزه بیش از دو پرند ایرلندی که بیشترین شباهت را به هم دارند (یعنی Willow Warblers و Chiffchaffs)، می‌باشد. اگر کالج تثلیث جانورشناسی منصف را از فضا استخدام کرده بود، قطعاً وی ما را جزو سومین گونه شمپانزه‌ها دسته‌بندی می‌کرد.

در واقع این گزافه‌گویی است که ما با سایر شمپانزه‌ها ۱/۶٪ تفاوت داریم زیرا که

\* براساس شواهدی دیگر گروهی گمان دارند که خاستگاه انسان استرالیا است نه آفریقا. م

\*\* مراجع مربوط به این بیانیه و سایر آن‌ها را می‌توان در دو بررسی پیشین اینجانب درباره تکامل انسان یعنی: «عروج و سقوط شمپانزه‌ی سوم» (London, Vintage, ۱۹۹۲)، و «تکامل خلاقیت انسان در کتاب تکامل خلاق و ویراسته‌ی J.Cambell (۱۹۹۴) Jones & Bartlett) می‌توان یافت.

ویژگی‌های بارزمان به خیلی کمتر از تفاوت ۱/۶٪ بستگی دارد. به یاد آورید که ۹۰٪ دی. این. اما خرت و پرت فاقد رمز حیاتی است. همچنین به یاد آوریم که بیشتر تفاوت‌هایمان با شمپانزه‌ها در رمزگذاری دی. این. ا، روی رفتار ما اثری نداشته یا اندک اثری دارد، مانند تفاوت یک آمینواسید از میان ۱۵۳ تای موجود در میوگلوبین انسانی و شمپانزه. افزون بر این چنانچه خواهیم دید، به نظر می‌رسد که بیشتر تغییرات در رمزگذاری‌های دی. این. ا خیلی پیش از آنی که تفاوت‌های جالب رفتاری میان انسان و شمپانزه هویدا شوند، کامل شده‌اند. از این رو شاید تنها کسر ناچیزی از دی. این. ا مان یعنی ۰/۱۶٪ بیانگر آن باشد که چرا اینک درباره‌ی تکامل به زبان یولیسیس (Ulysses) نوشته‌ی جیمز جویس بحث می‌کنیم به جای اینکه مانند سایر شمپانزه‌ها بدون تکلم در جنگل‌ها بچریم.

اما آن چند ژنی که موجب تفاوت رفتارهای ما با شمپانزه شده کدام بودند؟ چگونه آن چند ژن باعث این تفاوت شگرف در رفتارمان شدند؟ این از جالبترین پرسشهای زیست‌شناخت کنونی است.

احتمالاً نخستین پاسخ هرکس چنین خواهد بود: ژن‌های مربوط به مغز بزرگمان، یعنی جایگاه هوش و خلاقیت. مغز ما نزدیک چهار برابر مغز شمپانزه است و نسبت به هیکل مان بسیار بزرگتر از مغز هر حیوان دیگر است. قبول دارم که جنبه‌های دیگر جز مغز بزرگ نیز لازم بوده‌اند. شاید برخی‌شان انگیزه‌های آغازین مربوط به افزایش تکاملی مغز ما را فراهم آورده‌اند (مانند اینکه استخوان‌های لگن به خاطر راست راه رفتن ما تغییر پیدا کردند و به دنبال آن دست‌های مان برای سایر کارها آزاد شدند). با این حال لازم بود تا خصوصیات بارز انسانی دیگری هماهنگ با مغز بزرگمان عمل کنند تا ما نقش خود را ایفا کنیم. از میان اینها از همه مهمتر جنبه‌های زیست‌شناختی جنسیت‌مان (مانند یائسگی، تخمک‌گذاری نهفته، و یک پیوند میان جفت که در پستانداران کمیاب است) است که برای توفیق در پرورش نوزادان ناتوان مان ضرورت داشت. با این وجود درباره درستی نخستین حدس همگان، یعنی اینکه مغزی بزرگ برای تکامل خلاقیت بی‌مانندمان، یک پیش نیاز بود، جای بحث و تردیدی نیست.

آنچه کمتر مورد توجه قرار گرفته این واقعیت است که بزرگی مغز ما شرطی لازم بوده است اما نه کافی. معما هنگامی روشن می‌شود که ابعاد زمانی مربوط به رشد

اندازه‌ی مغز را با ابعاد زمانی مربوط به شواهد سنگواره‌ی انسان درباره پیدایش مصنوعات‌ی که نشانگر خلاقیت است به مقایسه بگذاریم.

چنانچه معلوم است شواهد سنگواره‌ی بشر سانان (hominids) نشانگر آنند که: نیا‌های ما حدود ۴ میلیون سال پیش قامتی راست یافته بودند، که حدود ۲ میلیون سال پیش مغزمان شروع به رشد کرده، که حدود ۱/۷ میلیون پیش به درجه هموارکتوس (انسان راست قامت) (*Homo erectus*) رسیده و اینکه حدود ۰/۵ میلیون سال پیش به درجه‌ی هموساپینس (*Homo sapiens*) (انسان داننده) رسیده بودند. قدیمی‌ترین هموساپینس مدرن که از لحاظ اندام‌شناسی گزارش شده - یعنی آدم‌هایی که استخوان بندی‌شان همانند ما است - حدود ۱۰۰/۰۰۰ سال پیش در آفریقای جنوبی می‌زیسته‌اند. در آن زمان اروپا هنوز تحت اشغال نئاندرتال‌ها بود که از لحاظ اندام‌شناسی و عضلانی بسیار تفاوت داشت اما اندازه مغزهایشان حتی اندکی بیش از ماها در حال حاضر نیز بود.

بنابراین افزایش تکاملی مغز ما حدود دو میلیون سال پیش آغاز و حدود ۱۰۰/۰۰۰ سال پیش اساساً کامل شده است. آیا شواهد باستانشناسی درباره‌ی خلاقیت بشری به موازات افزایش اندازه‌ی مغزمان پیشرفت داشته است؟ چنین شواهد باستانشناسانه نهایتاً فراوان می‌شوند و شامل نقاشی روی سنگ، هنرهای قابل حمل، جواهرات، ادوات موسیقی، ابزارهای مرکب، دفن عمدی مردگان، سلاح‌های پیچیده چون تیروکمان، اقامتگاه‌های پیچیده و البسه بافتنی می‌باشد. چنانچه این نشانه‌های خلاقیت‌مان به موازات بزرگ شدن مغزمان پدیدار می‌شدند، در آن صورت به توجیه ساده‌ای درباره‌ی خلاقیت بشری دست می‌یافتیم: خلاقیت نتیجه بزرگی مغزمان بوده است.

شگفت‌آور اینکه شواهد قاطعانه می‌رساند که توازی یکدست نادرست است. ابزارها و جیره‌های آن آفریقایی‌های دارای کالبد مدرن در ۱۰۰/۰۰۰ سال پیش، بخوبی در غارهای آفریقای جنوبی ضبط و ثبت شده‌اند. روشن است که آنها ابزارهای سنگی خاصی را به کار می‌بردند که از ابزارهای نئاندرتال‌ها پیشرفته‌تر نبوده‌اند، علیرغم مغز بزرگشان آنها شکارچی‌های کارآمدی نبودند و در جمعیت‌های کم تراکمی می‌زیستند. استخوان موجوداتی که شکار کرده‌اند و در محل زندگی‌شان یافت شده عبارت از حیواناتی است که شکارشان آسان بوده، مانند بزهای کوهی رام،

توله‌های حیوانات و یا حیوانات خیلی پیر. گونه‌های خطرناکی چون کرگدن، خوک و فیل هنوز شکار نمی‌شدند. شکار عبارت از حیوانی بود که بتوان از فاصله نزدیک و بدون خطر آن را با نیزه‌ای در دست کشت زیرا هنوز تیروکمان و نیزه پرتاب‌کن اختراع نشده بود. آن آفریقایی‌های با اندام مدرن، شمار کمی پرنده یا ماهی شکار می‌کردند زیرا هنوز تور و قلاب ماهی‌گیری ابداع نشده بود. آن مغزهای بزرگ هنوز هیچ چیزی که هنر ماندگار باشد بوجود نیاورده بودند. ما نمی‌دانیم که نقاشی روی بدن داشته‌اند یا نه، اما اشیاء هنری از نوعی که کمی پس از آن از دوره‌ی پلیستوسن (Pleistocene) مانده، نمی‌ساخته‌اند.

همچنین جملگی نشانه‌های خلاقیت در جاهایی از اروپا که در همان عصر نآندر تال‌های بزرگ مغز می‌زیستند، یافت نمی‌شود. افزون بر این ابزارهای سنگی نآندر تال‌ها هیچگونه تغییری از لحاظ زمان و مکان نشان نمی‌دهند. ابزارهای نآندر تال‌های روسیه همانند نآندر تال‌های فرانسه، و ابزارهای ۱۴۰/۰۰۰ سال پیش مانند ابزارهای ۴۰/۰۰۰ سال پیش‌اند. به این ترتیب نآندر تال‌ها آن تنوع فرهنگی را که موجب تفاوت اشیاء هنری هموساپینس‌های امروزی از یک جا تا جای دیگر و از یک سال تا سال دیگر می‌شود و نتیجه خلاقیت بشری است، از خود بروز نداده‌اند. این شاهد یعنی نبود خلاقیت از شگفت‌انگیزترین جنبه‌های نآندر تال‌ها به شمار می‌آید. برای مقایسه باید توجه داشت که خلاقیت، چنان تفاوت‌های فرهنگی بارزی را در ۱۰/۰۰۰ سال گذشته بوجود آورده که رسم شده تا باستانشناسان جاهای باستانی را برحسب اشیاء مصنوع‌شان تاریخ‌یابی کرده، آن‌ها را در گروه‌های واقعی دسته‌بندی کنند. به عنوان نمونه‌ای امروزی، طرح و نوع رایانه‌ها و خودروها در اثر ابداعات و اختراعات چنان با سرعت تغییر می‌کنند که اغلب می‌توان تاریخ‌شان را تا نزدیکترین سال‌شان تعیین نمود. هرگاه بالاخره دوقلوهای شش ساله و آشنا با رایانه من، خط‌کش محاسبه‌ای را که پدر ناآشنا با رایانه‌شان تا چندی پیش در محاسباتش به کار می‌برده و در میز کارش مخفی است، بیابند درباره اینکه من در کدام مرحله از عصر پلیستوسن به دنیا آمده‌ام تأمل خواهند کرد.

تنها جنبه‌های کیفی تمایز رفتار انسان ۱۰۰/۰۰۰ سال پیش، از رفتار حیوانات بهره‌گیری وسیع از ابزارهای سنگی ابتدایی و آتش بود. (شمپانزه هم از ابزارهای سنگی استفاده می‌کند اما به مراتب کمتر). در آن زمان حتی حیوان موفقی هم



نبودیم. اگر یک هوشمند فرازمینی در آن زمان به زمین آمده بود، از ما به عنوان موجوداتی با رفتارهای بارز، که در شرف تسلط بر زمین است، به طرز خاصی یاد نمی‌کرده بلکه در عوض، سگ‌های آبی (beavers)، پرنده آلاچیق‌ساز، (bowerbird)، موریانه‌ها، و مورچه‌های رزمی (army ants) را زبازد می‌کرد و از ما حداکثر به عنوان بوزینگانی اندک ستودنی یاد می‌نمود.

در آن زمان که هنوز مغز بزرگمان توانایی ایجاد شواهد باستانشناسانه خلاقیت را نداشت، مغز ما چکار می‌کرد؟ گمان می‌کنم که پاسخ درست این است که مغز ما که چهار برابر شمپانزه است، کیفیتاً و ظایفی همسان مغز شمپانزه اجرا می‌کرد اما چهار برابر زیرکانه‌تر. از بررسی‌های میدانی اکنون می‌دانیم که شمپانزه‌ها از انواع مواد (سنگ، چوب و علوفه) ابزار ساخته، به کار می‌برند، و ما ابزارهای بهتری می‌ساختیم. شمپانزه‌ها و میمون‌ها مسایل را بهتر از سایر حیوانات حل می‌کنند، اما ما بهتر از آنها حل می‌کرده‌ایم. برای نمونه میمون سیاه دُمدار آفریقایی (vervet) که شکارچی‌اش پلنگ‌ها و مارهای بزرگ می‌باشد نمی‌فهمد که ردپای یک مار بزرگ (مانند بوآ) در میان علفزار نشانه حضور آن مار در آن نزدیکی است و یا لاشه‌ی پنهان شده در یک درخت نشان نزدیکی یک پلنگ است، اما ما بهتر می‌فهمیدیم. شمپانزه‌ها مغزشان را برای کسب اطلاعات در مورد ده‌ها گونه، به ویژه گیاهانی که غذاهای گوناگونی محسوب می‌شوند، از جمله گیاهانی که برگشان خاصیت دارویی دارد و گیاهانی که در فواصل مکانی و زمانی بلند میوه دارند، به کار می‌برند. ما در مورد طیف گسترده‌تری از جیره‌ غذایی که شامل انواع گونه‌های حیوانی و گیاهی می‌شود، اطلاع کسب می‌کنیم. شمپانزه‌ها شمپانزه دیگر را می‌شناسد، اعضای گروه خودی را تحمل و یا تایید می‌کند. و اعضای سایر گروه‌ها را می‌کشد و ارتباطات مادر و فرزند را به رسمیت می‌شناسد. ما علاوه بر مادرمان پدرمان را هم می‌شناسیم و روابط ژنتیکی گسترده‌تر و پیچیده‌تری را افزون بر هم نیاها و مادر و فرزند، تمیز می‌دهیم. همه این توانایی‌های ما بهبودهایی کمی نسبت به شمپانزه به شمار می‌آیند و احتمالاً محرک تکامل مغز بزرگ ما محسوب می‌شوند. با وجود این هنوز خلاقیت امروزی را نمی‌سازد و یا اینکه ما را به‌طور کیفی بارز نمی‌نماید.

کوتاه سخن اینکه نزدیک به ۱۰۰/۰۰۰ سال پیش، خیلی یا اغلب انسان‌ها مغزشان به اندازه امروزی رسیده بود و برخی‌شان تقریباً استخوانبندی امروزی

داشتند. از لحاظ ژنتیکی آدم‌های ۱۰۰۰/۰۰۰ سال پیش شاید تا ۹۹/۹۹٪ همسان انسان امروزی بودند. علیرغم آن شباهت نزدیک از لحاظ اندازه مغز و سایر جنبه‌های استخوانبندی، هنوز جزئی گم شده وجود داشت. این جزء گم شده چه بود؟

این است بزرگترین معمای ناگشوده در تکامل انسان: اصولاً استخوانبندی‌های مدرن، اندازه مغزهای مدرن، برای پیدایش خلاقیت مدرن بسنده نمی‌کند. حال سراغ اروپای غربی و دوره‌ای که از حوالی ۳۸۰۰۰ سال پیش آغاز می‌شود، یعنی عصری که نخستین هموساپینس‌های واجد استخوانبندی جدید (موسوم به کرومانیون (Cro-Magnon) در آنجا هویداگشت، برویم. از آن زمان و در طی چند ده هزار سال پس از آن شواهد باستانشناسانه‌ی خلاقیت مدرن در اروپای غربی پدیدار می‌شود.

در میان آن شواهد می‌توان نخستین آلات موسیقی محفوظ مانده، نقاشی بر سنگها، مجسمک‌ها و دیگر اشیاء هنری قابل حمل، اشکال سفالین، و جواهرات را برشمرد. نخستین شواهد قطعی دفن عمدی مردگان هم دیده می‌شود که دال بر پیدایش دین است. ابزارها دیگر آن ابزارهای خام تک قطعه‌ای چند کاره که شکل خاصی ندارد و کار مشخص آن معلوم نیست، نمی‌باشند بلکه در عوض ابزارهای سنگی و استخوانی از چنان شکل‌های ویژه‌ای برخوردارند که کارشان حتی امروز هم روشن است (برای کارهایی چون سوزن، قلاب‌های ماهیگیری، و درفش). ابزارهای مرکب که از چند قطعه ساخته شده پدیدار می‌شوند مانند زوبین خاردار، تبری که دسته‌اش در سر آن جای گرفته، نیزه مستقر در پرتاب کننده آن، تیروکمان. بندوطناب برای ساختن تله و تور تکمیل می‌شود و بدان وسیله اکنون می‌توان پرندگان و ماهی‌ها را به خوبی شکار نمود و این اشیاء به وفور در بقایای اقامتگاه‌های آن دیده می‌شود. ساخت ابزارهای حرکت برآب (watercraft) ابداع می‌شود و شاهد آن تسخیر استرالیا و گینه‌ی نو، که مسافتی طولانی از آبهای دایمی آنها را از قاره آسیا جدا کرده، دست کم در ۴۰/۰۰۰ سال پیش است. البسه دوخته شده در آثار هنری نمایان می‌شود و سوزن هم شاهد آن است. با این ترتیب بالاخره امکان تسخیر قطب زمین هم فراهم می‌شود. جایگاه‌های باستانشناسانه دارای بقایایی از خانه‌های مفصل با کف‌های هموار و مفروش از سنگ، آتشگاه، سوراخ جای دیرک، که با چراغ

روشنایی می‌یافتند. حسی از زیبا پسندی و تمایل به تجملات را می‌توان از جابجا کردن اشیاء گران قدر مانند صدف‌های دریایی و سنگ‌های برتر در فواصل چند صد مایلی در عرض اروپا مشاهده کرد. در مقابل ابزارهای سنگی نآندر تال‌ها از منابعی ساخته می‌شوند که تنها چند مایل از اقامتگاه‌شان فاصله ندارد. درخشان‌ترین محصولات خلاقیت کرومانیون پرستشگاه سیستین (Sistine) هنر پالئولیتیک بالا، غار لاسکو (Lascaux) و غار آلتامیرا هستند. یک پیشرفت نامیمون در رفتار انسان‌ها، نابودی ۹۰٪ حیوانات بزرگ در استرالیا و گینه‌ی نو پس از تسخیر آن جاها توسط انسان و نابودی چندین گونه‌ی پستانداران بزرگ در اروپا و آفریقا بوده است. پیشتر، این موجودات توانسته بودند دست کم از ۲۰ چرخه تغییر هوای پلئستوسن جهان سالم بدر برند و تنها توجیه معقول در نابودی‌شان ورود انسان (در استرالیا و گینه‌ی نو) و یا بهبود قابل توجه در مهارت شکارچی‌گری انسان (در اروپا و آفریقا) می‌باشد. مهمترین روند تازه‌ای که در اروپای ۳۸۰۰۰ سال پیش هویدا شد خود خلاقیت بود. ابزارهای نآندر تالی را نمی‌توان به گونه‌ای دسته‌بندی کرد که گویای زمان‌شان باشد، در صورتیکه ابزارها و اشیاء هنری و سایر فراورده‌های فرهنگی مربوط به کرومانیون در هر هزاره و از مکان تا مکان چنان تغییر می‌کند که از آنها می‌توان به عنوان نشانه‌هایی از عمر محل و تمایلات بهره گرفت. دانشجویان مبتدی در باستانشناسی مجبورند نام افق‌های فرهنگ پالئولیتیک بالا، مانند Aurignacian، Gravettian، Solutereanc، Magdenian، و غیره را به یاد بسپارند که وجود این نامها شاهی بر تغییرات زمانی سریعی است که سرانجام خلاقیت انسان در فراورده‌های فرهنگی‌اش به بار آورده است.

تمایل ما به این است که کرومانیون‌ها را «غارنشین» بیانگاریم، کلمه‌ای که برای ما «بدوی» را تداعی می‌کند. این تداعی گمراه‌کننده است. از انسان‌هایی که در دنیای جدید از لحاظ فناوری «بدوی» تلقی می‌شوند، مانند کوهنشینان گینه‌ی نو که تا زمان‌های اخیر به فناوری عصر سنگ وابسته بودند، می‌دانیم که این‌ها از لحاظ زیست‌شناختی و ذهنی انسان‌هایی کاملاً مدرن‌اند و تنها به دلایل اقلیمی به استفاده از ابزارهای سنگی ادامه داده‌اند. به همین دلیل گمان دارم که کرومانیون‌های ۳۸۰۰۰ سال پیش نیز آدم‌هایی کاملاً مدرن بوده‌اند. اگر آنها می‌توانستند توسط یک ماشین زمانی به عصر حاضر بیایند و برای تحصیل به کالج تثلیث فرستاده می‌شدند،

یاد می‌گرفتند که چگونه خلبان و یا یک زیست‌شناس ملکولی بشوند، چنانچه همین گینه‌نوی‌هایی که همین تازگی از عصر سنگ درآمده‌اند، می‌کنند. کرومانیون‌ها در ۳۸/۰۰۰ سال پیش فقط همه‌ی ابداعاتی را که برای فناوری هواپیما لازم است، گردآوری نکرده بودند.

در نتیجه در اروپا جهشی ناگهانی و بزرگ، و روبه‌پیش در رفتار آدمی رخ داد و در نتیجه کرومانیون با آن همه رفتارهای تازه، وارد گردید. ظرف کمتر از چند هزار سال نآندرتال‌هایی که اروپا را بیش از ۱۰۰/۰۰۰ سال در اشغال خود داشتند، از میان رفتند. جنایتکاران براساس شواهدی جنبی و کمتر قابل انکار محکوم می‌شوند. بی‌تردید کرومانیون‌ها به شکلی؛ چه با کشتن، جایگزینی، و یا آلودن؛ موجب ناپدید شدن نآندرتال‌ها شدند.

انقلاب فرهنگی که «جهش بزرگ رو به پیش» نامیدم. در اروپا ناگهانی به نظر می‌آید زیرا توسط آدم‌هایی که تازه وارد شده رخ داده است. بی‌تردید جهش بزرگ و رو به پیش واقعی در بیرون اروپا آغاز شد و هزاران سال به طول انجامید، باید توجه داشت که هموساپین‌های با اندام جدید عملاً حدود ۱۰۰/۰۰۰ سال پیش در آفریقا و خاور نزدیک وجود داشتند و با نآندرتال‌های خاور نزدیک همزیستی داشتند بدون اینکه بتوانند نآندرتال‌ها را نابود کنند. شاید جملگی تمایزهای کرومانیون‌ها بین ۱۰۰/۰۰۰ تا ۳۸/۰۰۰ سال پیش در آفریقا، یا خاور نزدیک، یا آسیا، و یا جایی دیگر تکمیل گشته، سپس وارد اروپا گردیده باشد. اما این فاصله ۱۰۰/۰۰۰ تا ۳۸/۰۰۰ سال پیش نیز کسر کوچکی از ۷ میلیون سالی محسوب می‌شود که نیای ما از نیای شمپانزه‌ها جدا گردید. این آخرین ۱٪/۰ از ژن ما چه بود که در یک فاصله زمانی کوچک تغییر کرد و جهش بزرگ روبه‌پیش را بیار آورد؟ تنها یک نظریه است که به گمان من امکان پذیر است: ژن‌های مربوط به تکمیل زبان‌گفتاری. خیلی از گونه‌های حیوانی نظام‌هایی از ارتباط صوتی دارند، اما هیچیک به پیچیدگی و بیان‌کنندگی زبان انسانی قرابت دور هم ندارند. جالب است که شمپانزه‌ها و گوریل‌ها را آموزش داده‌اند تا خود را به وسیله رایانه یا زبان علایم متشکل از صدها نماد، ابراز دارند. مخزن نمادین تقریباً به بزرگی ۶۰۰ کلمه‌ای است که یک امریکایی یا انگلیسی متوسط به‌طور روزمره به کار می‌برد. شمپانزه‌های کوتوله را آموزش داده‌اند تا دستورات صادره به زبان انگلیسی را که با صدا و ساختار جمله‌ای متعارف به وی

انتقال داده می‌شود، بفهمد. در نتیجه روشن است که بوزینگال بخشی از ظرفیت لازم برای فراگیری زبان را دارا می‌باشند.

با این وجود، شمپانزه‌ها و گوریل‌ها صحبت نمی‌کنند و نمی‌توانند هم. حتی نوزاد شمپانزه‌ای که در خانه یک زن و شوهر روانشناس همراه با نوزاد خودشان که هم سن نوزاد شمپانزه بوده بزرگ شده، هرگز قادر به فراگیری بیش از یکی دو حرف صدادار و بی‌صدا نبوده است. این محدودیت از ساختمان حنجره و مجرای صوتی بوزینه نشأت می‌گیرد. برای اینکه قانع شوید که این امر تا چه اندازه قدرت ابراز و خلاقیت را محدود می‌کند، ببینید که اگر تنها می‌توانستید حروف صدادار a و u و بی‌صدای c و q را تلفظ کنید، قادر به گفتن چند کلمه می‌بودید. اگر می‌خواستید بگوئید "Trinity College is a fine place to work" (کالج تثلیث جای خوبی برای کار کردن است) آنچه می‌توانستید بیان کنید این می‌بود: "Capupa Cappa upa cap capcupap" و اقدام‌تان در بیان "Trinity College is a bad place to sneeze" (کالج تثلیث جای بدی برای عطسه کردن است). به همان صداها می‌انجامد.

بدون زبان، نه می‌توانیم طرح و نقشه‌های پیچیده را به هم انتقال دهیم، نه اینکه اصلاً آنها را به فرمان بیاوریم، نه اینکه برای طراحی یک ابزار بهتر مغزمان را به کار اندازیم و نه اینکه درباره یک نقاشی زیبا بحث کنیم. اما مجرای صوتی ما مانند یک ساعت سویسی است که توسط ده‌ها عضله کوچک، اعصاب و قطعات غضروفی، از راه‌هایی دقیقاً هماهنگ شده همکاری دارند. بنابراین، با توجه به وجود نیای انسانی که ظرفیت مغزش چهار برابر یک شمپانزه بوده و نیز با توجه به توانایی‌های شگفت زبانی شمپانزه‌ها، شاید شمار کمی تغییرات در ساختار مجرای صوتی، ماشه‌ی پیدایش زبان پیچیده و در نتیجه جهش بزرگ به پیش ما بوده باشد. شاید همان تغییرات کوچک، آخرین پیش نیاز غایب برای تکامل انسان بوده‌اند.

بازبان می‌توانیم اختراع کنیم. اصل و اساس زبان انسانی خلاقیت است: هر جمله ابداعی تازه است که از ترکیب عناصری آشنا به وجود می‌آید. به آن دلیل برایم پذیرفتنی نیست که آن انسان‌های نامبتکر ۱۰۰/۰۰۰ سال پیش زبانی به مفهوم امروزی ما داشته باشند، و نمی‌توانم از این نتیجه‌گیری که تکمیل خلاقیت انسان به تکمیل زبان انسان وابسته بوده، پرهیز کنم.

چنانچه این استدلال را بپذیریم آیامی‌شود هیچیک از مراحل میانی تکامل زبان

امروزی بشر را از پیشسازهایش در نظام‌های صوتی حیوانات بشناسیم؟ در ابتدا چنان به نظر می‌رسد که شکافی غیر قابل پل زدن، وق وق سگ‌ها را از زبان اولیسیس جیمز جویس جدا می‌کند. در واقع بررسی‌های دو دهه‌ی گذشته دست کم سه مرحله‌ی میانی را در این شکاف شناسایی کرده است.

یک مرحله ابتدایی «زبان» میمون‌های دُمدار (vervets) است که گونه بومی آفریقای شرقی است. وقتی به صدای آنها گوش می‌دهیم ابتدا به نظر می‌رسد که صدای خرخر غیر قابل تمیز را ادا می‌کنند. اما اگر با دقت و حوصله گوش کنیم می‌شود تفاوت‌هایی را در خرخرها تشخیص داد. آزمایش با ضبط خرخرهای میمون‌های دمدار وحشی و پخش آنها نشان داده است که اینها دست کم ده‌جور خرخر دارند که شامل «کلماتی» جداگانه برای سه تا از شکارچی‌های عمده‌شان (پلنگ‌ها، مارها، و عقاب‌ها)، کلماتی دیگر برای شکارچی‌ها کم‌اهمیت‌تر (بابون‌ها و سایر پستانداران شکارچی، و انسان عجیب)، و کلماتی مجزا برای انواع جماعت‌های میمون‌های دُمدار (میمون‌های مسلط، میمون‌های فرمانبر، میمون‌های رقیب) می‌باشد.

هیچ دلیلی ندارد باور کنیم که این نوع میمون‌ها در داشتن یک چنین زبانی منحصر به فرد هستند در عوض، تشخیص زبان میمون‌های دُمدار مدت‌ها بخاطر اینکه خودشان بهتر از ما به تمایز خرخرهای‌شان آشنایی دارند، به تاخیر افتاد. گشودن رمز خرخرهایشان نیازمند ضبط و پخش اصوات بود که باز بودن و کوچکی مناطق زیست‌شان کار را آسان نمود. احتمال دارد که ثابت شود شمپانزه‌های وحشی و گوریل‌ها هم زبان‌های طبیعی خود را دارند، اما بخاطر مشکلات شدید تدارکاتی ناشی از جماعات متراکم‌تر و گستردگی مناطق، هنوز این زبان‌ها شناسایی نشده‌اند. گرچه زبان میمون دمدار شامل صداهایی برای منظوره‌های متفاوت است، با این وجود فاقد ساختار اساسی زبان انسان امروزی است: یعنی طرح سلسله مراتب قالبی این را (modular hierarchical) ندارد. منظورم اینست که واحدهای چند ده حرف صدا دار و بی صدا را با هم ترکیب نموده، واحدهای بالاتری متشکل از حدود یکصد هجای (سیلاب) متفاوت، و سپس از ترکیب اینها واحدهایی از هزاران کلمه، که زان پس خود اینها در عبارات نظام می‌یابند و از نظام دوباره اینها بی‌نهایت جمله میسر می‌شود. این ترکیبات سلسله مراتبی، براساس دستوره‌های گرامری ساخت و ترکیب

کلمات انجام می‌شود. تاکنون چنین طرح سلسله مراتبی در زبان میمون‌های دُم‌دار شناخته نشده است: به نظر می‌رسد که اینها به کمک واحدهای تک صدایی ترکیب نشده، محاوره دارند.

بنابراین زبان طبیعی میمون‌های دُم‌دار نشانگر مرحله اولیه‌ای احتمالی در تکمیل تکلم انسان است. ما این مرحله را، از لحاظ مراحل رشد (ontogenetical)، به هنگام کسب تکلم به وسیله نوزادان انسانی که با تکرار تک «کلمات» به طور منزوی شروع می‌کنند، تکرار می‌کنیم. آیا اکنون می‌توان به انتهای دیگر تداوم فرض شده برای زبان حیوان/انسان برویم و برخی زبان‌های ساده‌ی انسانی که پیچیدگی‌شان کمتر از تکلم معمولی است، به عنوان مراحل میانی تشخیص دهیم؟ آیا هیچ زبان انسانی اولیه‌ای هنوز در جهان وجود دارد؟

کاشفان قرن نوزدهم کراراً چنین ادعاهایی داشتند. آنها از اقصی نقاط جهان برمی‌گشتند و می‌گفتند قبایلی بدوی با فناوری ابتدایی کشف کرده‌اند، به قدری بدوی که تنها با خرخرهایی تک هجا چون «اوگ» (ugh) حرف می‌زنند.

جمله‌ی آن داستان‌ها نادرست بود: همه‌ی زبان‌های انسانی طبیعی موجود کاملاً مدرن و رسا (expressive) هستند. آدم‌هایی که فناوری ابتدایی دارند زبانشان ابتدایی نیست. در حقیقت زبان‌های کوهنشینان گینه‌ی نو که در تحقیقات میدانی‌ام در مورد تکامل پرندگان با آنها سروکار داشته‌ام، و آنها هنوز حتی تا دهه‌ی ۱۹۷۰ به ابزارهای سنگی وابسته بودند، بدون استثنا از لحاظ گرامری بسیار پیچیده‌تر از زبان‌های انگلیسی و چینی یعنی زبان‌هایی که با تمدن تداعی می‌شوند، می‌باشند. دیگر اینکه می‌توانیم دیرین‌ترین زبان‌هایی که از راه نوشته‌ها بجا مانده، یعنی نخستین نوشته‌های سومری ۳۵۰۰ سال قبل از میلاد یا مصری ۳۰۰۰ سال پیش از میلاد را بررسی کنیم. این نخستین زبان‌های مکتوب هم از لحاظ پیچیدگی در واقع زبان‌هایی نوعاً امروزی بودند. بنابراین به نظر می‌رسد که زبان انسان خیلی پیش از ۳۱۰۰ پیش از میلاد به پیچیدگی امروزش رسیده بود و هیچ زبان انسانی بدوی بجا مانده‌ای نیست که برساند چگونه زبان‌هایی مانند میمون دُم‌دار به زبان اولیسیس تکامل یافته است.

در واقع امروز زبان‌های انسانی هستند که خیلی از زبان میمون دُم‌دار پیچیده‌تر و در عین حال خیلی کمتر از زبان معمولی انسان پیچیده است. اینها

زبان‌هایی هستند که هرگاه در تاریخ بشر مردمی که زبان مشترک ندارند کنار هم آورده شده‌اند؛ مانند بازرگانان و بومیانی که بین‌شان مبادله برقرار بوده و یا کارگران مزارعی که از جاهای متفاوت در یک جا زیر نظر ناظرانی با هم کار می‌کرده‌اند؛ دقیقاً ابداع شده‌اند. در هر یک از این موارد ظرف چند سال طرف‌های مبادله، کارگران و ناظران، که بالاجبار کنار هم بودند، نوعی زبان مقدماتی برای محاوره با یکدیگر تکمیل می‌کنند که اصطلاحاً زبان «دست و پا شکسته» نام دارد (پیدجین - pidgin). اینها رشته کلماتی با دستور زبان و یا جمله‌سازی کم هستند و عمدتاً مرکب از اسم‌ها، فعل‌ها و قیدها می‌باشند. این مرحله نیز با مرحله‌ای مطابقت دارد که هنگام رشدمان در کودکی از ادای تک کلمات میمون گونه به رشته‌های کلمات می‌رسیم. در عین حالی که اعضای بیگانه (طرف‌های تجارت یا کارگران و ناظران) با زبان دست و پا شکسته محاوره دارند، با اعضای خودی از زبان معمول و پیچیده‌ی خود بهره می‌گیرند. پیدجین‌ها (pidgins - زبان‌های دست و پا شکسته) برای گستره محدودی از منظورهایی که جهت محاوره نقش دارند بسنده می‌کنند. اما کودکان والدینی که از چنین زبان‌هایی استفاده می‌کنند با مشکل محاوره روبرو هستند زیرا این زبان‌ها مقدماتی و نارسا هستند. در چنین مواقعی، نخستین نسل از کودکانی که والدین‌شان پیدجین صحبت می‌کرده، خودبخود آن را به زبانی پیچیده‌تر موسوم به کرئول (creole) ارتقا می‌دهند که در یک نسل تثبیت و پایدار می‌شود. تاکید می‌ورزم که تکامل پیدجین به کرئول بدون نقشه و خودبخود انجام می‌شود. این جور نیست که کودکان بنشینند و اذعان کنند زبان والدین‌شان بسنده نیست و سپس بین خودشان بگویند کدام کودک واضع ضمیرها است و سایر کودکان مشکل ماضی بعید شرطی را حل خواهند کرد.

کرئول‌ها زبان‌هایی کاملاً رسا هستند، دستوری تازه ابداع شده دارند، و خصوصیات نظام سلسله مراتبی و قالبی زبان معمولی انسان را دارا می‌باشند. برای نمونه جمله‌ی زیر را که در یک زبان کرئول با آن روبرو شدم مورد توجه قرار دهید:

**Kam insait long stua bilong mipela-stua bilong salim olgeta  
samting-mipela i-can helpim yu long kisim wanem samting yu likem,  
bigpela na lik lik, long gutpela prais.**



این جمله‌ای بود که در آگهی تبلیغ یک فروشگاه در شهر Port Moresby پایتخت گینه‌نو پاپوآ به زبان کرئول موسوم به نومالینسیان (Neo-Malenesian)، خواندم. برگردان انگلیسی آن آگهی این است:

Come into our store-a store for selling everything - we can help you get whatever you want, big or small, at a good price.

به فروشگاه ما بیاید - فروشگاه‌هایی که همه چیز برای فروش دارد - کمک می‌کنیم هر چه بخواهید، بزرگ یا کوچک به بهای خوب گیرتان بیاید.

مقایسه برگردان انگلیسی با اصل آن نشان می‌دهد که متن کرئول ساختاری کاملاً قالبی (modular) دارد و در برگیرنده‌ی عناصر دستوری چون حرف ربط، ضمیر، عبارت موصولی، فعل کمکی و امر (الزامی) می‌باشد.

در سراسر دنیا کرئول‌های مشابهی کراراً از پیچین‌هایی که بیشترین تنوع، لغات، و گویندگان را داشته‌اند بوجود آمده‌اند. پیچین زبانان از انواع مختلف مردم شامل آفریقایی، چینی، اروپایی جزایر اقیانوس آرام بوده، زبان‌های واژه دهنده نیز به اشکال متفاوت شامل عربی، انگلیسی، فرانسوی، پرتغالی، و آلمانی بوده است. با وجود تفاوت‌های بیشماری که بین کرئول‌ها و سرچشمه‌های‌شان هست و منجر به لغات کاملاً متفاوت برای کرئول‌های برخاسته از سرچشمه‌های گوناگون می‌شود، دستور زبان جملگی کرئول‌های حاصل، همانندی زیادی دارند، هم از لحاظ کمبودها و هم از لحاظ داشتنی‌هایشان. در مقایسه با خیلی از زبان‌های معمولی، کرئول‌ها صرف فعل برای افراد و زمان، تعریف اسم برای حالت و عدد، و بیشتر حروف اضافه را دارا نمی‌باشند. با این وجود کرئول‌ها از لحاظ داشتن جملات شرطی، اول شخص مفرد و جمع، ضمائر دوم شخص و سوم شخص، الفاظ یا افعال کمکی که بیان نفی می‌کنند، زمان پیش، حالت شرطی، عمل استمراری که تقریباً در یک توالی جایگرفته‌اند، با بیشتر زبان‌های متداول اشتراک دارند.

از اینرو کرئول‌ها علیرغم داشتن سرچشمه‌های مستقل و لغات متفاوت، دستور زبان‌هایشان شباهت‌های چشمگیری دارند. ظاهراً اینها از یک دستور زبان جهانی که به‌طور ژنتیکی در مغزمان نقش بسته، برمی‌خیزند. هنگامی که بیشترین ماها به عنوان کودک رشد می‌کنیم، زبان پیچیده‌ای را که در اطرافمان حرف می‌زنند، می‌شنویم که بر دستور کرئولی حک شده‌ی ژنتیکی غلبه می‌کند. تنها کودکانی که در

محیطی بدون زبان پیچیده بزرگ می‌شوند، مجبورند که به دستور زبان نقش بسته‌ی ژنتیکی مراجعه کنند.

بنابراین زبان میمون دمدار، پیجین‌ها، و کرئول‌ها نمایانگر سه ردپایی هستند که می‌توانند الگویی برای چگونگی تکامل زبان پیچیده و امروزی بشر از پیشسازهای حیوانی آن باشند. گمان من اینست که تاخیر رخ داده بین ۱۰۰/۰۰۰ تا ۴۰/۰۰۰ سال پیش، یعنی بین پیدایش نخستین مغز با اندازه کامل و استخوانبندی و اندام امروزی تا تظاهر خلاقیت بشری، دوره‌ی زمانی بوده که برای طی تکامل سلسله مراتب زبان لازم بوده است. حدس می‌زنم که اگر می‌شد ماشین زمانی دارای یک ضبط صوت ابداع کنیم و در اردوهای همواراکتوس و نآندر تال‌ها بگذاریم، خواهیم دید که به زبان‌های پیجین حرف می‌زدند که چند صدای مشخص و اندکی دستور برای ساختن رشته کلمات، داشتند. در فاصله بین ۱۰۰/۰۰۰ تا ۴۰/۰۰۰ سال پیش، ممکن است مشغول تکمیل مجرای صوتی مان بوده‌ایم تا بتوانیم ده‌ها صدادار و بیصدار ادا کنیم. شاید همچنین مشغول تکمیل منظم کردن صدا دارها و بیصداهای و تبدیل‌شان به هجا و کلمات و مرتب کردن کلمات به عبارات و جملاتی غیر از رشته کلمات پیجین‌های همواراکتوس و نآندر تال بوده‌ایم. سرانجام، شاید یک دستور زبان جهانی تکامل می‌داده‌ایم و به‌طور ژنتیکی در مغزمان حک می‌کرده‌ایم.

دانشمندان آزمایشگاهی تمایل به این دارند که علوم تاریخی مانند زیست‌شناخت تکاملی را نرم (اندیشه‌ای) یا تخیلی بیانگارند. بلی، کسب دانش در زمینه‌هایی که نتوان روشمندانانه تجربیات آزمایشگاهی کنترل شده و تکرار شونده‌ای را به کار گرفت که نظام آزمایشگاهی خوب طراحی شده‌ای را تدبیر می‌کنند، مشکل‌تر است. با وجود این علوم تاریخی روش‌شناسی‌های خاص خود را تکمیل کرده‌اند. در پنجاه سال آینده چه فنونی خواهند توانست ما را در شناخت تکامل خلاقیت انسان یاری دهند؟

بی‌تردید قدری از پیشرفت ناشی از ترقیات تازه و چشمگیر برخوردار خواهد خاست. برای نمونه هم‌اکنون توالی ژنوم انسانی در دست تعیین است و دی.ان.ای گیاهان و حیوانات متعلق به هزاران یا حتی میلیون‌ها سال پیش با موفقیت استخراج شده است. کشف اخیر یک مومیایی ۵۰۰۰ ساله‌ی عصر مس در کوه‌های آلپ این امید را به ما می‌دهد که شاید مومیایی ۳۰/۰۰۰ ساله هم یافت شود. شاید تلاش‌های کنونی

در استخراج دی.ان.ا از خون یا بافت‌های خشک شده موفق از آب درآمد. در آن صورت خواهیم توانست دی.ان.ای انسان امروزی، نیا‌های ناپدید شده‌مان، و شمپانزه را با هم مقایسه کنیم.

همچنین امکان دارد که از بسط روش‌هایی که هم اکنون در دست است خیلی بیاموزیم. به کشف زبان طبیعی میمون‌های دمدار و مشکلات فنی که در بررسی زبان طبیعی شمپانزه و گوریل‌ها با آن‌ها روبرو هستیم، اشاره کردم. طولی نخواهید کشید که کسی مشکل زبان طبیعی بوزینگان را خواهد گشود. پیشرفت دوم اینکه در دهه‌ی گذشته با بهره‌گیری از روش‌های ارتباطی رایانه‌ای با بوزینگان، در بررسی ادراک آنها به سرعت پیشروی حاصل شده است. سومین زمینه‌ی امیدبخش اینست که اکنون زبان‌شناسان می‌کوشند تا رابطه‌ی زبان‌های انسانی که بیش از ۱۰/۰۰۰ سال پیش از هم جدا شدند را کشف کنند و شاید پیش‌زبان‌های (pro-languages) انسانی در گذشته‌ی دور را بازسازی کنند. و سرانجام اینکه تنها در چند سال گذشته میسر شده است که عمر نقاشی‌های سنگی پالئولیتیک بالا را به کمک تاریخ‌گذاری خود مواد رنگین به وسیله کربن ۱۴ تعیین کنند. این نتایج سرآغازی برای شناخت توالی پیشرفت در فنون هنری بشر و بابتی بر خلاقیت بشری شده است.

کوتاه سخن اینکه، به نظر من شاید مهم‌ترین مشکل چالش برانگیز در زیست‌شناسی به یک جدایی (decoupling) تاریخی برمی‌گردد. آنطور که اشیاء بجا مانده از نیا‌های ما می‌رساند در تاریخ تکاملی‌مان تغییرات اندازه مغز و کالبد استخوانبندی انسان از تغییرات خلاقیتی جداگشته است. اصولاً اندازه مغز و بیشتر رشد استخوانبندی امروزی ماده‌ها هزار سال پیش از آن که حتی بیشتر شواهد خلاقیتی پدیدار شود، کامل شدند. شواهد جدید شامل هنر، تغییرات سریع فرهنگی در زمان و مکان، دفن مردگان، و تجارت در مسافتات بلند است.

کل تفاوت ژنتیک بین ما و دو گونه شمپانزه دیگر تنها به ۱/۶٪ ژنوم ما برمی‌گردد و کل تفاوت در دی.ان.ا رمزگذار شاید تنها یکدهم آن باشد و تغییرات رمزگذارنده‌ای که تکمیل‌شان برای ۱۰۰/۰۰۰ سال پیش ماند، از این هم خیلی کمتر است. بهترین حدسی که می‌توانم بزنم اینست که این تغییرات آخری که مسئول جهش بزرگ ما به پیش در رفتار بوده، با تکمیل زبان امروزی (modern) ارتباط داشته است. اگر چنین باشد این تغییرات آخری علت اصلی نشستن ما در اینجا در کالج تثلیث، بهره‌گیری از

زبان جیمزجوئیس برای بحث درباره تکامل پستانداران اولیه (primates) به شمار می‌آید، در حالی که در همین زمان نزدیکترین خویشاوندانمان یعنی شمپانزه‌ها در جنگل مشغول خوردن موریانه‌اند و یا در باغ وحش‌ها اسیراند.

رشد: آیا تخم محاسبه پذیر است و یا می توانیم

فرشته یا دایناسور پدید آوریم؟

لوئیس وُلپرت    بخش کالبدشناسی و زیست‌شناسی رشد - کالج دانشگاه، لندن

از اطلاق نام «لوح رمز» به ساختار تارهای کروموزم منظورمان این است که ذهن تمام کشف، که زمانی لاپلاس از آن یاد می‌کرد و هر ارتباط علی به طور بیواسطه برایش آشکار بود، خواهد توانست از روی ساختارشان بگوید که تخم در شرایطی مناسب به یک خروس سیاه، مرغی خال‌خالی، مگس، گیاه ذرت، گل صدتومانی، خزوک، موش و یا یک زن رشد و کمال خواهد یافت.

به بیان ساده آنچه می‌خواهیم نشان دهیم، این است که با داشتن تصویر ملکولی ژن، دیگر بعید نیست که یاخته‌ی کوچک دقیقاً با یک نقشه بسیار پیچیده و ویژه‌ای برای رشد و کمال مترادف باشد و به گونه‌ی ابزارهای اجرایی آن را در برداشته باشد. شرودینگر ۱۹۴۴

این گفته‌های شرودینگر بسیار ژرف اندیشانه بودند و دو پرسش کلیدی را مطرح کردند. نخست اینکه آیا تخم قابل محاسبه است، که پاسخ من به آن نه است اما گمان دارم که امکان خواهد داشت برخی جنبه‌های رشد و کمال (development) قابل شبیه‌سازی باشد. در ارتباط با پرسش دوم یعنی اینکه چگونه ژن‌ها رشد را در مهار

دارند، شرودینگر نمی‌توانسته بداند که ژن‌ها نفوذ خود را با اختیار داشتن این که کدام پروتئین ساخته می‌شوند، اعمال می‌کنند و بدین سان رفتار یاخته و رشدش را در اختیار دارند.

در واقع با عنوان کردن این پرسش‌ها شرودینگر اهمیت بنیادین رشد را تصدیق می‌کرد. رشد مرکز و اساس زیست‌شناسی پُریاخته‌ای (multicellular) است. رابطه‌ای است بین ژنتیک و ریختار (morphology). در واقع خیلی از اطلاعات ژنتیکی یاخته‌های ما برای هدایت رشد ضرورت دارد. تکامل را می‌توان برحسب تغییراتی که در برنامه رشد رخ می‌دهد و منجر به تغییر ساختارها و تشکیل شکل‌های جدید می‌شود، تلقی نمود. تنها ژن‌ها هستند که در سیر تکامل تغییر می‌کنند از اینرو فهم اینکه چگونه ژن‌ها رشد و کمال را در مهار خود دارند برای درک تکامل (evolution) حیوانات و گیاهان امری است اساسی. هرگاه چنین دانایی را کسب کردیم، می‌توانیم به موضوع خلق یک فرشته یا یک دیناسور بپردازیم.

جالب است که به اجمال جنین‌شناسی پنجاه سال پیش را با امروز مقایسه کنیم در آن زمان کتاب بیوشیمی و ریخت‌زایی (*Biochemistry and Morphogenesis*) نوشته Needham تازه چاپ شده بود. این کتاب بیشتر به مطالبی می‌پرداخت که امروزه از لحاظ بیوشیمی بیمورد شمرده می‌شود و دنبال ملکولهای القاکننده و پیام‌رسان بود. در حالی که امروزه ژنتیک و زیست‌شناسی ملکول این زمینه را دگرگون ساخته‌اند باید اذعان کرد که تنها در دو سه مورد می‌توان با اطمینان از ملکولهای پیامی (signal molecules) صحبت بمیان آورد: «عروس بی‌هفت» (bride of sevenless) در چشم حشره؛ ملکول‌های TGF- $\beta$  سان در رشد احشاء حشره (Lawrence, 1992)؛ و برخی ملکولهای دخیل در رشد مهبل کرم‌ها (nematodes). در مورد مهره‌داران موردی از یک ملکول القاگر یا ریخت‌زا (morphogen) که قطعاً به اثبات رسیده باشد، پیدا نشده است. در مقابل کتاب شالوده جنین‌شناسی تجربی (*Elements of Experimental Embriology*) که پیش از آن توسط Huxley و De Beer در ۱۹۳۴ به چاپ رسیده و هیچ مبحث بیوشیمی ندارد، با اندیشه‌های امروزی که بر شیب‌ها (gradients) و اندرکنش‌ها (interactions) تأکید می‌ورزند، سازگارتر است.

یاخته کلید رشد و «معجزه» واقعی تکامل (evolution) است. به جرأت می‌توان گفت که با داشتن یاخته‌ی یوکاریوت، کار بر روی آن برای پدیدآوردن حیوانات و گیاهان پریاخته‌ای، نسبتاً آسان به شمار می‌آید. برای نمونه، چرخه یاخته و تقسیم آن را می‌توان به منزله برنامه‌ای برای رشد انگاشت. رشد صرفاً تغییری در رفتار یاخته به شمار می‌آید از این روی که می‌توان یاخته را پیچیده‌تر از جنین دانست: پیچیده‌تر بخاطر اینکه اندرکنش‌های میان اجزای جنین ساده‌تر از اندرکنش‌های اجزای یاخته است. جملگی اندرکنش‌های یاخته‌ای در جنین را باید از نوع‌گزینشی دانست نه دستوری. اندرکنش‌ها تنها از یکی از انواع حالات ممکن و قابل پذیرش یاخته را برمی‌گزیند که این‌ها معمولاً کم‌اند و دویا سه بیشتر نمی‌باشند اما در مواردی نادر، شمار بیشتری دارند. اندرکنش‌ها اطلاعاتی تراز پایین در اختیار یاخته می‌گذارند. پیچیدگی رشد در گرو برنامه درونی یاخته است.

تکامل رشد به نوبه خود موضوعی بس با اهمیت است: فشارهای گزینشی مؤثر بر رشد کدامند و نوخاستگی (novelty) چگونه پدیدار می‌شود؟ استدلال کرده‌ام که ممکن است جنین‌ها از لحاظ تکامل واجد امتیاز باشند. به این معنی که تنها مجبورند به طرزی اطمینان بخش رشد و کمال یابند و بشرطی که چنین رخ دهد می‌توانند بدون گزینشی منفی، امکان‌های رشد را جویا شوند (Wolpert, ۱۹۹۰).

از آنجا که اصولاً پروتئین‌ها رفتار یاخته را تعیین می‌کنند، رشد و کمال را می‌توان مهاری دانست که تعیین می‌کند چه پروتئینی در کجا ساخته می‌شود، یا به عبارتی مهار فعالیت ژن‌های رمزگذارنده آنها انگاشت. سوا از ژن‌هایی که در نقش خانه‌داری یاخته دخالت دارند، چند ژن رشد را در مهار خود دارند؟ البته پاسخ آن دانسته نیست ولی گمانه‌های عالمانه‌ای را می‌توان اعلام داشت. شمار ژن‌های *E. coli* حدود ۴۰۰۰ و از آن مخمر را ۷۰۰۰ و از کرم‌ها (nematodes) را ۱۵۰۰۰ گمانه می‌زنند، (Chothia, ۱۹۹۲). بعید نیست که از ۶۰٪ ژن انسانی حدود ۳۰٪ آن در رشد و کمال دخیل باشند. در مقایسه با این، تحلیل مراحل اولیه رشد و کمال حشرات نشان می‌دهد که تنها حدود ۱۰۰ ژن، رشد و کمال اولیه را در مهار خود دارند. در مورد نرم‌تنان حدود ۵۰ ژن رشد مهبل را در مهار دارند، گرچه این اعداد بسیار کوچکتراند، چنانچه فرض کنیم در هر ساختاری (structure) ۱۰۰ ژن درگیر

هستند برای ۵۰ ساختار مگس *Drosophila* حدود ۵۰۰۰ ژن لازم خواهد بود. راه دیگر نگرش به شمار ژن‌ها، در ارتباط با شمار انواع یاخته‌ها است. در انسان ۲۵۰ نوع یاخته وجود دارد که اگر هر کدام با ۱۰ پروتئین متفاوت مشخص شوند و هر پروتئین هم توسط ۱۰ ژن، (که این هر دو رقم دست پایین می‌باشند) به رقم ۲۵۰۰۰ ژن برای زشد می‌رسیم. ساختارهایی چون مغز احتمالاً شمار بسیار بیشتری را نیاز داشته باشد. همچنین کمتر احتمال دارد که بین ژن‌های اندام‌های متفاوت همپوشانی (overlap) چندانی روی دهد زیرا باعث فقدان انعطاف‌پذیری در تکامل می‌شود به دلیل اینکه تعدد روبناهای ژنتیکی (pleiotropy) بسیار زیادی رخ خواهد داد.

شمار دهها هزار برای ژن‌هایی که باید عملکردشان را فهمید بسیار زیاد است و با توجه به وجود موارد زاید و تکراری (redundancy) ظاهری، مشکل بسیار پیچیده‌تر می‌شود. به این معنی که می‌شود برخی ژن‌های موش را حذف کرد بدون اینکه در روبنای ژنتیکی آن (phenotype) تغییری رخ دهد. پس نقش این ژن‌های ظاهراً زاید و تکراری چه می‌باشد؟ استدلال من این است که همه این زیادی بودن‌ها تنها یک توهم است و صرفاً بیانگر عدم توفیق ما در درست آزمودن روبناهای ژنتیکی تغییر یافته می‌باشد (Wolpert, ۱۹۹۲). حتی یک ناتوانی ۵٪ مستلزم آزمودن ۲۰۰۰۰ حیوان است. پی بردن به نقش واقعی چنین ژن‌هایی بسیار مشکل خواهد بود.

تا چه حد می‌توان انتظار داشت که طی پنجاه سال آینده اصولی عمومی پدیدار شود و یا اینکه مدتی دراز را سرگرم گردآوری جزئیات خواهیم بود؟ در حال حاضر می‌توان فهرستی از اندیشه‌های «قاعده‌مانند» را پیش روی گذاشت و حس می‌کنیم در اساس اصول بنیادین رشد را درک می‌کنیم و تعجب آور است بدانیم که چه تعداد کمی مفاهیم مورد نیاز است. یک فرض مرکزی این است که حالت یک یاخته بستگی به این دارد که کدام ژن‌هایش فعال‌اند و در نتیجه کدام پروتئین‌هایش در یاخته حاضرند. اگرچه شاید فروپاشی پروتئین و mRNA و نیز مهار ترجمه اهمیت داشته باشند، این خود نقطه شروع خوبی به شمار می‌آید. شاید یکی از ساختارهای گردآورنده (integrating) و کلیدی مؤثر در رشد و کمال، ناحیه‌ی مشوق و تشدیدگر (Promoter & enhancer) واقع بر کروموزم باشد. ناحیه مهارکننده‌ی



بالا دست دچار تغییرات تکاملی گسترده‌ای شده است و شاید خیلی از رفتارهای یاخته راگردآوری (integrate) می‌کند. برای نمونه به نظر می‌رسد که جایابی فضایی بیان ژن در رشد حشره نتیجه‌ی عوامل متفاوتی است که به یک ناحیه‌ی تشدیدگر (enhancer) می‌پیوندد و یک پاسخ آستانه‌ای برای پیام‌های بیرونی به وجود می‌آورند (Lawrence, ۱۹۹۲).

عمدتاً رشد درباره یاخته‌هایی است که به شکلی منظم دچار تغییر می‌شوند. می‌توان گمان داشت که ابتدایی‌ترین زیست‌مندان پُر یاخته‌ای این مشکل را از دو راه گشوده باشند: یکی عبارتست از تقسیم نامتقارن یاخته و دیگری به وسیله‌ی اندرکنش‌های یاخته‌ای (Wolpert, ۱۹۹۲). این‌ها تنها دوراهی هستند که طی آنها تفاوت‌ها بروز می‌کنند و اینکه چرا حیوانات یکی از این دو راه را به کار می‌گیرند، هنوز معما مانده است. بسیاری از حیوانات در راستای محورهای دکارتی رشد می‌یابند و انگاره (pattern) در امتداد هر محور و مستقل از دیگر محورها مشخص می‌شود. یک راه برای ساختن انگاره‌ها اطلاق اطلاعات موقعیتی به یاخته‌ها، همانند کار با مختصات معمولی، است و یاخته‌ها سپس این مقادیر را به اشکال مختلف تفسیر می‌کنند. پیامد مهم این کار در این است که رابطه‌ی بین الگوی اولیه و الگوی مشهود وجود ندارد. به نظر می‌رسد که جنبه متداول دیگر ایجاد ساختارهای تناوبی مانند عضوها (segments)، مهره‌ها، پرها و یا دندان‌ها باشد، که بر مبنای یک نقشه اساسی که بر حسب اطلاعات موقعیتی تغییر می‌یابد، ساخته می‌شوند. جملگی اندرکنش‌ها کوتاه‌بردارند - به ندرت بیش از قطر ۳۰ یاخته - و بیشتر انگاره‌یابی به‌طور موضعی رخ می‌دهند تا اینکه جنین به سرعت به نواحی‌ای منقسم شود، که عمده‌تاً مستقل از هم رشد و کمال می‌یابند.

بهترین نظام برای درک رشد، مگس میوه موسوم به دُرُزفِیلا است (Lawrence, ۱۹۹۲). در ابتدا دو محور، یکی در امتداد جلو - عقب (antero-posterior) و دیگری شکم - پشت (dorso-ventral) مستقل از هم‌اند و به وسیله‌ی محصولات ژن مادری که شیب اطلاعات موقعیتی را در اختیار می‌گذارد، مشخص می‌شوند. پس از لقاح، شیب‌ها آبشیبی از ژن‌های یاخته بارور شده (تخم zygote) را فعال می‌کنند و جنین به تعدادی ناحیه که به وسیله ترکیب فعالیت ژن‌های مختلف معین شده، تقسیم می‌شود. در امتداد محور جلو عقب، طرحی متناوب از فعالیت ژن به وجود

می‌آید که پیش‌تاز قسمت‌های بدنی (segments) بشمار می‌آید. جالب اینکه هر نوار (stripe) به‌طور مستقل توسط ترکیبی از پروتئین‌ها در محل بوجود می‌آید. هر بخش، هویت بارزی را که توسط فعالیت دسته خاصی از ژن‌ها، موسوم به ژن‌های Hox، رمزگذاری می‌شود، بدست می‌آورد. جنبه دیگر رشد و کمال مگس که الگویی عالی محسوب می‌شود چشم مرکب حشره است. در اینجا ۸ یاخته یک گیرنده نوری پیچیده درست می‌کنند که هر یک از این ۸ یاخته هویتی بارز دارند. برخی ژن‌ها و پیام‌ها شناسایی شده‌اند. برخلاف سازوکار انگاره یابی (patterning mechanism) که وابسته به اطلاعات موقعیتی است، به نظر می‌رسد یک سلسله از اندرکنش‌های یاخته‌ای در کار است تا بدان وسیله هر یک از ۸ یاخته به محل درست اختصاص یابد. از اینرو اندرکنش‌ها تنها مستلزم ارسال پیام از یک یاخته به همسایگان خود می‌باشند. پیام‌هایی کمی دور‌تر در جایابی عناصر منفرد چشم مرکب، دخالت دارند.

سازمان‌یابی فضایی و تفاوت‌های مولد، بر رشد و کمال اولیه حکمفرما هستند و به‌طور کلی مقدم بر ریختزایی (یا تغییر شکل) و تمایز یاخته و تعیین‌کننده آن‌ها می‌باشند. ریختزایی مربوط به نیروهای یاخته‌یی است که شکل و ارتباطات بین یاخته‌ها را تغییر می‌دهد، در حالی که تمایز به تولید ملکول‌هایی منجر می‌شود که انواع مختلف یاخته‌ها را مشخص می‌کنند.

تغییر شکل، مسئله‌ی ارتباط کینش ژن با مکانیک است. اگرچه در مورد نیروهای یاخته‌ای درگیر در گاسترول شدن (لوله‌وری gastrulation) در دوزیستان، حشرات، و توتیای دریایی شناختی مقدماتی داریم، از سازوکارهای درون یاخته‌ای مربوطه، چگونگی هماهنگی حرکات، و چگونگی آغاز شدنشان در زمان و مکان مناسب، آگاهی بسیار کمی داریم. برای این نیازمندیم بدانیم که چگونه ژن‌ها نیروهای یاخته‌ای را تحت‌مهمیز خود دارند. یک راهکار بدیهی مهار و تنظیم طرح فضایی مربوط به بیان ملکول‌های چسبندگی یاخته است.

آنچه از اهمیت وافری برخوردار است، میزان حفظ و بقای راهکارهای رشد است. این امر به ویژه در مورد نقش ژن‌های homeobox که موجب هویت مکانی یاخته‌ها در راستای محور جلو-عقب (anterior-posterior) می‌شود، بخوبی نمایان

است. این موضوع به این اصل کلی برمی‌گردد که انگاره‌یابی (patterning) بیشتر در دوگام اصلی رخ می‌دهد. اطلاق هویت مکانی، و سپس یاخته‌ها اینها را به گونه‌های متفاوتی تفسیر می‌کنند. بنابراین تشابه بیان ژن Hox در امتداد محور جلو-عقب مهره‌داران و مگس‌ها به نحوی غیرقابل قیاس بیش از ساختارهایی است که بعدها کمال می‌یابند. از این رو در امتداد این محور یک نوع همگرایی از لحاظ استقرار مقادیر موقعیتی مشابه وجود دارد، حتی اگر راهکارهای گوناگونی به کار رود و در رشد و کمال بعدی واگرایی (divergence) رخ دهد. همچنین احتمال دارد درجه بالایی از حفظ و بقای سازوکارهای ریختزایی در کار باشد - پی در پی از چسبیدن یاخته‌ای و انقباض یاخته بهره‌گیری شود. تنها نگاهی به شباهت گاسترول شدن حشرات و توتیای دریایی بسنده می‌کند. اما از لحاظ تمایز یاخته‌ای، روشن نیست که چه اصولی در کاراند زیرا اصولاً تمایز، مهار کردن بیان پروتئین‌های ویژه یاخته است. انتظار می‌رود که بیشترین واگرایی در اینجا پدیدار شود زیرا چیز شبیهی که بتوان انتظار یافتنش را فرضاً در تمایز یاخته‌های عضلانی یا خونی داشت، بجز فعال شدن عوامل رونویسی ویژه‌ی بافت و یاخته، وجود ندارد.

هم‌اینک پس از کشف ژن‌های Hox، ملکولهای پیامی و تحلیل تفصیلی برخی نظام‌های رشد و کمال، مانند رشد اولیه‌ی مگس، رشد چشم مگس و نرم‌تنان، برموجی از هیجان سواریم. این احساس، و شاید توهم، را داریم که شالوده‌های بنیادین تنظیم و مهار رشد را درک می‌کنیم. می‌توانیم ببینیم چگونه آبشیب‌های کنش ژن و پیام‌رسانی‌های درون یاخته‌ای می‌توانند انگاره را ایجاد کنند. حتی در مورد دست و پا انگاره‌های قابل تاییدی در مورد ژن‌های homeobox و عوامل رشد، در دست می‌باشد. (Wolpert & Tickle, ۱۹۹۳). در برابر، می‌باید ناآگاهی‌های خود را برشماریم: در مورد مهره‌داران حتی یک مورد سراغ نداریم که بدون تردید یک ملکول پیامی شناسایی شده باشد؛ شناخت ما از ساختار یاخته از لحاظ پیدایش قطبیت هنوز در وضعی ابتدایی است؛ همچنین درک ما از ریختزایی در سطح ملکولی. انگاره‌های قابل قبولی برای گاسترول شدن در مگس‌ها، توتیای دریایی و دوزیستان در دست است، اما زیربنای ملکولی و مهار ژنتیکی آنها در میان نمی‌باشد. همچنین مخصوصاً از لحاظ شناختمان در مورد جنبه‌هایی چون تنظیم اندازه و شکل نیز بسیار ضعیفیم. اما گمان داریم که با آگاهی بیشتر از زیست‌شناسی

یاخته، شناختی بهتر پدیدار خواهد شد. شگفت اینکه پروتوزوآهای مژک‌دار طرح‌های پیچیده‌ای همچون زیست‌مندان چند یاخته‌ای بوجود می‌آورند و از قواعدی مشابه پیروی می‌کنند و ما هیچ شناختی از سازوکارهای ملکولی‌شان نداریم (Frankel, ۱۹۸۹). و گرچه مشخص کردن هویت مکانی توسط ژن‌های Hox امیدبخش است، تفسیر این اطلاعات موقعیتی، اهداف پایین دستی ژن‌های Hox، به‌طور کلی، به ویژه در ارتباط با ریختزایی، دانسته نیست: تغییر تنها یک ژن در مگس می‌تواند شاخکی را به پامبدل سازد.

آیا تخم محاسبه‌پذیر است؟ یعنی با داشتن توصیف کامل از یک تخم بارور - توالی کامل دی.ان.ا، موقعیت همه پروتئین‌ها و آر.ان.اها - آیا می‌شود پیشگویی کرد که جنین چگونه رشد و کمال خواهد یافت؟ آیا می‌توانیم نظریه‌هایی کلی برای رشد و کمال پیش‌بینی کنیم و این نظریه‌ها به چه شکل خواهند بود؟ در این جا، قضاوت فرد بازتابی از بینش وی درباره‌ی رشد و کمال جنین خواهد بود. آیا به عنوان یک نظام پویا مورد بررسی قرار گیرد بهتر است، یا یک ماشین حالت معین (finite state)؟ چنانچه به شکل نخست مورد توجه قرار گیرد آنگاه امکان دارد که نظریات مربوط به آن زمینه، مانند نظریات مربوط به جاذب‌ها (attractors) و چرخه‌های حدی (limit cycles) - (Ding, Kelso و Schöner - ۱۹۹۲) مفهوم پیدا کنند. چنین دستگاه‌های پویایی براساس پویایی ناخطی (non-linear dynamics) مبتنی‌اند و فرایندهای شیمیایی ناعادلی را از دیدگاه افت و خیزها (fluctuations) و ناپایداری و به ویژه خودسامانی طرح‌های فضایی و مکانی، مورد تحلیل قرار می‌دهند. یک وجه شاخص از جملگی چنین نظام‌هایی این است که ظاهراً ساختار را از شرایط آغازین طرد می‌کنند. در حالی که هم یاخته‌ها و هم جنین‌ها بسیار ساختارمند هستند و شاید مهمتر اینکه این نظریات چنین نظام‌هایی را چنان می‌نگرند که انگار پیوسته‌اند، در حالی که رفتار یاخته و رشد و کمال عمدتاً بر جابه‌جاشدن‌ها مبتنی هستند. به کار افتادن یک ژن یک جابجایی است که می‌تواند به تولید یک پروتئین تازه بیانجامد که رفتار یاخته را به کلی عوض کند. همچنین شایسته توجه است که تاکنون رویکرد نظریه‌ی نظام پویانده خیلی در زیست‌شناسی یاخته یا رشد و کمال موفق نبوده است. یک استثناى بالقوه، واکنش - نفوذ در راستای مسیرهایی است که آلن تورینگ پیشنهاد کرده است. ساختارهای واکنش - نفوذ الگوی جالبی برای خود سامانی

شیب‌ها (gradients) و ساختارهای تناوبی پیش روی می‌گذارد (Murray, ۱۹۸۹) ولی تاکنون شواهد قانع‌کننده‌ای از عملکرد آن در حین رشد و تکامل وجود ندارد.

نمونه خلاف یک نظام پوینده، خود سامانی باکتریوفاز است که شدیداً به توالی آمینواسیدی پروتئین‌ها وابسته است و نشانگر یک مسیر اجباری در اندرکنش‌های پروتئینی است. شاید همین امر در مورد پنگانده شدن (assembly) اندامک‌های یاخته مانند ریبوزوم‌ها، تارهای آکتین و گلاژن مصداق دارد. به احتمال زیاد چنین خودپنگانی‌هایی در تمایز یاخته‌ای، مانند پنگانیدن تارها در یاخته‌های عضلانی، دخیل است.

چنانچه رشد را از دیدگاه ماشین حالت معین بنگریم در این صورت شاید الگوهای ولفرام (Wolfram, ۱۹۸۴) در باره خودکاری یاخته‌ای (cellular automata) بسیار رهنما باشد. خودکاری یاخته‌ای برخلاف الگوهای مبتنی بر معادلات دیفرانسیلی که تغییر هموار پارامترها نسبت به هم را توصیف می‌کنند، به تغییرات گسسته در خیلی سازندهای (components) مشابه می‌پردازد. اگرچه برخی خودکاری‌های یاخته‌ای را می‌توان به عنوان نظام پوینده‌ی گسسته مورد تحلیل قرار داد، برخی دیگر وجود دارند که تنها راه تعیین رشد و کمال‌شان، شبیه‌سازی است: برای رفتار کلی‌شان نمی‌شود فرمول معینی ارائه کرد. حتی قواعد ساده مبتنی بر مقادیر مجاور به طرح‌هایی می‌انجامد که حساب‌بردار نیست به این معنی که بتوان بدون ملاحظه چگونگی توازن نظام، نتیجه را پیشگویی کرد.

آیا رشد، شبیه یک خودکاری یاخته‌ای غیرقابل محاسبه است؟ به احتمال خیلی زیاد از برخی لحاظ چنین به نظر می‌رسد. رفتار یاخته به هنگام رشد و کمال تحت تاثیر وضع کنونی آن و پیام‌های یاخته‌های مجاور آن تعیین می‌شود. اینها حالت آتی یاخته را تعیین می‌کنند. تمامی این حالات را می‌توان با ژن‌هایی که فعال‌اند به بهترین وجه مشخص ساخت. با وجود این باید دانست که امکان دارد اندرکنش‌های پیچیده‌ای بین یک حالت و حالت بعدی وجود داشته باشد: برای نمونه پروتئینی که در نتیجه فعال شدن یک ژن بوجود می‌آید ممکن است باعث تغییر و اندرکنش با سایر پروتئین‌ها گردیده، سلسله وقایعی را به دنبال آورد که رویهمرفته توأم با پروتئین آغازین موجبات تغییر رفتار یاخته و رسیدن به حالت

بعدی را فراهم کنند. این امر بخوبی بیانگر تفاوت عمده‌ای است که بین رشد و خودکاريِ یاخته‌ای وجود دارد. زیرا به جای اینکه تنها چند حالت وجود داشته باشند که طرح‌شان در نسل‌های پیاپی تغییر می‌کند، در رشد و کمال یاخته، پیوسته حالت‌های جدید بوجود می‌آیند. از اینرو هنگام رشد یک جنین، هزاران حالت مختلف یاخته‌ای که واجد طرح‌های متفاوتی از فعالیت ژنی هستند، در کار می‌باشند. رشد یک جنین به مراتب پیچیده‌تر از خودکاريِ یاخته‌ای است که این پیچیدگی نتیجه‌ی یاخته‌ها و شمار زیاد حالت‌های گوناگونی است که از خود بروز می‌دهند. از اینرو گمان نمی‌رود که حتی بتوان رشد را به شکل ظاهری شبیه‌سازی نمود.

با وجود این مهم است که در آینده بکوشیم فرایندهای مرتبط با تغییر شکل، مانند لوله‌وری (گاسترولاسیون - gastrulation) را شبیه‌سازی کنیم. این گونه حرکات گنداند و با سازندِ آغازینی ارتباط ندارند و در نتیجه می‌توان نظام را ایستامانند انگاشت. این امر، تلاش برای شبیه‌سازی حرکت‌های ریختزا را تسهیل می‌کند. اما شبیه‌سازی لوله‌وری (گاسترولاسیون) در مهره‌داران خودکاری سنگین است و شبیه‌سازی برخی جنبه‌های اندام‌زایی مانند مغز، خود امری ورای تخیل است.

آیا در پنجاه سال آینده خواهیم توانست شرایط آغازین را به طور کامل تعیین کنیم. تا آن زمان توالی دی.ان.ا. را خواهیم دانست اما خیلی بیش از اینها نیاز داریم. باید بدانیم چه پروتئین‌ها و پیام‌های مادری در شیره یاخته (cytoplasm) ذخیره شده و توزیع فضایی‌شان چگونه است. ممکن است تغییراتی بس کوچک با اهمیت باشند و حتی تشخیص‌شان مشکل باشد. همچنین لازم خواهد بود که اندرکنش‌های پیچیده‌ای که در پیام‌های درون یاخته‌ای درکارند و نقش هزاران گونه کیناز و فسفاتاز در اینباره را بشناسیم. شاید بتوانیم سوخت و ساز را نادیده بیانگاریم اما چنین چیزی اصلاً معلوم نیست. به هر حال مطلب این است که هرگونه شناخت تفصیلی یا محاسبه درباره رشد، مستلزم شناخت تفصیلی زیست‌شناسی یاخته‌ای است. این یک کار بس سنگین است زیرا می‌رساند که برای محاسبه یک جنین شاید لازم باشد که رفتار جملگی یاخته‌های تشکیل‌دهندهٔ آن را به حساب درآورد. اما اگر ترازوی از توصیف رفتار یاخته را بتوان یافت که برای توجیه رشد و کمال بسنده کند و

نیاز به در نظر گرفتن رفتار تفصیلی هر یاخته نداشته باشد، کار قدری ساده تر خواهد شد.

یک تشابه با این مسایل، تا شدن و جمع شدن (folding) خود پروتئین است که مسئله ای بس ساده تر می باشد. آیا امکان خواهد داشت که در ۵۰ سال آینده ساختار سه بعدی یک پروتئین را از روی توالی اسیدهای آمینه آن پیشگویی کرد؟ پاسخ مثبت است اما نه الزاماً با این روش که ساختار را از اصول اولیه ای بدست آورند، بلکه مشکل از راه تشابه (homology) گشوده خواهد شد. Chothia (۱۹۹۲) به این امر اشاره دارد که پروتئین ها از ۱۰۰۰ خانواده پروتئینی ریشه می گیرند و همزمان با کشف قواعد حاکم بر تا شدگی (folding) هر کدام از اینها از طریق بلورنگاری، الگوسازی ملکولی و NMR، ساختار هر پروتئین جدید قابل پیشگویی خواهد بود.

امکان دارد که اصولی مشابه در مورد چگونگی رشد یک جنین مصداق داشته باشد. رشد ابتدایی زیست‌مندان (ارگانیسم‌های) متفاوت، می تواند بسیار متفاوت باشد. در نتیجه، اگر چه بتوان ژن‌های homeobox را که در طرح‌یابی محوری دخیل اند، بشناسیم، شناخت طرح فضایی بیان‌شان بسیار مشکل خواهد بود. اگر چنین طرحی را بدانیم، آنگاه با دانستن ژن‌هایی که فراورده‌هاشان به نواحی مهارکننده آنها اتصال می‌یابند، خواهیم توانست در مورد اینکه چه جور موجودی در شرف رشد است، پیشگویی‌هایی کلی بنماییم. همانند تا شدگی پروتئین، تشابه برخاسته از «پایگاه داده‌های» (database) بسیار غنی، می تواند بهترین مبنای چنین پیشگویی قرار گیرد. بنابراین اگر چه ممکن است اصولی کلی در کار باشد و ژن‌ها و پیام‌های یکسانی در اندامگان گوناگون به کار روند، جزئیات خواهند بود که اهمیت دارند و پیشگویی در مورد رشد را به ویژه مشکل خواهند ساخت. علیرغم همه اینها، غیر معقول نیست که گمان بریم بالاخره آن اندازه دانسته خواهد شد که بتوان با یک برنامه رایانه‌ای، برخی جنبه‌های رشد و کمال را شبیه سازی نمود. اما به هر حال بیش از آنکه بتوانیم پیشگویی کنیم، خواهیم فهمید. برای نمونه، چنانچه جهشی را وارد کنیم که ساختار یک پروتئین را تغییر دهد، به احتمال زیاد نخواهیم توانست پیامدهایش را پیشگویی کنیم.

پس در این صورت ۵۰ سال آتی چه به ارمغان خواهد آورد؟ اگر گمان ما درست

باشد که ما سازوکارهای بنیادین رشد را شناخته‌ایم، اصول جدیدی پیدا نخواهد شد بلکه در پنجاه سال آتی به کار سخت سُفتن در جزئیات رفتار یاخته به هنگام رشد، مشغول خواهیم بود. این امر نه تنها شامل شناخت تفصیلی عمل ژن‌ها بلکه زیست شیمی و زیست فیزیک یاخته‌ها خواهد بود. اما این جزئیات نیز می‌تواند خیلی هیجان‌آور باشد. چنین پیشگویی هم خوش بینانه و هم بدبینانه است: خوش بینانه از این جهت که اصول رشد را می‌شناسیم و بدبینانه از این جهت که آینده قدری مشکل به نظر می‌رسد. واقعیت امر بینابین این دو وضعیت است و چنانچه راهکارهایی تازه یا شیوه‌های جمع‌بندی (integration) اطلاعات پدیدار نشود، شگفت‌انگیز و مایوس‌کننده خواهد بود. بی‌تردید فنون تازه و قدرتمند نیز ابداع خواهند شد.

یکی از لذت‌های توانایی ما در شبیه‌سازی رشد، هرگاه میسر باشد، اثری است که بر شناخت ما از تکامل خواهد داشت. برای نمونه خواهیم توانست بپرسیم چه دنباله‌ای از تغییرات ژنتیکی توانسته است به تکامل دست و پاها یا مغز انجامیده باشد. خواهیم توانست از راه «بازی» بر روی رایانه اثرهایی را که از تغییر ژن در هر بار پدیدار می‌شود، بنگریم و در اصل به این توانایی دست خواهیم یافت که یک برنامه ژنتیکی ابداع کنیم که یک دیناسور یا یک فرشته به وجود آورد. مشکل فرشته‌سازی این است که هم باید دارای دو بال باشد و هم اینکه خُلق و خوی فرشته‌ای داشته باشد. برای داشتن یک جفت بال پوشیده از پرِ خلاقیت زیادی لازم است، ولی اگر درباره‌ی نقشه بدن، در مورد طرح‌ریزی و رشد و کمال بال و پرها به اندازه کافی آگاهی می‌داشتیم، انجام چنین کاری امکان‌پذیر می‌بود. در این باره از ژن‌های شناخته شده‌ی پرندگان و پستانداران بهره‌گیری خواهد شد. چندان احتمال ندارد که بفهمیم چه پیوندهای نرونی باید ایجاد کرد تا خلق و خوی فرشتگی بدست آید. اما در زمانی کافی احتمالاً خواهیم توانست دستورکاری گزینشی ابداع کنیم. حتی اگر تمامی دی.ان.ا. را داشته باشیم باز هم بوجد آوردن یک دیناسور به مراتب مشکل‌تر خواهد بود. مشکل اصلی برپایی شرایط آغازین برای رشد و کمال دیناسورها است. پارک ژوراسیک همچنان یک افسانه علمی برجوا خواهد ماند.



## مراجع

- Chothia, C. (1992). One thousand families for the molecular biologist. *Nature* 357, 543–544.
- Frankel, J. (1989). *Pattern Formation*. New York: Oxford University Press.
- Huxley, J. S. & De Beer, G. R. (1934) *The Elements of Experimental Embryology*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Kelso, J. A. S., Ding, M. & Schöner, G. (1992). Dynamic pattern formation: a primer. In, *Principles of Organization in Organisms*, eds. J. Mittenthal & A. Baskin, pp. 397–439. Reading, MA: Addison Wesley.
- Lawrence, P. A. (1992). *The Making of a Fly*. Oxford: Blackwell.
- Murray, J. D. (1989). *Mathematical Biology*. New York: Springer.
- Needham, J. (1942). *Biochemistry and Morphogenesis*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Schrödinger, E. (1944). *What is Life?*. Reprinted (1967) with *Mind and Matter and Autobiographical Sketches*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Wolfram, S. (1984). Cellular automata as models of complexity. *Nature* 311, 419–424.
- Wolpert, L. (1990). The evolution of development. *Biological Journal of the Linnean Society* 39, 109–124.
- Wolpert, L. (1992). Gastrulation and the evolution of development. *Development Supplement* 7–13.
- Wolpert, L. & Tickle, C. (1993). Pattern formation and limb morphogenesis. In *Molecular Basis of Morphogenesis*, ed. M. Bernfield, pp. 207–220. New York: Wiley-Liss.

## زبان و حیات

جان مینارد اسمیث بخش زیست‌شناسی - دانشگاه ساسکس، فالمر - برایتون - انگلستان  
 اِز ز ژائماري بخش گیاه‌شناسی و اقلیمی‌شناسی، دانشگاه ائوت وِس (Eötvös)،  
 بوداپست - مجارستان

همه موجودات زنده می‌توانند اطلاعات را از نسلی به نسل دیگر منتقل کنند. خصلت وراثت - اینکه گندم از گندم بروید جُو ز جُو - وابسته به این انتقال اطلاعات است و وراثت به نوبه‌ی خود تکامل جمعیت‌ها از راه‌گزینش طبیعی را تضمین می‌کند. می‌توان یقین داشت که چنانچه در جایی دیگر از کیهان موجودات زنده‌ای از منشایی سوای از ما برخاسته باشند، آنها نیز دارای وراثت و زبانی که به وسیله‌ی آن اطلاعات وراثتی انتقال می‌یابد، خواهند بود. در بحث شرودینگر در حیات چیست؟ نیاز به این زبان قلب موضوع را تشکیل می‌دهد: و وی آن را «رمز نگاشت» (codscript) نامید. درباره ماهیت این زبان می‌توانیم گمانه‌هایی داشته باشیم. این زبان باید رقمی (digital) باشد زیرا هر پیامی که در نمادهایی رمزگذاری شود که خود تغییری پیوسته دارند، هنگام انتقال از یک فرد به فردی دیگر، به تندی فرسایش یافته به هممه‌ای (noise) تبدیل می‌شود. همچنین زبان می‌باید توانایی رمزگذاری شمار بیحد و حصری از پیام‌ها را داشته باشد. این پیام‌ها می‌بایست با دقتی بسیار بالا همانند سازی یا کپی شوند. نکته‌نهایی اینکه پیام‌ها می‌بایست

«معنی دار» باشند به این مفهوم که شانس بقا و همانندسازی شدن را داشته باشند و گر نه گزینش طبیعی در کار نخواهد بود.

در موجودات زنده‌ی کنونی دوجور چنین زبانی وجود دارد نه یکی. یکی زبان ژنتیکی آشنا که بر همانندسازی اسیدهای هسته‌ای، دی.ان.ا. و آر.ان.ا. مبتنی است و دیگری زبان بسیار آشناتری است که ما انسان‌ها با آن تکلم می‌کنیم. نخستی اساس تکامل زیستی و دومی بنیان تغییرات فرهنگی است و در این مقاله ما به بررسی هر دوی اینها می‌پردازیم.

در واقع ما به بحث پیرامون منشأ همانندسازی اسید هسته‌ای نخواهیم پرداخت، اگرچه این خود مرحله‌ای اساسی و شاید تنها مرحله اساسی در منشاء حیات باشد. به جای آن منشاء رمز ژنتیکی را مورد بحث قرار می‌دهیم. در تمامی موجودات زنده یک تقسیم کار بین اسیدهای هسته‌ای و پروتئین‌ها انجام گرفته است. اسیدهای هسته‌ای حامل اطلاعات ژنتیکی هستند که از راه همانندسازی انتقال می‌یابد. پروتئین‌ها شاخص روبنای ژنتیکی هستند. ارتباط بین این دو از راه رمز ژنتیکی است که طی آن توالی بازهای یک اسید هسته‌ای به توالی اسید آمینه در یک پروتئین ترجمه می‌شود. در این فرایند ترجمه است که اسیدهای هسته‌ای واجد آن چیزی می‌شوند که ما معنای آن‌ها می‌نامیم. یعنی از طریق تعیین پروتئین‌ها، بر شانس بقای موجودات - به عبارتی «مناسب بودن» شان - اثر می‌گذارند. سازوکار ترجمه در عین حال هم بی‌اندازه پیچیده و هم چنان جهانی است که به سختی می‌توان فهمید چگونه نشأت گرفته و یا اینکه بدون آن اصلاً حیات چگونه بوجود آمده باشد.

پرسش دوم، یعنی حیات بدون رمز، که ده سال امری مرموز و غیرقابل فهم بود، امروز دیگر چنان نیست. کشف مهم در این باره این بود که حتی در موجودات زنده کنونی برخی آنزیم‌ها از آر.ان.ا. ساخته شده‌اند، نه از پروتئین (Zaug, Cech, ۱۹۸۶). این کشف باعث پیدایش فکر «دنیای آر.ان.ا. شده که در آن ملکول‌های آر.ان.ا. هم زیربنا و هم روبنای ژنتیکی را تشکیل می‌دهند، یعنی هم آنزیم‌اند و هم حامل‌های اطلاعات ژنتیکی. با پذیرفتن چنین تصویری، امکان دارد حیاتی بدون پروتئین یا به عبارتی بدون رمز داشت. همچنین آسانتر می‌شود تصور کرد که شاید رمز چگونه نشأت گرفته باشد.

جنبه‌ی اساسی رمز این است که هر سه نوکلئوتید - به عبارتی هر رمزینه (codon) - به یکی از ۲۰ اسید آمینه منسوب می‌شود. این انتساب از طریق اتصال هر اسید آمینه به ملکول آر. این ای ناقل (tRNA) مخصوصی که رمزینه متناظر خود را دارد، تعیین می‌شود. این اتصال به کمک آنزیم‌های ویژه‌ای که می‌توان آنزیم‌های انتساب نام نهاد، انجام می‌شود. ویژگی رمزینه وابسته به ویژگی این آنزیم‌ها می‌باشد و مشکل ما این است که بفهمیم این ویژگی چگونه پدیدار شده است.

اما پیش از پرداختن به این پرسش، به‌طور فشرده آنچه را که می‌شود از سرشت رمز کنونی استنتاج نمود، مرور می‌کنیم. برخی تنوع‌ها وجود دارد برای نمونه: در مخمر و میتوکندری‌های حیوانی رمزینه AUA به جای ایزولوسین رمزینه‌ی متیونین می‌شود. هم‌اکنون شماری از اینگونه تنوع‌ها وجود دارد و شاید در آینده هم شناسایی شوند. اما این تنوع‌ها کم و محدودند و به هر حال مؤید این فکراند که یک رمزینه نیاکانی وجود داشته و طی زمانی شماری تنوع‌های محدود از آن بوجود آمده است. وجود تنوع‌ها یک مسئله را به میان می‌آورد. چگونه رمزینه می‌تواند تکامل یابد؟ اگر برای نمونه AUA رمزینه ایزولوسین باشد، چنانچه در «رمزینه جهانی» چنین است، چگونه این انتساب دچار تغییر می‌شود؟ گیر کار این است که رمزینه AUA در خیلی از جایگاه‌های ژنومی یک موجود هویدا می‌شود. حتی اگر از لحاظ گزینشی به سود باشد که ایزولوسین در یکی از این جایگاه‌ها به متیونین بدل شود، قطعاً تغییر همه آنها مزیتی در برنخواهد داشت. آساوا (Osawa) و همکارانش (۱۹۹۲) سازوکارهایی را که اینگونه تغییرات را میسر می‌سازند مرور کرده‌اند. در اصل، اینان معتقدند که فشار جهشی جهت‌دار (directional mutation pressure) که نسبت جفت بازهای آدنین - تیمین به جفت بازهای گوانین - سیتوزین را تغییر می‌دهد، باعث می‌شود تا برخی رمزینه‌ها (codons) دیگر به کار نروند: پس آنگاه به رمزینه بی‌استفاده، انتساب دیگری داده می‌شود.

نکته مهم اینکه رمز می‌تواند تکامل یابد، هر چند به ندرت و با سختی. در ابتدای تکامل که موجودات ساده‌تر بودند و ژن‌های کمی داشتند تغییرات تکاملی شاید آسانتر بوده است. اهمیت این نکته چنین است. چنانچه کمی بعد نشان خواهیم داد، رمز چند جنبه‌سازشی دارد. به‌طور کلی زیست‌شناسان تکاملی سازشگری و تطبیق

را باگزینش طبیعی توجیه می‌کنند. رمزی که تغییرناپذیر باشد از این دیدگاه قابلیت سازش ندارد. اما چنانچه رمز بتواند تکامل یابد، که به نظر می‌رسد چنین باشد، توضیح این جنبه‌های سازشی آسانتر است.

روشن‌ترین نمونه یک جنبه سازشی چنین است: اسید آمینه‌هایی که از لحاظ شیمیایی مشابه‌اند توسط رمزینه‌هایی که به هم شباهت دارند رمزگذاری می‌شوند. برای نمونه اسید اسپارتیک و اسید گلوتامیک از لحاظ شیمیایی مشابه‌اند: نخستی توسط رمزینه‌های GAU و GAC رمزگذاری و دومی به وسیله‌ی GAA و GAG رمزگذاری می‌شود. تحلیل کلی‌تر ثابت می‌کند که از این جنبه، رمز به هیچ وجه بختانه (random) نمی‌باشد. اما چرا برای سازشگری باید اسیدهای آمینه‌ی مشابه با رمزینه‌های مشابه رمزگذاری شوند؟ دو پاسخ ممکن به این پرسش ارائه شده است. نخست اینکه اگر اشتباهی در ساختن پروتئین پیش آید، اثرش بر عملکرد پروتئین شاید نسبتاً خفیف باشد. دوم اینکه احتمال این که جهش‌ها لطمه‌زننده باشند کمتر می‌گردد.

جنبه دوم و غیربختانه (non-random) رمز با تکرار آن مرتبط است. اسیدهای آمینه ممکنست با ۴،۲،۲،۱ و یا ۶ رمزینه گوناگون رمزگذاری شوند. به‌طور کلی اسیدهای آمینه‌ای که در پروتئین‌ها مشترک‌اند، معمولاً با بیش از یک رمزینه مشخص می‌شوند: برای نمونه لوسین و سرین (هر دو دارای ۶ رمزینه) بیشتر از تریپتوفان (که یک رمزینه دارد) در پروتئین‌ها یافت می‌شوند. اما شاید نادرست باشد که نتیجه گرفته شود که این نشانه‌ی سازشگری رمز است. به احتمال زیاد این نتیجه‌ی ناگزینشی (unselected) بودن رمز به همان شکلی که هست، می‌باشد. از این رو سرین و لوسین بیشتر از تریپتوفان جهش خواهند داشت. اگر دست کم برخی تغییرات اسیدهای آمینه انتخاباً خنثی باشد، ارتباط مشهود بین وفور در پروتئین و تکرر قابل انتظار خواهد بود. همچنین شواهد روشنی وجود دارد که گزینش مانع تطبیق دقیق وفور در پروتئین و تکرر گردیده است. برای نمونه، چنانچه انتظار می‌رود، تواتر (بسامد) اسید آمینه‌های اسیدی (Glu و Asp) و بازی (Lys و Arg) تقریباً یکسان است، زیرا pH درون یاخته خنثی است. در صورتی که براساس تکرر رمزینه انتظار می‌رود که وفور اسید آمینه‌های بازی دو برابر باشد.

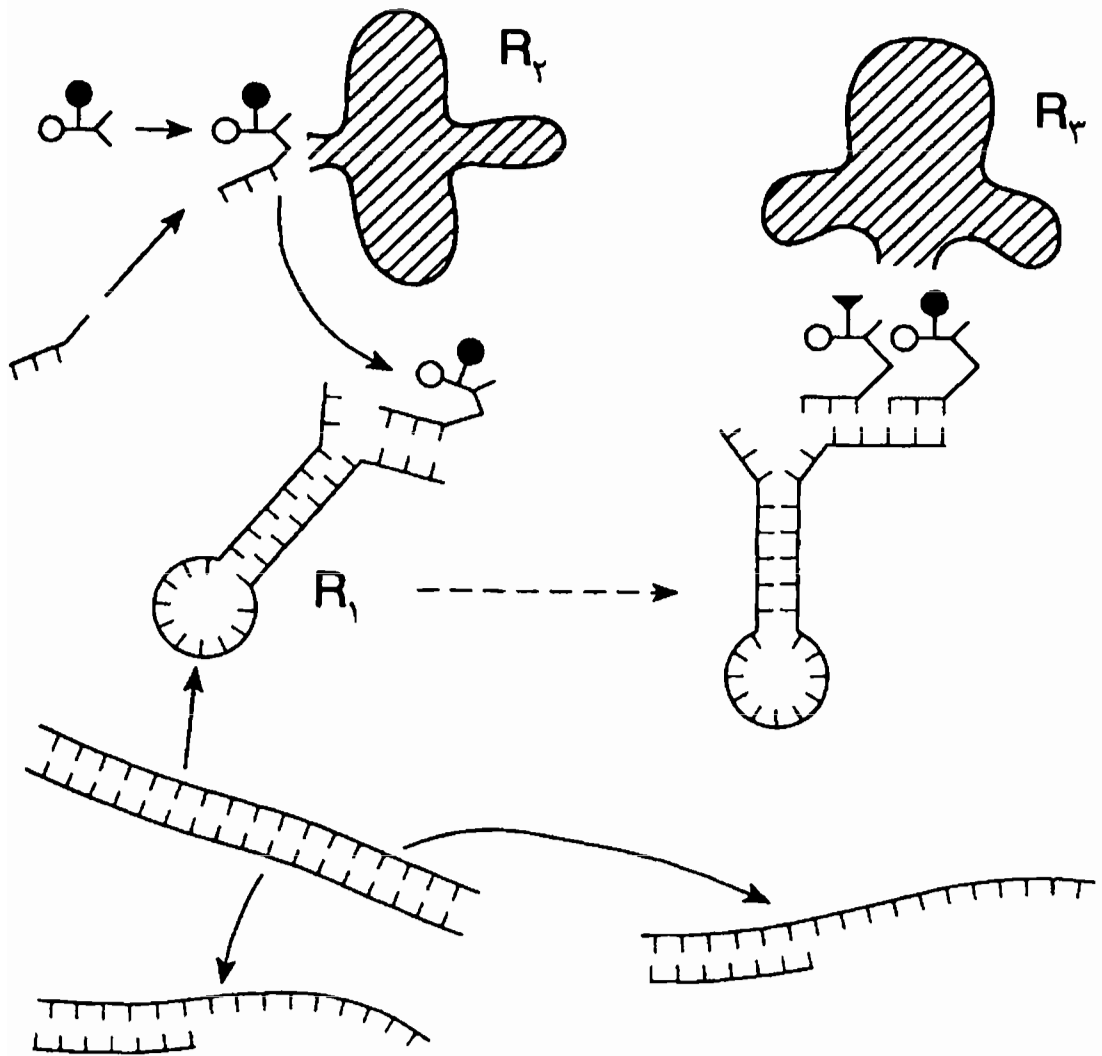
این پرسش هم هست که آیا دلیل شیمیایی وجود دارد که برخی رمزینه‌ها با

برخی اسیدهای آمینه مرتبط اند؟ شق دیگر اینست که انتساب‌ها از لحاظ شیمیایی بختانه بوده‌اند، چنانچه انتساب معانی به کلمات در زبان آدمی هم عمدتاً اختیاری است. با فرض دوم، شاید دلیلی برای اینکه چرادر نوکلئوتید نخستین در رمزین‌های مربوط به Asp و Glu یکسان‌اند می‌توان یافت، ولی اینکه اینها GA هستند، و نه مثلاً AU، کاملاً تصادفی است. این پرسش هنوز پابرجاست اما بهر حال روشن است که هرگونه ویژگی که احتمالاً وجود داشته، به تنهایی برای تعیین رمز بسنده نیست: تکامل آنزیم‌های انتسابی گامی بس مهم است که نیاز به توجیه دارد.

فکر اساسی (Szathmáry, ۱۹۹۳) این است که نخستین شرکت اسیدهای آمینه در فرایندهای زیستی به عنوان «کمک‌عامل» (cofactor) ریبوزیم‌ها بوده است. با به کارگیری «کمک‌عامل‌های» اسید آمینه‌ای، گستره‌ی کاتالیتیکی و کارایی ریبوزیم‌ها به شدت افزایش می‌یابد. این فکر در شکل ۱ به تصویر درآمده است. هر «کمک‌عامل» متشکل از اسید آمینه‌ای متصل به یک اولیگونوکلئوتید (نوکلئوتید چندتایی) - احتمالاً سه‌تایی - بوده است که در این صورت از همان ابتدا یک رمز سه‌گانه را به وجود آورده است. کار اولیگونوکلئوتید پیوستن کمک‌عامل به ریبوزیم از راه جفتیدن بازها بوده است. هرگونه کمک‌عامل می‌توانسته توأم با بسیاری ریبوزیم‌های گوناگون عمل کند.

از این منظر، منشأ انتساب ویژه‌ی اسیدهای آمینه به اولیگونوکلئوتیدها که بنیان رمز می‌باشد، در ابتدا کاری به سنتز پروتئین نداشته است. انتساب‌ها شاید یک به یک پدیدار شده‌اند و هر کدام منجر به افزایش شمار کمک‌عامل‌های موجود و در نتیجه تنوع بیوشیمیایی گردیده است. سپس از به هم پیوستن این‌ها و ایجاد پپتیدها نخستین گام به سوی ساختن پروتئین‌ها برداشته شده است. سرانجام ریبوزیم‌های آغازین به شکل ام. آر. ان. ا. (mRNA) و دسته اولیگونوکلئوتیدی کمک‌عامل به تی. آر. ان. ا. (tRNA) تکامل می‌یابند: آنزیم انتساب،  $R_p$ ، که اسید آمینه‌ی ویژه‌ای را به اولیگونوکلئوتید خاصی می‌پیوندد، به شکل سنتاز آمینواسید - تی. آر. ان. ا. درمی‌آید و بالاخره ریبوزیم  $R_p$  که اسیدهای آمینه را به پپتیدها می‌پیوندد، به شکل ریبوزم تکامل می‌یابد.

این الگو پرسش‌های زیادی را بدون پاسخ می‌گذارد. برای نمونه پروتئین‌ها بسیار بزرگتر از پپتیدهای کوتاهی هستند که با یک «پیام» ریبوزیمی بوجود می‌آیند.



شکل ۱. فرضیه‌ای برای منشأ رمز ژنتیک: برای توضیح به متن مراجعه شود. → نشانه تغییر در درون یاخته و --- نشانه‌ی تغییرات تکاملی است.

اما از این امتیاز برخوردارند که مراحل واسطی را پیش روی می‌گذارند که بین بی‌رمزی و رمزداری وجود دارند و قابل‌گزینش می‌باشند: برای نمونه داشتن یک گونه کمک عامل بهتر از هیچ و داشتن دو کمک عامل بهتر از یکی است و... از این لحاظ این فرضیه به سایر پیشنهادات در مورد منشأ اندام‌های پیچیده‌ای که تا تشکیل کامل بی‌ثمر به نظر می‌رسند، شباهت دارد: برای نمونه پرها خیلی پیش از آنی که برای پرواز بسنده کننده برای گرم نگهداشتن صاحبانشان سودمند بودند. اینک به مسئله دوم یعنی زبان آدمی می‌پردازیم و این موضوعی است که در میان

زبان‌شناسان معروف است. پس از انتشار منشاء گونه‌های داروین اندیشه‌های غیرسنجیده‌ای درباره تکامل زبان ابراز شد، تا حدی که در ۱۸۶۶ فرهنگستان زبان‌شناسی فرانسه اعلام کرد مقالات مربوط به منشاء زبان را نمی‌پذیرد. البته شاید این واکنش معقول بوده اما اکنون زمان آن رسیده است که پرسش از نو عنوان شود. در حقیقت در سال‌های اخیر دو پیشرفت هیجان‌آور رخ داده است.

نخست مربوط به تکامل نژادی (phylogeny) زبان‌های موجود انسانی است. این رویکرد تکامل نژادی به هیچ وجه تازه نیست. تاکنون دستاورد عمده‌ی آن این شناخت است که زبان‌های هندواروپایی به یک خانواده با یک نیای مشترک تعلق دارند. تا گذشته‌ای نزدیک گمان می‌رفت که استقراض کلمات میان زبان‌ها به حدی گسترده است که هرگونه اقدام در شناسایی یک تکامل نژادی ژرف‌تر بی‌ثمر است. امروزه این طرز تفکر توسط شماری از زبان‌شناسان، عمدتاً در روسیه و ایالات متحده مورد چالش قرار گرفته است. چنانچه اغلب در علم چنین است، پیشرفت در نتیجه‌ی دقیق و ظریف شدن روش‌ها بوجود آمده است. در این مورد گام حساس اصرار بر این امر بود که ارتباط زبان‌ها را در لغات مشترک می‌جست نه در دستور زبان که معمولاً تندتر دچار تغییر می‌شود و مهمتر اینکه لغات مدنظر لغات فاقد معنای فنی بودند: برای نمونه کلمات مربوط به اجزای بدن، خویشاوندی، خواب و خوراک، سرد و گرم مناسبند اما شخم‌ها، خانه‌ها و تیرها نیستند. دلیل روشن است: کلمات فنی بیشتر استقراضی‌اند.

جالب است که بازسازی تکامل نژادی در زیست‌شناسی و زبان را به مقایسه بگذاریم. بازسازی زبان با دو مشکل اساسی روبرو است. نخستین مشکل به خاطر اینست که با زبان محاوره‌ای سروکار داریم، نه نوشتنی، و از جابجایی آواها نشأت می‌گیرد. برای نمونه جایگزینی نظام‌مند «d» در بسیاری از کلمات آلمانی با «th» در انگلیسی. نزدیکترین موازی زیست‌شناسانه‌ی آن تغییر در نسبت AT/GC تحت فشار جهشی است. مورد دوم استقراض کلمات است که فرایند موازی آن در زیست‌شناسی - انتقال افقی ژن - خیلی وقت‌ها ما را همراه نکرده است. اما یک مشکل وجود دارد که در زبان‌شناسی شدتش کمتر از زیست‌شناسی است. در زیست‌شناسی به ویژه هنگامی که روی خصلت‌های ریختاری اعتماد می‌کنیم ممکن است در نتیجه‌ی همگرایی ناشی از نیروهای گزینشی مشابه در دودمان‌های گوناگون، فریب



خوریم: تشابه چشم یک مهره‌دار و یک هشت پا (آختاپوس) نمونه‌ای از این است. شدت این مشکل در زبان کمتر است زیرا شکل اغلب کلمات به معانی‌شان ارتباط ندارد. بالاخره اینکه، چنانچه کاوالی اسفورزا (Cavalli Sforza) و همکارانش نشان داده‌اند امکان دارد که تکامل نژادی زبانشناسی را با استفاده از داده‌های ژنتیکی مورد بررسی قرار دهیم. شاید امید بیش از حد باشد که آرزو کنیم که بتوانیم زبان *ur* یا اینکه لغات *ur* را بازسازی کنیم، اما پیشرفت‌های واقعی در شناخت ارتباط ژرفتر میان زبان‌ها در شرف انجام است.

این کار تکامل نژادی بر این فرض استوار است که همه انسانها توانایی مشترکی برای زبان دارند: زبان با تکامل فرهنگی مرتبط است نه تکامل زیست‌شناختی. از دید یک زیست‌شناس پرسش هیجان‌انگیزتر مربوط به خود منشاء توانایی زبانشناسانه است. مباحثه‌ای طولانی بین دو گروه در کار است. یکی آنهایی که به دنباله‌روی از اسکینر زبان را نمونه‌ای دیگر از فراگیری انسانی تلقی می‌کنند که در اثر تقویت‌هایی مناسب - یعنی تنبیه و مهمتر پاداش - حاصل گردیده‌اند؛ و دیگری پیروان چامسکی که می‌گویند توانایی فراگیری زبان امری ویژه است و صرفاً اثر جنبی رشد کلی در هوشمندی محسوب نمی‌شود. اینان بر این باورند که صحبت کردن مستلزم اکتساب ناآگاهانه‌ی قواعد دستوری پیچیده است که این امر از راهی که رفتارگرایان می‌گویند قابل فراگیری نمی‌باشد.

امروزه اکثراً پیروزی سمت چامسکی را پذیرفته‌اند. دو استدلال در این باره کارساز بوده‌اند. یکی اشاره به فقر درون داد (input) است که برای به حرف درآوردن یک کودک بسنده است. یک کودک جملات محدودی را می‌شنود ولی به زودی شمار زیادی را بر زبان می‌آورد و این نشان می‌دهد که وی قواعد ایجاد جملات درست را فرا گرفته است علیرغم اینکه والدین به ندرت اشتباهات کودک را اصلاح می‌کنند، استدلال دوم به ظرافت قواعد دستوری در زبان که باید آموخته شود، تکیه دارد. دو نسل از زبانشناسان و متخصصان رایانه‌ای هنوز نتوانسته‌اند مشکل ترجمه ماشینی را حل کنند. در حالی که یک کودک ۶ ساله به آسانی می‌تواند به دو زبان حرف بزند و یکی را به دیگری ترجمه کند. در زیر استدلال سوم و ژنتیکی که اعتقاد دارد انسان دارای شایستگی سرشتی و ویژه‌ای برای زبان است، ارایه می‌شود.

ابراز این مطلب که توانایی زبانی یک امر سرشتی و نهاده‌ی است آسان‌تر از این

است که بخواهیم این شایستگی را دقیقاً تعریف کنیم. به نظر می‌رسد تولید و درک سخن به دو توانایی وابسته است. نخست توانایی نمایاندن (ارایه) مفهوم مورد بیان در یک ساختار سلسله مراتبی در ذهن است: سازندهای این ساختار، عناصر یا آخشیج‌هایی‌اند که در جمله‌ی کامل به شکل عبارات اسمی، فعلی و امثال آن، نمایانده شده‌اند. دوم توانایی فراگیری قواعدی است که به وسیله‌ی آن این ساختار معانی به شکل دنباله‌ای خطی از اصوات - «روبنا»، در می‌آید. البته این قواعد در زبان‌های گوناگون فرق دارد. برای نمونه روابطی که در انگلیسی به وسیله ترتیب کلمات ادا می‌شود در لاتین با انتهای case endings ادا می‌شوند. احساس این فکر که از میان این دو توانمندی، نخستین آنها برای نقشی تشخیصی تکامل یافته، تا ایفای یک امر ارتباطی، خیلی اغوا کننده است. اندیشیدن نه تنها نیازمند توانایی تشکیل تصاویر در مغز، بلکه دستکاری با آنها نیز می‌باشد. فکر کردن در مورد این که «دو پلنگی که دیروز بالای درخت رفتند، یکی‌شان پایین آمده و یکی هنوز در درخت است»، حتی اگر نتوان آن را به زبان آورد، کاری سودمند خواهد بود. شاید در همین رابطه کودکان پیش از زبان باز کردن، می‌توانند چنین کارهای فکری انجام دهند. امکان دارد که یک زبان‌شناس به این پیشنهاد اعتراض کند. در واقع اغلب استدلال می‌شود که اندیشیدن تنها بر حسب کلمات قابل انجام است ولی این امر تردیدپذیر به نظر می‌رسد.

هنگام بازی شطرنج شاید بپرسیم «اگر PXB بازی کنم، حریف می‌تواند 3 N-B بازی کند و K و Q مرا تهدید کند: بنابراین نباید فیل را بردارم». اگرچه به خاطر ارتباط برقرار کردن، به ناچار این فکر را با کلمات بیان می‌داریم، خود فکر به شکل تصاویر ذهنی می‌باشد. اما در عین حال فکر جنبه دستور زبانی (گرامری) هم دارد چنانچه استفاده از کلماتی چون «اگر»، «در نتیجه» (یا سپس - then) و «بنابراین» (so) گویای این واقعیت است. به این معنی که انگار اسم‌ها و فعل‌ها با تصاویر مرئی جایگزین شده در حالی که دستور زبان به قوت خود باقی مانده است. در واقع دستور زبان این توانایی را ایجاد می‌کند که بتوان بر مفاهیم و تصاویر، عملیاتی منطقی پیاده کرد.

بنابراین پیشنهاد ما این است که توانایی تشکیل مفاهیم و دستکاری آنها به این دلیل پیدا شد و تکامل یافت که فکر کردن برای بقا کمک کرده و این امر مستقل از

اینکه فکر را بتوان به محاوره آورد، صورت گرفته است. البته این اندیشه را دیگران هم ابراز داشته‌اند، برای نمونه بیکرتن (Bickerton, ۱۹۹۰) که خود یک زبانشناس با گرایش تکاملی است، همین گونه استدلال می‌کند. اما مشکل می‌توان فهمید که چرا این توانایی دوم، یعنی تبدیل یک ساختار معنایی (semantic) به یک ساختار خطی از اصوات، به جز برای محاوره، مورد نیاز بوده است. چگونه این شایستگی پیدا شده و تکامل یافته است؟ پینکر و بلوم (Pincker & Bloom, ۱۹۹۰) استدلال کرده‌اند که شایستگی زبانی اندامی سازش یاب و پیچیده است و از این جنبه شبیه چشم مهره‌داران یا بال پرندگان می‌باشد و لذا می‌بایست از راه‌گزینش طبیعی تکامل یافته باشد. اگرچه این دانشمندان خود تأکید دارند که این امری بدیهی است، با این وجود لازم بود که چنین حرفی از زبان زبانشناسان درآید. مشکلی که به نظر می‌رسد بیشتر زبانشناسان در تصورشان از منشاء زبان با آن روبرو هستند، این است که پنداشتن یک واسطه سودمند، میان داشتن و نداشتن زبان، برای‌شان مشکل است. این مسئله اغلب به این شکل ابراز می‌شود: اگر یک قاعده دستوری - برای نمونه قاعده تبدیل یک عبارت به عبارت استفهامی - وجود نمی‌داشت مفاهیم مهمی قابل بیان نمی‌بودند. زیست‌شناسان تکامل‌گرا به گونه‌های دیگری با این ایراد آشنایی دارند. چقدر به ما گفته‌اند که چشم نمی‌توانسته از راه‌گزینش طبیعی تکامل یافته باشد زیرا چشمی که فاقد قسمتی (مثلاً مردمک) باشد نمی‌تواند کار کند؟ در مورد چشم، این ایراد را می‌توان پاسخ داد زیرا نمونه‌های زنده‌ای از اندام‌های حساس به نور با درجات متوسط و متفاوتی از پیچیدگی وجود دارند. در مورد زبان مشکل از آنجا برمی‌خیزد که چنین واسطه‌هایی وجود ندارد. کشف اینکه توانایی سرشتی (ذاتی) واقعاً چیست، بخودی خود به اندازه‌ی کافی مشکل است تا چه رسد به اینکه درباره مراحل واسطی که طی تکامل از آنها گذشته، بیاندیشیم.

خوشبختانه امکان دارد که حل این مشکل از راهی غیرمنتظره پیدا شود. گوپنیک (Gopnik, ۱۹۹۰ و همچنین Gopnik & Crago) خانواده‌ای انگلیسی زبان را شرح داده است که در میان‌شان یک ناتوانی زبانی ویژه مشترک است و از میان ۲۹ نفر عضو خانواده در سه نسل ۱۵ نفر به آن مبتلا هستند. این ناتوانی در برخی از افراد خانواده بروز می‌کند نه در همه‌ی آنها، بنابراین توجیه محیطی - یعنی اینکه کودکان دستوری حرف نمی‌زنند زیرا یکی از والدین نمی‌تواند - امکان‌پذیر

نیست. در واقع شرایط به گونه غالب غیرجنسی و شدیداً نفوذپذیر به ارث برده شده است. مشکلی است ویژه، هم از لحاظ سرشت نارسایی دستوری (که در زیر شرح داده می شود) و هم از لحاظ اینکه با هیچگونه اختلال مغزی، کری، نقص تحرکی، اختلال شخصیتی، وابستگی ندارد: به ویژه کودکان مبتلا از سایر لحاظ رشد فکری و مغزی طبیعی دارند.

گوپنیک (Gopnik) آزمون های متعددی را برای تشخیص شرایط به کار برده است، ولی بهترین راه نمایش سرشت آن نقل قول برخی جملاتی است که کودکان مبتلا نوشته اند (که ما برخی از آنها را اندکی کوتاه کرده ایم که امیدواریم معنایشان را تغییر نداده باشیم):

«او زمانی را که آن روز خودش را صدمه می زند بیاد دارد.»

«کارول در کلیساگریه است (is cry).»

«روز شنبه با مادر بزرگ و کارول به خانه مادر بزرگ (nanny house) بدون s مالکیت رفتم.»

در هر یک از جملات کودک فراموش کرده است که در شکل کلمه تغییر لازم را بوجود آورد: در جمله های اول و دوم باید گذشته ی فعل های صدمه زدن (صدمه زد) و گریه کردن (گریه کرد) و در جمله سوم s مالکیت به کار رفته باشد. کودکان مبتلا همین نوع مشکل را در مورد جمع ها دارند. کودکی می آموزد که تصویر یک کتاب یک «کتاب» است و تصویر چند کتاب «کتابها» است. سپس تصویر حیوانی مجازی به وی نشان داده می شود و گفته می شود که مثلاً این یک «نگ» است: اکنون اگر تصویر چندین «نگ» به وی نشان داده شود، نخواهد دانست که کلمه مناسب برای آن «نگها» است. بنابراین کودکان می توانند مثال های مشخصی را از مفرد و جمع و یا زمان ها را بیاموزند همانگونه که همه ما می بایست معانی لغت های خاصی چون «اسب» و «گاو» را یاد گیریم، اما تعمیم نمی دهند.

نقل زیر عدم تعمیم را به خوبی نمایان می کند.

کودکی در شرح آنچه در آخر هفته انجام داده، چنین نوشت:

«روز شنبه تلویزیون تماشا می کنم.»

درست است که این جمله از لحاظ دستوری در مورد آنچه که وی عادت دارد در شنبه ها انجام دهد صحیح است. اما آموزگار با این دید که جمله مزبور مربوط به کاری

است که دانش آموز در آخر هفته پیش انجام داده فعل جمله وی را به گذشته (یعنی تماشا کردم) تصحیح کرد. از اینرو در هفته بعد، دانش آموز نوشت: «روز شنبه خودم را می شویم و تلویزیون تماشا کردم و به رختخواب رفتم».

از این مطالب سه نکته روشن می شود: وی یاد گرفته که ماضی تماشا کردن، تماشا کردم می شود. ولی نتوانسته آن را به فعل شستن تعمیم دهد. قطعاً می داند که گذشته‌ی فعل رفتن می شود رفت: چون هر کار نکنیم این چیزی است که همه مان می بایست به عنوان واقعیتی یکتا، نه یک تعمیم، یاد بگیریم.

این مورد جالب، اشارات مهمی دربردارد. نخست اینکه، گرچه افراد مبتلا ناتوانی‌هایی دارند، بدون دستور کار نیستند: زیرا خیلی بهتر از آن اند که اصلاً نتوانند حرف بزنند. به عبارتی بینابین توانمند (لایق) و ناتوان قرار دارند. دوم اینکه ناتوانی تنها ویژه‌ی زبان است: هیچگونه عقب ماندگی ذهنی ندارند. این امر نظر چامسکی یعنی این که توانمندی زبانی صرفاً محصولی از هوشمندی عمومی نیست، را تأیید می کند. سوم اینکه این موضوع راهی را برای شناخت تکامل زبان فراروی ما قرار می دهد.

اگر، آن طور که به نظر می رسد، ناتوانی در نتیجه‌ی جهشی در یک ژن غیرجنسی باشد، این امکان وجود دارد که بتوان محلش را تعیین و خصوصیاتش را مورد شناسایی قرار داد. روشن نیست که اگر چنین شناسایی صورت گیرد چه عاید خواهد شد. اگر یک چنان ژنی باشد، قطعاً دیگرانی هم وجود خواهند داشت، که البته چنانچه جهش‌ها از نوع مغلوب و یا نفوذشان ناقص باشد، یافتن شان دشوارتر خواهد بود. می دانیم که ناتوانی ویژه زبان تنها به این خانواده محدود نمی شود. تامبلین (Tomblin) در یک مقاله مروری بسیار عالی و در دست انتشار به همه گیرشناسی آن پرداخته اما اشکالش این است که فرض گمراه کننده‌ای را مطرح می سازد که براساس آن ناتوانی ویژه‌ی زبان، یک موجودیت منفرد تلقی می شود. شایسته است به خاطر آوریم که تشخیص پنروز (Penrose, ۱۹۴۹) در مورد اینکه واژه‌ی «نارسایی ذهنی» (mental defect) برای پوشش جمعی از عوارض متمایز ژنتیکی به کار رفته، چه اندازه مهم است و می توان انتظار داشت که طی ده سال آینده احتمالاً شماری از کانون‌های ژنی که هر یک اثری متفاوت بر توانمندی زبانی دارند، کشف شوند. در این صورت اصلاً این‌ها چه چیزی در مورد ماهیت توانمندی زبانی بما خواهند

داد؟ شاید نبایستی خیلی خوشبین باشیم. بیش از پنجاه سال متخصصان ژنتیک گمان داشته‌اند که مطالعه ژن‌هایی که اثر خاصی بر رشد و کمال دارند، بهترین راه شناخت این پدیده می‌باشد. این تفکر تا اخیر برای موجه بودنش خیلی کمبود داشت. اما هم اکنون بررسی‌های انجام شده در مورد *Arabidopsis*, *Casenorhabditis*, *Drosophila* و موش خانگی بسیاری از ثمرات مورد انتظار را به ارمغان آورده است. شاید کالبدشکافی ژنتیکی دستور زبان خیلی دشوارتر باشد، بخشی بخاطر اینکه به روشنی نمی‌دانیم چه چیزی را سعی داریم توضیح دهیم، و بخشی به این علت که آزمایش‌هایی را روی مگس میوه می‌توان انجام داد که بر روی یک کودک امکان‌پذیر نیست. اما علیرغم این جنبه‌های احتیاطی و دورانی طولانی از عدم اعتماد متقابل، چشم‌انداز هیجان‌آوری از همکاری میان زبان‌شناسان و متخصصان ژنتیک پیش روی قرار دارد.

## مراجع

- Bickerton, D. (1990). *Language and Species*. Chicago: University of Chicago Press.
- Gopnik, M. (1990). Feature-blind grammar and dysphasia. *Nature* 344, 715.
- Gopnik, M. & Crago, M. B. (1991). Familial aggregation of a developmental language disorder. *Cognition* 39: 1-50.
- Osawa, S., Jukes, T. H., Watanabe, K. & Muto, A. (1992). Recent evidence for evolution of the genetic code. *Microbiological Reviews* 56, 229-264.
- Penrose, L. S. (1949). *The Biology of Mental Defect*. London: Sidgwick & Jackson.
- Pinker, S. & Bloom, P. (1990). Natural language and natural selection. *The Brain and Behavioural Sciences* 13, 707-784.
- Szathmáry, E. (1993). Coding coenzyme handles: a hypothesis for the origin of the genetic code. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 90, 9916-9920.
- Tomblin, J. B. (in preparation). Epidemiology of specific language impairment. In *Biological Aspects of Language*, ed. M. Gopnik. Oxford: Oxford University Press.
- Zaug, A. J. & Cech, T. R. (1986). The intervening sequence of tRNA of *Tetrahymena* is an enzyme. *Science* 231, 470-475.

## آر.ان.ا بدون پروتئین یا پروتئین بدون آر.ان.ا؟

### کریستیان دو دو

مؤسسه بین‌المللی آسیب‌شناسی یاخته‌ای و ملکولی، بروکسل و دانشگاه راکفلر، نیویورک

پاسخ پرسش مطرح شده در عنوان این نوشتار بستگی به این دارد که منظورمان از «پروتئین» چه باشد. اگر این واژه را به پلی‌پپتیدهایی محدود کنیم که از بیست اسید آمینه‌ی L متصل به تی.آر.ان.ا (tRNA) طبق یک توالی ام.آر.ان.ا (mRNA) بر روی ریبوزم‌ها بهم پنگانده می‌شوند (assemble)، در این صورت می‌توان با اطمینان گمان برد که در توسعه حیات، آر.ان.ا پیش از پروتئین بوده زیرا همه اجزای دستگاه پروتئین‌سازی را ملکول‌های آر.ان.ا تشکیل می‌دهند. این دیدگاهی است که هم اکنون الگوی عموماً پذیرفته‌ی «جهان آر.ان.ا» را در بر می‌گیرد (Crick، ۱۹۸۶، Gilbert، ۱۹۸۶). اما اگر تعریف فراگیرتر و در برگیرنده‌ی هرگونه پلی‌پپتیدی باشد، آنگاه شاید به احتمال زیاد پروتئین پیش از آر.ان.ا بوده باشد. زیرا که احتمالاً آمینواسیدها فراوان‌ترین مصالح پیدایش حیات (biogenic) در زمین پیش از حیات (prebiotic) بوده‌اند (Miller، ۱۹۹۲) و بسپارش (پلیمریزاسیون) خودبخودی آن‌ها، گرچه انجامش در محیط آبی به آسانی معقول نیست، دست کم آسانتر از خود پنگانی (self assembly) ملکول‌های آر.ان.ا می‌باشد. بیاییم نخست فقط پروتئین‌ها را مدنظر قرار دهیم. چگونه این ملکول‌ها بوجود آمده‌اند؟

بنابر منطقی‌ترین نظریه (Orgel, ۱۹۸۹ و de Duve, ۱۹۹۵ و ۱۹۹۱)، اندرکنش‌های ابتدایی بین اسیدهای آمینه و ملکول‌های آر.ان.اِ باعث پنگاندن پیشرونده ابزاری ابتدایی و مولد پپتید که بی‌اطلاعات است، می‌شود. تکامل واپسین آن شاهد توسعه و پیدایش ترجمه و رمز ژنتیکی می‌شود. این فرایند طولانی می‌بایست نخست توسط توانمندی همانند سازی /پایداری ملکول‌های آر.ان.اِ مربوطه انگیزش یافته باشد. زان پس همزمان با بهبود صحت ترجمه، خصوصیات واجد امتیازی که پپتیدهای ساخته شده داشتند، به‌طور فزاینده‌ای اهمیت پیدا کردند. تا اینکه سرانجام پپتیدها فرایند تکاملی را غالب آمدند. بی‌تردید، در میان این خواص، فعالیت‌های کاتالیتیکی نقش بسیار عمده‌ای داشتند. احتمال دارد که آنزیم‌های پلی‌پپتیدی نخست طی چنین فرایندی پدیدار گشته، براساس شدت توانایی‌شان در تسهیل (کاتالیز کردن) برخی واکنش شیمیایی‌گزینه‌ش یافته‌اند. یک چنین راهکارگزینشی پیامدهای جالبی را به همراه دارد.

فرض کنیم جهشی موجب ساخت آنزیمی بشود که تبدیل A به B را تسهیل می‌کند. روشن است که اگر A وجود نمی‌داشته بود چنین آنزیمی بدردی نمی‌خورد. همچنین اگر خروجگاهی (در رفتی) برای B وجود نمی‌داشت، آنزیم به کاری نمی‌آمد. با ادامه چنین استدلالی به هر آنزیمی که در نتیجه‌ی یک جهش ایجاد شده و طی‌گزینش بجا مانده، به این نتیجه می‌رسیم که خیلی از سوبستراها و محصولات این آنزیم‌ها می‌بایست از پیش در دنیای آر.ان.اِ وجود می‌داشته‌اند. به نظرم می‌رسد که این برهانی محکم در تأیید این مطلب (de Duve, ۱۹۹۵، ۱۹۹۳) است که پروتومتابولیسم -دسته واکنش‌هایی که باعث تشکیل و حمایت از دنیای آر.ان.اِ شدند- و متابولیسم -دسته واکنش‌های آنزیمی که حیات امروزی را بر پا دارند- می‌بایست هم‌سنخ باشند یعنی عمدتاً مسیره‌های مشابهی را طی کرده باشند.

این نتیجه‌گیری با پرسش اصلی که آر.ان.اِ چگونه از اول بوجود آمده مرتبط است. علیرغم تلاش‌های فراوان درباره این پرسش هنوز پاسخ شایسته‌ای به آن داده نشده است (Joyce, ۱۹۹۱). این امکان که رویدادی اتفاقی یا افت و خیزه‌هایی هر دمبیل به شکلی توانسته باشد از راه همانندسازی تداوم یافته



باشد، دور از تأمل است. در هسته‌ی پروتومتابولیسم با یک سلسله واکنش‌های قرص و محکمی سروکار داریم که زیربنای جهان آر.ان.ا، در تمامی مدتی که برای پیدایش متابولیسم تسهیل شده با آنزیم لازم بوده، را در برمی‌گیرد. بحث هم سنخی (congruence) می‌گوید که بایستی مسیرهای سنتز آر.ان.ا را با دقت بیشتری نگرست تا اینکه تشکیل پیش از حیات (prebiotic) این ماده اساسی را درک کنیم. این نگرش متضاد مفاهیم پذیرفته شده و متداولی است که معتقد است راهکارهای پیش از حیات (prebiotic) می‌بایست بسیار متفاوت از سازوکارهای متابولیکی کنونی باشد. اما گمان دارم که بحث هم سنخی را نمی‌توان به سادگی رد کرد.

مفهوم یک شیمی غیرزیستی (abiotic) و غیرمرتبط با زیست‌شیمی بر این اساس مبتنی است که سوخت و ساز به فعالیت‌های کاتالیتیکی آنزیم‌های پروتئینی وابسته است که امکان وجودشان در زمین پیش از حیات میسر نمی‌باشد. از اینرو شناسایی واکنش‌هایی که در غیاب کاتالیست‌ها و یا تنها به کمک مواد معدنی، امکان وقوع داشته، ضرورت پیدا می‌کند. بدیهی است که این امر تنها بر مراحل صدق می‌کند که شیمی غیرزیستی برای بوجود آوردن کاتالیست‌های خود نیاز داشته است. هیچ دلیلی نداریم که ریبوزیم‌ها نخستین آنزیم‌های زیست‌شناسانه بوده‌اند. در واقع احتمال اینکه کاتالیست‌های پپتیدی پیشتر از ریبوزیم‌ها بوجود آمده باشند کاملاً معقول و از لحاظ امکان شیمیایی محتملتر می‌باشد. افزون بر این طبق اصل هم سنخی، کاتالیست‌های پپتیدی به احتمال زیاد فعالیتشان شبیه آنزیم‌های کنونی بوده است.

کاتالیست‌های پپتیدی برخلاف ریبوزیم‌ها نمی‌توانسته‌اند همانندسازی کنند و دست کم چنانچه «اصل مرکزی» کریک (Crick) در ۴ میلیارد پیش نیز مصداق می‌داشت - در نتیجه در معرض گزینش از راه جهش‌زایی قرار نداشتند. البته چنین چیزی درباره هر کاتالیستی پیش از ریبوزیم‌ها مصداق دارد - مگر اینکه وجود کاتالیست‌های معدنی همانند ساز، متصور گردد (Cairns-Smith, ۱۹۸۲) - و با شرکت کاتالیست‌های پپتیدی در دوره پیش از سوخت و ساز (protometabolism) تضادی ندارد. آنچه لازم می‌باشد خزانه‌ای از پپتیدهای پایدار و تکثیرشونده‌ای است که حاوی همه کاتالیست‌های مورد نیاز باشد. شرایط پایداری و تکثیر

شوندگی توسط شرایط خاص محیطی پایدار قابل تامین بوده است. در خصوص شرط بسندگی کاتالیتیکی دلایل موجهی بر این گمان وجود دارد که پپتیدهای نسبتاً ساده، واجد فعالیت‌های کاتالیتیکی خواهند بود. پشتوانه‌های این فرض عبارتند از ساخت قالب‌بندی (modular) پروتئین‌ها و آنچه در مورد نخستین ژن‌ها و محصولاتشان گمان می‌رود. بنا بر گفته‌ی آيگن (Eigen) برای اینکه نخستین ژن‌های آر.ان.ای، بدون اینکه اطلاعاتشان را از دست بدهند، تکثیرشونده باشند نمی‌توانسته‌اند از ۷۰ تا ۱۰۰ نوکلئوتید بلندتر باشند (Eigen et al, ۱۹۸۱). یا به عبارتی نخستین محصولات ترجمه‌ی آنها، از جمله نخستین آنزیم‌هایی که فرضاً در آنها وجود داشته، نباید بیش از ۲۰ تا ۳۰ مانده‌ی اسید آمینه درازا داشته باشند.

در ارتباط با تشکیل پیش از حیات پپتیدها با مسئله‌ای روبرو هستیم که به‌طور کلی در همه واکنش‌های تراکمی پیش از حیات مواجهیم. در اصل دو راه حل در گشایش این مشکل در دست است. یا اینکه بنابه نظر سنتز حرارتی پروتئین‌واره‌های (protenoids) فاکس (Fox)، تراکم در غیاب آب صورت گرفته (Fox & Harada, ۱۹۵۸). یا اینکه عاملی تراکم‌کننده یا فعال‌کننده در دسترس بوده است. در این خصوص درگیری پیروفسفات و یا گونه‌ای پلی‌فسفات اغلب در نظر گرفته می‌شود، اما به نظرم تیواسترها ترجیح دارند (de Duve, ۱۹۹۱). پیوند تیواستر نقشی اساسی و به احتمال زیاد بسیار باستانی در متابولیسم انرژی دارد. افزون بر این حقیقتاً شماری از پپتیدهای باکتریایی در جهان امروز از تیواسترهای اسیدهای آمینه، سنتز می‌شوند (Kleinkauf & von Döhren, ۱۹۸۷). چنین واکنشی را می‌توان در غیاب کاتالیست و تحت شرایطی بسیار ساده تکرار کرد (Wieland, ۱۹۸۸).

حال سازوکار هر چه می‌خواهد باشد. اعتقاد دارم هم‌سنخی و دخالت کاتالیست‌های پپتیدی در دنیای پیش از آر.ان.ای بنیاد نظری استواری دارند. این موضوع را میتوان در مورد مخلوط‌های پپتیدی سنتزی هر دمبیل (random) به آزمایش گذاشت که در این صورت کاتالیست‌های آنزیم‌گونه‌ی آغازین در مخلوط قابل شناسایی خواهند بود.

- Cairns-Smith, A. G. (1982). *Genetic Takeover and the Mineral Origins of Life*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Crick, F. H. C. (1968). The origin of the genetic code. *Journal of Molecular Biology* 38, 367–379.
- de Duve, C. (1991). *Blueprint for a Cell*. Burlington, NC: Neil Patterson Publishers, Carolina Biological Supply Company.
- de Duve, C. (1993). The RNA world: before and after? *Gene* 135, 29–31.
- de Duve, C. (1995). *Vital Dust: Life as a Cosmic Imperative*. New York: Basic Books.
- Eigen, M., Gardiner, W., Schuster, P. & Winkler-Oswatitsch, R. (1981). The origin of genetic information. *Scientific American* 244, 88–118.
- Fox, S. W. & Harada, K. (1958). Thermal copolymerisation of amino acids in a product resembling protein. *Science* 128, 1214.
- Gilbert, W. (1986). The RNA world. *Nature* 319, 618.
- Joyce, G. F. (1991). The rise and fall of the RNA world. *New Biologist* 3, 399–407.
- Kleinkauf, H. & von Döhren, H. (1987). Biosynthesis of peptide antibiotics. *Annual Reviews of Microbiology* 41, 259–289.
- Miller, S. L. (1992). The prebiotic synthesis of organic compounds as a step toward the origin of life. In *Major Events in the History of Life*, ed. J. W. Schopf, pp. 1–28. Boston, MA: Jones and Bartlett.
- Orgel, L. E. (1989). The origin of polynucleotide-directed protein synthesis. *Journal of Molecular Evolution* 29, 465–474.
- Wieland, T. (1988). Sulfur in biomimetic peptide synthesis. In *The Roots of Modern Biochemistry*, eds. H. Kleinkauf, H. von Döhren & L. Jaenicke, pp. 213–221. Berlin: Walter de Gruyter.



## حیات چیست؟ آیا شرودینگر درست می‌گفت؟

استوارت! کاوفمن    انستیتو سنتافه - نیومکزیک

نیم قرن پیش در شهر دابلین یکی از شخصیت‌های عمده علم در قرن کنونی دیداری داشت و سخنرانی‌هایی کرد و راجع به آینده علمی پیش‌گویی‌هایی کرد که در تخصصش نبود. کتاب حاصل از آنها یعنی **حیات چیست؟** این افتخار را یافته که عده‌ای از درخشان‌ترین اندیشمندان را که تاکنون به این علم آمده‌اند، ترغیب به اشتغال در آن نماید و بدینوسیله زیست‌شناسی ملکولی بوجود آید\* (Schrödinger, ۱۹۴۴). این کتاب کوچک شرودینگر خود به اندازه‌ای که شهرت یافته درخشان است، اما اکنون در زمانی که مشغول بزرگداشت پنجاهمین سال آن هستیم شاید جرأت کرده یک پرسش اساسی و تازه‌ای را مطرح کنیم: آیا تزی اصلی این کتاب درست است یا نه؟ با این کار قصد آن را ندارم که به اندیشمند بزرگی چون شرودینگر و یا کسانی که به وسیله وی ترغیب شده‌اند بی‌احترامی کرده بگویم آنها راه خطا یا دست کم ناقص رفته‌اند. بلکه البته من هم مانند همه‌ی دانشمندان تحت تاثیر افکار وی بوده‌ام و مشتاقانه در جستجوییم و تکاپو می‌کنم.

---

\* خوانندگانی که شرح مفصل این داستان را علاقه دارند به کتاب بسیار شیرین و آموزنده‌ی *Discovering Molecular Genetics* نوشته Jeffrey H. Miller، ناشر Cold Spring Harbor (1996) مراجعه نمایند. م

حتی در مورد پرسش‌هایی که می‌خواهم عنوان کنم تردید دارم زیرا به خوبی آگاهی دارم که تا چه ژرفایی پاسخ‌های خود شرودینگر در دیدگاه‌هایمان راجع به حیات، پس از داروین و وایزمن (Weismann)، و پس از پیدایش نظریه germ plasma - که ژن را شکل پایدار و لازم و واجد تنوع توارثی تلقی می‌کند - ریشه دارد: پاسخ شرودینگر این بود: «نظم از نظم». جامدهای بی‌تناوب و رمز خُرد (که رمز microcode) که شرودینگر از آنها سخن می‌گفت امروز به شکل دی.ان.اِ.و. رمز ژنتیک درآمده‌اند. تقریباً همه‌ی زیست‌شناسان قانع شده‌اند که چنان ساختارهای ملکولی همانند ساز و چنان «خُرد رمزهایی» در حیات نقش اساسی دارند.

اما من اعتراف دارم که به کلی قانع نشده‌ام. در دل موضوع بحث اصلی بر سر این است که تا چه اندازه منشاء نظم در زیست‌شناسی در ساختارهای پایدار و پیوندی ملکول‌ها واقع است که ادعای شرودینگر بود و یا به پویایی جمعی منظومه‌ای از چنین ملکول‌ها وابسته است. شرودینگر به درستی بر نقش تعیین‌کننده‌ی مکانیک کوانتایی، پایداری ملکولی، و احتمال اینکه یک خُرد رمز هدایتگر رشد و کمال فردی (ontogeny) باشد، تأکید داشت. من بر عکس گمان دارم که منشأ نهایی تولید مثل و پایداری که لازمه تنوع توارثی و رشد و تکامل می‌باشد، اگرچه مستلزم پایداری ملکول‌های آلی است، همچنین نیازمند خصوصیات نظام یافته‌ی برخاسته از رفتار دسته‌جمعی (collective) نظام‌های واکنش شیمیایی پیچیده و ناعادلی، می‌باشد. عقیده دارم چنان نظام‌های واکنشی پیچیده می‌توانند به خودی خود از یک آستانه و یا تبدیل فاز بگذرند، که در ورای آن می‌توانند به عنوان مجموعه (collective) تولید مثل کرده، تکامل یابند و رفتارهای پویانده‌ی شدیداً منظمی را بروز دهند. به عبارتی سرچشمه‌ی نهایی نظم لازم برای پیدایش حیات و تکامل، شاید ریشه در اصول تازه‌ی رفتار برخاسته از جمع در نظام‌های واکنشی دور از تعادل داشته باشد.

خلاصه اینکه آنچه از مطالب دنباله برمی‌آید نشان می‌دهد که: گرچه فهم شرودینگر درباره حیات کنونی درست بود، گمان دارم که از دیدگاهی ژرفتر، ناقص محسوب می‌شود. تشکیل جامدهای بی‌تناوب که خُرد رمزی را با خود دارند، نظم از نظم، شاید نه شرط لازم و نه شرط کافی برای پیدایش و تکامل حیات باشد. در مقابل، برخی از پویایی‌های جمعی و پایدار هم برای حیات لازم و هم کافی می‌باشند.

در اینجا تاکید می‌ورزم که این موضوعات را برای بحث ارائه می‌دارم، نه به عنوان حقایق اثبات شده.

## استدلال شرودینگر

شرودینگر بحث خویش را با تاکید بر نظم میکروسکوپی که بیشتر فیزیکدانان عصر خود و پیش از آن به آن پابند بودند، آغاز می‌کند و می‌گوید چنان‌که نظمی عبارت است از میانگین مجموعه‌های بیشماری از اتم‌ها و ملکول‌ها، و مکانیک آماری چارچوب فکری خوبی برای چنین تحلیلی است. فشار یک گاز محصور در یک حجم، میانگین رفتار شمار بسیار زیادی ملکول است که با دیواره‌ها برخورد می‌کنند و برمی‌گردند. رفتار منظم، یک میانگین است، و نه ناشی از رفتار ملکول‌های منفرد.

اما چه چیز عامل نظم در موجود زنده، به ویژه برای جهش‌های کمیاب و تغییر وراثتی است؟ سپس شرودینگر داده‌های زمان خویش را برای تخمین شمار اتم‌هایی که ممکن است در یک ژن باشند به کار می‌برد و به درستی نتیجه می‌گیرد که این تعداد نمی‌تواند از چند هزار بیشتر باشد. وی می‌گوید که چون شمار اتم‌ها برای دستیابی به رفتاری موثق بسنده نمی‌کند، نظم ناشی از میانگین آماری مصداق ندارد. (در دستگاه‌های آماری اندازه منتظره‌ی افت و خیزها (fluctuations) باریشه‌ی دوم شمار رخدادها رابطه عکس دارد. برای نمونه در ده بار شیر و خط کردن با یک سکه میزان، داشتن ۸۰٪ شیر، تعجب‌آور نیست. اما اگر ضمن ده هزار مرتبه پرتاب سکه ۸۰٪ شیر بیاید باور نکردنی خواهد بود. شرودینگر می‌گوید ضمن یک میلیون تکرار، افت و خیزهای آماری به حد  $0.001$  می‌رسد که باز هم برای نظم مشهود در یک موجود زنده قابل اعتبار نیست.)

شرودینگر می‌گوید که مکانیک کوانتایی به نجات حیات می‌آید. مکانیک کوانتایی تضمین می‌کند که جامدها ساختارهای ملکولی منظم و سختی را داشته باشند که ساده‌ترینش یک بلور است. اما بلورها ساختار کسل‌کننده‌ای دارند. اتم‌ها در شبکه‌ای منظم در سه بُعد آرایش یافته‌اند. اگر موقعیت اتم‌ها در کمترین ساختار یعنی «بلور واحد» (unit crystal) را بدانیم می‌توان گفت همه سایر اتم‌ها در کجای تمامی بلور قرار دارند. البته این یک گزاره است زیرا ممکن است نقایص پیچیده‌ای در بلور باشد اما به هر حال مطلب روشن است. بلورها ساختاری بسیار منظم دارند و

در نتیجه بخش‌های متفاوت بلور از برخی لحاظ گویای یک چیز هستند. و اندکی پس از این شرو دینگر اندیشه‌ی «گفتن» را به «رمزگذاری» (encoding) تبدیل می‌کند. با چنین گام بزرگ یا جهشی، یک بلور نمی‌تواند اطلاعات زیادی را رمزگذاری کند. همه اطلاعات در «سلول واحد» بلور (unit cell) نهفته است.

اگر جامدهایی نظم لازم را داشته باشند شرو دینگر جامدهای غیرتناوبی (aperiodic) را بر می‌گزیند زیرا جامدهای تناوبی مثل بلورها نظم‌شان خیلی زیاد است. وی شرط می‌بندد که ماده‌ی ژن‌ها نوعی بلور بی‌تناوب است. شکل این بی‌تناوبی، گونه‌ای از که‌رمز (رمزخرد - microscopic) را در بردارد که به نحوی رشد و کمال موجود زنده را تحت مهار دارد. سرشت کوانتومی جامد بی‌تناوب به این معنی است که تغییراتی کوچک و گسسته (ناپیوسته)، یعنی جهش‌ها، رخ می‌دهند. اعمال‌گزینش طبیعی بر این تغییرات گسسته و کوچک موجب انتخاب برخی جهش‌های مساعد، آنطور که داروین انتظار داشت، می‌شود.

شرو دینگر راست می‌گفت و کتابش شایستگی اشتهار زیاد را داشته است. ما پنجاه سال پس از آن، ساختار دی.ان.ا را می‌دانیم و در واقع رمزی وجود دارد که از دی.ان.ا به آر.ان.ا و سپس به ساختار اولیه پروتئین‌ها می‌انجامد. چنین دستاوردی برای هر دانشمندی شایسته تحسین به شمار می‌آید، چه رسد به اینکه یک فیزیکدان از بالای دیواری نگاهی به زیست‌شناسی انداخته باشد.

اما آیا بصیرت شرو دینگر لازم و یا کافی بوده است؟ آیا نظمی که در دی.ان.ا بی‌تناوب فراهم آمده برای تکامل حیات و یا نظم پویایی که در حیات کنونی یافت شده، لازم یا کافی است؟ به گمان من هیچکدام. شاید سرچشمه‌های نهایی نظم مستلزم نظم ناپیوسته پیوندهای پایدار شیمیایی باشد، که این خود از مکانیک کوانتومی مشتق می‌شود، اما در جای دیگری قرار دارد. سرچشمه‌های غایی نظم و تولید مثل، شاید برخاسته از پویندگی منظم دسته جمعی در نظام‌های واکنش شیمیایی پیچیده باشد.

بخش عمده‌ی این فصل از دو قسمت تشکیل یافته است. نخست آن به شکلی کوتاه به این احتمال اختصاص دارد که پیدایش خود حیات بر خواص همانندسازی قالبی (template replication) دی.ان.ا مبتنی نیست، بلکه به انتقال فازی به مجموعه‌ای از ملکول‌های خود کاتالیز در یک دستگاه ترمودینامیکی باز، متکی

می‌باشد. قسمت دوم پیدایش نظم پوینده‌ی جمعی در شبکه‌هایی از عناصر را بررسی می‌کند که فراوری موازی و پیچیده دارند. این عناصر می‌توانند ژن‌هایی باشند که متقابلاً فعالیت‌شان را تنظیم می‌کنند و یا اینکه کاتالیست‌هایی پلیمری در یک مجموعه خود کاتالیز باشند. چنین شبکه‌هایی از لحاظ ترمودینامیکی بازاند و قلب سرچشمه نظم پوینده‌ای که بروز می‌دهند در شیوه‌ای نهفته است که مسیرهای پویندگی در فضاهاى فاز آن دستگاه، به سمت جاذب‌های کوچک همگرایی دارند.

چونکه می‌خواهم بگویم همگرایی به سوی جاذب‌های کوچک در یک دستگاه ترمودینامیکی باز، سرچشمه‌ی عمده‌ی نظم در موجود زنده است، می‌خواهم این مقدمه را با ارائه پیشینه‌ی بحث شرویدینگر در مورد قوانین آماری پایان بخشم.

نکته‌ی اصلی ساده است: در دستگاه‌های ترمودینامیکی بسته در فضای فاز مناسب، هیچگونه همگرایی وجود ندارد. خصلت قوانین آماری حاصل از آن، نبودن چنین همگرایی را نمایان می‌سازد. اما در برخی از دستگاه‌های ترمودینامیکی باز، در جریان پوینده دستگاه در فضای حالت آن، همگرایی شدیدی می‌تواند وجود داشته باشد. چنین همگرایی می‌تواند نظمی را با چنان سرعتی پدیدار کند که جبران افت و خیزهای همیشگی ترمودینامیکی را بنماید.

تمایز تعیین‌کننده بین یک دستگاه بسته‌ی در حال تعادل با دستگاهی باز که از تعادل منحرف شده این است: در دستگاه بسته هیچگونه اطلاعاتی صادر نمی‌شود. رفتار چنین دستگاهی در نهایت بازگشتی است و به این خاطر حجم‌های فاز محفوظ (پایسته) می‌ماند. در دستگاه باز به محیط اطلاعات صادر می‌شود و رفتار زیردستگاه (subsystem) مورد نظر، بازگشت‌پذیر نیست و به این دلیل حجم فاز زیردستگاه می‌تواند کاهش یابد. من فیزیکدان نیستم اما خواهم کوشید تا موضوعات را به سادگی و امیدوارم به درستی ارایه کنم.

گازی را در جعبه‌ای محصور تصور کنید که از لحاظ تبادل ماده و انرژی بسته است. احتمال هرگونه آرایش میکروسکوپی ممکن از ملکولهای گاز با احتمال هر آرایش ممکن دیگر برابر است. حرکت مولکول‌ها تحت قوانین نیوتون صورت می‌گیرد. از این رو حرکتشان از لحاظ میکروسکوپی بازگشت‌پذیر است و انرژی کل



دستگاه محفوظ (پایسته) می‌ماند. هنگامی که ملکولها بهم می‌خورند انرژی مبادله می‌شود اما از دست نمی‌رود. طبق «فرضیه‌ی *ergodic*» (همگرایی میانگین‌ها)، که انگار نوعی ایمان کارآمد می‌باشد، توأم با برخورد ملکول‌ها، کل دستگاه همگی حالت‌های خرد (*microstates*) ممکن را در طول زمان به یک اندازه، دیدار می‌کند. در نتیجه احتمال بودن دستگاه در هر حالت کلان (*macrostate*) دقیقاً برابر عدد کسری حالات خردی است که با آن حالت کلان تطابق دارد.

بنابر قضیه لیوویل (*Liouville*) حجم‌های فضای فاز در جریان یک دستگاه تعادلی محفوظ می‌ماند. برای دستگاهی مرکب از  $N$  ملکول گاز، وضعیت کنونی فضایی و اندازه حرکت هر ملکول در فضای سه بعدی را می‌توان با شش عدد نمایش داد. در یک فضای فاز  $6N$  بعدی، وضعیت کنونی تمامی حجم گاز را می‌توان با یک نقطه نمایش داد. اگر مجموعه‌ای از حالت‌های اولیه‌ی تقریباً مساوی در جعبه‌ای گاز را در نظر بگیریم نقاط متناظر آنها حجمی را در فضا اشغال خواهد کرد. بنابر نظریه لیوویل همزمان با برخورد ملکول‌ها در هر نسخه از جعبه‌ی گاز، فضای متناظر نیز در فضای فاز، حرکت کرده، تغییر شکل یافته و در فضای فاز پخش خواهد شد. اما حجم کل در فضای فاز ثابت خواهد ماند. یعنی هیچ همگرایی در جریان در فضای فاز وجود ندارد. از آنجا که حجم فاز ثابت است، طبق نظریه همگرایی میانگین‌ها، احتمالات حالت‌های کلان دقیقاً متناسب با تعداد نسبی حالت‌های خرد موجود در هر حالت کلان است، که نسبت به شمار کل حالت‌های خرد، نرمالیزه شده است.

حال فرض کنید که به جای این، جریان دستگاه در فضای فاز اجازه دهد که حجم فاز آغازین به‌طور پیش‌رونده‌ای به سمت یک نقطه یا یک حجم کوچک کاهش پیدا کند. در این صورت رفتار خودبخودی دستگاه سبب جریان دستگاه به آرایشی یکتا و یا شمار کمی از آرایش‌ها، خواهد شد. یعنی نظم پدیدار خواهد شد! روشن است که چنین همگرایی نمی‌تواند در دستگاه ترمودینامیکی بسته و در حال تعادل پدیدار شود. زیرا اگر چنین می‌شد، آنتروپی کل دستگاه به جای اینکه افزایش یابد، کاهش می‌یافت.

چنین نظمی می‌تواند پدیدار شود. به روشنی شرط لازم چنین نظمی این است که دستگاه از لحاظ ترمودینامیکی نسبت به تبادل ماده و انرژی باز باشد. این تبادل اجازه می‌دهد اطلاعات از دستگاه به محیط داده شود. فیزیکدان لابد می‌گوید

«درجات آزادی» - یعنی شیوه‌های متنوع حرکت و برهمکنش مولکولها - در حمام گرمایی محیط از دست رفته است.

پس آن گونه از نظم که جستجو می‌کنیم فقط در دستگاه‌های ترمودینامیک غیرتعادلی می‌تواند پدید آید. پریگوزین (Prigogine) این گونه دستگاه‌ها را ساختارهای فرسایشگر dissipative (فرساینده‌ی انرژی مفید - م) نامیده است. امروزه پدیده‌هایی از اینگونه چون امواج گردابی، واکنش ژابوتینسکی (Zhabotinsky)، یاخته‌های بنارد (Bernard) - پیدایش خانه‌های کوچک و منظم به هنگام گرمایش آبگونه‌ها در ته ظرف - م) موضوعاتی آشنا هستند.

اما باید یادآور شد که گرچه فاصله داشتن از تعادل به خودی خود به تنهایی لازم است، کافی نیست. پروانه افسانه‌ای شهر ریودوژانیرو که بال‌هایش موجب بی‌نظمی در آب و هوا می‌شود به خیلی شکل‌های گوناگون در دستگاه‌های شیمیایی پیچیده‌ی ناتعادلی که خود دچار هبای می‌شوند، قابل تکرار است و این پیدایش بی‌نظمی مانع پیدایش و تکامل حیات محسوب می‌شود. در بخش سوم این فصل به پیدایش رفتار جمعاً پوینده‌ی منظم در دستگاه‌های باز ناتعادلی باز می‌پردازم.

### سرچشمه حیات به عنوان یک تبدیل فاز

امروزه جامدهای بی‌تناوبی را که شرودینگر در موردشان می‌اندیشید، شناخته شده‌اند. از زمانی که واتسن و کریک با خشوعی نامطمئن، گفتند که ساختار مکملی مارپیچ مضاعف دی.ان.ا. از پیش گویای الگوی همانندسازی آن است، تقریباً همه زیست‌شناسان به این گرایش پیوسته‌اند که مکملیت قالب‌گونه (template complementarity) شرط لازم برای پیدایش دستگاه‌های ملکولی سازنده همانند خود می‌باشد. در حال حاضر نامزدهای مطلوب برای چنین کاری عبارتند از ملکول‌های آر.ان.ا. یا برخی پلیمرهای مشابه آن. امید اینست که چنین پلیمرهایی بتوانند به عنوان قالبی برای تکثیر خودشان در غیاب هرگونه کاتالیست خارجی عمل کنند.

تاکنون تلاش‌ها در تکثیر توالی‌های آر.ان.ا. در غیاب آنزیم‌ها با موفقیتی محدود روبرو بوده است. لیزلی آرگل (Orgel) یکی از سخنرانان کنفرانس کالج تثلیث در دابلین که شیمیدان آلی برجسته‌ای می‌باشند بسیار کوشیده است تا به چنین

تکثیرهای ملکولی دست یابد (Orgel, ۱۹۸۷) و ایشان بهتر از من می‌توانند سختی‌های اینکار را خاطر نشان شوند. کوتاه سخن اینکه مشکل‌های کار فراوانند. سنتز غیرزیستی نوکلئوتیدها به سختی انجام می‌شود زیرا چنین نوکلئوتیدهایی متمایل به پیوستن به هم از راه پیوندهای ۲' - ۵' می‌باشند نه از پیوندهای ۳' - ۵'. هدف اینست که یک توالی دلخواه از چهار باز طبیعی آر.ان.ا. پیدا کرد تا از آن به عنوان قالبی برای ردیف کردن چهار باز مکمل از راه جفت شدن توسط پیوند هیدروژنی استفاده کرد به نحوی که نوکلئوتیدها به شکل مناسب یعنی استقرار پیوندها به طریق ۳' - ۵' ردیف شوند و زان پس با ذوب کردن آنها از هم جدا شده، چرخه تکرار شود. تاکنون چنین چیزی انجام نشده است. دلایل شیمیایی خوبی بیانگر وجود این مشکلات اند. برای نمونه، رشته‌ای که C در آن بیش از G است طبق انتظار رشته دومی را به وجود خواهد آورد اما این رشته‌ی تازه که برخلاف نخستین رشته G بیشتری دارد، تمایل تشکیل پیوندهای G-G زیادتری دارد که این موجب تا شدن ملکول به شکل‌هایی می‌شود که مانع از شرکت آن به عنوان قالبی جدید برای سنتز می‌گردد.

با کشف ریبوزیم‌ها و پیدایش فرضیه یک جهان آر.ان.ا. امید تازه و جالب این است که یک ملکول آر.ان.ا. می‌تواند نقش یک پلیمراز بازی کند و نسخه‌ای از خود یا هر ملکول آر.ان.ا. دیگری را به وجود آورد. جک شوستاک (Szostak) از دانشکده پزشکی هاروارد می‌کوشد که چنین پلیمرازی را از ابتدا سنتز کند. اگر وی پیروز شود یک قدرت نمایی خواهد بود. اما گمان ندارم که چنین ملکولی پاسخی برای پیدایش حیات در برداشته باشد. زیرا به عنوان «نخستین ملکول زنده» ساختار کمیابی برای سنتز اتفاقی به شمار می‌آید. حتی اگر تشکیل هم شده باشد، قانع نیستم که بتواند تکامل یابد، زیرا چنین ملکولی مانند هر آنزیم دیگری هنگام همانند سازیش دچار خطاهایی می‌شود و نسخه‌های جهش یافته‌ای از آن به وجود می‌آید که این‌ها با ریبوزیم پلیمراز اولیه (نوع وحشی Wild type) در تکثیر پلیمراز رقابت خواهند کرد و خطاپذیری‌شان بیشتر خواهد بود. در نتیجه پلیمرازهای آر.ان.ا.ی جهش یافته تمایل به ساخت توالی‌های آر.ان.ا. پلیمراز هرچه بدتر جهش یافته خواهند داشت. به این ترتیب یک «فروپاشی لجام گسیخته»، از نوعی که نخستین بار توسط آرگل در مورد رمزگذاری و ترجمه‌ی آن پیشنهاد داشته، پیش می‌آید. نمی‌دانم که چنین

فروپاشی به وقوع خواهد پیوست، اما به هر حال گمان دارم این مشکل شایان توجه و تحلیل می‌باشد.

هنگامی که آدم زیبایی تقارن مارپیچ دورشته‌ای دی.ان.ا.و یا آر.ان.ا. مورد مذاقه قرار می‌دهد چاره‌ای جز پذیرش زیبایی نظریه مربوطه ندارد. مسلماً نخستین ملکول‌های زنده چنین ساختارهایی بودند. اما آیا حقیقتاً چنین است؟ یا اینکه شاید ریشه‌ی حیات ژرف‌تر از اینها باشد. در ادامه، چنین احتمالی را دنبال می‌کنم.

ساده‌ترین موجود زنده‌ی آزاد، میکوپلازما (mycoplasma) هستند. این اشکال مشتق شده از باکتری‌ها حدود ۶۰۰ ژن دارند که از طریق راهکارهای متداول رمزگذارنده‌ی پروتئین‌ها هستند. میکوپلازماها غشاء دارند اما فاقد دیواره یاخته‌ای باکتری‌ها هستند. برای نمونه اینها در محیط‌های بسیار غنی چون ریه‌های گوسفند یا انسان میزیند زیرا در آنجا نیازشان به انواع بسیاری از ملکولهای بیرونی کوچک مرتفع می‌شود.

چرا ساده‌ترین موجود زنده‌ی آزاد مجهز به ۶۰۰ گونه پلیمر، و سوخت‌سازی با شاید ۱۰۰۰ ملکول کوچک باشد؟ و بالاخره چگونه میکوپلازما تولید مثل می‌کند؟ بگذارید نخست به پرسش دوم بپردازیم زیرا پاسخش ساده و حیاتی است. میکوپلازما از راه نوعی خودکاتالیزی جمعی تولید مثل می‌کند. هیچ‌گونه‌ی ملکولی در درون میکوپلازما واقعاً همانند خود را نمی‌سازد. این نکته را می‌دانیم اما آن را نادیده می‌گیریم. دی.ان.ا.ی. میکوپلازما در نتیجه‌ی فعالیت هماهنگ‌شماری از آنزیم‌های یاخته‌ها همانند سازی می‌شود. این آنزیم‌ها به نوبه‌ی خود از توالی‌های آر.ان.ا.ی. پیک (mRNA) متعارف بوجود می‌آیند. اینها هم به نوبه‌ی خود از طریق توالی‌های پیام‌آور استاندارد آر.ان.ا. ساخته می‌شوند. چنان که می‌دانیم ترجمه‌ی رمز از آر.ان.ا. به پروتئین تنها به کمک پروتئین‌های رمزگذاری شده انجام می‌شود - یعنی آمینواسید سنتتازهایی که هر یک از آر.ان.ا.های ناقل (t RNA) را به گونه‌ای مناسب بار می‌کنند تا پس آنگاه توسط ریبوزیم برای پروتئین سازی به کار روند. ملکولهای غشاء یاخته به وسیله‌ی کاتالیز از واسطه‌های سوخت و ساز حاصل می‌شوند. همه‌مان با قضیه‌ی آشنایی داریم. هیچ ملکولی در میکوپلازما همانند خود را نمی‌سازد. دستگاه به طور کلی خودکاتالیتیک جمعی است. هرگونه‌ی ملکولی

ساختنش توسط برخی گونه‌های ملکولی موجود در دستگاه کاتالیز می‌شود، در غیر اینصورت به عنوان «غذا» از بیرون تأمین می‌شود.

اگر میکوپلاسم خودکاتالیتیکِ جمعی است، سایر یاخته‌های زنده‌ی آزاد نیز چنین خواهد بود. در واقع در هیچ یاخته‌ای یک ملکول همانند خود را نمی‌سازد. اکنون بپرسیم چرا کمترین پیچیدگی یافته شده در یاخته‌های زنده، حدود ۶۰۰ پلیمر پروتئینی و نزدیک ۱۰۰۰ ملکول کوچک موجود می‌باشد. پاسخی نداریم. بگذارید بپرسیم چرا بایستی تحت نظریه‌ای که می‌گوید توالی‌های تک رشته‌ای آر.ان.امی توانند به عنوان قالب عمل کنند و بدون سایر آنزیم‌ها همانند سازی کنند، باز هم باید یک پیچیدگی حداقل در کار باشد. این نظریه نمی‌تواند پاسخ ژرفی به این پرسش که چرا یک پیچیدگی کمینه در همه‌ی موجودات زنده دیده می‌شود، ارائه نماید. تنها سادگیِ ژن همانند سازِ «برهنه» است که این نظریه آشنا را شایسته بما معرفی می‌کند. تنها پاسخ ما اینست که بعد از ۳/۴۵ میلیارد سال، ساده‌ترین یاخته زنده‌ی آزاد، پیچیدگی میکوپلاسم را دارا شد. هیچ توجیه ژرفی نداریم. به عبارتی اینهم یک نوع «دیگر اینجوری» تکاملی دیگر است.

حال در زیر به‌طور خلاصه بدنه‌ی کاری را که خود به تنهایی و یا با همکارانم طی هشت سال گذشته انجام داده‌ایم، خدمتتان ارائه می‌کنم: (Kaufman, ۱۹۹۳, ۱۹۸۶, ۱۹۷۱, Farmer et al., ۱۹۸۶, Bagley, ۱۹۹۱, Bagely et al., ۱۹۹۲). اندیشه‌های مشابهی نیز مستقلاً توسط Rossler (۱۹۷۱), Eigen (۱۹۷۱) و Cohen (۱۹۸۸) پیش آورده شده است. مفهوم اساسی عبارت از اینست که در دستگاه‌های واکنش شیمیایی بسنده پیچیده، از یک تنوع بحرانی در مورد گونه‌های ملکولی، گذرمی‌شود. در ورای آن تنوع، احتمال وجود یک زیردستگاه (subsystem) که جمعاً خود کاتالیتیک باشد، به ۱/۰ می‌رسد.

مفهوم اساسی ساده است. فضایی از پلیمرها شامل منومر، دیمر، تریمر و غیره را در نظر آورید. به‌طور مشخص این پلیمرها می‌توانند توالی‌های آر.ان.ام، پپتیدها و یاهر گونه شکل‌های پلیمری دیگر باشند. بعدها این محدودیت پلیمر بودن را بر می‌داریم و بحث را شامل دستگاه‌های ملکول‌های آلی می‌کنیم.

فرض کنید حداکثر طول پلیمری که در باره‌اش می‌اندیشیم M باشد و می‌گذاریم زیاد شود. پلیمرها را از منومر گرفته تا پلیمرهای با طول M می‌شماریم. به آسانی

می‌توان دید که شمار پلیمرهای دستگاه یک تابع نمایی از  $M$  است. بنابراین در مورد  $20$  نوع اسید آمینه، کل تنوع پلیمرها تا طول  $M$ ، اندکی بیش از  $20^M$  است. در مورد توالی‌های آر.ان.ا، تنوع کل اندکی بیش از  $4^M$  است.

اکنون تمامی واکنش‌های شکستن و بندزدن در یک مجموعه از پلیمر تا طول  $M$  را مورد توجه قرار می‌دهیم. روشن است که یک پلیمر آراسته (oriented) مانند یک پپتید یا توالی آر.ان.ا بطول  $M$  را می‌توان به  $M-1$  راه از توالی‌های کوچکتر بوجود آورد. چونکه هر پیوند درون پلیمر با طول  $M$ ، جایی است که می‌توان قطعه‌ای کوتاه‌تر را پیوند زد. بنابراین در دستگاه پلیمرها تا طول  $M$ ، شمار نمایی پلیمرها بسیار است، اما واکنش‌های شکست و بندی که این پلیمرها را به هم تبدیل می‌کند، بیشتر است. در واقع همزمان با افزایش  $M$ ، نسبت واکنش‌های شکست و بند بازاء هر پلیمر، به‌طور خطی با مقدار  $M$  افزایش می‌یابد.

یک نمودار واکنش (reaction graph) برای مجموعه‌ای از پلیمرها تعریف می‌کنیم. به‌طور کلی می‌توان واکنش‌های یک سوبسترا - یک محصول، واکنش‌های یک سوبسترا - دو محصول، واکنش‌های دو سوبسترا - دو محصول را در نظر بگیریم. واکنش‌های ترانس پپتیداسیون و ترانس استریفیکاسیون از جمله‌ی واکنش‌های دو سوبسترا - در مورد پپتیدها یا توالی‌های آر.ان.ا می‌باشد. یک نمودار واکنش شامل مجموعه‌ای از سوبسترا و محصول است که می‌توان به شکل نقاط یا گره‌هایی (nodes) که در فضای سه بعدی پراکنده‌اند، تصور نمود. افزون بر این هر واکنش را می‌توان با یک «جعبه واکنش» مدور کوچک نمایش داد. فلش‌هایی از سوبسترا(ها) به سمت جعبه می‌روند و فلش‌هایی از جعبه به سمت محصول(ها) می‌روند. از آنجا که همه واکنش‌ها واقعاً دست کم به‌طور خفیف بازگشت پذیراند، فلش‌ها تنها برای نشان دادن ملکول‌های سوبسترا و محصول در یکی از جهت‌هایی که واکنش صورت می‌گیرد، سودمند می‌باشد. نمودار واکنش متشکل از تمامی مجموعه گره‌ها، جعبه‌ها، و فلش‌ها است و تمامی واکنش‌های ممکن میان ملکول‌های دستگاه را نمایان می‌سازد.

از آنچه در بالا در مورد جنبه‌ی ترکیبی شیمی (combinatorics) دستگیرمان می‌شود اینست که همزمان با افزایش تنوع پلیمرها در دستگاه، نسبت واکنش‌ها به ملکول‌ها زیاد می‌شود یعنی اینکه نسبت فلش‌ها و جعبه‌ها به گره‌ها افزایش پیدا

می‌کند. به عبارتی با افزایش تنوع ملکول‌ها در دستگاه، نمودار واکنش متراکم‌تر و از لحاظ امکان واکنش‌های وابسته به هم غنی‌تر می‌شود.

واقعیت اینست که همیشه در یک چنین دستگاه واکنشی برخی واکنش‌ها به خودی خود با سرعتی رخ می‌دهند. اما برای تمرکز در باره‌ی پرسش زیر فعلاً از این واکنش‌های خودبخودی چشم می‌پوشیم: چه شرایطی باعث پیدایش یک مجموعه ملکولی خود کاتالیتیک جمعی می‌شود؟ هدفم اینست که نشان دهم طبق انواع گسترده‌ای از فرضیه‌ها در مورد دستگاه، مجموعه‌های خودکاتالیتیک در یک تنوع بحرانی پدیدار می‌شوند.

برای شروع توجه‌تان را به تبدیلات فاز در نمودارهای هر دمبیل (random graphs) که مشهورند، جلب می‌کنم. ده‌ها هزار دگمه راروی زمین بیاندازید و به‌طور الآبختکی آنها را جفت جفت با نخ قرمز به هم بدوزید. یک چنین مجموعه‌ای خود یک نمودار هر دمبیل است. به بیان رسمی‌تر، یک نمودار هر دمبیل عبارت است از مجموعه‌ای گره (node) که توسط مجموعه‌ای از لبه‌های الآبختگی به هم پیوسته‌اند. گهگاه یکی از دگمه‌ها را به کمک بالابری، بالا بیاورید و ببینید چند دگمه به همراه آن بالا می‌آید. در اصطلاح نمودار هر دمبیل یک چنین مجموعه دگمه را جزء سازنده یا «سازند» می‌گویند. چند دهسال پیش اردوس و رنی (Erdose & Renyi, ۱۹۶۰) نشان دادند که وقتی نسبت لبه‌ها به گره‌ها از  $0/5$  می‌گذرد، چنین دستگاه‌هایی دچار تبدیل فاز می‌شوند. هنگامی که این نسبت کمتر، مثلاً شمار لبه‌ها  $10$  درصد شمار گره‌ها، باشد هر گره مستقیماً یا غیرمستقیم با تنها تعداد کمی گره دیگر وصل خواهد بود. اما وقتی نسبت  $0/5$  باشد ناگهان اغلب گره‌ها در یک سازند غول پیکر به هم می‌پیوندند. در واقع اگر شمار گره‌ها بینهایت باشد هنگامی که نسبت لبه‌ها به گره‌ها از  $0/5$  می‌گذرد، اندازه‌ی بزرگترین سازند از یک مقدار خیلی کوچک به طرزی ناپیوسته سر به بینهایت خواهد نهاد. یعنی دستگاه یک تبدیل فاز نوع اول بروز می‌دهد. نکته‌ای که عاید می‌شود بسیار ساده است: هرگاه شماری بسنده از گره‌ها به هم وصل شوند، حتی اگر پیوندها الآبختکی باشند، عملاً یک سازند به هم پیوسته‌ی غول پیکر بوجود خواهد آمد.

اکنون تنها کافی است که این اندیشه را در نمودار واکنشی مان به کار بریم. محض آینده‌نگری توجه خود را بر واکنش‌های کاتالیزی معطوف می‌کنیم. برای اینکار به

یک نظریه در مورد اینکه چه پلیمرهایی چه واکنش‌هایی را کاتالیز می‌کنند، نیازمندیم. با در دست داشتن انواع چنین نظریاتی به یک نتیجه‌ی ساده خواهیم رسید: همزمان با افزایش تنوع ملکول‌های دستگاه، نسبت واکنش‌ها به ملکول‌ها افزایش پیدا می‌کند. بنابراین در مورد هر الگویی برای اینکه چه پلیمرهایی را کاتالیز می‌کنند، در یک تنوع خاص هر پلیمری دست کم یک واکنش را کاتالیز خواهد نمود. یعنی در آن تنوع بحرانی یک سازند غول‌پیکر از واکنش‌های به هم مرتبط در دستگاه پدیدار خواهد شد. اکنون اگر پلیمرهایی که نقش کاتالیست را دارند، خودشان محصول واکنش‌های کاتالیز شده باشند، دستگاه خود کاتالیتیک جمع‌ی می‌شود.

اما این گام ساده است. الگوی بس ساده‌ای از اینکه چه پلیمری چه واکنشی را کاتالیز می‌کند را در نظر می‌گیریم. آرمان‌گرایی را (idealization) که در زیر به کار می‌برم جدی نمی‌انگاریم. فرض کنیم هر پلیمری احتمال ثابتی (فرضاً یک در میلیارد) دارد که بتواند به عنوان یک کاتالیست برای هر واکنشی که الابختکی گزیده می‌شود، عمل کند. اکنون نمودار واکنش‌مان را در نقطه‌ای در نظر آورید که تنوع ملکول‌ها در دستگاه به گونه‌ای است که برای هر ملکول یک میلیارد واکنش وجود دارد. فرض کنید که مولکول‌های مورد نظر پلیمرهایی باشند که خود نامزدهای کاتالیز کردن واکنش‌های بین پلیمرها می‌باشند. در این صورت به ازای هر پلیمر یک واکنش کاتالیز شده، یک سازند غول‌پیکر در دستگاه پدیدار خواهد شد. با اندکی فکر روشن می‌شود که یقیناً دستگاه دارای زیر دستگاه‌های خود کاتالیتیک جمع‌ی می‌باشد. تولید مثل به خاطر یک تبدیل فاز در یک نمودار واکنش شیمیایی، در یک تنوع بحرانی رخ داده است.

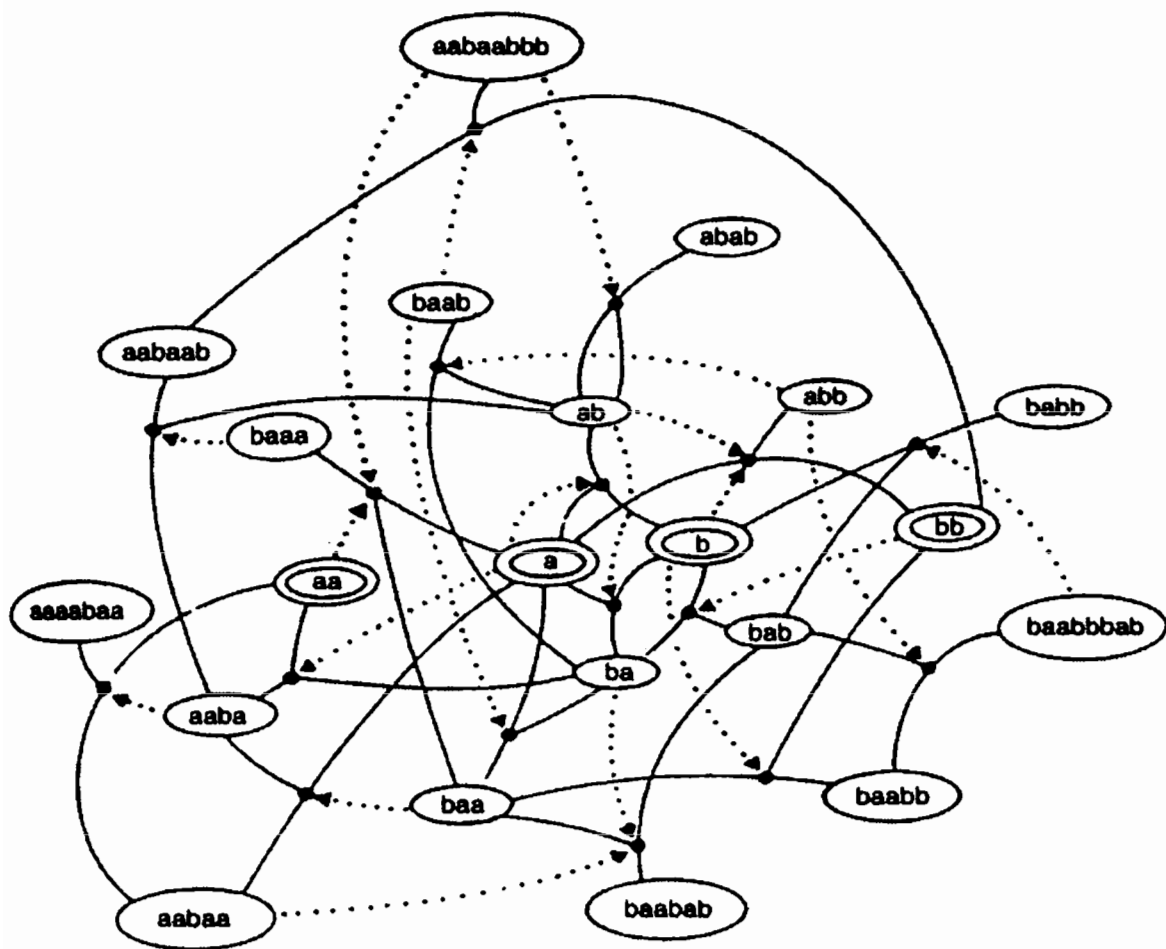
شکل (۲) یک چنین مجموعه‌ی خودکاتالیتیک جمع‌ی را به نمایش می‌گذارد. نکته اصلی که باید تأکید شود خصیصه‌ی تقریباً اجتناب‌ناپذیر چنین دستگاه‌ها و یک نوع کلی‌گرایی (\*holism) بی‌پشیمانی است. در یک تنوع کمتر، نمودار واکنشی حاصل تنها تعداد کمی واکنش دارد که توسط ملکول‌ها کاتالیز می‌شود. یعنی هیچ

---

\* holism نظریه یا فلسفه‌ای است که طبق آن «کل» را نمی‌توان بدون باقیمانده‌ای به اجزایش تقسیم و بررسی کرد. م



مجموعه‌ی خودکاتالیز وجود ندارد. همچنان که تنوع زیاد می‌شود شمار زیادی از واکنش‌ها در دستگاه کاتالیز می‌شوند تا اینکه در نقطه معینی یک شبکه‌ی واکنش‌های کاتالیز شده جهش‌وار پدید می‌آید. خود شبکه در برگیرنده کاتالیست‌ها است. ناگهان حصار کاتالیتیکی بدست می‌آید و یک دستگاه «زنده» و همانند ساز، دست کم از لحاظ واقعیت یافتن سیلیکونی آن، خلق می‌شود.



- = غذیه
- = سایر مواد شیمیایی
- = واکنش‌ها
- ⋯→ = اثر کاتالیست

شکل ۲. نمونه‌ای از یک مجموعه خودکاتالیتیک کوچک. واکنش‌ها توسط نقاطی که محصولات شکست را به پلیمرهای بندخورده‌ی متناظر و بلندتر وصل می‌کند، نمایش داده شده است. خطوط نقطه چین نشان دهنده‌ی کاتالیز است و کاتالیست‌ها را به سمت واکنش‌های مورد کاتالیز رهنمون می‌شوند. منومرها و دیمرها A و B مجموعه غذاها (بیضی‌های مضاعف) را می‌سازند.

افزون بر این، تبلور این پدیده نیاز به یک تنوع بحرانی دارد. یک دستگاه ساده‌تر اصلاً نمی‌تواند حصار کاتالیتیکی رافراهم آورد. به این ترتیب به نامزدی برای یک نظریه عمیق درباره‌ی تنوع حداقل یاخته‌های زنده‌ی آزاد می‌رسیم. در اینجا با مورد «دیگر اینجوری» بودن سروکار نداریم: دستگاه‌های ساده‌تر نمی‌توانند حصار خودکاتالیتیکی را بوجود آورند یا نگهدارند.

کل تنوع ملکولی که برای گذر از تبدیل فاز لازم است، بستگی به دو عامل عمده دارد: (۱) نسبت واکنش‌ها به ملکول‌ها، و (۲) توزیع احتمالاتی که ملکول‌های موجود در دستگاه، واکنش‌های بین همان ملکول‌ها را کاتالیز می‌کند. نسبت واکنش‌ها به ملکولها بستگی به پیچیدگی انواع واکنش‌های مجاز دارد. برای نمونه چنانچه واکنش‌های شکست و بند در میان توالی پپتیدی یا آر.ان.ا. مدنظر باشد، نسبت واکنش‌ها به پلیمرها به‌طور خطی با بلندترین طول  $M$  موجود در دستگاه افزایش پیدا می‌کند. دریافت این نکته در اصل بسیار ساده است، زیرا هر پلیمر با طول  $M$  را می‌توان به  $M-1$  طریق بوجود آورد. همزمان با افزایش  $M$  نسبت واکنش‌ها به پلیمرها متناسب با آن زیاد می‌شود. برعکس ممکن است واکنش‌های ترانس پپتیداسیون یا ترانس استریفیکاسیون میان توالی‌های پپتیدی یا آر.ان.ا. مورد توجه باشد. در این صورت نسبت واکنش‌ها به ملکول‌ها بیش از حالت خطی افزایش می‌یابد. برعکس تنوع ملکول‌های لازم برای پیدایش مجموعه‌های خودکاتالیتیک بسیار کوچکتر است. به‌طور مشخص اگر احتمال اینکه یک پلیمر اتفاقی، واکنشی اتفاقی را کاتالیز کند، یک در میلیارد باشد، در این صورت حدود ۱۸۰۰۰ نوع ملکول برای پیدایش مجموعه‌های خودکاتالیتیکِ جمعی، بسنده خواهد بود.

نتایج مورد بحث با توجه به ساده‌انگاری آرمانی به کار رفته که براساس آن هر پلیمر احتمال معینی برای کاتالیز بودن در هر واکنشی را دارد، خدشه‌ناپذیر است. در الگوی دیگری (Kauffman, ۱۹۹۳) توالی‌های آر.ان.ا. را ریبوزم‌های ساده و مستعدی می‌انگارد و می‌گوید برای اینکه نقش یک بندزن (لیگاز - ligase) ویژه‌ای را ایفا کند، لازم است که ریبوزم نامزد، قالبی منطبق برای سه نوکلئوتید با پایانه‌ی ۵ در یک سوبسترا و سه نوکلئوتید با پایانه‌ی ۳ در سوبسترای دیگر باشد. اخیراً von Kiederowski (۱۹۸۶) چنین بندزن‌های (Ligase) ویژه را بوجود آورده که در واقع مجموعه‌های خودکاتالیتیکی کوچکی را می‌سازد؛ یک هگزامر دو تریمر

(trimer) را به هم بند می‌زند و یک هگزامر را بوجود می‌آورد. بتازگی وی دستگاه‌های کاتالیتیکی متقاطع و جمعاً تکثیرپذیر را بوجود آورده است (مکاتبات خصوصی با ایشان ۱۹۹۴). به موازات نتایج von Kiederowski، برای پی بردن به این امر که شاید واقعاً جنبه‌های دیگری سوا از تطابق با قالب برای اعمال نقش کاتالیتیکی آر.ان.ای نامزد لازم باشد، من و Bagley فرض کردیم که هر نامزد تطبیق کننده‌ای، باز هم به احتمال یک در میلیون می‌تواند به عنوان یک بندزن ویژه عمل کند. مشاهده شد که باز هم در یک نقطه بحرانی از تنوع توالی‌های آر.ان.ای الگو در دستگاه، مجموعه‌های خودکاتالیتیک جمعی پدیدار می‌شوند. قدر مسلم نتایج خدشه ناپذیر و باز هم از الگوهای مربوط به توزیع گنجایش کاتالیتیکی در میان مجموعه‌هایی از پلیمرها یا دیگر ملکول‌های آلی مصداق خواهند داشت. کمی بعد راجع به راه‌های تجربی که طی آنها بتوان چنین دستگاه‌های خودکاتالیتیک جمعی را سامان داد، بحث خواهیم کرد.

اگر این دیدگاه درست باشد، پیدایش حیات ناشی از خواص قالب‌گونه و زیبای دی.ان.ا. و یا آر.ان.ا. یا پلیمرهایی مشابه نمی‌باشد. بلکه در عوض ریشه‌ی حیات در خود کاتالیز و شیمی ترکیبی (combinatorial chemistry) است. در صورت درست بودن این نظریه، راه‌های حیات در شاهراه‌های وسیع احتمالات قرار دارند نه پس کوچه‌های اتفاقات نادر.

اما آیا چنین دستگاه‌های خودکاتالیتیک جمعی، توانایی تکامل دارند؟ آیا می‌توانند به مفهوم متعارف، بدون وجود ژنوم تکامل پیدا کنند؟ و اگر چنین باشد پیامدهای آن برای رسومات ما از زمان داروین، وایزمن و در واقع از زمان شرو دینگر، چه خواهد بود؟ زیرا اگر دستگاه‌های همانند ساز بتوانند بدون یک خزانه‌ی اطلاعات ژنتیک موجود در ملکول بزرگ و پایدار، پدیدار شوند، دیگر پیشنهاد شرو دینگر در مورد جامدهای بی‌تناوب برای پیدایش و تکامل حیات لازم نخواهد بود.

حداقل در آزمایش‌های رایانه‌ای چنین دستگاه‌های خودکاتالیتیک جمعی بدون یک ژنوم قابل پیدایش‌اند. نخست بایستی اشاره کنم که همکاران مان فارمر و پاکارد (Farmer & Packard) و خود اینجانب (۱۹۸۶) نشان داده‌ایم که با استفاده از شرایط ترمودینامیکی نسبتاً حقیقی در الگوی واکنشگاه‌های جریان دار و مجهز به بهمزن (stirred flow reactor)، الگوی دستگاه‌های خودکاتالیتیک واقعاً پدیدار

می‌شوند. افزون بر این بگلی (Bagley) در بخشی از پایان نامه‌اش نشان داده است که چنین دستگاه‌هایی علی‌رغم وجود یک تبعیض برای شکستن (cleavage) در یک محیط آبی، می‌توانند غلظت بالایی از الگوهای پلیمری بلند را ایجاد و حفظ کنند. افزون بر این چنانچه محیط «غذایی» به طرقي اصلاح شود چنین دستگاه‌هایی می‌توانند «زنده بمانند» و در صورتی که مواد غذایی از دستگاه واکنشگاه جریاندار، حذف شوند «می‌میرند». اما شاید جالبترین نتایج نشان می‌دهد که چنین دستگاه‌هایی میتوانند بدون یک ژنوم تا حدی تکامل پیدا کنند. بگلی و همکارانش (۱۹۹۲) از این اندیشه‌ی معقول بهره‌گرفتند که واکنش‌های خودبخودی که در یک مجموعه خودکاتالیتیک دوام می‌آورند، تمایل خواهند داشت که ملکول‌هایی بوجود آورند که جزو خود مجموعه نباشد. این ملکول‌های نوپدید حول مجموعه خودکاتالیتیک، هاله‌ای از گونه‌های ملکولی را بوجود خواهند آورد که در غلظت‌هایی بیش از آنچه در غیاب این رویداد وجود دارد، حضور خواهند داشت. با الصاق برخی از این گونه‌های ملکولی نوپدید به خود، مجموعه خودکاتالیتیک می‌تواند تکامل پیدا کند. چنانچه یک یا چند مجموعه از این ملکول‌های هاله‌ای به یک غلظت متوسطی افت و خیز پیدا کنند کافی خواهد بود و این ملکول‌ها سپس به تشکیل کاتالیست‌های خودشان از مجموعه خود کاتالیتیک، کمک خواهند نمود. در این صورت مجموعه گسترش یافته، ملکول‌های نوپدید را جزو خود خواهد نمود. احتمالاً چنانچه برخی ملکول‌ها بتوانند واکنش‌هایی را که توسط دیگران کاتالیز می‌شود، جلوگیری کنند، افزایش انواع تازه‌ی ملکول‌ها در برخی اوقات منجر به حذف انواع ملکول‌های قدیمی خواهد شد.

کوتاه سخن اینکه، دست‌کم در رایانه (\*in silico) مجموعه‌های خودکاتالیتیکی می‌توانند بدون هیچ ژنومی تکامل پیدا کنند. هیچ ساختار ملکولی بزرگ و پایداری اطلاعات ژنتیکی را به مفهومی که با آن آشناییم با خود حمل نمی‌کند، بلکه در عوض مجموعه‌ی ملکول‌ها و واکنش‌هایی که انجام می‌دهند و کاتالیز می‌کنند، ژنوم

\* واژه‌ای مترادف با *in vitro* (در شیشه) که منظور آن شبیه‌سازی و محاسبات رایانه‌ای است که سیلیکون عنصر اصلی تراشه‌های آنها را تشکیل می‌دهد. حتی واژه‌هایی مانند *silicon graphics* در محاورات رایانه‌ای متداول است - م.

دستگاه را تشکیل می‌دهد. رفتار پوینده‌ی این دستگاه واکنش‌های مزدوج (coupled) و خود همانندساز، تشکیل‌دهنده‌ی وراثت‌پذیری بنیادینی است که به نمایش می‌گذارد. توانایی پذیرش گونه‌های ملکولی نوبنیاد و شاید حذف شکل‌های ملکولی قدیمی‌تر، توانمندی آن در تغییرات توارثی به شمار می‌آید. پس از آن داروین بما می‌گوید که چنین دستگاه‌هایی از طریق گزینش طبیعی تکامل پیدا می‌کنند.

اگر این مطالب درست باشد در این صورت عرض می‌کنم که شرط اعلام شده توسط شرودینگر یعنی داشتن یک جامد بزرگ بی‌تناوب به عنوان حاملی پایدار برای اطلاعات توارثی، برای پیدایش حیات یا تکامل آن ضرورت ندارد. یا به طور کوتاه، شاید نظم از نظم با این معنا و مفهوم لازم نباشد.

در پایان میل دارم به‌طور خلاصه برخی رویکردهای آزمایشی نسبت به این پرسش‌ها را یادآور شوم. پرسش اصلی چنین است: اگر تنوع بسنده‌ای از پلیمرها به همراه ملکول‌های کوچکی که از آنها ساخته شده‌اند، به اضافه برخی منابع انرژی دیگر در یک حجم بسنده کوچک تحت شرایطی مناسب گردهم آمده باشند، آیا مجموعه‌های خودکاتالیتیکِ جمعی پدیدار خواهند شد؟ این رویکردهای آزمایشی تازه به امکانات ژنتیک ملکولی جدید مبتنی هستند. امروزه می‌توان توالی‌های دی.ان.ا، آر.ان.ا و پپتیدی اساساً هر دمبیل را همسان سازی نمود و تنوع‌های بسیار گسترده‌ی این زیست پلیمرها (biopolymers) را بوجود آورد. (Ballivet & Kauffman, ۱۹۸۵؛ Devlin et al, Ellington & Szostak, ۱۹۹۰). در حال حاضر خزانه‌هایی تا تریلیون‌ها توالی تحت بررسی است به این ترتیب برای نخستین بار است که می‌توان دستگاه‌های واکنشی را که تا این حد تنوع ملکولی داشته، در حجم کوچکی محدود باشند و اندرکنش‌ها بتوانند به تندی صورت گیرند، مورد بررسی قرار داد. به عنوان مثال چنین پلیمرهایی نه تنها می‌توانند به واکنشگاه‌های همزن‌دار با جریان پیوسته محدود باشند، بلکه در وزیکول‌هایی چون لیپوزم‌ها و یا میسل‌ها و سایر ساختارهایی که سطوح و مرزهایی را بین یک محیط درونی و بیرونی در اختیار می‌گذارند، نیز می‌توانند محصور باشند. با داشتن مجموعه‌های خودکاتالیتیکِ جمعی von Kiederowski که با هوشمندی شیمی‌دانش طراحی نموده (مکاتبات خصوصی، ۱۹۹۴) می‌دانیم که چنین مجموعه‌های خودکاتالیتیکِ جمعی را

می‌توان از ابتدا ساخت. نظریه تبدیل فازی را که در اینجا خلاصه کردم، می‌رساند که دستگاه‌های بسنده پیچیده‌ی پلیمرهای کاتالیتیک؛ می‌بایست بدون طراحی هوشمندانه‌ی ساختار شبکه توسط شیمیدان؛ به عنوان خاصیتی خودبخودی، به شکل شبکه‌های خودکاتالیتیک جمعی و مرتبط تبلور یابد و پدیدار شود.

پیدایش خودکاتالیز جمعی بستگی به سهولت تولید پلیمرهایی دارد که بتوانند هم نقش سوبسترا و هم کاتالیز را بازی کنند. چنین چیزی نباید چندان مشکل باشد. وجود پادتن‌های (antibodies) کاتالیتیک به این اشاره دارد که پیدا کردن یک پادتن که بتواند واکنشی دلخواه را کاتالیز کند احتمالاً مستلزم جستجوی یک میلیون تا یک میلیارد ملکول پادتن باشد. جایگاه اتصالی واقع در ناحیه‌ی V (متغیر - م) یک ملکول پادتن تقریباً مجموعه‌ایست از چندین پپتید درهم‌برهم، که با نواحی تعیین‌کننده‌ی مکمل (complement determining) تطابق دارد، توسط مابقی ساختار در جای خود نگهداشته می‌شود. بنابراین جمعیتی از پپتیدها یا پلی پپتیدهای درهم‌برهم نامزدهای خوبی برای نقش توأم سوبسترا و کاتالیز می‌باشند. در واقع تحقیقات جدید با همکاری دانشجویان دکترایم نشان داده است که چنین پلی پپتیدهای تمایل دارند که به آسانی تاشده و به حالت گویچه‌های مذابی درآیند که خیلی‌شان تحت شرایط ناطبیعی کننده‌ی درجه بندی شده، رفتار تاشدن و بازشدن متعاون از خودبروز می‌دهند که می‌رساند توانایی تاشدنیهای خفیف در توالی‌های اسیدآمینه امری متعارف است (La Bean et al, ۱۹۹۴, ۱۹۹۰). همچنین این نتایج نشان می‌دهد که پلی پپتیدهای هر دمبیل همچنین می‌توانند انواعی از کارکرد لیگندی و کاتالیتیکی را از خود نشان دهند. شاهد پیشین در این باره عبارتست از ظاهر شدن هگزا پپتیدهای هر دمبیل در پوشش بیرونی فاژ رشته‌ای. احتمال یافتن پپتیدی که بتواند در مقایسه با پپتیدی دیگر به یک ملکول پادتن تک تبار (monoclonal antibody) متصل شود، حدود یک در میلیون است (Cwirla et al, ۱۹۹۰; Scott & Smith, ۱۹۹۰; Devlin et al, ۱۹۹۰). از آنجا که اتصال یک لیگند، شبیه اتصال حالت واسطه در یک واکنش است این نتایج توأم با توفیق یافتن پادتن‌های کاتالیتیک، می‌رساند که پپتیدهای هر دمبیل همچنین به آسانی می‌توانند واکنش‌های بین پپتیدها و یا سایر پلیمرها را کاتالیز نمایند. توالی‌های هر دمبیل آر.ان.ا.های هر دمبیل برای یافتن توالی‌هایی که

به لیگندی اتفاقی وصل شوند، نشان می‌دهد که احتمال موفقیت حدود یک در میلیارد است (Ellington & Szostack, ۱۹۹۰). حتی نتایجی تازه‌تر در مورد پیدا کردن توالی‌های آر.ان.ایی که بتوانند واکنشی را کاتالیز کنند می‌رساند که این احتمال حدود یک در تریلیون است. از این رو شاید پیدا کردن توالی‌های پپتیدی که قادر به کاتالیز کردن یک واکنش اتفاقی باشند، ساده‌تر از آب در آید. این نتایج توأم با تخمینهای خام در مورد شمار واکنشهایی که چنین دستگاههایی قادر به تأمین هستند، می‌رساند که شاید تنوع‌هایی بین ۱۰۰/۰۰۰ تا ۱/۰۰۰/۰۰۰ از توالی‌های پلیمری با طول ۱۰۰ بتواند به خودکاتالیز جمعی بیانجامد.

### سرچشمه‌های نظم پوینده

اگر پیشنهاد شرودینگر برای پیدایش حیات لازم نباشد، آیا شاید دست کم اینطور باشد که جامد بی‌تناوب دی.ان.ا برای تأمین تغییرات توارثی لازم و یا کافی باشد. خواهیم کوشید تا با تفصیلی بیش از آنچه تا کنون به کار بردم، نشان دهم که پاسخ «منفی» است. که رمزی (micro code) که توسط جامد بی‌تناوب بزرگ، توانمندی می‌یابد، قطعاً برای تضمین نظم بسنده نمی‌کند. ژنوم شبکه پردازشگر موازی گسترده‌ای از فعالیت‌ها را مشخص می‌کند. رفتار پوینده‌ی یک چنین شبکه‌ای می‌تواند به طرز فروپاشنده‌ای هب‌گونه (chaotic) و درهم بر هم باشد و در نتیجه مانع هر گونه توارث‌گزینشی نسبت به رفتارهای شدیداً متغیر دستگاه رمزگذاری شده گردد. رمزگذاری در ساختار پایداری چون دی.ان.ا به تنهایی تضمین نمی‌کند که دستگاه رمزگذاری شده رفتاری بانظم بسنده را برای تغییر توارثی‌گزینش‌پذیر داشته باشد. افزون بر این اینجانب بر این عقیده‌ام که رمزگذاری در یک جامد بزرگ بی‌تناوب چون دی.ان.ا برای رسیدن به رفتار پوینده‌ی پایداری که لازمه تغییر توارثی‌گزینش‌پذیر، چه در مجموعه‌های خود کاتالیتیک جمعی کوچک و چه در زیستمندهای پیشرفته‌تر است، بسنده نمی‌کند. در عوض آنچه شاید لازم باشد اینست که دستگاه نوع خاصی از دستگاه ترمودینامیکی باز باشد که در فضای حالتش توانایی نمایش همگرایی شدید به سوی جاذب‌های پوینده کوچک و پایداری راداشته باشد. به دیگر نظر، دستگاه باز می‌بایست توانایی رهاسازی

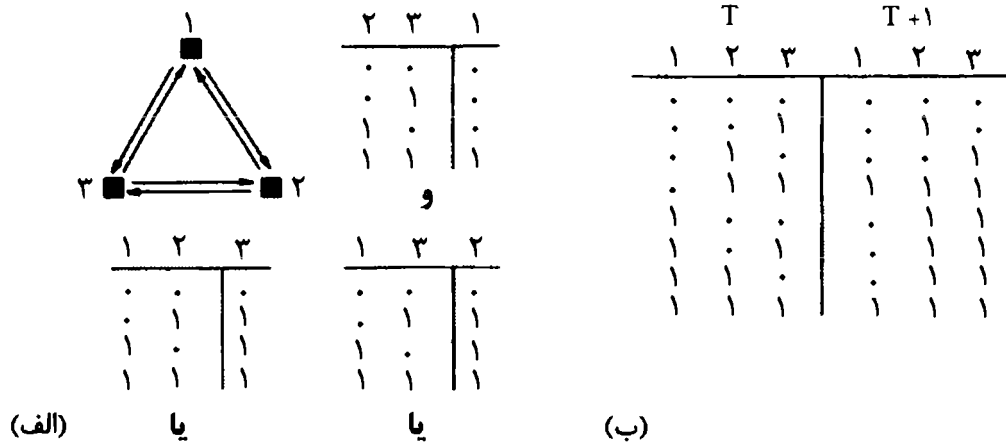
اطلاعات، یا درجات آزادی باسرعتی بسنده را داشته باشد تاجبران افت و خیزهای گرمایی یا دیگر افت و خیزها را بنماید.

اکنون رفتار شبکه‌های بولی را به طوری کوتاه خلاصه می‌کنم. نخستین بار این شبکه‌ها به عنوان الگوهایی برای دستگاه‌های تنظیم ژنومی که فعالیت‌های هزاران ژن و فراورده‌های شان را درون هر یاخته در زیست‌مند در حال رشد، هماهنگ می‌کنند، ارایه گردیدند، (Kauffman, ۱۹۶۹). شبکه‌های بولی هر دمبیل نمونه‌هایی از دستگاه‌های بسیار نامنظم، پردازشگر شدیداً موازی، و ناتعادلی هستند و به طوری روز افزون توجه فیزیکدانان، ریاضی‌دانان و دیگران را به خود جلب کرده‌اند (Kauffman, ۱۹۸۴, ۱۹۸۶, ۱۹۹۳; Derrida & Pommeau, ۱۹۸۶; Derrida & Weisbuch, ۱۹۸۶; Staufer, ۱۹۸۷).

شبکه‌های هر دمبیل بولی دستگاه‌های ترمودینامیکی بازی هستند که توسط یک منبع انرژی بیرونی از تعادل فاصله گرفته‌اند. شبکه‌ها عبارتند از دستگاه‌هایی از متغیرهای دوتایی (binary)، خاموش-روشن، که هر کدام تحت فرمان یک دستور یا قاعده سویچ، بنام تابع بولی می‌باشد. نام گذاری توابع بولی به افتخار جرج بول (G.Boole) منطبق دادن بریتانیایی که در قرن پیش منطق ریاضی را وضع کرد، صورت گرفته است. یک متغیر دوتایی ممکن است دو درونرو (input) از دومتغیر دیگر دریافت کند و تنها هنگامی در لحظه بعد فعال می‌باشد که هم درونرو یک و هم درونرو دو در لحظه پیش از آن فعال بوده باشند. این همان تابع منطقی یا تابع بولی است. جور دیگر اینست که یک متغیر دوتایی با دو درونرو هنگامی فعال خواهد بود که در همان لحظه یکی یا دیگری و یا هر دوی آنها فعال بوده باشند. و این را تابع یای بولی می‌گویند.

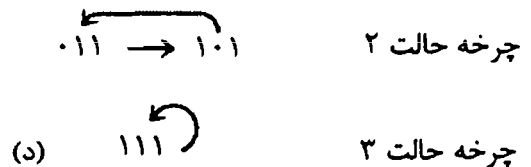
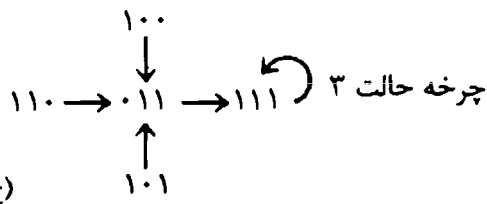
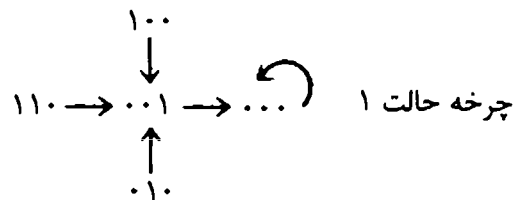
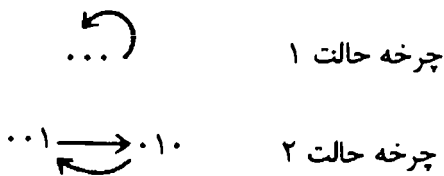
شکل ۳- الف نشان دهنده‌ی یک شبکه‌ی بولی کوچک با سه متغیر است که هر کدام درونروهایی از دوتای دیگر دریافت می‌کنند. یکی از اینها را تابع و دوتای دیگر را تابع یا قلمداد کرده‌ایم. در ساده‌ترین نوع شبکه‌های بولی، زمان همرفت (همگاه) فرض می‌شود. یعنی در هر لحظه‌ی ساعت، هر یک از عناصر درونروهایش را ارزیابی می‌کند و پاسخ مناسب در تابع بولی‌اش را می‌جوید و مقدار مشخصه آن را برمی‌گیرد. همچنین در ساده‌ترین مورد، شبکه از بیرون درونروی دریافت نمی‌کند و در نتیجه رفتارش کاملاً خودمختار است.





(الف)

(ب)



(ج)

(د)

شکل ۳. الف - سیم‌کشی در یک شبکه‌ی بولی (Boolean network) با سه عنصر دوتایی، هر یک درون‌روی (input) برای دوتای دیگر. ب - دستورات (قواعد) بولی الف برای تمامی حالت‌ها یعنی  $2^3 = 8$  در لحظه‌ی T بازنویسی شده تا فعالیت اکتسابی هر کدام در لحظه‌ی بعدی T+1 را نشان دهد. شکل را از چپ به راست بخوانید. این شکل حالت بعدی هر حالت را نشان می‌دهد. ج - نمودار تبدیل حالت، یا میدان رفتار شبکه‌ی بولی خودمختار مربوط به الف و ب که از راه اتصال تبدیل حالت‌ها به حالت‌های بعدی بافلش نمایش داده شده‌اند. د - پیامدهای دستور جهش دادن عنصر ۲ از یا به و

شکل ۳ الف نمودار سیم‌کشی واصل بین سه متغیر و دستورات بولی حاکم بر هر کدام را نشان می‌دهد و شکل ۳ ب همان اطلاعات را به شکل دیگری به نمایش می‌گذارد. فعالیت‌های موجود همه‌ی متغیرهای دوتایی را حالت کل شبکه تعریف می‌کنند. بنابراین اگر N متغیر دوتایی موجود باشد، تعداد حالت‌ها  $2^N$  خواهد بود.

یعنی در مورد کنونی با ۳ متغیر تنها ۸ حالت وجود دارد. مجموعه‌ی حالت‌های ممکنه‌ی شبکه فضای حالت آن را تشکیل می‌دهد. ستون سمت چپ ۳ ب این ۸ حالت را نشان می‌دهد و ستون سمت راست نمایانگر پاسخ هر متغیر برای هر ترکیب ممکنه‌ی از فعالیت‌های درون‌رو آن در لحظه‌ی بعدی است. جورِ دیگر خواندن شکل ۳ ب اینست که بدانیم ردیف‌ها (سطرها)ی نیمه راست شکل با فعالیت‌های بعدی همه سه متغیر مطابقت دارد. بنابراین اگر از چپ به راست خوانده شود، شکل ۳ ب مشخص می‌کند که برای هر حالت از کل شبکه، وضعیت بعدی چه خواهد بود.

شکل ۳ ج رفتار پویانده‌ی جامع (integrated) کل شبکه را نشان می‌دهد. این شکل به این ترتیب از شکل ۳ ب مشتق شده که هر حالت را با فلش به حالت جانشین بارز آن وصل کرده‌ایم. چونکه هر حالت یک حالت جانشین بارز دارد، دستگاه مسیری را در فضای حالتش خواهد پیمود. از آنجا که شمار حالت‌ها محدود و معین است، دستگاه در نهایت می‌باید باز وارد حالتی بشود که پیشتر با آن روبرو بوده است. و چون هر حالت، حالتی منحصر به فرد به دنبال دارد در نتیجه دستگاه پی‌درپی در چرخه‌ای از حالت‌های مکرر موسوم به چرخه حالت، در گردش خواهد بود.

خیلی از خواص مهم شبکه‌های بولی با چرخه‌های حالت دستگاه و خصوصیت مسیرهای جاری به این چرخه‌های حالت، مرتبط است. در بین این خواص، نخستین‌شان درازای چرخه حالت است، که ممکن است یک حالت تنها باشد که به خودش می‌رسد و یک حالت پایا (steady state) را به وجود می‌آورد یا اینکه همه حالت‌های دستگاه را دور می‌زند. درازای چرخه‌ی حالت اطلاعاتی در مورد زمان تکرار طرح‌های فعالیتی در شبکه را بدست می‌دهد. هر شبکه‌ی بولی بایستی دست کم یک چرخه‌ی حالت داشته باشد، اما بیش از آن هم می‌تواند. شبکه‌ی شکل ۳ ج سه چرخه حالت دارد. هر کدام از حالت‌ها در مسیری قرار دارد که دقیقاً به یک چرخه حالت جاری است و یا دقیقاً بخشی از آن است. بنابراین چرخه‌های حالت حجمی از فضای حالت را تخلیه می‌کنند که بسترِ جاذبه (basin of attraction) نام دارد. خود چرخه حالت را جاذب می‌گویند. در یک تشبیه خام می‌توان چرخه‌های حالت را مانند دریاچه‌ها و بستر جاذبه را برابر بستر تخلیه‌ای تلقی کرد که به هر دریاچه منفرد جاری می‌شود. بررسی شکل ۳ ج نشان می‌دهد که مسیرها به هم می‌گریند. مسیرها یا پیش از رسیدن به یک چرخه‌ی حالت، و یا البته هنگام رسیدن به چرخه حالت به

هم می‌گیرند و این بدان معنی است که دستگاه اطلاعات پس می‌دهد. هنگامی که دو مسیر به هم گیرند، دستگاه دیگر اطلاعاتی برای تمیز اینکه از چه مسیری به حالت کنونی خود رسیده، ندارد. در نتیجه هر چه فضای حالت همگرایی اش بیشتر باشد، دستگاه اطلاعات بیشتری را پس می‌دهد. به زودی خواهیم دید که این پاک کردن گذشته برای پیدایش نظم در چنین شبکه‌های عظیم چیزی اساسی بشمار می‌آید.

خاصیت جالب توجه دیگر پایداری چرخه‌های حالت نسبت به کمترین اختلالات (perturbations) است، که به‌طور گذرا فعالیت هر متغیر تنها را برمی‌گرداند. بررسی شکل ۳ نشان می‌دهد که نخستین چرخه‌ی حالت نسبت به جملگی چنین اختلالاتی ناپایدار است. هرگونه خللی از اینگونه، دستگاه را در بستر جاذبه‌ی یک جاذب متفاوت می‌گذارد که دستگاه پس آنگاه به سویی جاری می‌شود، در عوض چرخه‌ی سوم نسبت به کمترین خللی پایدار است و هر خللی از اینگونه، دستگاه در بستر همان جاذب رها می‌کند و دستگاه پس از اختلال به سوی آن باز می‌گردد.

### رژیم‌های هبایی، منظم و پیچیده

اکنون پس از تقریباً سی سال تلاش و بررسی روشن شده است که شبکه‌های بولی بزرگ از لحاظ کلی به یکی از سه رژیم رفتار می‌کنند: رژیم هبایی، رژیم منظم، و رژیم پیچیده در نزدیکی تبدیل میان منظم و هبایی. از این سه، شاید پیدایش یک رژیم منظم که فعالیت هزاران متغیر دویی را هماهنگ می‌کند، برای اهداف کنونی مامبهورت‌کننده‌ترین باشد. من عقیده دارم که چنین نظم جمعی خودبخودی شاید یکی از ژرف‌ترین سرچشمه‌های نظم در دنیای زیست‌شناسی باشد.

در زیر نخست به رژیم هبایی، سپس رژیم منظم و در پایان به رژیم پیچیده می‌پردازم. اما پیش از شروع مهم است که نوع پرسش‌هایی که مطرح می‌شوند را مشخص کنیم. من علاقه دارم که خواص نوعی یا ژنریک شبکه‌های بولی بزرگ در انواع دستجات شبکه‌های متفاوت را بفهمم. در اینجا سروکارم با شبکه‌هایی است که شمار بسیار زیادی،  $N$ ، از متغیر دویی دارد. نوع شبکه‌ها را برحسب شمار درونروهایش به ازاء هر متغیر، یعنی  $K$ ، تعیین خواهیم کرد و شبکه‌هایی در نظر

خواهم گرفت که تورش‌های (تبعیض - biases) ویژه‌ای نسبت به مجموعه‌ی توابع بولی ممکن با  $K$  درونرو، دارند. خواهیم دید که اگر  $K$  کم باشد و یا اینکه برخی تورش (تبعیض)ها به کار رود، حتی شبکه‌های عظیم بولی که فعالیت‌های هزاران متغیر را به هم می‌پیوندند، در رژیم منظم قرار خواهند گرفت. بنابراین مهار تنها چند پارامتر ساده ساختمانی برای تضمین اینکه اعضای از دسته یا هیئت (ensemble) پدید آورنده‌ی نظم باشند، بسنده می‌کند. پیامد تکاملی این مطلب بلافاصله روشن است: بدست آوردن رفتار هماهنگ در مورد شمار بسیار زیادی از متغیرهای مرتبط، از طریق تنظیم متغیرهای بسیار ساده و عمومی کل دستگاه میسر است. یعنی اینکه نظم دینامیکی بزرگ مقیاس، بسیار ساده‌تر از آنچه گمان می‌کردیم به دست می‌آید.

بررسی خواص ژنریک هر دسته (class) یا هیئت (ensemble) از شبکه‌ها مستلزم اینست که اعضای بختانه‌ی (random) آنها برای بررسی نمونه برداری شود. تجزیه و تحلیل چنان نمونه‌های بختانه موجب شناخت رفتارهای نوعی اعضای هر جمع می‌شود. بنابراین شبکه‌های بولی بختانه ساخته شده را مورد توجه قرار می‌دهیم. پس از ساخته شدن، نمودار سیم‌کشی و منطق شبکه تثبیت است.

نخست مورد حد یعنی هنگامی که  $N=K$  است را در نظر می‌گیریم. در اینجا هر متغیر دویی درونروهایی از خود و سایر متغیرهای دویی دریافت می‌کند. در نتیجه تنها یک نمودار سیم‌کشی وجود دارد. با این وجود، چنین دستگاهی را می‌توان به طور هر دمبیل از جمع  $N=K$  شبکه نمونه برداری کرد به این ترتیب که به هر متغیر، یک تابع بولی بختانه برای  $N$  درونروش نسبت داد. چنین تابعی به طور الابختکی پاسخ ۱ یا ۰ را به هر آرایشی از درونروها نسبت می‌دهد. چون این امر برای هر یک از  $N$  متغیر صادق است، یک شبکه‌ی  $N=K$  بختانه از میان  $2^N$  حالت، به طور الابختکی یک حالت جانشین برای هر حالتش منسوب می‌کند. بنابراین  $N=K$  شبکه، نقشه‌های (mappings) بختانه‌ی  $2^N$  عدد صحیح در خودشان می‌باشند.

در شبکه‌های  $N=K$  خواص زیر بدست می‌آید. نخست اینکه درازای مورد انتظار میانگین چرخه حالت، ریشه دوم شمار حالت‌ها است. خوبست درباره پیامدهای آن بیاندیشیم. یک شبکه‌ی کوچک با ۲۰۰ متغیر، چرخه‌های حالتی به درازای  $2^{100}$  خواهد داشت که این تقریباً  $10^{30}$  حالت می‌شود. اگر برای رفتن از یک حالت به

حالتی دیگر تنها یک میکرو ثانیه در نظر بگیریم، زمان لازم برای پیمودن چرخه حالت چند میلیارد برابر تاریخ کیهان از لحظه بانگ اکبر (مهبانگ - big bang) در ۱۴ میلیارد سال پیش خواهد شد.

چرخه‌های طولانی در شبکه‌های  $N=K$  بمن اجازه می‌دهد تا به یک نکته اساسی در بحث شرو دینگر بپردازم. درباره ژنوم انسان بیاندهشید. در هر یاخته‌ی بدن انسان حدود ۱۰۰/۰۰۰ ژن رمزگذاری شده است. چنانچه همه‌مان می‌دانیم ژنها فعالیت یکدیگر را از طریق شبکه‌ای از اندرکنش‌های ملکولی در مهار دارند. رونویسی (نسخه برداری - transcription) توسط توالی‌هایی از دی‌ان‌ا چون پیشبرنده‌های سیس (cis acting)، جعبه‌های تاتا (TATA)، تشدید کننده‌ها (enhancers) و غیره مهار می‌شوند. فعالیت جایگاه‌های سیس به نوبه‌ی خود توسط عوامل ترانس، تنظیم می‌شوند یعنی پروتئین‌هایی که بیشتر توسط ژنهای دیگر رمزگذاری می‌شوند و در یاخته یا هسته نفوذ می‌کنند و به جایگاه سیس می‌چسبند و بدان وسیله رفتار آن را تنظیم می‌کنند. در ورای ژنوم، ترجمه نیز توسط شبکه‌ای از پیامها تنظیم می‌شوند، چنانچه فعالیت عده زیادی از آنزیم‌ها هم، که حالت فسفریلاسیون‌شان بر فعالیت‌های کاتالیتیکی و پیوندی‌شان حاکمیت دارد. حالت فسفریلاسیون نیز به نوبه‌ی خود توسط سایر آنزیم‌ها، کینازها، فسفاتازها، مهار می‌شود که اینها هم خودشان فسفریله و دفسفریله می‌شوند. کوتاه سخن اینکه ژنوم و فرآورده‌های مستقیم و غیر مستقیم آن، شبکه بس ظریفی از اندرکنش‌های ملکولی را بوجود می‌آورد. رفتار هماهنگ این دستگاه است که رفتار یاخته و رشدش را در مهار دارد.

فرض کنید ژنوم، شبکه‌های تنظیم کننده‌ای که شبیه یک شبکه‌ی  $N=K$  است تعیین کند. زمان روشن یا خاموش شدن یک ژن حدود ۱ تا ۱۰ دقیقه است. بگذارید همان آرمان‌گرایی (idealization) خود را نگهداریم و بگوییم ژنها و سایر سازنده‌های دستگاه تنظیم‌گر ژنومی متغیرهای دویی هستند. در این صورت یک ژنوم با ۱۰۰/۰۰۰ ژن، که پیچیدگی ژن انسانی را دارد، توانایی بروز تنوعی غیر قابل تصور از طرح‌های بیان (expression) ژن یعنی  $2^{100000}$  را خواهد داشت. جاذب‌های چرخه حالت برای این دستگاه تنها  $2^{50000}$  یا  $10^{15000}$  انتظار می‌رود. برای درک مقیاس، بیاد آورید که الگوی ژنومی بسیار کوچک با ۲۰۰ متغیر دویی، چند میلیارد برابر عمر

کیهان را برای پیمودن مدارش لازم داشت.  $10^{15/000}$  آنقدر بزرگ است که حتی از حد تخیل ما فراتر است. بنابراین هیچ زیست‌مندی نمی‌تواند بر مبنای چنین دوره‌های عظیم و غیر قابل تصویری، مبتنی باشد.

کوتاه اینکه اگر ژنوم انسانی، که با جامد بی‌تناوبی بنام دی.ان.ا. رمزگذاری شده، قرار بود یک دستگاه تنظیمی  $N=K$  را مشخص کند، نظم محفوظ در جامد بی‌تناوب رفتار پویانده‌ای را بوجود می‌آورد که هیچ امکان ارتباط با زیست‌شناسی نمی‌داشت. گزینش ناشی از تغییرات توارثی مستلزم یک روبنای ژنتیکی مکرر برای اجرایش می‌باشد. دستگاه ژنتیکی که طرح‌های فعالیت ژنی‌اش گزینه‌ای از سلسله حالات بختانه‌ای باشد که تنها در  $10^{15/000}$  گام تکرار می‌شود، نمی‌تواند چنان روبنای ژنتیکی مکرری را نمایان سازد که بر پایه‌ی آن به شکلی سودمند گزینش انجام شود.

شبکه‌های  $N=K$  چرخه‌های حالتی دارند که درازای منتظره‌شان به‌طور نمایی با اندازه دستگاه تناسب دارد. من از این تناسب (scaling) برای نمایش یک جنبه‌ی رفتار هبایی چنین شبکه‌هایی بهره خواهم جست.

اما از هبامفهوم دیگری، که به مفهوم آشنای آن نزدیکتر است، توسط شبکه‌های  $N=K$  ظاهر می‌شود. چنان شبکه‌هایی حساسیتی بی‌اندازه نسبت شرایط آغازین نشان می‌دهند. به این معنی که اندک تغییراتی در شرایط آغازین، تغییرات وسیعی در پویایی را بدنبال می‌آورد. حالت جانشین هر حالت به‌طور بختانه از میان حالت‌های ممکن گزیده می‌شود. دو حالت آغازین را در نظر بگیرید که تنها در فعالیت یکی از  $N$  متغیر دویی تفاوت دارند. برای مثال حالت‌های  $(000000)$  و  $(000001)$ . مسافت بین دو حالت دویی، فاصله‌ی هامینگ (Humming)، عبارت از شمار بیت (bit) هبایی است که با هم متفاوت‌اند. بنابراین در مثال نامبرده فاصله‌ی هامینگ برابر ۱ است. چنانچه فاصله‌ی هامینگ به کل تعداد متغیرهای دویی، یعنی ۶ در مورد ما، تقسیم شود فاصله‌ی هامینگ نرمالیزه، یعنی  $\frac{1}{6}$  در اینمورد، بدست می‌آید. حالت‌های آغازینی را که در یک بیت تفاوت دارند، در نظر می‌گیریم. حالت‌های جانشین‌شان به‌طور بختانه از میان حالت‌های ممکن شبکه گزیده می‌شود. بنابراین فاصله هامینگ منتظره بین حالت‌های جانشین تنها نیم تعداد متغیرهای دویی است. در نتیجه فاصله نرمالیزه در یک تبدیل تنها از  $\frac{1}{N}$  به  $\frac{1}{4}$  می‌جهد. یا به‌طور کوتاه،

شبکه‌های  $N=K$  حداکثر حساسیت ممکن نسبت به شرایط آغازین را بنمایش می‌گذراند.

در دنباله‌ی بحثم درباره عدم توافق (اگر چنین باشد) با انگیزه‌ی کتاب شرودینگر، چنانچه ژنوم انسانی شبکه‌ای  $N=K$  می‌بود، نه تنها مدارهای جاذبی‌اش فوق نجومی طولانی بود، بلکه کوچکترین خللی منجر به تغییراتی فروپاشنده در رفتار پویانده‌ی دستگاه می‌گردید. هنگامی که با نمونه‌ی مقابل (نقیض) دستگاه منظم روبرو هستیم، بدیهی است که دستگاه‌های  $N=K$ ، واقع در ژرفای رژیم هبایی، نمی‌توانند راهی برای سامان‌یابی دستگاه تنظیم ژنومی بشمار آید. مهم‌تر از این، گزینش بر مبنای تغییرات توارثی عمل می‌کند. در شبکه‌های  $N=K$  تغییرات اندک در ساختار یا منطق شبکه نیز در تمامی مسیرها و جاذبه‌های دستگاه فاجعه می‌آفریند. برای نمونه حذف تنها یک ژن منجر به ناپدید شدن نیمی از فضای حالت که ژن در آن فعال است، می‌شود. این امر باعث یک نو سامانی عظیم در جریانهای دستگاه می‌شود. زیست‌شناسان درباره راه‌های تکاملی ممکن از طریق «هیولاهای امیدبخش» (hopeful monsters) تأمل می‌کنند. چنان راه‌هایی شدیداً غیر ممکن‌اند. شبکه‌های  $N=K$  تنها می‌توانند توسط هیولاهای ناممکنانه امیدبخش، تکامل یابند. کوتاه سخن اینکه شبکه‌های  $N=K$  بهیچ وجه تغییرات توارثی مفیدی که برای گزینش به کار آید در اختیار نمی‌گذارد.

لازم است راجع به واژه‌ی «هبا» اشاره شود. تعریف آن روشن و برای دستگاه‌های چند معادله دیفرانسیل پیوسته، تثبیت و معین است. چنین دستگاه‌های کم بُعدی (low dimensional) بر «جاذب‌هایی بیگانه» می‌افتند که در آن جریان محلی، واگرا (divergent) اما روی جاذب باقی می‌ماند. در حال حاضر دانسته نیست که چه رابطه‌ای بین اینگونه هبای کم بُعد در دستگاه‌های پیوسته و هبای ابعاد بالایی که در اینجا شرح می‌دهم، وجود دارد. منظورم از هبای ابعاد بالا یعنی دستگاه‌هایی که شمار متغیرشان زیاد است و در آنها درازای مدارهای‌شان تناسب‌نمایی با تعداد متغیرها دارد و به مفهومی که پیشتر گفته شد، نسبت به شرایط آغازین حساسیت نشان می‌دهند.

نظم مفت: علیرغم این که شبکه‌های بولی هزاران متغیر دویی را می‌پذیرند، امکان دارد که بخودی خود، نظم شدید و غیر منتظره‌ای پدید آید. گمان دارم این

نظم چنان قدرتمند است که می‌تواند توجیه‌گر بخش عمده‌ی نظم پوینده در زیستمندان باشند. اگر پارامترهای خیلی ساده‌ی چنین شبکه‌هایی به راه‌های ساده‌ای تحت قید قرار گیرند، نظم به وجود می‌آید. ساده‌ترین پارامتری که می‌توان مهار کرد،  $K$  یعنی شمار درونروها به ازای هر متغیر است. اگر  $K=2$  یا کمتر باشد، شبکه‌های نوعی مربوطه در قلمرو رژیم منظم قرار می‌گیرند.

شبکه‌ای با  $100/000$  متغیر دویی را مجسم کنید که به هر یک به طور بختانه  $K=2$  درونرو نسبت داده می‌شود. نمودار سیم‌کشی آن کلاف ارتباطی درهم برهم و سرسام آوری خواهد بود که هیچ منطقی از آن عاید نمی‌شود، اصلاً و ابداً. به هر کدام از متغیرهای دویی یکی از ۱۶ تابع دو متغیره‌ی بولی و ممکن را به طور هر دمبیل نسبت می‌دهیم یعنی: و، یا، اگر، بجز یا، و غیره. بنابراین منطق شبکه، خود کاملاً بختانه است. اما با این وجود نظم، تبلور پیدا می‌کند.

درازای منتظره از یک چرخه حالت در چنین دستگاه‌هایی ریشه‌ی دوم شمار حالت‌ها نیست بلکه حدود ریشه‌ی دوم شمار متغیرها است. در نتیجه دستگاهی به پیچیدگی ژنوم انسانی با  $100/000$  ژن و  $2^{100/000}$  حالت، به سستی فرو می‌نشیند و میان تقریباً  $317$  حالت چرخه خواهد داشت که این رقم زیر مجموعه‌ی کوچکی از  $2^{100/000}$  حالت‌های ممکن به شمار می‌آید. یعنی استقرار نسبی در فضای حالت، حدود  $2^{-99/998}$  می‌باشد.

شبکه‌های بولی دستگاه‌های ترمودینامیکی بازاند. در ساده‌ترین مورد، آنها را می‌توان از دریچه‌های منطقی واقعی که به وسیله‌ی نیروی برق از بیرون به کار می‌افتند، ساخت. با این وجود این دسته از دستگاه‌های ترمودینامیکی باز در فضای حالت، همگرایی شدیدی بروز می‌دهند. این همگرایی از دو راه خودنمایی می‌کند. چنین دستگاه‌هایی رویهمرفته فقدان حساسیت عمیقی را نسبت به شرایط آغازین نشان می‌دهند. نخستین نشانه‌ی همگرایی این است که اغلب انحراف‌های تک بیتی (bit) دستگاه را در مسیرهایی به جا می‌گذارد که بعدها به هم می‌گرایند. این همگرایی‌ها حتی پیش از اینکه دستگاه به جاذب‌ها برسد، رخ می‌دهد. دیگر اینکه انحراف‌های نسبت به یک جاذب، معمولاً دستگاه را در حالتی بجا می‌گذارد که به سوی همان جاذب جاری می‌شود. به بیان زیست‌شناسی، جاذب‌ها بخودی خود، ثبات درونی (homeostasis) زیستمند را نمایان می‌کند. هر



دو نشانه‌ی همگرایی، حایز اهمیت‌اند. پایداری جاذب‌ها نشانه‌ی رفتار تکرارپذیر در حضور همهمه (noise) است. اما همگرایی جریان حتی پیش از آنکه به جاذب‌ها برسد، نشانه‌ی این است که در رژیم منظم دستگاه‌ها میتوانند نسبت به محیط‌های یکسان واکنشی یکسان نشان دهند، حتی اگر انحراف‌های ناشی از درونروهای محیطی پیوسته مانع رسیدن دستگاه به یک جاذب بشوند. همگرایی در امتداد مسیرها اجازه می‌دهد که چنین دستگاه‌هایی با موفقیت با یک محیط پر همهمه سازش یابند.

این‌گونه ثبات درونی که بازتابی از همگرایی در فضای حالت می‌باشد، درست نقطه مقابل بقای کامل حجم فاز در دستگاه‌های تعادل ترمودینامیکی بسته است. بیاد آورید که نظریه لیوویل چنین بقایی را تضمین می‌کند، و این به نوبه خود بازتابی از برگشت‌پذیری دستگاه‌های بسته و پس ندادن اطلاعات به یک حمام حرارتی، می‌باشد. بنابراین، این پایستگی زیربنای توانایی پیشگویی احتمالات حالت‌های کلان، به وسیله‌ی اعداد کسری حالت‌های خرد سهمیم در هر حالت کلان، می‌باشد.

پیامد مهمتر بقای حجم فاز در دستگاه‌های تعادلی این است: شرودینگر به درستی توجه ما را به این حقیقت جلب کرد که افت و خیزهای هر دستگاه سنتی (کلاسیک) باعکس ریشه‌ی دوم شمار رویدادهای مورد نظر، تغییر می‌کند. هنگامی که دستگاه یک دستگاه تعادلی باشد، این افت و خیزها دامنه‌ی معینی دارند. اما چنانچه دستگاه ترمودینامیکی بازی با همگرایی شدید در فضای حالت را در نظر بگیریم همگرایی از افت و خیزها برنده می‌شود. همگرایی تمایل به فشردن دستگاه به سمت جاذب‌ها را دارد در حالی که افت و خیزها می‌خواهد دستگاه را در امکان‌های فضایش بختانه‌وار براند. اگر همگرایی به اندازه‌ی کافی قدرتمند باشد می‌تواند سرگردانی القا شده از همهمه را محدود کند تا اینکه بفاصله‌ای بینهایت کوچک نزدیک جاذب دستگاه پابرجا بماند. بنابراین به یک نتیجه‌گیری مهم می‌رسیم. افت و خیزهای ناشی از همهمه شمار کمی از ملکول‌های کوچک که مورد توجه شرودینگر بود، در اصل می‌تواند توسط جریان همگرا به سوی جاذب‌ها خنثی شود، به شرطی که جریان بحد کافی همگرا باشد. به عبارتی ثبات درونی می‌تواند بر گرمادگی (thermalization) غلبه کند.

این نتیجه‌گیری قلب آن چیزی است که در مورد شرودینگر اعلام می‌دارم. چونکه می‌خواهم بگویم که امکان بهره‌گیری زیست‌مند از یک جامد بی‌تناوب به عنوان حامل پایدار اطلاعات ژنتیک برای تضمین نظم کافی نیست. دستگاه رمز گذاری شده می‌تواند هبایی باشد. جامد بی‌تناوب نیز لازم نیست. بلکه جریان همگرای دستگاه‌ها در یک رژیم منظم برای نظم مورد نیاز هم لازم و هم کافی است.

### شبکه‌های بولی مشبک و لبه‌های هبا

یک تغییر ساده در شبکه‌های بولی هر دمبیل ما را در شناخت رژیم‌های منظم، هر دمبیل و پیچیده کمک می‌کند. به جای اندیشه درباره‌ی نمودار سیم‌کشی هر دمبیل، شبکه مربعی را در نظر بگیرید که هر جایگاه از چهار همسایه‌اش درونرو دریافت می‌کند. به چهار درونرو هر جایگاه دو ارزشی، یک تابع بولی می‌بخشیم. دستگاه را از یک حالت ابتدایی بختانه آغاز و می‌گذاریم شبکه (lattice) با پیشرفت زمان تکامل یابد. در هر گام زمانی، هر کدام از متغیرها می‌تواند مقدارش از ۱ به ۰ و یا از ۰ به ۱ تغییر یابد. در این صورت آن متغیر را سبز رنگ کنید و اگر ۱ یا ۰ ماند آن را قرمز کنید. سبز یعنی متغیر «نامنجمد» یا «رونده» و سرخ یعنی متغیر از حرکت ایستاده یا «منجمد».

شبکه‌های هر دمبیل دارای چهار درونرو در رژیم هبایی قرار دارند. همین‌طور که به شبکه می‌نگریم بیشتر جایگاه‌های آن سبز و شمار کمی سرخ می‌شوند. به عبارتی دقیق‌تر «دریای» نامنجمد سبز، زمینه‌ی شبکه را در می‌نوردد یا می‌تراورد (percolate) و جزیره‌های منجمد سرخ را در پشت سر به جای می‌نهد.

حال تورش (تبعیض bias) ساده‌ای در میان همه توابع بولی ممکن وارد می‌کنم. هر اینگونه تابعی برونده‌ی (output) به مقدار ۱ یا ۰ را برای هر ترکیبی از مقادیر  $K$  درونروش، عرضه می‌دارد. مجموعه‌ی مقدار برونده‌ی‌ها ممکن است تقریباً نیمی ۱ و نیمی ۰ و یا اینکه به سمت تمام مقادیر ۱ و یا تمام مقادیر ۰ گرایش داشته باشد. اندازه این گرایش را  $P$  فرض کنید.  $P$  کسری از ترکیب درونروها است که به مقدار بیش‌ام‌تر (کثیرالوقوع‌تر)، خواه ۱ یا ۰، می‌انجامد. برای نمونه، برای تابع و، سه تا از چهار ترکیب از درونروها پاسخ ۰ می‌دهند. یعنی تنها هنگامی که هر دو درونرو ۱

باشند، متغیر تنظیم شده در لحظه بعدی ۱ خواهد بود. بنابراین در این مورد  $P$  برابر  $0.75$  خواهد بود یعنی  $P$  عددی بین  $0.5$  و  $1$  است.

Derrida و Weisbuch (۱۹۸۷) نشان دادند که هرگاه توابع بولی جایگاه‌های یک شبکه‌ی (lattice) بولی به‌طور هردمبیل و با این قید گزیده شود که مقدار  $P$  در هر جایگاه از مقداری بحرانی به ۱ نزدیکتر باشد، آن شبکه در رژیم منظم واقع خواهد بود. در مورد یک شبکه (lattice) مربعی مقدار بحرانی  $P_c$  برابر  $0.72$  است.

«فیلمی» از یک شبکه‌ی مشابه در رژیم منظم را در نظر بگیرید که باز در آن جایگاه‌های رونده سبز و منجمدها سرخ رنگ است. اگر  $P$  بیشتر از  $P_c$  باشد، جایگاه‌ها در ابتدا بیشترشان سبز خواهند بود. اما به زودی شمار بیشتری از جایگاه‌ها به مقدار غالبشان یعنی ۱ یا ۰، منجمد و در نتیجه سرخ خواهند شد. و دریایی سرخ سراسر شبکه را در خواهد نوردید (خواهد تراورد (percolate) و جزایر سبز نامنجمد متغیرها را پشت سر خواهد نهاد که با طرحی پیچیده خاموش-روشن می‌شود. تراوری یک دریای سرخ و بجا گذاشتن جزایر سبز نامنجمد مشخصه‌ی رژیم منظم است.

در چنین شبکه‌های بولی مشبک هنگامی که  $P$  از بالای  $P_c$  به پایین آن سوق داده می‌شود یک تبدیل فاز رخ می‌دهد. همچنانکه از بالا به سمت تبدیل فاز نزدیک می‌شویم جزایر سبز نامنجمد بزرگتر می‌شوند و در نهایت به هم می‌پیوندند و یک دریای نامنجمد و تراورنده‌ی سبز بوجود می‌آورند. درست در این ادغام جزایر، تبدیل فاز رخ می‌دهد.

با این تصویر در ذهن، تعریف «آسیب» سودمند می‌افتد. آسیب عبارت از اغتشاشاتی است که پس از وارونگی گذرای فعالیت یک جایگاه، در شبکه انتشار می‌یابد. برای بررسی آن کافی است که دو نسخه‌ی یکسان از شبکه را ساخته و آنها را در دو حالت که تنها در فعالیت یک متغیرشان تفاوت دارند، آغاز کنیم. دو شبکه را می‌نگریم و هر جایگاهی را که در نسخه‌ی منحرف (perturbed) همیشه در فعالیت متفاوت نسبت به نسخه‌ی اصل قرار دارد، ارغوانی رنگ می‌کنیم. در اینصورت اگر رنگ ارغوانی از جایگاه مغشوش شده به بیرون سرایت کند نشانه‌ی گسترش آسیب از آن خواهد بود.

در رژیم هبایی، جایگاهی را در دریای سبز نامجمد و تراورنده (percolating)،

آسیب دیده تلقی کنید. در نتیجه اساساً یک رنگ ارغوانی در بیشتر دریای سبز گسترش می‌یابد. در واقع اندازه‌ی منتظره حجم آسیب با اندازه کل دستگاه شبکه تناسب دارد (Staufer, ۱۹۸۷). برعکس جایگاهی را در رژیم منظم آسیب دهید. چنانچه در ساختار منجمد سرخ واقع باشد، اصلاً هیچ آسیبی گسترش نخواهد یافت. در حالی که اگر آسیب در جزایر نامنجمد سبز باشد، آسیب می‌تواند بیشتر جزیره را فراگیرد، اما به ساختار منجمد سرخ تجاوز نمی‌کند. کوتاه اینکه، ساختار منجمد سرخ جلوی انتشار آسیب را می‌گیرد و عمده‌ی پایداری ثبات وجود دستگاه را عرضه می‌دارد.

در تبدیل فاز انتظار می‌رود که توزیع کولاکهای آسیب، یک تابع نمایی با تعدادی کولاک‌های کوچک و معدودی کولاک بزرگ باشد. تبدیل فاز، رژیم پیچیده است. افزون بر شاخص بودن توزیع کولاک‌های آسیب، همگرایی میانگین در امتداد مسیرهایی که همسایه‌های نزدیک هامینگ (Hamming) می‌باشند، صفر است. بنابراین در رژیم‌های هبایی، حالت‌های آغازینی که همسایه‌های نزدیک هامینگ هستند به‌طور میانگین تمایل به واگرایی از هم دارند، چونکه هر یک در مسیر خود جاری می‌شوند. و این همان چیزی است که از آن بنام «حساسیت نسبت به شرایط آغازین» نام بردم. در رژیم‌های منظم، حالت‌های نزدیک هم تمایل به همگرایی دارند و اغلب پیش از رسیدن به یک جاذب مشترک، به یک مسیر جریان پیدا می‌کنند. به‌طور میانگین در لبه‌ی تبدیل فاز هبا، حالت‌های نزدیک هم نه همگرایی دارند نه واگرایی.

اینکه دستگاه‌های سازشی (adaptive) پیچیده در لبه‌ی هبا به دستگاه‌های پیچیده تکامل می‌یابند، نظریه‌ای جالب است. خواص لبه‌ی رژیم هبا، شماری از پژوهشگران را به این امر هدایت کرده است (Kauffman, ۱۹۹۳؛ Packard, ۱۹۸۸؛ Langton, ۱۹۹۲، ۱۹۸۶) که در تبدیل فاز یا لبه‌ی هبا، امکان دارد که رژیم مستعد اعمال (ریاضی) پیچیده باشد. در ظاهر این اندیشه‌ی جالبی است. فرضاً می‌خواهیم چنین دستگاهی رفتار زمانی جایگاه‌های دور از هم را هماهنگ کند. در عمق رژیم منظم، جزایر سبزی که شاید یک سلسله فعالیت‌های متغیر را انجام می‌دهند، از هم جدا می‌باشند و هیچ هماهنگی بین‌شان میسر نیست. در عمق رژیم هبایی، هر اغتشاشی که کولاکی عظیم از تغییر را به بار آورد موجب به هم زدن هماهنگی

می‌شود. بنابراین احتمال زیادی هست که بتوان در نزدیکی تبدیل فاز، شاید در رژیم منظم، توانایی هماهنگی رفتارهای پیچیده را بهینه کرد.

اگر چنین نظریه‌ای درست باشد بسیار جالب خواهد بود. چون که سرآغاز داشتن یک نظریه‌ی عمومی درباره ساختار درونی و منطق دستگاه‌های سازشی پردازشگر موازی و پیچیده، خواهد شد. براساس این نظریه، سازش‌گزینشی در مورد خود ظرفیت هماهنگی رفتار پیچیده، موجب تکامل دستگاه‌های سازشی بخود تبدیل فاز یا نزدیک آن می‌گردد.

شواهدی موقت برای این نظریه شروع به پیدایش‌اند که دستگاه‌های پیچیده اغلب نزدیک لبه‌ی هبا به سوی رژیم منظم تکامل می‌یابند، نه به سوی لبه‌ی هبا. برای سنجش این موضوع در موسسه سانتافه اینجانب و همکارانم شبکه‌های بولی را با هم تکامل می‌دهیم تا «بازی»های گوناگونی را انجام دهند. در همه‌ی موارد، بازی‌ها (games) کارشان حس کردن فعالیت‌های عناصر دیگر شبکه و ابراز پاسخی مناسب به برخی متغیرهای برون‌دهی شبکه‌ی خود می‌باشد. تکامل این شبکه‌ها با هم، می‌گذارند که  $P$  و  $K$  و سایر متغیرها تغییر کنند تا اینکه موفقیت هر بازی از راه‌گزینش طبیعی، بهینه شود. خلاصه کلام اینکه در مجموعه بازی‌هایی که خواسته‌ایم که انجام شود، چنین شبکه‌هایی بهبودی می‌یابند. مانند همیشه، چنین جویندگی تکاملی در حضور فرایندهای گرایشی جهشی هر دمبیل رخ می‌دهد که میل دارند جمعیتی سازشی را در عرصه‌ی فضایی که در آن به کاوش مشغول است، پراکنده گردانند. علیرغم میل این گرایش، تمایل شدیدی به تکامل به موقعیتی در درون رژیم منظم که نه چندان با تبدیل به هبا فاصله دارد، موجود است. به‌طور کوتاه شواهد موقت مؤید این نظریه است که انواع وسیعی از دستگاه‌های پردازشگر موازی به منظور هماهنگی وظایف پیچیده به سوی رژیم منظم در نزدیکی تبدیل فاز تکامل می‌یابند.

پژوهش‌های آتی در این زمینه به بررسی پرسش مرکزی که در ارتباط با شرودینگر مطرح نمودم، خواهند پرداخت. در بازی شبکه‌های بولی امکان وجود دو سرچشمه‌ی مهمه در میان است. نخستین آن از درون رویه‌های سایر شبکه‌ها است. این درون‌روهای بیرونی باعث رانش هر دستگاه از مسیر کنونی‌اش گردیده، جریانش بسوی جاذب‌ها را دچار خلل می‌نماید. دومین آن همه‌های گرمایی در درون هر

شبکه است. همه‌ی درونی باعث اختلال رفتار هر دستگاه می‌شود. انتظار می‌رود که چنین دستگاه‌هایی برای جبران و دستیابی به هماهنگی، هر چه بیشتر به سمت رژیم منظم‌گرایش یابد. در آنجا همگرایی در فضای حالت شدیدتر است و در نتیجه ضربگیری قوی‌تری را در برابر همه‌ی بیرونی فراهم دارد. بنابراین می‌توان پرسید: برای جبران مقداری معین از همه‌ی درونی چه اندازه همگرایی مورد نیاز است؟ عین همین موضوع در هر دستگاهی رخ می‌دهد که رفتار پوینده‌اش به وسیله‌ی شمار کمی از نسخه‌هایی از هرگونه ملکول مهار بشود. این امر در یاخته‌های کنونی، که در آنها شمار پروتئینهای تنظیم‌کننده و سایر مولکول‌ها به ازای هر یاخته، اغلب در حدود یک نسخه است، به وقوع می‌پیوندد. همانند این رویداد در دستگاه‌های مولکولی جمعاً خود کاتالیتیکی که گمان دارم در سپیده‌دم پیدایش حیات تشکیل شده‌اند، نیز رخ می‌دهد. تا چه اندازه همگرایی فضای حالت، جبران افت و خیزهای ناشی از بهره‌وری از شمار کمی ملکول در یک دستگاه پوینده را می‌کند و چگونه همگرایی لازم با کاهش شمار نسخه‌های هرگونه ملکول در دستگاه الگو، تناسب دارد؟ ظاهراً قدری همگرایی بسنده زیاد در فضای حالت مجموعه‌های جمعاً خود کاتالیتیک، باعث ضربه‌گیری چنین دستگاه‌هایی نسبت به افت و خیزهای ناشی از شمار کم نسخه‌هایی از هر نوع ملکول در سوخت و ساز جمعاً تولید مثل‌کننده، می‌شود. اگر چنین باشد، ساختار پایدار در مورد جامدهای بی‌تناوب بزرگ برای نظم مورد نیاز در پیدایش حیات، یا آن تغییرات توارثی که گزینش بتواند بر مبنای آن پیروزمندانه عمل کند، نه لازم و نه بسنده می‌باشد.

## نظم و رشد فردی

دیدیم که حتی شبکه‌های بولی هر دمبیل بخودی خود می‌توانند نظم بسیار بالای غیرمترقبه‌ای از خود بروز دهند. نادیده گرفتن امکان اینکه چنین نظم‌ی خودجوش بتواند نقشی در پیدایش و نگهداری نظم در رشد فردی، داشته باشد، کاری نابخردانه است. اگر چه شواهد هنوز آزمایشی هستند، اعتقاد دارم که این نظریه پشتوانه قابل توجهی می‌یابد. به گونه‌ای کوتاه شواهدی را ارائه می‌کنم که نشان می‌دهد، شبکه‌های تنظیمی ژنومی واقعاً در رژیم منظم، شاید نه چندان دور از لبه‌ی هبا، قرار دارند. نخست اینکه اگر ژن‌های تنظیم‌گر و ویروس‌ها، باکتری‌ها، ویوکاریوت‌ها مورد

توجه قرار گیرند، دیده می‌شود که بیشترشان توسط معدودی درونروهای ملکولی، نوعاً از ۰ تا شاید ۸، مهار می‌شوند. جالب توجه اینکه در آرمانگرایی (idealization) بولی «روشن - خاموش»، تقریباً جملگی ژن‌های تنظیم شده‌ی شناخته شده، تحت فرمان زیر مجموعه‌ای از توابع گرایش یافته‌ی بولی ممکن، قرار دارند که اینجانب آنها را تابع‌های «مجراساز» (canalyzing) نامیده‌ام (Kauffman & Harris, ۱۹۹۴؛ Kauffman, ۱۹۹۳, ۱۹۷۱). در اینجا، دست کم یک درونرو ملکولی مقدار ۱ یا ۰، را دارد که به تنهایی برای تضمین اینکه کانون مورد تنظیم حالت برونده‌ی ویژه ۱ یا ۰ را داشته باشد، بسنده می‌کند. بنابراین، تابع یا  $i$  چهار درونرو، مجرا می‌زند، زیرا که در صورت فعال بودن نخستین درونرو، فعال بودن عنصر تنظیم شده رابدون توجه به فعالیت سه درونرو دیگر، تضمین می‌کند. شبکه‌های بولی که بیش از  $N=2$  درونرو به ازای هر عنصر دارند، اما عمدتاً به توابع مجراساز محدوداند، عموماً در رژیم منظم واقع‌اند (Kauffman, ۱۹۹۳). چندین سال است که جاذب‌های یک دستگاه ژنتیکی، یعنی چرخه‌های حالت را به منزله گونه‌های یاخته‌ای در فهرستگان دستگاه ژنومی، تفسیر می‌کنم در این صورت درازای چرخه‌های حالت پیش‌بینی می‌کند که گونه‌های یاخته‌ای می‌باید طرح‌های مکرر و محدودی از بیان ژن باشد و همچنین چرخه یاخته‌ها صدها تا هزاران دقیقه بیانجامد. افزون بر این، شمار جاذب‌ها با ریشه‌ی دوم شمار متغیرها تناسب دارد. چنانچه جاذبی از یک گونه یاخته تشکیل شده باشد، نتیجه می‌گیریم که شمار گونه‌های یاخته در یک موجود زنده می‌بایست با ریشه‌ی دوم ژن‌هایش تناسب داشته باشد که این از لحاظ کیفی درست به نظر می‌رسد. بنابراین برای انسان با ۱۰۰۰۰۰ ژن، حدود ۳۱۷ گونه یاخته پیش‌بینی می‌شود. که در واقع ۲۵۶ نوع اعلام شده است (Alberts et al, ۱۹۸۳) و این عدد چیزی بینابین تناسب خطی و تناسب باریشه دوم پیچیدگی ژنتیکی، است (Kauffman, ۱۹۹۳). این الگو همچنین سایر جلوه‌ها مانند پایداری همواستاتیکی گونه‌های یاخته‌ای را پیشگویی می‌کند. سازندِ سرخ منجمد به درستی پیشگویی می‌کند که نزدیک به ۷۰٪ از ژن‌ها در همه‌ی گونه‌های یاخته‌ای، در یک وضع ثابت از لحاظ فعالیت بسر برند. افزون بر این اندازه‌ی جزیره‌های سبز به گونه‌ای معقول تفاوت طرح ژنی انواع یاخته‌های یک زیستمند را پیشگویی می‌کند. شاید توزیع اندازه‌ی کولاک‌ها، پیشگوینده‌ی توزیع تغییرات آبشویی (cascading) فعالیت ژن

در نتیجه‌ی انحراف فعالیت زن‌های منفرد و بختانه، باشد. سرانجام اینکه در رژیم‌های منظم، انحراف‌ها تنها می‌توانند دستگاه را از یک جاذب به سوی معدودی جاذب دیگر برانند. اگر جاذب‌ها گونه‌های یاخته‌ای باشند، این خاصیت پیشگویی می‌کند که رشد و کمال می‌بایست حول مسیرهای منشعب از تمایز نظام یابد. هیچ‌گونه یاخته نباید و نمی‌تواند که مستقیماً به همه‌ی یاخته‌ها تمایز یابد. در اینجا با خاصیتی روبرو هستیم که در مورد همه‌ی زیست‌مندان چند یاخته‌ای، از دوران کامبرین (Cambrian) و یا پیش از آن، تاکنون مصداق داشته و دارد.

این بود کوتاهی از اندیشه‌ها که در این مختصر می‌توان برشمرد. اما جان کلام در حال حاضر اینست که دستگاه‌های تنظیم‌گر ژنومی شاید دستگاه‌های پردازشگر موازی (parallel processing) واقع در رژیم منظم باشند. اگر چنین باشد، همگرایی شاخص در فضای حالت این دستگاه‌ها، سرچشمه‌ی عمده‌ی نظم پوینده‌شان بشمار خواهد آمد.

اما پیامدی شگفت‌آورتر از آنچه بحث می‌کنم، در میان است. از عهد داروین تا کنون اعتقاد پیدا کرده‌ایم که گزینش تنها سرچشمه‌ی نظم در زیست‌شناسی است. اعتقاد یافته‌ایم که زیست‌مندان تافته‌هایی به هم بافته و یا تلفیقی ماهرانه از اصول طراحی، بخت، و نیاز می‌باشند. داروین از توانمندی خودسامانی آگهی نداشت و حتی خود ما هم به سختی آن را لمس می‌کنیم. نظر من این است که در هر نظریه‌ای در مورد حیات، چنین خود سامانی می‌بایست نقش اساسی در تاریخ حیات، از سرچشمه‌ی آن تا پویندگی همدوس آن، داشته باشد. اما داروین هم درست می‌گفت. گزینش طبیعی همیشه در کار است. بنابراین می‌بایست در مورد نظریه تکامل بازاندیشی کنیم. تاریخ طبیعی حیات شکلی تلفیق میان خودسامانی و گزینش است. بایستی حیات را از نو بنگریم و قوانینی تازه در جلوه‌هایش به پرده‌ی خیال آوریم.

## خلاصه

شرو دینگر پیش از آن که حق داشته باشد چنان غیب‌گویانه حدس بزند، به درستی پیش‌بینی کرد که حیات کنونی مبتنی بر ساختار جامدهای بزرگ بی‌تناوب است. وی پیش‌بینی کرد که پایداری آن جامدها، ماده حامل پایداری برای اطلاعات



ژنتیکی عرضه خواهند کرد. که رمز (microcode) درون چنین ماده‌ای شاخص موجود زنده خواهد بود. تغییرات کوانتومی در این ماده ناپیوسته، کمیاب و سازنده‌ی جهش‌ها خواهد بود. وی در بسیاری از موارد مربوط به حیات کنونی درست می‌گفت. اما آیا در سطحی بنیادی‌تر، شرودینگر در مورد حیات درست می‌گفته است؟ آیا حافظه‌ی ساختاری بلور بی‌تناوب برای همه حیات لازم است؟ یقیناً نظر شرودینگر از کمترین لحاظ، یعنی اینکه ملکول‌های آلی با پیوندهای کووالان‌شان، بلورهای بی‌تناوب کوچک‌اند، شایسته است. دست کم در مورد حیات متکی به کربن، احتیاج به پیوندهایی است که از استحکام بسنده در برابر محیطی خاص برخوردار باشد. اما واقعیت این است که رفتارهای مجموعه‌ای از آن ملکول‌ها است که سازنده حیات در روی زمین و شاید زیربنای حیات در هر گوشه از کیهانی می‌باشد. در واقع موجودات زنده، دستگاه‌های ملکولی جمعاً خود کاتالیتیک‌اند. شواهد و نظریات تازه‌ای که در بالا به آن اشاره رفت می‌رساند که نه پیدایش دستگاه‌های ملکولی همانند ساز، و نه تکامل محدودشان اصولاً به جامدهای بزرگ بی‌تناوب نیازمنداند. همچنین نظم پوینده و تغییر توارثی، توسط جامد بی‌تناوبی که رمزگذارنده ساختار و برخی اندرکنش‌های شمار زیادی از سایر ملکول‌ها است، تضمین نمی‌شود. بلکه تغییر توارثی در دستگاه‌های شیمیایی همانندسازی که بر مبنای آن احتمالاً گزینش طبیعی می‌تواند عمل کند، مستلزم پایداری پوینده است. و چنین امری به نوبه‌ی خود از دستگاه‌های ترمودینامیکی بازی برمی‌آید که در فضاهای حالت‌شان آنقدر همگرایی دارند که جبران افت‌وخیزهایی را که از معدود بودن شمار ملکول‌های مربوطه سرچشمه می‌گیرند، می‌کنند.

بر شرودینگر انتقادی وارد نیست که چرا رفتارهای خودسامانی دستگاه‌های ترمودینامیکی باز را مورد توجه قرار نداده است. زیرا چنین دستگاه‌هایی در پنجاه سال پیش هنوز پیدا نشده بودند و حتی امروز هم خیلی پیشرفته نیستند. در واقع می‌توان صادقانه گفت که این خودسامانی که تازه جلوه‌هایی از آن در دستگاه‌های ترمودینامیکی باز بر ما نمایان شده، شاید دید ما را نسبت به سرچشمه و تکامل حیات تغییر بدهد. تا همین حدی هم که شرودینگر پیش‌گویی کرده خودش بسنده است. آرزوی ما این است که ای کاش فرزاندگی او امروز زنده می‌بود تا داستان خود و ما را به پیش می‌برد.

- Alberts, B., Bray, D., Lewis, J., Raff, M., Roberts K. & Watson, J. D. (1983). *Molecular Biology of the Cell*. New York: Garland.
- Bagley, R. J. (1991) The functional self-organization of autocatalytic networks in a model of the evolution of biogenesis. Ph.D. thesis, University of California, San Diego.
- Bagley, R. J. *et al.* (1992). Evolution of a metabolism. In *Artificial Life II*. A Proceedings Volume in the Santa Fe Institute Studies in the Sciences of Complexity, vol. 10, eds. C. G. Langton, J. D. Farmer, S. Rasmussen & C. Taylor, pp. 141–158. Reading, Massachusetts: Addison-Wesley.
- Ballivet, M. & Kauffman, S. A. (1985). Process for obtaining DNA, RNA, peptides, polypeptides or proteins by recombinant DNA techniques. International Patent Application, granted in France 1987, United Kingdom 1989, Germany 1990.
- Cohen, J. E. (1988). Threshold phenomena in random structures. *Disc. Appl. Math.*, **19**, 113–118.
- Cwirla, P., Peters, E. A., Barrett, R. W. & Dower, W. J. (1990). Peptides on phages A vast library of peptides for identifying ligands. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* **87**, 6378–6382.
- Derrida, B. & Pommeau, Y. (1986). Random networks of automata: A simple annealed approximation. *Europhysics Letters* **1**, 45–49.
- Derrida, B. & Weisbuch, G. (1987). Evolution of overlaps between configurations in random Boolean networks. *Journal de Physique* **47**, 1297–1303.
- Devlin, J. J., Panganiban, L. C. & Devlin, P. A. (1990). Random peptide libraries: a source of specific protein binding molecules. *Science* **249**, 404–406.
- Eigen, M. (1971). Self-organization of matter and the evolution of biological macromolecules. *Naturwissenschaften* **58**, 465–523.
- Ellington, A. & Szostak, J. (1990). In vitro selection of RNA molecules that bind specific ligands. *Nature* **346**, 818–822.
- Erdos, P. & Renyi, A. (1960). *On the Evolution of Random Graphs*. Institute of Mathematics, Hungarian Academy of Sciences, publication no. 5.
- Farmer, J. D., Kauffman, S. A. & Packard, N. H. (1986). Autocatalytic replication of polymers. *Physica* **22D**, 50–67.
- Kauffman, S. A. (1969). Metabolic stability and epigenesis in randomly connected nets. *Journal of Theoretical Biology* **22**, 437–467.
- Kauffman, S. A. (1971). Cellular homeostasis, epigenesis and replication in randomly aggregated macromolecular systems. *Journal of Cybernetics* **1**, 71.
- Kauffman, S. A. (1984). Emergent properties in random complex automata. *Physica* **10D**, 145–156.
- Kauffman, S. A. (1986). Autocatalytic sets of proteins. *Journal of Theoretical Biology* **119**, 1–24.
- Kauffman, S. A. (1993). *The Origins of Order: Self Organization and Selection in Evolution*. New York: Oxford University Press.
- Kauffman, S. A. & Harris, S. (1994). Manuscript in preparation.

- LaBean, T. *et al.* (1992) Design, expression and characterisation of random sequence polypeptides as fusions with ubiquitin. *FASEB Journal* 6A471.
- LaBean, T. *et al.* (1994). Manuscript submitted.
- Langton, C. (1986). Studying artificial life with cellular automata. *Physica* 22D, 120–149.
- Langton, C. (1992). Adaptation to the edge of chaos. In *Artificial Life II*, A Proceedings Volume in the Santa Fe Institute Studies in the Sciences of Complexity, vol. 10, eds. C. G. Langton, J. D. Farmer, S. Rasmussen & C. Taylor, pp. 11–92. Reading, MA: Addison-Wesley.
- Orgel, L. (1987). Evolution of the genetic apparatus: a review. In *Cold Spring Harbor Symposium on Quantitative Biology*, vol. 52. New York, NY: Cold Spring Harbor Laboratory.
- Packard, N. (1988). Dynamic patterns in complex systems. In *Complexity in Biologic Modeling*, eds. J. A. S. Kelso & M. Shlesinger, pp. 293–301. Singapore: World Scientific.
- Rossler, O. (1971). A system-theoretic model of biogenesis. *A. Naturforsch.* B266. 741.
- Schrödinger, E. (1944). *What is Life?* Reprinted (1967) with *Mind and Matter* and *Autobiographical Sketches*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Scott, J. K. & Smith, G. P. (1990) Searching for peptide ligands with an epitope library. *Science* 249, 386.
- Stauffer, D. (1987). Random Boolean networks: Analogy with percolation. *Philosophical Magazine B* 56, 901–916.
- von Kiedrowski, G. (1986). A self-replicating hexadesoxynucleotide. *Angewandte Chemie International Edition in English* 25, 932–935.

## چرا شناخت ذهن به فیزیکی نوین نیاز دارد؟

راجر پنروز - انستیتو ریاضی - آکسفورد

### چرا شناخت آگاهانه حساب بردار نیست؟

ذهنیت (قوه‌ی مفکره‌ی) انسان ابعاد زیادی دارد که شاید برخی از آن‌ها به خوبی با مفاهیم فیزیک امروزی قابل توجیه باشند (مقایسه کنید با شرودینگر، ۱۹۵۸) و افزون بر این دارای این قابلیت‌اند که می‌توان با محاسبات شبیه سازی شان نمود. طرفداران هوش مصنوعی (AI) بر این باورند که شبیه سازی واقعاً میسر است - دست کم برای بسیاری از کیفیات ذهنی که اساساً در هوشمندی ما دخیل‌اند. افزون بر این با چنین شبیه سازی‌هایی می‌توان آدمک‌ها (robots) را وادار به رفتارهایی کرد که از آن لحاظ، شبیه رفتار انسانی باشد. اضافه بر این طرفداران AI قوی، اعلام می‌دارند که همه‌ی کیفیتهای ذهنی قابل تقلید هستند - و بالاخره با اعمال رایانه‌های الکترونی از آن‌ها فراتر خواهند رفت. آنها همچنین ابراز می‌دارند که صرف چنین کار محاسباتی می‌بایست همان احساس آگاهانه‌ای را در رایانه یا آدمک پدید آورد که خودمان داریم.

در مقابل، بسیاری هم هستند که بر عکس آن استدلال می‌کنند: یعنی اینکه در ذهنیت ما جنبه‌هایی وجود دارند که قابل محاسبه نیستند. از این دیدگاه شعور انسانی چنین وضعی دارد. یعنی تنها یک مظهر محاسباتی تلقی نمی‌شود. در واقع خود اینجانب هم چنین بحث خواهم کرد و فراتر از آن خواهم گفت که کارهایی را که

مغزمان مطابق تأملات آگاهانه انجام می‌دهد بایستی از سنخی باشد که نتوان با محاسبه شبیه‌سازی کرد. از اینرو قطعاً محاسبه نمی‌تواند به هیچگونه تجربه‌ی آگاهانه بیانجامد.

برای اینکه چنین بحثی از دقت برخوردار باشد لازم است بدانیم منظور دقیق و روشن از «محاسبه» چیست. در اقع محاسبه یک معنای دقیق ریاضی دارد که اینرا می‌توان طبق آنچه که اعمال «ماشین تورینگ» (Turing) گفته می‌شود ارائه نمود. ماشین تورینگ یک رایانه‌ی آرمانی ریاضی است. آرمانی از این دیدگاه که ظرفیتی بی حد دارد و همیشه، بدون هیچگونه کندی یا فرسایشی و یا ارتکاب هیچ اشتباهی کار می‌کند. (یعنی تصور کنیم که هرگاه با خطر تمام شدن ظرفیت حافظه روبرو گشتیم، باز هم امکان افزایش ظرفیت هست). پیشنهاد ندارم که تعریف دقیق‌تری از این برای ماشین تورینگ ارائه کنم زیرا که امروزه مفهوم «رایانه» برای همه آشنا است. (برای تفصیل بیشتر، مثلاً رجوع شود به Penrose، ۱۹۸۹).

در اینجا نخواهم کوشید تا تعریفی برای مفهوم «شعور» ارائه کنم. آنچه در این باره لازم است بدانیم این است که شعور هر چه باشد، چیزی است که هنگامی که ما موضوعی را درک می‌کنیم وجود دارد. به ویژه هنگامی که یک بحث ریاضی را می‌فهمیم.

چرامی‌گویم که آثار تأملات آگاهانه باروشهای محاسباتی حتی قابل شبیه‌سازی (simulatable) نیست؟ قدرت دلایلم از قضیه‌ی مشهور گِدل (Kurt Gödel, ۱۹۳۱) ریشه می‌گیرد. قضیه‌ی گِدل به روشنی می‌رساند که درک ریاضی را نمی‌توان به یک دسته (set) از قواعد شناخته و کاملاً باور داشته‌ی ریاضی تقلیل (کاهش) داد. می‌توان از این فراتر رفته، اعلام داشت که هیچ دسته از روش‌های ناب ریاضی قابل شناسایی نمی‌تواند به یک آدمک (robot) فرمانبر رایانه‌ای بیانجامد که واجد درک ریاضی باشد. این روشها می‌تواند نه تنها شامل دستورات الگوریتمی عمداً «از بالا به پایین» بلکه راهکارهای کمتر برنامه‌ریزی شده‌ی فراگیری «از پایین به بالا» نیز باشد. درست نمی‌دانم که در اینجا وارد جزئیات شوم، بحث‌های مفصل‌تر در جایی دیگر عرضه خواهد شد (Penrose، ۱۹۹۴).

نامعقول خواهد بود اگر گمان کنیم که درک ریاضی در مقایسه با سایر ادراکات بشری، از لحاظ غیر محاسبه بودن (non-computability)، تافته‌ای جدا بافته باشد.

بر این اساس، حساب‌ناپذیری (non-computation) درک ریاضی‌مان اشاره‌ای است بر اینکه جملگی ادراکات بشری نیز از راه‌های نامحاسبه‌ای، کسب می‌شوند. همچنین به نظرم نامعقول است که فرض کنیم سایر جنبه‌های شعور انسانی را می‌توان به همان اندازه با محاسبه توصیف کرد که ادراک را. بالاخره حیوان‌های غیرانسانی - دست‌کم بسیاری از انواع حیوان‌ها - نیز واجد کیفیت شعوراند و در نتیجه می‌بایست طبق قواعد نامحساباتی عمل کنند.

## دو تراز عمل فیزیکی

بیاید برای باقی بحث‌مان بپذیریم که هنگامی که درگیر فرایندهای تفکر آگاهانه هستیم، مغزمان نامحساباتی عمل می‌کند. همچنین بپذیریم که اعمال مغزمان تماماً از قوانینی تبعیت می‌کند که زیربنای رفتار ماده بی‌جان را تشکیل می‌دهد. در این صورت با شرطی روبرو هستیم که می‌بایست اعمال فیزیکی وجود داشته باشد که از قوانین فیزیکی تبعیت کند و در عین حال اصولاً به‌طور کامل از طریق محاسبه قابل شبیه‌سازی نباشد. این اعمال چه می‌توانند باشند؟

نخست بایست دید که آیا در قوانین فیزیکی که اکنون می‌شناسیم، افقی برای یک رفتار مناسب و نامحساباتی در میان هست یا نه. اگر دیدیم که قوانین موجود نتوانند افق مورد نیازمان را ارایه کنند، در آنصورت مجبور می‌شویم که برای کشف فرایندهای نامحساباتی، فراتر از این قوانین رفته جای ممکن را بجوییم که آن فیزیک نامحساباتی بتواند درون‌رو (input) کلیدی مربوط به کارکرد مغزهایمان را، عرضه دارد.

پس تصویری را که فیزیکدانان امروزی بمان عرضه می‌دارند چیست - یعنی اینکه عملکرد دنیای فیزیکی را دقیقاً از چه راهی درک می‌کنیم؟ اعلام خواهد شد که در بنیادی‌ترین سطح، می‌بایست قوانین کوانتوم مصداق داشته باشد. طبق تصویر شرودینگر، وضعیت جهان در هر آن، به وسیله‌ی یک حالت کوانتومی (که اغلب با حرف  $\psi$  و یا طبق قرارداد دیراک  $|\psi\rangle$  نمایش داده می‌شود)، که وصف‌کننده‌ی تلفیق وزنی (weighted combination) تمامی راه‌های ممکنه رفتار یک دستگاه (system) مورد نظر است، توصیف می‌شود. یعنی تلفیق مذکور یک تلفیق از نوع توزین آماری (probability-weighted combination) است زیرا که ضرایب توزین

اعداد مختلط (complex) هستند (یعنی اعدادی به شکل  $a+ib$  که در آن  $i^2 = -1$ ، و  $a$  و  $b$  اعدادی حقیقی اند). افزون بر این تکامل زمانی حالت کوانتومی از یک معادله مشخص و قطعیتی (تعینی)، بنام معادله شرودینگر تبعیت دارد. معادله‌ی شرودینگر یک معادله‌ی خطی است (ضرایب توزین پیچیده (complex) را تغییر نمی‌دهد) و به هر مفهوم معمولی قطعاً چنین تلقی می‌شود که یک تکامل محاسبه‌پذیر را برای حالت کوانتومی عرضه می‌دارد. در نتیجه از این دیدگاه، نظریه کوانتومی هیچ چیز محاسبه‌ناپذیری را به ما نمی‌دهد.

اما تکامل شرودینگری به تنهایی تصویری از جهان را که در سطح سنتی (classic) پدیده‌ها معنا و مفهوم دارد، به ما ارائه نمی‌کند (همچنانکه خود شرودینگر در تأکید آن دقت داشت). ظاهراً قواعد برهم نهشت خطی کوانتومی (quantum linear superposition) تنها در مورد حالاتی که با هم اندکی تفاوت دارند، مصداق دارد. به نظر نمی‌رسد که دو حالت که با هم خیلی تفاوت دارند - مانند دو نقطه متفاوت و قابل تشخیص برای یک گوی گلف - در یک انطباق خطی واقع باشند. یک گوی گلف یک موقعیت یا موقعیتی دیگر را دارد و نمی‌تواند در آن واحد در دو نقطه باشند. اما یک الکترون یا نوترون در آن واحد می‌تواند در انطباقی از دو موقعیت کاملاً متفاوت (با ضرایب وزنی اعداد مختلط) بسر برد و خیلی آزمایش‌ها در تأیید این گونه چیزها انجام شده است.

بنابراین به نظر می‌رسد که می‌بایست دو تراز متفاوت از پدیده‌های فیزیکی را در نظر بگیریم. تراز کوانتومی «مقیاس کوچک» که در آن ذرات، اتم‌ها، یا حتی ملکول‌ها، می‌توانند در انطباق‌های کوانتومی با توزین عجیب اعداد مختلط‌شان بسر برند. از سوی دیگر تراز سنتی را داریم که در آن یک چیز یا چیز دیگری می‌تواند رخ دهد ولی با تلفیق‌های پیچیده‌ی شقوق مختلف روبرو نیستیم. در این خصوص گوی گلف یک شیئی تراز سنتی است.

البته اشیاء تراز سنتی مانند گوی گلف، خوداز سازندهای (components) تراز کوانتومی مانند الکترون‌ها و پروتون‌ها ساخته شده‌اند. پس چگونه است که یک دسته قواعد برای سازندها به کار می‌آید و دسته‌ای دیگر برای اشیاء بزرگتر؟ در واقع این بحثی است بسیار ظریف که در تصاویر فیزیکی امروز کاملاً گشوده نشده است. کمی بعد به این موضوع برمی‌گردم اما برای اکنون بهتر اینست که بپذیریم که در

حقیقت دو تراز رفتار فیزیکی متمایز وجود دارد که هر کدام از قوانین متفاوت تبعیت دارند.

### چگونه میان ترازها پل می خورد؟

چنان که گفته شد، در تراز کوانتومی توصیف ریاضی یک دستگاه فیزیکی به وسیله‌ی حالت کوانتومی  $|\psi\rangle$  که گاهی تابع موج دستگاه نامیده می‌شود، انجام می‌گیرد. تا زمانی که دستگاه در تراز کوانتومی مانده است، این حالت نسبت به زمان (طبق تصویر شرودینگر) مطابق معادله‌ی قطعیتی (متعین) و محاسبه‌پذیر شرودینگر تکامل می‌یابد. اینگونه تکامل را با  $U$  (تکامل یکتایی - unitary evolution) نمایش می‌دهم. در تراز کاملاً سنتی (classical) قوانین حاکم بر اشیاء فیزیکی، شامل قوانین نیوتون (برای حرکات متداول اشیاء معمولی) و ماکسول (برای رفتار میدان‌ها الکترومغناطیس) و آینشتاین (هنگامی که سرعت‌ها یا پتانسیل‌های گرانشی بزرگ هستند) می‌باشد. برای جملگی این‌گونه تکامل‌های سنتی، علامت  $C$  را به کار می‌برم. این قوانین نیز سرشتی قطعیتی (متعین) دارند و ظاهراً در اصل نیز قابل محاسبه‌اند. (در اعلام اینکه  $U$  و  $C$  محاسبه‌پذیرند، این حقیقت را برجسته کرده‌ایم که  $U$  و  $C$  هر دو با پارامترهایی پیوسته و نه منفصل (که با محاسبه‌پذیری تورینگ مرتبط است) عمل می‌کنند. می‌شود فرض کرد که تقریب‌های منفصل کافی در  $U$  و  $C$  را می‌توان به کار گرفت، اگر چه این امر در مورد  $C$  که اغلب هباًگونه (chaotic) است، کمتر روشن است تا درباره‌ی  $U$  که خطی است).

اما چگونه در نظریه فیزیکی متعارف، می‌توان فرایندهایی را که در آن واحد در دو تراز بررسی نمود؟ مثلاً فرض کنید یک دستگاه فیزیکی در وضعی آنچنان ظریف قرار دارد که رفتار یکی از سازندهای کوانتومی‌اش می‌تواند یک اثر سنتی بزرگ مقیاس را سبب شود؟ این دقیقاً همان وضعیتی است که در نظریه کوانتومی یک «سنجش کوانتومی» (measurement) نام دارد و به توصیفی متفاوت از آنچه که معادله شرودینگر دربرمی‌گیرد، نیازمند است. به این در اصطلاح کاهش (تقلیل) بردار حالت (state-vector reduction) و یا فروپاشی تابع موج، گفته می‌شود که با علامت  $R$  نمایش می‌دهم. روش متعارف توصیف یک «سنجش» (measurement) در مکانیک کوانتومی مستلزم «پرش» (jumping) فوری از یک حالت کوانتومی به



حالتی دیگر است. در همین «پرش» مرتبط با روش R در نظریه کوانتومی است که جملگی احتمالات و عدم قطعیت‌ها، پدیدار می‌شوند، زیرا دستگاهی که کلاً در تراز کوانتومی می‌ماند، تکاملش توسط روش قطعیتی و قابل محاسبه‌ی U توصیف می‌شود.

در هر سنجش کوانتومی مخصوص، نتایج ممکنه‌ی متفاوت، توسط سرشت ویژه‌ی سنجش مورد عمل، تعیین می‌شود. آنچه که نظریه بما می‌گوید اینست که این نتایج با احتمالاتی توأم‌اند که این احتمالات توسط حالت کوانتومی مشخص که مورد سنجش است، تعیین می‌گردد. درباره‌ی اینکه کدام یک از نتایج ممکن، رخ می‌دهد نظریه حرف مشخصی نمی‌زند (مگر در مواردی ویژه که احتمالات صفر و یا ۱ است). یعنی در مورد نتایج سنجش تنها چیزی که نظریه می‌تواند تحویل دهد *انتساب احتمالات است و بس*. درون حدودی که توسط این احتمالات تعیین می‌شود هر گاه سنجشی انجام گیرد رفتار دستگاه کلاً *بختانه* (هردمبیل - random) است.

بنابراین نظریه‌ی فیزیک امروز بما می‌گوید که همه‌ی اشیاء جهان رفتارشان در بیشتر اوقات محاسبه پذیر است، مگر گهگاهی که (یعنی زمانی که یک «سنجش» - یا چیزی هم ارز آن - صورت می‌گیرد) در رفتار دستگاه یک عامل اضافی و کاملاً بختانه‌ای (random) وجود دارد. بدون این عامل بختانه، رفتار هر دستگاه فیزیکی را می‌توان *محاسبه‌ای* (computational) انگاشت، از این لحاظ که می‌توان شبیه سازی ماشین تورینگی را بوجود آورد که هر اندازه خواستیم به رفتار دستگاه نزدیک باشد. بنابراین می‌توانیم یک دستگاه فیزیکی عمومی را چیزی بیانگاریم که - تا آنجا که توصیفهای امروزی مان می‌رسد - مانند یک ماشین تورینگ همراه یک بختانه‌ساز (randomizer) رفتار می‌کند.

اما «بختانه‌ساز» به این مفهوم عملاً چیزی ورای محاسبه پذیری تورینگ معمولی عرضه نمیدارد. در عمل می‌توان رفتار اثرأ بختانه را به طرقی موسوم به «بختانه کاذب»، یعنی روشهای محاسباتی که از هر لحاظ بختانه رفتار می‌کنند، بدست آورد. آنچه معمولاً انجام می‌شود اینست که برخی «محاسبات هبایی» به کار می‌رود، که گرچه سرشتی کاملاً محاسباتی دارد، بگونه‌ای بسیار حاد به برخی پارامتر آغازین وابسته است. مثلاً ممکن است زمان دقیق (آنطور که با ساعت رایانه‌ای

سنجیده می‌شود) به عنوان این پارامتر آغازین گزیده شده‌باشد. عملاً نتیجه‌ی چنین محاسبه‌ای کاملاً بختانه است، اگرچه نتیجه‌ی کارِ یک ماشین تورینگ می‌باشد. در عمل تفاوتی میان بهره‌وری از یک چنین محاسبه بختانه‌ی کاذب و یک بختانه‌ی اصیل وجود ندارد.

اما تصویر واقعیت فیزیکی که از چیزی که یک ماشین تورینگ با یک بختانه‌ساز (randomizer) - یا یک درونرو (input) بختانه‌ی کاذب - ارایه می‌شود آنگونه «محاسبه ناپذیری» را که طبق بحث گدلی مورد اشاره در بخش ۱ برای اعمال مغز هوشیار لازم است، به ما نمیدهد. اما آیا «بختانگی ناب» را که نظریه متداول (استاندارد) به ما می‌دهد، واقعاً آن چیزی است که در یک دستگاه فیزیکی رخ می‌دهد؟ در واقع ضعیف‌ترین نقطه در تصویر فیزیکی امروز ما، دست کم در تراز که با عمل مغز مرتبط است، در فرایند بختانه‌ی R نهفته است. شاید استفاده‌ی کنونی یک R کاملاً بختانه، صرفاً یک شکاف ایست (stop-gap) باشد؟ به عقیده‌ی من واقعیت همین است و برای پل زدن میان C و U بینشهایی جدید و یک نظریه فیزیکی تازه مورد نیاز خواهد بود. در واقع در میان فیزیکدانان (گرچه هنوز یک اقلیت) به‌طور فزاینده‌ای این موضوع مطرح است که باید کاری کرد.

### سیمای تقلیل حالت GRW

یکی از امیدبخش‌ترین پیشنهاداتی که در مورد اصلاح قوانین نظریه کوانتومی، منطبق با آمالی از این ماهیت، عرضه شده آنی است که توسط Giancarlo Ghirardi و Alberto Rimini, Tulio Weber (GRW) ارایه‌گردیده است. در ارائه نخستین‌شان (Ghirardi, Rimini & Weber, ۱۹۸۶)، پیشنهاد داشتند که گرچه تابع موج ذره در بیشتر اوقات طبق معادله شرودینگر U تکامل می‌یابد، با احتمالی کم تابع موج دچار «ضربه‌ای» (hit) خواهد شد که در نتیجه‌ی آن تابع موج در دیگری با وابستگی فضایی گوس مانند، ضرب خواهد شد. در این نظریه دو پارامتر دلخواه وجود دارد که یکی از آنها (که  $\lambda$  می‌نامیم) نشانگر پهنی تابع گوس و دیگری (به نام  $\tau$ ) بیانگر آهنگ (نرخ) رخ دادن ضربه‌هاست. محل ناوک (peak) تابع گوس، بختانه اما با توزیع احتمالی که توسط مجذور پیمانه‌ی (modulus) تابع موج در لحظه‌ی اصابت ضربه تعیین می‌شود، فرض می‌گردد. به

این ترتیب به توافقی با «قاعده‌ی مجذور پیمان» (squared modulus rule) که بر احتمالات در نظریه کوانتومی معمولی حکمفرما است، دست یافته می‌شود.

در نخستین پیشنهاد GRW، مقدار  $\tau$  بگونه‌ای گزینش می‌شود که یک ذره‌ی منفرد به حال خود در هر  $10^8$  سال یک بار ضربه می‌خورد. در نتیجه در دوره زمانهای معمولی هیچ تناقضی با توصیفهای کوانتوم مکانیکی متداول درباره ذرات منفرد، پیش نمی‌آید (در نتیجه مثلاً آزمایشهای پراش نوترونی Zeilinger, et al، ۱۹۸۸ با GRW سازش دارد). اما برای دستگاههای حاوی شمار زیادی از ذرات، پدیده‌ی «گوریدگی کوانتومی»\* (quantum entanglement) را باید در نظر گرفت. اندکی بعد به این پدیده‌ی مهم می‌پردازم اما هم اکنون باید به این حقیقت توجه کنیم که در نظریه کوانتومی متداول، هر گاه یکی از ذرات سازنده دستگاهی که از شمار زیادی ذرات درست شده (فرضاً یک گوی گلف) مورد اصابت قرار گیرد، تمامی تابع موج آن شیئی تقلیل خواهد یافت. در مورد گوی گلف که شمار ذرات در حدود  $10^{25}$  است، تقلیل حالت در کمتر از یک نانو ثانیه رخ می‌دهد. بنابراین یک حالت کوانتومی که انطباقی از گوی گلف در یک موقعیت با موقعیتی دیگر از همان گوی است، در زمانی کمتر از یک نانو ثانیه به حالت کوانتومی که در آن گوی در یکی از این موقعیت‌هاست و یا حالت کوانتومی که موقعیت دیگر را دارد، تقلیل می‌یابد.

باین روش، سیمای GRW یکی از بنیادی‌ترین مسایل مربوط به نظریه کوانتومی متعارف (standard) یعنی معمای گربه‌ی شرودینگر (شرودینگر، ۱۹۳۵a) را می‌گشاید. مطابق این معما، گربه‌ای در یک انطباق کوانتومی از دو حالت نهاده می‌شود که در یکی زنده و در دیگری مرده است. نظریه‌ی کوانتومی متعارف - که فرضاً بر این اصرار می‌ورزد که تکامل یک حالت کوانتومی صرفاً طبق فرایند U صورت می‌گیرد - بما می‌گوید که انطباق گربه زنده و مرده باید با برجا باشد، و نمی‌تواند خود را به این یا آن تفکیک کند. اما در سیمای GRW، حالت گربه در مدتی بسیار کمتر از یک ثانیه خود را به یکی از دو حالت تفکیک می‌کند.

---

\* گوریدگی اصطلاحی است که در گذشته در نساجی و بافندگی برای درهم رفتن، به هم پیچیدن و گره خوردن رشته الیاف و نخها در یکدیگر به کار می‌رفت. م

## حالت‌های گوریده

یک جنبه‌ی مهم طرح فوق وابستگی به این حقیقت دارد که یک حالت کوانتومی مرتبط با شمار زیادی ذرات احتمالاً در وضعی قرار دارد که حالت گوریده نامیده می‌شود. اینگونه وضعیت را بر حسب آنچه که پدیده‌ی EPR (Einstein-Podolsky-Rosen) گفته می‌شود، تشریح می‌کنم. این امر همچنین ماهیت اساساً نامحلی (non-local) حالت‌های کوانتومی در ارتباط با فرایند R را مؤکد می‌سازد.

حالت آغازینی را تصور کنید که اسپین آن صفر است و به دو ذره هر کدام با اسپین  $\frac{1}{2}$  تجزیه می‌شود که در دو جهت مخالف به راه می‌افتند. اگر راستایی ویژه در فضا را برگزینیم و اسپین هر یک از این ذرات را در این راستا اندازه بگیریم باید پاسخ مربوط به هر ذره مخالف دیگری باشد - زیرا حالت مرکب اسپین صفر است. این نتیجه دربارهی هر راستایی مصداق دارد.

محاسبات پیچیده‌ی بیشتری را نیز می‌توان به اجرا درآورد که در آنها برای هر جفت ذره، جهت اسپینی متفاوتی انتخاب شده باشد. در هر مورد نتیجه سنجش‌ها «بله» یا «نه» خواهد بود (زیرا ذره‌ی اسپین  $\frac{1}{2}$  از لحاظ اسپینش تنها یک بیت (bit) اطلاعات حمل می‌کند). اما برخی احتمالات مشترک هم وجود دارند که با نظریه کوانتومی متعارف (standard) معین می‌شوند و پاسخ‌های دو ذره را موافق یا ناموافق می‌دهند (در واقع  $1 + \cos\theta$  و  $1 - \cos\theta$  که در آن  $\theta$  زاویه میان زوایای گزیده شده است).

طبق یک قضیه مشهور از جان بل (John Bell، ۱۹۶۴)، جایی که برای هر ذره موجودیتی جداگانه در نظر گرفته شود، عملاً هیچ راه موضعی برای توجیه احتمالات مشترکی که پیشگویی‌های این جفت سنجش‌ها را توصیف می‌کند، وجود ندارد. مجبوریم بپذیریم که دو ذره باز هم به گونه‌ای مرموز تا لحظه‌ای که روی یکی از آنها اندازه‌گیری صورت می‌گیرد، به هم مرتبط‌اند. در واقع با وضعیتی روبرو هستیم که به محضی که روی یک ذره اندازه‌گیری انجام می‌شود، آن‌سبب می‌شود که حالت ذره‌ی دیگر نیز تقلیل یابد. نمی‌توان گمان کرد که حالت یک جفت ذره عبارت از حالتی خاص برای یک ذره و حالتی خاص برای ذره‌ی دیگر باشد. جفت ذره یک حالت

کوانتومی - یک حالت گوریده - دارد و هیچ یک از ذرات حالتی جداگانه برای خود ندارند.

پدیده‌ی گوریدگی کوانتومی نخستین بار توسط اروین شرودینگر (۱۹۳۵b) به عنوان جنبه‌ی عمومی از دستگاه‌های کوانتومی، توصیف شد. قضیه‌ی بل (Bell) راه را برای تأیید تجربی گوریدگی‌های کوانتومی در فواصل زیاد، باز نمود. بعدها این آثار توسط شماری از آزمایشگران مشاهده شد که گیراترین شان از این لحاظ توسط الن اسپکت و همکارانش (Alan Aspect, ۱۹۸۲) انجام شده است که گوریدگی‌هایی را تا فواصل نزدیک به دوازده متر مشاهده کردند.

چنانچه اشاره شد هر شیئی بزرگ معمولی، مانند گربه در آزمایش ذهنی شرودینگر، خودش یک دستگاه گوریده است به این معنی که ذرات بدن گربه حالت‌های خودشان را ندارند، بلکه بخشی از یک حالت گوریده برای کل گربه محسوب می‌شوند. در واقع خود این امر اشاره‌ای بر توصیف‌های مکانیک کوانتومی متعارف دارد. حال طرح GRW دقیقاً همان توصیف‌های مکانیک کوانتومی را به کار می‌گیرد، به این معنی که در واقع گوریدگی‌های کوانتومی به همان اندازه جنبه‌ای از آن طرح را تشکیل می‌دهند، که مکانیک کوانتومی متعارف را. به این روش به محضی که یکی از ذرات بدن گربه شرودینگر یک ضربه GRW می‌خورد، حالت کل گربه با آن تقلیل می‌یابد و در نتیجه حالت گربه «زنده» یا «مرده» می‌شود نه اینکه انطباقی کوانتومی از آن دو باشد.

## گوریدگی با محیط

در واقع حالت گربه از محیطش جدا نیست و ما می‌بایست توجه داشته باشیم که گوریدگی با گربه پایان نمی‌پذیرد بلکه به محیط پیرامون نیز بسط می‌یابد. افزون بر این در این محیط پخش (distributed) ذرات بیشتری در کارند تا در بدن خود گربه. در واقع تنها در بحث‌های متعارف (standard) فرایند سنجش، نقش محیط یک دستگاه کوانتومی با اهمیت تلقی می‌گردد. مطابق بحث‌های متعارف، تفصیل اطلاعات کوانتومی (در آنچه که «روابط فازی» گفته می‌شود) که موجب تمایز یک انطباق کوانتومی از یک تلفیق توزین شده‌ی احتمالات، می‌گردد صرفاً در این گوریدگی‌ها با محیط ناپدید می‌شود. بنابراین به محضی که گوریدگی‌ها با محیط

بختانه (random) قابل ملاحظه می‌شود عملاً - یا به قول جان بل «برای تمام مقاصد عملی» - یک انطباق کوانتومی همانند تلفیق توزین شده‌ی احتمالاتی از شقوق، رفتار می‌کند.

اما آنچه راکه واقعاً این بحث متعارف عاید می‌کند یک همزیستی «برای تمام مقاصد عملی» بین روشهای کوانتومی  $R$  و  $U$  است نه استنتاج  $R$  از  $U$  (چرا که دست‌کم به این علت که روش  $U$  خودش حرفی از احتمالات نمی‌زند، چنین چیزی غیرممکن می‌باشد). اما اگر خواهان این باشیم که بدانیم اشیاء فیزیکی واقعاً چگونه رفتار می‌کنند (چنانچه خود شرودینگر هم در تاکید آن دقت داشت) باز هم به چیزی فراتر از تکامل قطعیتی شرودینگر،  $U$  یک دستگاه، نیازمندیم، آنچه طرح‌هایی مانند GRW کوشش در بدست آوردن آن دارند، تصویری است که در آن فرایند مشهود  $R$  - یا چیزی بسیار همانند آن - بخشی از تکامل فیزیکی واقعی یک دستگاه گردد.

در واقع در طرح GRW، این محیط است که در آن «ضربه‌ها» نخست رخ می‌دهد و گوریدگی این محیط با دستگاه است که منجر به روال تقلیل  $R$  گردیده، بر دستگاه اثر می‌نهد. برای نمونه برای اینکه «ضربه»ها در نوکلئوتیدهای منفرد یک ملکول دی.ان.ا قابل ملاحظه باشد، خود آن خیلی خیلی کوچک خواهد بود. اگر «ضربه‌ها» در محیط گوریده نقش اضافی خود را ایفا نکنند چیزی که تعیین کند که رشته‌ی دی.ان.ا از توالی خاصی از نوکلئوتیدها درست شده، نه اینکه صرفاً دارای انطباقی کوانتومی از تعدادی نوکلئوتیدهای متفاوت است، وجود نخواهد داشت.

### یک طرح تقلیل گرانشی محاسبه‌ناپذیر

هیچیک از اینها درباره‌ی نقش محاسبه‌ناپذیری در کنش فیزیکی، چیزی آرایه نمی‌دهند، اگر چه در بخش ۱ ضرورت آن را قویاً بیان داشتیم. تاکنون تنها به یک شکاف مهم در شناخت فیزیکی مان اشاره کرده‌ام - یعنی در مرز ترازهای کوانتوم/کلاسیک - و یک پیشنهاد مشخص (طرح GRW) راکه می‌کوشد بر این شکاف پلی برقرار کند، آرایه کرده‌ام. بحث من اینست که دلایلی استوار وجود دارد که باور داریم که فیزیکی که در عمل بر شکاف پل خواهد زد، از تلفیق مناسبی میان نظریه

کوانتومی و نظریه نسبیت عمومی آینشتاین حاصل خواهد شد. عموماً گرایش به این نظر است که این اتحاد (تلفیق) سبب تغییری در نظریه گرانشی آینشتاین خواهد شد (در مقیاس های فاصله ای کوچک)، اما کمتر دیده می شود نظر دهند که قواعد متعارف (standard) نظریه کوانتومی (U) نیز می بایست به هنگام اتحاد (تلفیق) مناسب، تغییر کنند تا اینکه پدیده ی تقلیل بردار حالت، پدیده ای کوانتوم - گرانشی بشود (رک: Kumar، ۱۹۶۹؛ Károlyházy، ۱۹۷۴؛ Károlyházy et al، ۱۹۸۶؛ Diósi، ۱۹۸۹؛ Ghirardi et al، ۱۹۹۰؛ Penrose، ۱۹۸۹، ۱۹۹۳، ۱۹۹۴).

اگر بپذیریم که نظریه مفقوده ای که برای جایگزینی ایست - شکاف R(stop-gap) لازم است بایستی گرانشی باشد، در این صورت به برخی تخمینهای «توانی از ده» در مورد ترازها و دوره های زمانی که واقعاً R در آن ها صورت می گیرد، رهنمون می شویم. (برخی نشانه های غیر مستقیم - و نسبتاً موقت - وجود دارد که یک چنین نظریه ای به احتمال زیاد سرشتی محاسبه ناپذیر دارد، رک Penrose، ۱۹۹۴).

برای اینکه تا حدی پی به تراز ی ببریم که یک چنین نظریه ای معنا پیدا می کند، وضعیت ی را در نظر آورید که توده ای جامد از ماده در انطباقی خطی از دو موقعیت متمایز قرار دارد. فرض می کنم که این انطباق مانند یک ذره یا هسته ی ناپایدار با نیمه عمری معین و دو سبک فروپاشی جداگانه باشد. در یکی از این سبکها، حالت منطبق به حالتی فرو می پاشد که توده یکی از دو موقعیت را اشغال می کند و در سبک دیگر به حالتی فرو می پاشد که موقعیت دیگر را. برای تخمین نیمه عمر این فروپاشی، انرژی E را که برای دور کردن این دو مورد توده از هم لازمست، یعنی از حالتی که به حالت انطباقی مورد نظر رویهم اند به فاصله ای از هم دور شوند، آنهم تنها با منظور کردن اثری که میدان گرانشی یکی از توده ها بر دیگری دارد (همچنین مقایسه کنید Diósi، ۱۹۸۹) در نظر می گیریم. به عبارتی دیگر (به فرض اینکه توده حرکتی صلب دارد) E خود - انرژی (self-energy) گرانشی تفاوت بین میدان های گرانشی نیوتونی دو مورد توده است (رک: Penrose، ۱۹۹۴). در نتیجه نیمه عمر فروپاشی حالت منطبق به حالت یک موقعیت یا دگر موقعیت در حدود

$$T = \frac{\hbar}{E}$$

خواهد بود که در آن  $\hbar$  حاصل تقسیم عدد پلانک بر  $2\pi$  است. خوبست این شرط را برای برخی موارد ساده بیازماییم. اگر توده‌ی مفروض تنها از یک ذره‌ی هسته‌ای ساخته شده باشد، در این صورت (اگر شعاع آن را حدود یک فرمی - fermi بگیریم) زمان فروپاشی حدود  $10^7$  سال در می‌آید که با طرح اصلی GRW شبیه است. برای توده‌ای به شعاع یک میکرومتر که چگالی آب را دارد،  $T$  حدود یک بیستم ثانیه می‌شود و چنانچه شعاع آن  $10^{-2}$  cm باشد،  $T$  کمتر از یک میلیونیم ثانیه و در صورتی که  $10^{-5}$  cm باشد، برابر چند ساعت می‌شود.

اما چنان که در بالا اشاره شد این زمانهای تقلیل تنها برای توده‌ای مصداق دارد که جدا از محیطش باشد. اگر مقادیر قابل توجهی از ماده‌ی محیطی مشوب گردد در آنصورت زمان تقلیل بسیار کوتاهتر خواهد بود.

برای اینکه این طرح تقلیل حالت، جنبه‌های نامحاسباتی قابل توجهی از خود بروز دهد، لازمست که تقلیل در خود دستگاه صورت گیرد - که من این را خودکاهی (self reduction) می‌نامم (نه اینکه در محیط). این اندیشه از آنجاریشه می‌گیرد که محیط اساساً بختانه (random) است، و در نتیجه تا هنگامی که تقلیل حالت در محیط دستگاه موجب کاهش (تقلیل) حالت دستگاه می‌شود (بخاطر اثرات گوریدگی)، هر جنبه‌ی نامحاسباتی اصیل، توسط این بختانگی زیر سرپوش قرار می‌گیرد. بنابراین در هر وضعیت آزمایشی طبیعی، در حقیقت محیط تعیین کننده تقلیل حالت است و در نتیجه چیزی متفاوت از رفتاری که به خوبی طبق روش مکانیک کوانتایی متعارف  $R$  توصیف می‌شود، مشاهده نمی‌شود. برای اینکه خودکاهی پیش از غلبه‌ی محیط رخ دهد، ساختار دقیقاً نظام یافته‌ای برای بروز انزوای کوانتومی کافی لازم است. چنانچه ملاحظات بخش ۱ واجب می‌کند، برای آنکه انحرافات نامحاسباتی قابل توجهی نسبت به روش بختانه متعارف  $R$  پیش آید وجود چنان نظامهایی الزامی است. تاکنون هیچ وضع آزمایشی نتوانسته است به چنان انزوایی نزدیک شود.



## ربط با عمل مغز آگاه

آنچه گفتیم به این معنا نیست که طبیعت هم نتوانسته است به شرایط لازم دست یابد. بلکه مباحث بخش ۱ باید بما برساند که طبیعت به گونه‌ای چنان راهی را یافته است. تصویر متعارف از مغز این است که می‌توانیم آن را بر اساس پیام‌های عصبی و عمل سیناپس‌ها درک کنیم. به نظر می‌رسد که پیام‌های عصبی محیطشان را بیش از آن حدی که شرط انزوای بخش ۷ طلب می‌کند، مشوب می‌کنند. اما در مورد عمل سیناپسی چه؟ قدرت سیناپس‌ها (دست کم برخی‌شان) پیوسته دچار تغییر است. چه عاملی موجب این تغییرات است؟ ظاهراً عوامل و پیشنهاد‌های متفاوتی در میان است، اما به نظر می‌رسد که یک عامل مهم، فعالیت کِه‌لوله‌ها (اندامک‌های لوله‌ای درون یاخته - microtubule) در داربست یاخته‌های عصبی است.

کِه‌لوله‌ها چیستند؟ اینها ساختارهایی لوله مانندند که عموماً در یاخته‌های هسته‌دار (eukaryotic) یافت می‌شوند و در آنها نقش‌های گوناگونی را ایفا می‌کنند. برای نمونه در تنظیم حرکت موجودات تک‌یاخته‌ای - مانند تغییر شکل مدام یک آمیب، اهمیت دارند. اینها در فرد فرد یاخته‌های عصبی وجود دارند و بر چگونگی ارتباط (آمیب گونه) آنها به هم اثر دارند. اینها در طول آکسون‌ها - axons (شاید بیش از یک کِه‌لوله) و دندریته‌ها (dendrites) وجود دارند (تا فاصله‌ای نزدیک به سیناپسها) یافت می‌شوند و ملکول‌های متفاوتی را در طول خود جابجا می‌کنند - به ویژه ناقل‌های عصبی (neurotransmitters) که در انتشار پیام‌های عصبی در عرض سیناپس‌ها نقش حیاتی دارند.

کِه‌لوله‌ها از پروتئینی به شکل پسته‌زمینی، موسوم به توبولین (به ابعاد تقریبی  $8\text{nm} \times 4\text{nm} \times 4\text{nm}$ ) درست شده که در آن توبولین‌ها به شکل شبکه‌ی شش‌وجهی پیچ‌خورده‌ای سامان یافته‌اند. هر توبولین یک «دیمِر» (dimer) و متشکل از دو جزء موسوم به «توبولین آلفا» و «توبولین بتا» است. یک توبولین دیمِر می‌تواند به دو حالت (دست کم) موسوم به «صورتبندی» (conformation) - که ظاهراً بستگی به موقعیت یک الکترون، واقع در مرکز یک ناحیه آبگریز، در هر یک از دو جزء سازنده دارد - وجود داشته باشد. Hameroff و Watt (۱۹۸۲)، و نیز Hameroff (۱۹۸۷) می‌گویند که این صورتبندی‌ها به تک‌تک کِه‌لوله‌ها خواصی رایانه مانند می‌بخشند

که در آن دو صورتبندی توبولین همانند «خاموش» و «روشن» (یعنی رمز صفر و ۱ در یک رایانه) رفتار می‌کنند. به این ترتیب پیام‌های پیچیده می‌توانند همسان یک خودکاری یاخته‌ای، در امتداد که‌لوله انتشار یابند.

تا اینجا این مطالب نمایانگر آنست که اعمال رایانه مانند، به شدت بیش از وضع منظره‌شان در حالتی که فرد فرد یاخته‌های عصبی صرفاً به عنوان «واحد‌های محاسباتی» انگاشته می‌شوند، بنیه و استعداد دارند (صورتبندی‌های توبولین یک میلیون مرتبه تندتر از پیام‌های عصبی عمل می‌کنند و هر یاخته‌ی عصبی ده میلیون توبولین دارد). اما بنابر آنچه گفته شد، به چیزی بیش از این نیاز داریم و آن عبارتست از زمینه‌ای برای یک عمل نامحساباتی - عملی که تنها هنگامی رخ می‌دهد که بتوان یک حالت همدوسی (coherent) کوانتومی بزرگ مقیاس را در محیطی منزوی به حد کافی طولانی نگهداشت تا اینکه حالت کوانتومی (یا دست کم بخشی از آن) خود فروشکند (self-collapse)، نه اینکه در اثر گوریدگی‌های با محیط (entanglement) فروشکند. آیا که‌لوله‌ها جای ممکن برای اینگونه کنش فیزیکی به میان می‌آورند؟ اعتقاد من بر این است که شواهد خوبی دال بر این وجود دارد. به یاد داشته باشید که که‌لوله‌ها، لوله‌اند. زمینه برای وقوع نوعی نوسان کوانتومی در لوله‌ها وجود دارد (Hameroff, ۱۹۷۴؛ del Giudice et al, ۱۹۸۳؛ Hameroff, ۱۹۸۷؛ Jibu et al, ۱۹۹۴؛ و همچنین Fröhlich, ۱۹۶۸)، که می‌تواند به نحوی ضعیف با کنش‌های صورتبندی که در امتداد لوله‌ی دیم‌های توبولین رخ می‌دهد، جفت (Coupled) شود. نوسان‌های کوانتومی درون لوله‌ها احتمالاً با جابجایی مقدار قابل توجهی از جرم مرتبط نمی‌باشد، بلکه وضعیت‌ها هنگامی می‌تواند پیش آید که تزویج (coupling) با صورتبندی‌های توبولین به حدی بزرگ شود که جابجایی مکفی برای وقوع خود فروشکنی رخ دهد. نقطه نظری که در اینجا عرضه می‌شود اینست که این خود فروشکنی با یک محاسبه‌ناپذیری مرتبط است و اینکه رویدادهای آگاهانه به گونه‌ای با این فرایند سنخیت دارند.

روشن است که این عرایض خیلی تخیلی‌اند اما به نظرم می‌رسد که چیزی از این سرشت مورد نیاز است. مفصل‌تر این سخنرانی در جایی دیگر (penrose, ۱۹۹۴) و مقاله‌ای که توسط پنروز و هم‌رهف (Penrose & Hamerhoff) در دست تهیه است عرضه شده است.

- Aspect, A., Grangier, P. & Roger, G. (1982). Experimental realization of Einstein–Podolsky–Rosen–Bohm *Gedankenexperiment*: a new violation of Bell’s inequalities. *Physical Review Letters* 48, 91–4.
- Bell, J. S. (1964). On the Einstein–Podolsky–Rosen paradox. *Physics* 1, 195–200. Reprinted (1983) in *Quantum Theory and Measurement*, eds. J. A. Wheeler and W. H. Zurek Princeton: Princeton University Press.
- del Giudice, E., Doglia, S. & Milani, M. (1983). Self-focusing and ponderomotive forces of coherent electric waves – a mechanism for cytoskeleton formation and dynamics. In *Coherent Excitations in Biological Systems*, eds. H. Fröhlich & F. Kremer. Berlin: Springer.
- Diósi, L. (1989). Models for universal reduction of macroscopic quantum fluctuations. *Physical Review A* 40, 1165–1174.
- Fröhlich, H. (1968). Long-range coherence and energy storage in biological systems. *International Journal of Quantum Chemistry* II, 641–649.
- Ghirardi, G. C., Rimini, A. & Weber, T. (1986). Unified dynamics for microscopic and macroscopic systems. *Physical Review* 34, 470.
- Ghirardi, G. C., Grassi, R. & Rimini, A. (1990). Continuous-spontaneous-reduction model involving gravity. *Physical Review A* 42, 1057–1064.
- Gödel, K. (1931). Über formal unentscheidbare Sätze der Principia Mathematica und verwandter Systeme I. *Monatshefte für Mathematik und Physik* 38, 173–198.
- Hameroff, S. R. (1974). Chi: a neural hologram? *American Journal of Clinical Medicine* 2(2), 163–170.
- Hameroff, S. R. (1987) *Ultimate Computing. Biomolecular Consciousness and Nano-Technology*. Amsterdam: North Holland.
- Hameroff, S. R. & Watt, R. C. (1982). Information processing in microtubules. *Journal of Theoretical Biology* 98, 549–61.
- Jibu, M., Hagan, S., Hameroff, S. R., Pribram, K. H. & Yasue, K. (1994). Quantum optical coherence in cytoskeletal microtubules: implications for brain function. *BioSystems* 32, 195–209.
- Károlyházy, F. (1974). Gravitation and quantum mechanics of macroscopic bodies. *Magyar Fizikai Polyoirat* 12, 24.
- Károlyházy, F., Frenkel, A. & Lukács, B. (1986). On the possible role of gravity on the reduction of the wave function. In *Quantum Concepts in Space and Time*, eds. R. Penrose & C. J. Isham. Oxford: Oxford University Press.
- Komar, A. B. (1969). Qualitative features of quantized gravitation. *International Journal of Theoretical Physics* 2, 157–160.
- Penrose, R. (1989). *The Emperor’s New Mind: Concerning Computers, Minds, and the Laws of Physics*. Oxford: Oxford University Press.
- Penrose, R. (1993). Gravity and quantum mechanics, in *General Relativity and Gravitation 1992. Proceedings of the Thirteenth International Conference on General Relativity and Gravitation held at Cordoba, Argentina, 28 June–4 July 1992. Part 1: Plenary Lectures*, eds. R. J. Gleiser, C. N. Kozameh & O. M. Moreschi. Bristol: Institute of Physics Publishing.

- Penrose, R. (1994). *Shadows of the Mind: An Approach to the Missing Science of Consciousness*. Oxford: Oxford University Press.
- Schrödinger, E. (1935a). Die gegenwärtige Situation in der Quantenmechanik. *Naturwissenschaften* 23, 807–812, 823–828, 844–849. (Translation by J. T. Trimmer (1980). *Proceedings of the American Philosophical Society* 124, 323–38. Reprinted in *Quantum Theory and Measurement*, eds. J. A. Wheeler & W. H. Zurek. Princeton: Princeton University Press, 1983.)
- Schrödinger, E. (1935b). Probability relations between separated systems. *Proceedings of the Cambridge Philosophical Society* 31, 555–563.
- Schrödinger, E. (1958). *Mind and Matter*. Reprinted (1967) in *What is Life? with Mind and Matter and Autobiographical Sketches*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Zeilinger, A., Gaehler, R., Schull, C. G. & Mampe, W. (1988). Single and double slit diffraction of neutrons. *Reviews in Modern Physics* 60, 1067.

## آیا قوانین طبیعت تکامل می‌یابند؟

والتر ثیرینگ    انستیتو فیزیک نظری - دانشگاه وین

بسیاری از چیزهایی از طبیعت را که گمان می‌کردیم ابدی هستند، مانند ستارگان ثابت (ثوابت)، اتمها، یا کمیت‌هایی چون جرم، شکل‌هایی موقت از آب در آمدند. اکنون تنها چیزی که گمان می‌رود سرشتی ابدی داشته باشد، قانون طبیعت است. در مقاله‌ای که در سمپوزیم فرهنگستان علوم پاپ تحت عنوان «شناخت واقعیت: نقش فرهنگ و علوم» ارایه کردم به تشریح این مطلب کوشیدم که چرا فکر نمی‌کنم قوانین الزاماً چنان باشند بلکه قوانین نیز شاید طی تاریخ کیهان تکامل می‌یابند. در اینجا می‌خواهم این سنت‌شکنی را در یک مجمع علمی گسترده‌تری عرضه دارم، نه به عنوان حقیقتی ابدی، بلکه به عنوان یک امکان که در خور توجه و تفکر و بحث است.

امروزه فیزیک، قوانین حاکم بر جهان مادی از کیهترین تا مهترین را می‌داند. اینکه هیچ پدیده‌ای نمی‌شناسیم که با این قوانین در تضاد باشد، چندان شگفت‌انگیز نیست، زیرا هرگاه چنین پیشامدی رخ می‌دهد، لازم می‌آید که فیزیک آنها را با رویدادهای توجیه نشده‌ی جدید تطبیق و سازش دهد. شگفت اینکه در این روند گسترش تدریجی، قوانین فراگیرتر و یگانه‌تر می‌شوند. برای نمونه مکانیک کوانتایی دستگاه‌های اتمی، فراگیرتر از مکانیک سنتی (classic) است و این را به عنوان یک حالت حد در برمی‌گیرد. به همین شکل فیزیک ذرات بنیادی، فیزیک

اتمی را به عنوان حد انرژی پایین در بر می‌گیرد. این موارد، طبعاً آدم را به این اندیشه رهنمون می‌کند که در نوک این هرم یک نظریه همگانی (یابه گفته‌ی شرودینگر Ugleichung - نظریه همگانی - به گفته امروزی TOE، نظریه همه چیز) وجود دارد که همه را در خود جای می‌دهد.

حال هرچه باشد، چه اینکه نظریه‌ی همه چیز پیدا شود، یا اینکه برای همیشه سرابی بماند، این امر به دنبال خود هر می از قوانین مرتبط با مقیاس‌های فضا و زمان را به جای گذاشته که دامنه‌ی کاربرد برخی‌شان محدود و برخی وسیع خواهد بود. زیست‌شناسان نیز از ترازهای گوناگون قوانین دم می‌زنند (Weiberg, ۱۹۸۷؛ Mayr, ۱۹۸۸؛ Novikoff, ۱۹۴۵) با این تفاوت که اینها هرم را وارونه می‌کنند. از دید اینان هرچه دستگاه پیچیده‌تر باشد، ترازش بالاتر انگاشته می‌شود. از آنجا که «بالا و پایین» ناخواسته یک قضاوت ارزشی است، این امر تنها بازتابنده‌ی تفاوت بین نگرش فیزیکدانها و زیست‌شناسان با مسئله‌ی پیچیدگی است.

البته ادعای «نظریه همه چیز» می‌بایست در چارچوب کنونی اندیشه‌ی ما، فهمیده شود. برای فرمولبندی قوانین فیزیک، مصلحت اینست که زبان مکانیک کوانتایی را به کارگرفت و از مشهودات (observables) و حالت‌ها صحبت به میان آورد. برای نمونه در مورد یک ذره، مشهودات عبارتند از موقعیت آن  $x$  و اندازه حرکت آن  $p$ ، در حالی که حالت‌های آن از معادله‌ی شرودینگر، که توزیع احتمال این کمیتها را می‌دهد، بدست می‌آید. مشهودات، واقعیاتی عینی هستند و به شکل قطعی ایجاد می‌شوند. به این معنی که در لحظه‌ی  $t$  بین این کمیتها  $x(t)$  و  $p(t)$  تناظری یک به یک با کمیت‌های آغازین  $(x, p)$  وجود دارد. به عبارتی. دقیق‌تر، تبدیلهای  $(x, p) \rightarrow (x(t), p(t))$  گروهی تک پارامتری از اتومرفیسم‌های جبر حاصل از  $(x, p)$  را تشکیل می‌دهد که پارامتر آن  $t$  است. حالتی که یک دستگاه خاص در آن بسر می‌برد بازتابنده‌ی آگاهی ذهنی ما است و در مکانیک کوانتایی هیچگاه کامل نیست و به یک ابهام (ناتوانی در پیشگویی) خاص می‌انجامد. (نمی‌خواهم از واژه علیت، که دلالت ضمنی فلسفی دیگری در بردارد، بهره‌گیرم). علیرغم تکامل قطعی زمانی، همه چیز با قطعیت قابل پیشگویی نیست زیرا حتی در لحظه حاضر قدری عدم اطمینان در کار است. برای دستگاههای بزرگ این عدم قطعیت فراگیر می‌شود چونکه تنها بخش کوچکی از همه‌ی مشهودات را می‌توانیم

بسنجیم. البته در آنچه می‌خواهیم اندازه بگیریم آزادیم اما در هر صورت، این تنها بخش کوچکی از کل خواهد بود. به زبان ریاضی این بدان معنی است که حالت دستگاه را تنها می‌توان در یک همسایگی خفیف تعیین نمود.

با وجود این اعتقاد همگان بر این است که تکامل زمانی مورد ادعای «نظریه همگانی» پویایی کل جهان را دربر دارد و همه چیز را تعیین می‌کند. مایلیم که این نگرش را با رویکرد دیگری که مبتنی بر سه فرضیه است جایگزین کنیم.

۱- قوانین هر تراز پائین‌تر در هرم یادشده کاملاً توسط قوانین تراز بالاتر تعیین نمی‌شود، اگرچه با آنها تضادی ندارند. با این وجود، آنچه که در یک تراز، حقیقتی بنیادین به نظر می‌آید ممکنست در تراز بالاتر صرفاً تصادفی به نظر آید.

۲- قوانین یک تراز پایین بیشتر به شرایطی که به آن مراجعه دارند وابسته هستند تا به قوانین بالای آن. اما ممکنست برای رفع برخی ابهامات درونی نیاز به قوانین بالایی داشته باشند.

۳- سلسله مراتب قوانین، همراه تکامل کیهان تکامل یافته است. قوانین نوین در ابتدا به عنوان قانون وجود نداشتند، بلکه تنها به عنوان امکانات بودند.

این گفته‌ها را انقلابی نمی‌انگارم بلکه تأملاتی معقول می‌دانم که از دانش کنونی ما الهام می‌گیرد. چون اثبات ریاضی آنها را دور از توان خود می‌بینم، موضوع را با چند مثال تشریح می‌کنم. آگاهم که شاید برخی از آنها بخش‌هایی از فیزیک تأملی (speculative) را تشکیل دهند و شاید هم تنها افسانه بمانند. بنابراین باید آنها را الگوهایی برای تشریح مطالبم در نظر گرفت.

الف - ما در دنیایی زندگی می‌کنیم که سه بُعد فضایی و یک بُعد زمانی زیربنای نظریاتمان را تشکیل می‌دهد و خیلی مردم سرگرم این اندیشه بوده‌اند که حیات در دنیاهای با شمار ابعادی متفاوت، تا چه حد می‌تواند عجیب باشد. اما روند کنونی اندیشه می‌رساند که دنیا در ابتدا ابعاد بسیار بیشتری داشته است و از راه نوعی ناهمسانگردی (anisotropy) تنها سه بُعد آن شدیداً گسترش یافته است (Detweiler و Chodos، ۱۹۸۰). هم‌اکنون سایر ابعاد فروپاشیده‌اند و تنها اندک اثری از خود را در تقارن‌های درونی ذرات بنیادی به جای گذارده‌اند. این انشقاق به  $4+x$  بُعد به هیچ وجه در «نظریه همه چیز» که در همه‌ی آنها کاملاً متقارن است، حک نشده است. در این نظریات این انشقاق مخصوص، تصادفاً ظاهر می‌شود و همانند

موقعیت یک قطره در یک پدیده‌ی چگالش (condensation)، قابل پیشگویی نیست. به نظر می‌رسد که چنین ابهامی با تکامل زمانی قطعی تضاد داشته باشد. به هر حال باید از حالت کنونی شروع و با تکامل زمانی رو به عقب رفت و سپس دید که دقیقاً دید حالت آغازینی که به حالت کنونی انجامیده چه بوده است. اما چنانچه اشاره شد در دستگاه‌های بزرگ، تنهایی توان تعیین کرد که یک حالت در کدام همسایگی خفیفی واقع است و گمان این است که هر همسایگی خفیف، حالت‌هایی را در بردارد که در همه‌ی راه‌های قابل تصور کمال می‌یابد.

ب - اگر چه این فضای درونی که تا  $10^{-33}$  cm فر خورده (curled up)، هیچ راستای مرجحی نداشت، از راه نوعی تبدیل فاز تقارنش شکست و اندرکنش بنیادین به نیروهای قوی، الکترومغناطیسی، و ضعیف تفکیک شد (Weinberg، ۱۹۷۷؛ Tipler و Barrow، ۱۹۸۶). دلیل اینکه چرا اینجوری شده، قطعاً به وسیله‌ی تعادل حرارتی اولیه تعیین نگردیده است و این می‌بایست اصولاً در برگیرنده‌ی همه‌ی قوانینی باشد که از یک گونه یا گونه‌ای دیگر از تقارنشکنی سرچشمه می‌گیرد. مدت‌های طولانی اشتغال فکری جمع زیادی از فیزیکدانان پیدا کردن نظریه‌ای بود که مقدار عددی قدرت این اندرکنش‌ها، مانند ثابت مشهور ساختار ظریف  $\alpha = (1/137)$  را توجیه کنند. تا کنون این کوشش‌ها به جایی نرسیده و در تصویر کنونی مقادیر آنها تصادفی به نظر می‌رسد.

ج - پویایی چند پیکری (many-body) به آن اندازه که به خاصیتی موسوم به پایداری وابسته است، به شکل تفصیلی اندرکنش میان ذرات وابسته نیست (Lieb، ۱۹۹۱؛ Thirring، ۱۹۹۰). طبق آن، انرژی پتانسیل به ازای هر ذره، از پایین توسط انرژی‌ای مستقل از شمار ذرات محدود می‌شود. اگر چنین نشود، ماده خوشه‌ی داغی را تشکیل می‌دهد که سرانجام ممکنست در یک سیه‌چال ناپدید شود. اینکه ماده معمولی پایدار است، شدیداً مدیون این واقعیت است که الکترون از آمار فرمی تبعیت می‌کند. اگر چنانچه  $\pi^-$  سبکتر از الکترون، یعنی سبکترین ذره‌ی باردار می‌بود، در وضع عجیبی قرار می‌گرفتیم. به این معنی که باز هم  $p\pi^- =$  هیدروژن پایدار می‌بود، زیرا پروتون یک فرمیون است، اما  $d\pi^- =$  دوتریوم خیر. برای  $N$  بوزون (Boson) بار الکتریکی دار، انرژی حالت پایه (مبنا-ground state) تقریباً  $-N^{-2}$





تغییر می‌کند و در نتیجه یک مول دوتریوم انرژی بیشتر  $10^7$  mol از یک مول هیدروژن خواهد داشت. در این صحنه‌آرایی همدمی همگامی با ایزوتوپ‌هایی که جرم زوج دارند و ماده به پلاسمای ابرچگال تبدیل خواهد شد. (د) پایداری بلند مدت ساختارهایی بزرگتر چون دستگاه کرات آسمانی، تحت حاکمیت همنوایی (resonances) می‌باشد (Siegel و Moser, ۱۹۷۱). اگر زمانهای گردشی دو کره همنوایی داشته باشند، کره کوچکتر از مدارش بیرون انداخته می‌شود. بنابراین سرنوشت زمین خود ما توسط خواص نسبت زمان گردش سایر کرات (عمدتاً مشتری) و زمین ما براساس نظریه اعداد تعیین می‌شود. حال قانون نیرو طبق نیوتون یعنی  $1/r^2$  باشد یا چیز دیگر، اهمیت چندانی ندارد. بنابراین درباره اینکه زمین ما تا چه مدت از نور آفتاب برخوردار خواهد بود، نظریه اعداد با اهمیت‌تر از نظریه میدانی جاذبه است.

این مثال همچنین نشان می‌دهد که چرا برای روشن شدن ابهامات می‌بایست به تراز بالاتر متوسل شد. تکینگی (singularity) پتانسیل  $1/r$  - ما را از پیشگویی کلاسیک درباره اینکه یک مدار سر به سر (head-on) توسط تکینگی بازتاب می‌یابد و یا براهش ادامه می‌یابد، باز می‌دارد. در مکانیک کوانتایی این تکینگی برای تکامل زمانی مسئله‌ای نیست و حد کلاسیک آن به این اشاره دارد که شق اول درست است.

فهرست این نمونه‌ها را می‌توان به دلخواه ادامه داد و در اینجا بینش زیر را مطرح می‌سازم.

برای پوشش حقایق ظاهراً متناقض، فیزیک مجبور شد که مفاهیم خود را وسعت دهد و در نتیجه توان پیشگویی‌اش را از دست داد. برای نمونه مکانیک کوانتایی خواص ذره‌ای و موجی ذرات را به بهای قبول روابط عدم قطعیت، توصیف می‌کند. «نظریه همه چیز» اگر چنان نظریه‌ای وجود داشته باشد - بایستی استعداد فراگیری همه‌ی راه‌های ممکن را که کیهان می‌توانسته برگردد و در نتیجه همه‌ی قوانین ممکن را، داشته باشد. روشن است که می‌بایست راه‌گریزها و انحرافات (leeways) زیادی را در بر داشته باشد. با چنین معادله‌ای فیزیک در وضعی شبیه ریاضیات در حوالی ۱۹۳۰ خواهد بود که گِدل (Gödel) نشان داد ساختارهای ریاضی ممکن است ناخودسازگار نباشند اما گزاره‌هایی صادق خواهند داد که قابل

استنتاج نیستند. همچنین، «نظریه همگانی» تجربه را نقض نخواهد کرد، وگر نه تغییر داده خواهد شد، اما از تعیین همه چیز خیلی دور خواهد بود. همزمان با تکامل کیهان، شرایط قوانین خود را ایجاد کرده است.

شاید آدم از این احساس که ترازهای گوناگون نامبرده در بالا جملگی تنها نمودهایی از یک اصل بنیادی تراند، دلگرم شود. مشکل دقیق تر نمودن این شهود در گرو تعریف واژه‌ی بنیادین است. برای نمونه می‌توان گفت در نظریه میدان (کلاسیک یا کوانتایی) اصل بنیادین ناوردایی لورنتس (Lorenz invariance) است و معادله‌های ماکسول یا یانگ - میلز (Young-Mills) تنها سازوکارهای ویژه‌ی نمایش این اصل به شمار می‌آیند. با وجود این از اعتبار جهانشمولی برخوردار نیست: در نسبت عمومی می‌بینیم که فضاهایی با چنان گروه بزرگی از هم‌ریختی‌ها (isomorphisms)، جنبه‌ی استثنایی دارند. یا از این بدتر، چنانچه در (الف) دیدیم، بُعدیت و امضای جای گاه (space-time) می‌تواند نتیجه‌ی یک تصادف تاریخی باشد. همچنین سرشت گسترشی انرژی را که تقریباً همپای  $N$  می‌رود، می‌توان اصلی بنیادین انگاشت. این اصلی است ساده و دارای اعتباری گسترده؛ در مورد همه عناصر شیمیایی صدق می‌کند. زیربنای علم مهمی، یعنی ترمودینامیک را تشکیل می‌دهد. با این وجود اعتبار جهانشمولی ندارد و توسط اندرکنش‌های گرانشی نقض می‌شود. باز چنانچه در (ب) بحث شد امکان دارد نتیجه‌ی یک حادثه‌ی تاریخی باشد: اگر بوزن بار الکتریکی دار سبکتر از الکترون در ابتدا وجود می‌داشت، قانون بنیادین انرژی به جای تناسب با  $N$ ، با  $N^5$  تناسب می‌داشت. به این مفهوم قوانینی که برای ما بنیادین به چشم می‌آیند شاید در ابتدا به عنوان احتمالاتی وجود داشته‌اند، نه قوانین.

شاید این دیدگاه‌ها تأکید را از اینکه چه چیز در علم مهم است، به سویی دیگر سوق دهد. در تصویر فراگیر، مقدس‌ترین هدف در علم پیدا کردن «نظریه همه چیز» است زیرا در آن صورت هر چیز دیگر تنها منحصر به گشایش موارد ویژه محدود می‌شود. چنانچه گمان رود چند حرف یونانی در «نظریه همه چیز» مطلبی را نمی‌رسانند و فیزیک واقعی متشکل از پیامدهای ریاضی در یک وضع خاص است، در اینصورت ترازهای گوناگون در هرم فیزیک برپای خود استوارند. و این به این معنی نیست که کسی مجبور نیست آنچه را که تنها با تواضع و بدون

آیا قوانین طبیعت تکامل می‌یابند؟ ۲۶۳

تظاهر دروغین استنباط (قیاس) پذیر است، از تراز بالاتر استنتاج (استنباط) نماید.

## مراجع

- Barrow, J. D. & Tipler, F. (1986). *The Anthropic Cosmological Principle*. Oxford: Clarendon Press.
- Chodos, A. & Detweiler, S. (1980). Where has the fifth dimension gone? *Physical Review D* 21, 2167–2170.
- Lieb, E. H. (1991). The stability of matter. In *From Atoms to Stars. Selected Papers*. New York: Springer.
- Mayr, E. (1988). The limits of reductionism. *Nature* 331, 475.
- Novikoff, A. B. (1945). The concept of integrable levels in biology. *Science* 101, 209–215.
- Siegel, C. L. & Moser, J. (1971). *Lectures in Celestial Mechanics*. New York: Springer.
- Thirring, W. (1990). The stability of matter. *Foundations of Physics* 20, 1103–1110.
- Weinberg, S. (1977). *The First Three Minutes – A Modern View of the Origin of the Universe*. London: André Deutsch.
- Weinberg, S. (1987). Newtonianism, reductionism and the art of congressional testimony. *Nature* 330, 433–437.

## انتظار قوانینی نوین در زیست‌مند: همیاری مغز و رفتار

ج.ا. سکات کلسو برنامه‌نظام‌های پیچیده و علوم مغز، مرکز نظام‌های پیچیده،  
دانشگاه فلوریدا آتلانتیک، بکارآین، فلوریدا  
هرمان هاکن مؤسسه فیزیک نظری و همیاری، دانشگاه اشتوتگارت

از مطالعه‌ی موجودات زنده به بهترین وجه می‌توان  
فهمید که هنوز تا چه اندازه فیزیک مبتدی است  
آلبرت آاینشتاین

### دیباچه

عنوان این مقاله - دست کم عبارت پیش از علامت دو نقطه با بی‌شرمی از کتاب کوچک و شگفت‌شرو دینگر یعنی *حیات چیست؟* (۱۹۹۴) ربوده شده. عبارت پس از علامت دو نقطه به سرچشمه‌ای اشاره دارد که این قوانین تازه را بتوان یافت. دانش همیاری (synergetics) واژه‌ای که توسط هاکن (۱۹۶۹، ۱۹۷۷) برای ارایه قالبی زمینه‌ای نسبتاً تازه و میانرشته‌ای از پژوهش ابداع شده است که هدفش شناخت تشکیل انگاره‌ها (patterns) در دستگاه‌های باز و ناتعادلی است، یعنی دستگاه‌هایی که پیوسته شاری (flow) از مواد و انرژی را دریافت می‌کنند. دانش همیاری کارش مرتبط با چگونگی همکاری بخشهای یک دستگاه در ایجاد ساختارهای آفاقی

(جای گاهی - spatiotemporal) یا کارکردی است. طی دهسال و اندی که گذشته پیشرفت های چشمگیری در رهیابی به راه های طبیعت در تشکیل انگاره ها (patterns) در دستگاه های باز فیزیکی، شیمیایی و زیست شیمیایی حاصل شده است (برای نمونه رک به مقالات مروری Babloyantz, ۱۹۸۶؛ Bak, ۱۹۹۳؛ Pomeau, Bergè, Vidal, ۱۹۸۴؛ Collect و Eckmann, ۱۹۹۰؛ Ho, زیر چاپ؛ Iberall و Soodak, ۱۹۸۷؛ Kutamoto, ۱۹۸۴؛ Nicolis و Prigogine, ۱۹۸۹). به ویژه شالوده های ساختمانی دانش همیاری مفاهیمی چون ناپایداری، عوامل نظم (order parameters)، افت و خیزها (fluctuations) و برده گیری (slaving) را به عنوان مفاهیمی مهم و لازم در شناخت و پیشگویی تشکیل خودبخودی (و خود سامان) انگاره در دستگاه های پیچیده، تثبیت کرده است.

زمانی که شرودینگر آشکارا اعلام کرد - و احتمالاً با نگرانی خیلی ها در آن زمان و اکنون هم - که شناخت نظام های زنده شاید مستلزم «قوانین دیگری» و رای «قوانین شناخته شده فیزیک» است، هنوز خبری از مفاهیم نظری تشکیل انگاره ها و خودسامانی در دستگاه های غیرتعادلی، نبود (گرچه زمزمه هایی در کارهای نخستین فون برتالانفی (Von Bertalanfy) و نیز در ارایه بدشگون «منفانتروپی» (negative entropy, negentropy) که خود شرودینگر عنوان کرد، وجود داشت). همچنین ابزارهای ریاضی دینامیک غیر خطی هنوز گل نکرده بود. این امر تا حدی به این دلیل بود که محاسبه یعنی وسیله اصلی بررسی معادلات غیر خطی که راه حل تحلیلی (analytic) ندارند، وجود نداشت. در ابراز تأسفش از تلاش های بزرگ همکاران بزرگ خود یعنی دیراک و ایدینگتن در نامه ای به بُرن (Born) چنین نوشت: «این چیزی است که خیلی فراتر از اندیشه های خطی آنان است. همه چیزی خطی است ... آینشتاین یکبار به من گفت که اگر همه چیز خطی می بود هیچ چیزی بر دیگری اثری نمی گذاشت. واقعاً چنین است.» (Moore, ۱۹۸۹، ص ۳۸۱). شرودینگر دریافت که ساختارهای مهم و بسیار جالبی که در تبدیلات بی نظمی - نظم (یعنی هنگامی که در اثر کاهش دما ساختار کلان (macroscopic) ماده تغییر می کند) توسط فیزیکدانان بررسی می شوند، با پیدایش حیات کاملاً بی ربط اند. در فیزیک، حالت های متفاوت تجمع ماده - یعنی جامد، مایع، و گاز - را «فاز» (phase)، و تبدیل آنها به هم را «تبدیل فاز» (phase transition) می گویند.

تبدیل بخار به مایع و سرانجام به یخ خود نمونه‌ای از تغییر فزاینده از بی‌نظمی به نظم است. بی‌درنگ روشن است که فرایندهای حیات هیچ ربطی با اینگونه تبدیل فاز ندارد و اصول کاملاً متفاوتی که با تبدیل فازهای «غیر تعادلی» مرتبط اند، لازم است. اینگونه تبدیل‌ها در دستگاه‌هایی رخ می‌دهند که از بیرون انرژی به آن‌ها وارد می‌شود (یا مانند دستگاه‌های زنده که از درون یا بیرون دارای سوخت و ساز می‌باشند). چنین دستگاه‌هایی نمی‌توانند ساختار و یا نقش خود را بدون تبادل انرژی، ماده و یا اطلاعات با پیرامون، حفظ کنند.

دست‌کم تاکنون در زیست‌شناسی، فرآیندهای خودسامان در دستگاه‌های باز کمتر مورد توجه بوده‌اند. البته در بحث‌های رشد جنینی و پیدایش شکل‌های زیستی - مانند اینکه چگونه یک یاخته، انگشتی از دست یا پا می‌شود - به سازوکارهای نفوذ - واکنش از نوع تورینگ (Turing) اشاره می‌شود، اما بیشتر به شکلی کوتاه و گذرا و اشاره‌وار (برای نمونه Walpert، ۱۹۹۱). البته خیلی از زیست‌شناسان می‌پذیرند که زیست‌مندی به دسته‌عمومی دستگاه‌های باز تعلق دارند. کریک در کتاب *از ملکول‌ها و انسان‌ها (Of Molecules and Men)* (۱۹۶۶) در ص ۹ در یک پاراگراف حتی اشاره دارد که «یک زیست‌مندی می‌بایست یک دستگاه باز باشد» و می‌گوید این نخستین و کمترین (minimum) شرط حیات است. اما با وجود این تعجب ندارد که تاکنون بیشتر توجه به این حقیقت معطوف شده که زیست‌مندان دارای ماده ژنتیکی هستند که به آنها اجازه تولید مثل می‌دهد و نسخه‌هایی از خود را به اخلاف می‌دهند و گزینش داروینی باقی کار را انجام می‌دهد. اما مدت‌ها است فهمیده‌اند که گزینش داروینی وجود ساختارهای خود ابقا (self-sustaining) مانند ژن را «از پیش فرض شده» می‌داند و درباره‌ی اینکه چگونه آرایش خاصی از میان آن‌همه در سوپ آغازین (primordial soup) برگزیده شده توجیهی ندارد. در حقیقت تاکنون هیچگونه شاهد تجربی برای پیدایش نظم زیستی بدون کمک از پیش سازهای (منظم) زیستی ارایه نگردیده است (Dyson، ۱۹۸۵).

کوتاه سخن اینکه زیست‌شناسی امروزی می‌پذیرد که زیست‌مندان چیزهایی نظام یافته‌اند. در تمامی زمان زیست‌شناسان نهایت تلاش را کرده‌اند تا کوچکترین ایما و اشاره‌ای که برساند نظم زیستی از یک نیروی حیاتی غیر مادی سرچشمه می‌گیرد، را بی‌اعتبار کنند (برای نمونه Mayr، ۱۹۸۸) و این نگرشی است که ماهم بر آن

هستیم. اگرچه می‌بایست زیست‌شناسی بیشترین انگیزه را در آشکار کردن محدودیت‌های شیمی و فیزیک معمولی، و کرسی نشانیدن قوانین جدید، دستیابی به قوانین شرودینگر (خودسامانی در دستگاه‌های باز؟) و توسعه‌ی آن می‌داشت، این چنین نشد. به جای آن راه دیگری (زیست‌شناسی ملکولی) را برگزید که علیرغم پیروزی‌های بزرگش، اکنون جریمه‌اش را می‌پردازد (Maddox, ۱۹۹۳). برای اینکه منظورمان خوب روشن شود می‌گوییم: ادعا نداریم که قوانین بنیادین فیزیک (و در نتیجه شیمی) در زیست‌شناسی مصداق ندارند، که البته دارند. اما می‌گوییم که چارچوب مفهومی یا جهان بینی‌شان خیلی تنگ است. بنابراین باید مفاهیم تازه‌ای را بیابیم که از توصیف صرفاً خرد (میکروسکپی) دستگاه‌ها فراتر می‌روند.

اگرچه این فصل را با رویدادهای ملکولی بخودی خود کاری نیست، با این وجود پیشنهاد دارد که فرایندهای غیرخطی که بسیار دور از تعادل رخ می‌دهند، از غنایی بسنده برخوردارند تا از پس خودسامانی زیستی در چند تراز گوناگون برآیند. هدف ما اینست که نشان دهیم مفاهیم فیزیکی مربوط به تشکیل خودسامان‌انگاره‌ها یعنی همیاری (synergetics) هم اکنون شالوده‌ای را برای شناخت زیست‌مندان و رابطه‌شان با پیرامون، فرارویمان می‌نهد. فصل کنونی چنین تنظیم شده است. در بخش ۲ برخی از مفاهیم اصلی نظریه همیاری (سینرژتیک) هاکن در چارچوب مثال‌های آشنا از فیزیک آرایه می‌شود. در بخش ۳ این معانی درباره‌ی موضوع «هماهنگی» (coordination) به کار خواهد رفت و بحث خواهد شد که این امر جنبه‌ی (و شاید تنها جنبه) بارز و بنیادین موجود زنده است. در چنان دستگاه‌های پیچیده‌ای درجات آزادی معنی‌دار و پویایی آنها اغلب دانسته نیست و می‌بایست پیدا شوند. همیاری، راهبردها و روش‌هایی را ارائه می‌کند که مستقل از هر تراز، پویایی (غیرخطی) شالوده را تشریح می‌کند. بخش ۴ شواهدی را عرضه می‌کند که نشان می‌دهد مغز خود یک دستگاه فعال و خودسامان و قابل بررسی توسط قوانین پویایی غیرخطی است. نظریه و تجربه در این نکته به توافق می‌رسند که دستگاه‌های زیستی از جمله مغز در مرز میان رفتار منظم و نامنظم می‌زیند و انگار در آستانه‌ی ناپایداری بهتر جان سالم بدر می‌برند. در بخش پایانی برخی استنباط‌هایی را که از این نتایج درباره حیات به دست می‌آید، ارائه می‌شود. ضمن اینکه اذعان می‌شود که از رقابت با سبک نگارش شرودینگر عاجزیم، هدف ما در اینجا انتقال

اجزای بنیادین خودسامانی زیستی در قالب مفاهیمی غیر فنی و متکی به کمترین معادلات می‌باشد.

### چگونه طبیعت از پس پیچیدگی بر می‌آید

هر گونه ارزیابی از تشکیل انگاره در دستگاه‌های نامتعادل می‌بایست دو مشکل را (دست کم) در نظر آورد. نخست اینکه چگونه انگاره‌ها از شمار بسیار زیادی از اجزای مادی ساخته می‌شوند و دوم اینکه بیشتر اوقات برای تطبیق با شرایط پیرامون، نه یک انگاره بلکه انگاره‌های «چندتایی» پدیدار می‌شوند. برای نمونه ساختارهای زیستی دارای چند نقش‌اند (چند نقشی): دسته‌ای از اجزای یکسان برای چندین نقش، خودسامانی پیدا می‌کنند و یا اینکه دسته‌ای از اجزای گوناگون برای یک نقش، خودسامان می‌شوند. افزون بر این باید درباره‌ی اینکه چگونه انگاره یا ساختاری معین در شرایط محیطی گوناگون دوام می‌یابد (پایداری آن) و یا چگونه خود را با شرایط درونی و بیرونی متغیر، سازش می‌دهد (سازش پذیری آن)، پاسخگو باشد. همچنین می‌بایست فرایندهایی را که تعیین کننده‌ی چگونگی گزینش انگاره‌ی خاص از میان آن‌همه می‌باشد با هر قانون عرفی یا اصل از خودسامانی وفق داد. چنانچه خواهیم دید چنین فرایندهایی بیشتر با همکاری و رقابت و بازی پیچیده‌ای میان ایندو مرتبط‌اند.

برای تشریح سازوکارهای زیر بنایی تشکیل انگاره، به مثال آشنای شاره‌ای (fluid) که از زیر گرم و از بالا سرد می‌شود می‌پردازیم. اما نخست از باب احتیاط می‌گوییم که هیچکس مدعی نیست که مغز یا موجود زنده به‌طور کلی شاره‌ای ساده و متشکل از آخشیج‌هایی (elements) همگن است، بلکه بسیار دور از آن. مثال شاره‌از این جهت در اینجا به کار رفته تا برخی راه‌هایی را که طبیعت درباره‌ی دستگاه‌های غیرتعادلی شامل درجات آزادی بسیار، به کار می‌بندد، تشریح کنیم. به ویژه اینکه به ما امکان می‌دهد تا مفاهیم کلیدی همیاری را که شالوده‌ی شناخت ما از پیدایش نظم زیستی خواهند شد، تشریح کنیم. مانند سایر آزمایش‌های فیزیکی، زیبایی مثال شاره این است که گرچه در آزمایشگاه انجام می‌شود، پنجره‌ای بر تصویری بس بزرگتر می‌گشاید. آزمایش ناپایداری ریلی - بنارد (Rayleigh-Benard) نام دارد و چنین می‌باشد. مایعی مانند روغن آشپزی را در



تابه‌ای بریزید و زیر آن را گرم کنید. از دید خرد (microscopically) این شاره فرضاً دارای  $10^{20}$  ملکول است که هر کدام حرکتی بی‌نظم و هر دمبیل دارند (آخشیج‌های خرد بسیار بسیار زیاد). چنانچه تفاوت دمای بالا و پایین شاره کم باشد هیچگونه حرکت مقیاس بزرگ در شاره رخ نمی‌دهد. گرما به شکل حرکات خردی (حرکات موضعی micromotion) که ما نمی‌توانیم ببینیم، در میان آخشیج‌ها فرسوده (تلف - dissipate) می‌شود. باید توجه داشت که حتی در این مرحله نیز دستگاه یک دستگاه باز است که توسط شبی از دما - که در زبان همیاری و دستگاه‌های پویا عامل مهار گفته می‌شود (control parameter) - فعالیت دارد. هنگامی که این عامل مهار زیاد می‌شود، رویداد عجیبی که ناپایداری نام دارد رخ می‌دهد و مایع با حرکتی غلطان و منظم به طور کلان (macroscopic) شروع به حرکت می‌کند. یعنی در این وضعیت دستگاه دیگر مجموعه‌ای از ملکول‌ها که حرکتی هر دمبیل دارند، نمی‌باشد: میلیاردها ملکول در ایجاد انگاره‌های کلانی که در فضا و زمان تکامل می‌یابند، شرکت دارند. دلیل پیدایش حرکت غلطان (جابجایی) این است که مایع سرد در بالای شاره چگال تر است و میل به افتادن دارد، در حالی که شاره گرم‌تر و کم چگال تر در ته ظرف میل به بالا رفتن دارد.

در همیاری، دامنه حرکت غلطان‌ها نقش عامل نظم (order parameter) یا متغیر انبوه (collective parameter) را دارد: همه قسمت‌های شاره دیگر مستقلاً عمل نمی‌کنند بلکه به وضعی از همکاری منظم کشیده می‌شوند. در نزدیکی نواحی بحرانی (یعنی نزدیک یک ناپایداری) رفتار کلان دستگاه تحت مهار تنها چند وضع جمعی (collective modes) یا به اصطلاح عامل نظم قرار دارد که به کمک آن‌ها به تنهایی می‌توان تکامل تشکیل انگاره‌ها را به طور کامل بیان داشت. این تراکم در درجات آزادی (df)، در نزدیکی نقاط بحرانی را در اصطلاح رسانه‌های فیزیکی، به پیروی از هاکن (۱۹۷۷)، اصل برده‌گیری (slaving principle) می‌گویند. وی شکل ریاضی دقیقی برای دسته وسیعی از دستگاه‌ها ارایه کرده است. برای آشنایی با اصل برده‌گیری به مقاله مروری بسیار عالی Wunderlin (۱۹۸۷) مراجعه شود. مثال‌ها عبارتند از تشکیل گردآب (vortex) در دستگاه Taylor-Couette، پیدایش نور لیزر همدوس، تشکیل انگاره‌های غلظتی در برخی واکنش‌های شیمیایی مانند Belousov-Zhabotinski، و ناپایداری خوب شناخته شده تورینگ که به عنوان

الگوی ریخت زایی (morphogenesis) توفیق نسبی داشته است. در همه این موارد، پیدایش انگاره و تغییر آن، تنها از پویایی هماهنگ خود دستگاه برمی خیزد، بدون دخالت اثر ویژه نظام بخشی از بیرون، و بدون هیچ عامل آدمگونه‌ای، و یا برنامه‌ای از درون. عامل مهار عاری از ویژگی است به این معنی که هیچ گونه رمزی (code) برای انگاره‌ی در حال پیدایش - که گفته می‌شود محصول خود سامانی است - در خود ندارد و پیش نویس نمی‌کند. در دستگاه‌های خود سامان هیچ ماشین الهی بیرونی (deux ex machina) و یا شبیحی در ماشین وجود ندارد تا قسمت‌ها را منظم کند. در واقع هیچگونه «خود» در کار نیست. بعداً خواهیم گفت که چگونه اثرات پارامتری ویژه بر فرآیندهای زیستی را می‌توان در این تصویر جای داد.

چند نکته‌ی دیگر. یکی مربوط به علیت دوار (circular causality) است: عامل نظم در نتیجه همکاری بخشهای منفرد دستگاه پدیدار می‌شود. بر عکس عامل نظم بر رفتار فرد فرد بخشهای دستگاه حاکمیت دارد. برای نمونه، در لیزر، گسیل برانگیخته‌ی اتم‌ها میدان نوری را بوجود می‌آورد که این به نوبه خود به عنوان عامل نظم، حرکت الکترون‌ها در اتم‌ها را تعیین می‌کند. یا به اصطلاح هاکن حرکت آنها را «برده» می‌کند. پیامد آن چگال شدن شدید اطلاعات است. علیت مدور شاخصه فرایندهای غیرخطی در شرایط بسیار دور از تعادل (گرمایی) است. این علیت در مقابل علیت خطی که بر بیشتر زیست‌شناسی و فیزیولوژی حکمفرماست - یعنی «شعار مرکزی» و کهنه که می‌گوید اطلاعات تنها در یک جهت یعنی از دی.ان.ا. به آر.ان.ا. و سپس به پروتئین می‌رود - قرار دارد. نکته دوم در ارتباط با افت و خیزها (fluctuations) و شکستن تقارن است. در مثال خودمان چگونه حرکت غلطان می‌داند که از کدام سمت برود؟ پاسخ خود بخت است: تقارن حرکت راست‌گرد یا چپ‌گرد به وسیله‌ی یک افت و خیز و یا اختلال اتفاقی به هم می‌ریزد. زمانی که «تصمیم‌گیری» شد، کار تمام است و نمی‌توان برگردانید. همه آخشیج‌ها مجبور به تبعیت از آنند. این بازی میان بخت (فرایندهای تصادفی) و گزینش تعیین‌کننده الگوهایی است که پدیدار می‌شوند. در دستگاه‌های خودسامان زیستی، افت و خیزها همیشه هستند و پایداری حالت‌های موجود را می‌کاوند و اجازه می‌دهند که دستگاه حالت‌های تازه‌ای را کشف کند. نکته سوم اینکه هرچه عامل مهار افزایش می‌یابد، انگاره‌هایی بیشتر و بیشتر پیچیده - یک سلسله تمام از ناپایداری‌ها - پدیدار

می‌شوند. انگاره‌های نو پشت سرهم و با پیچیدگی فزاینده‌ای به وجود می‌آیند. گهگاه دستگاه به حدی رانده می‌شود که به حالتی آشوبناک می‌رود. برای اجزای دستگاه گزینه‌های بسیاری برای پذیرش وجود دارد و در نتیجه هیچگاه آرام نمی‌گیرد.

کوتاه سخن اینکه، همیاری با معادلاتی که چنین شکلی دارند سر و کار دارد:

$$\dot{q} = N(q) \quad (1)$$

(همه‌ه و عوامل و  $q$ )

که در آن نقطه بالای  $q$  نشانه‌ی مشتق نسبت به زمان،  $q$  برداری با استعداد ابعادی بالا است که حالت دستگاه را تعیین می‌کند، معادله‌ی (۱)، و  $N$  تابعی غیر خطی از بردار حالت است که می‌تواند وابسته به شماری عامل یا parameter (از جمله زمان) و همچنین نیروهای بختانه‌ای که بر دستگاه اثر دارند، باشد. به طور کلی هرگاه عوامل معادله تغییراتشان پیوسته باشد، جواب‌های معادله (۱) هم تغییرشان پیوسته است. اما هنگامی که تغییری پیوسته در عامل مهار از یک مقدار بحرانی می‌گذرد، رفتار دستگاه ممکن است دچار تغییر کیفی یا عدم پیوستگی گردد. چنین تغییرات کیفی با تشکیل انگاره‌های خودبخود (خودسامانی) همراه است و همیشه از راه یک ناپایداری رخ می‌دهد. انگاره‌هایی را که در تبدیل فازهای غیر تعادلی (واژه‌ای که فیزیکدان‌ها ترجیح می‌دهند زیرا شامل اثرات افت و خیزها می‌شود) یاد و شاخه شدن‌ها (bifurcations - واژه‌ای ریاضی که در نظریه‌ی پویایی دستگاه‌ها به کار می‌رود) پدیدار می‌شوند، بر حسب جاذب‌های متغیر جمعی یا پویایی عامل نظم تعریف می‌کنند. (در بخش آتی بحث این واژه‌ها در ارتباط با هماهنگی زیست شناختی تشریح خواهد شد). وجود حالت‌های جاذب پویایی متغیر جمعی به خاطر این است که دستگاه‌های غیر تعادلی فرسایشگر (dissipative) هستند. بسیاری از مسیرهای مستقل با شرایط اولیه گوناگون با گذشت زمان به سوی یک دسته‌ی حد یا حل (پاسخ) جاذب، همگرایی پیدا می‌کنند. اغلب اوقات نقطه‌ای ثابت و پایدار، چرخه‌ی حد و پاسخ (حل)‌های هبایی - همچنین سایر رفتارهای گذرا و پیچیده‌تر - بسته به مقادیر عوامل (parameters)، در یک دستگاه امکان‌پذیر می‌باشد. در نتیجه این خود یکی از موضوع‌های اصلی طبیعت در سروکارش با موجودات زنده‌ی پیچیده به شمار می‌آید (Kelso, ۱۹۸۸): پیچیدگی مادی بسیار زیادی در نزدیکی ناپایداری‌ها متراکم می‌شود (چنانچه در اصل برده‌گیری

همیاری (ملاحظه گردید) و به رفتاری با ابعاد کمتر می‌رسد که توسط متغیرهای جمعی یا عوامل نظم توصیف می‌شوند. در نتیجه پویایی انگاره‌ی برآیند غیرخطی است که از آن پیچیدگی رفتاری شدید، از جمله مظاهر بختانه و یا هبای قطیعی (deterministic)، برمی‌خیزد. این جور وضعیت شالوده‌ای مفهومی و ریاضی اصول بی‌نظمی - نظم و نظم - نظم را که شرودینگر (۱۹۴۴) طرفدار آن بود، پیش روی می‌نهد و اصل تکاملی مربوط به نظم به هبا دربارہ دستگاہهای باز و فرسایشگر را به آن می‌افزاید آنسان که انگار این آخری است که غرق از «فیزیک نوین» است.

## پویایی هماهنگی در موجودات زنده

هیچ راهی برای شناخت شالوده فیزیکی حیات بدون توجه به موضوع هماهنگی نمی‌بینیم

ه. پتی

علیرغم، و شاید بخاطر پیروزی‌های زیست‌شناسی ملکولی نوین، هنوز مشکل بزرگ کل زیست‌شناسی پابرجاست: چگونه موجودات زنده پیچیده‌ی در مکان و زمان هماهنگی دارند. نه فیزیک سنتی (classic) و نه فیزیک کوانتومی (بدون توجه به گفته‌های کسانی چون Weinberg, Penrose, Hawking) هیچگونه بینشی درباره‌ی هماهنگی ویژه و نقش‌دار، ارائه نمی‌کنند. گرچه ادعا داریم که همه‌ی قوانین حاکم بر رفتار ماده را می‌دانیم (فیزیک و شیمی معمولی) به استثنای شرایط حد، این قوانین کوچکترین چیزی درباره‌ی اینکه چگونه و چرا در خیابان راه می‌رویم، به ما نمی‌گویند. همچنانکه سالها پیش (۱۹۷۶) هوارد پتی گفت، معمای حیات به وسیله‌ی زیست‌شناسی ملکولی گشوده شده است اما حیات خیلی بیش از شیمی واکنش‌های یاخته‌ای است. سرچشمه و سرشت هماهنگی این واکنش‌ها همچنان گنگ و ناشناخته مانده است. اکنون تصور کنید که یک موجود زنده از اجزایی منفرد ساخته شده که یکدیگر را نادیده می‌گیرند و با خود و پیرامونشان اندرکنشی ندارند. چنین دستگاهی نه ساختاری خواهد داشت و نه نقشی. هر ترازوی از توصیف را برای بررسی برگزینیم (انتخاب شخصی یک دانشمند، با این فرض که اعتقاد بر این است (چنانچه ما هم بر آن هستیم) که از جنبه‌ی هستی‌شناسی هیچ سطحی از توصیف بر دیگری رجحان ندارد)، درجات آزادی (دست کم به طور گذرا)

باهم جفت‌اند یا از لحاظ ایفای نقش مرتبط‌اند. برای نمونه در مورد مغز یاخته‌های منفرد نه می‌اندیشند، نه بو می‌کشند و نه بخاطر می‌آورند. در عوض به نظر می‌رسد که آنها در گروه‌هایی که از جنبه‌ی زمانی همدوس هستند با هم همکاری می‌کنند و آنچه را که ما کارکردهای ادراکی می‌نامیم پدید می‌آورند. پرسشهای اساسی در شناخت هماهنگی در موجودات زنده عبارتند از: شکلی که اندرکنش اساسی به خود می‌گیرد، چگونه رخ می‌دهد و چرا آنچنان است که هست.

راه‌حلهای مورد قبول درباره‌ی این پرسشها، دست کم به شکل ابتدایی آن، در چیزی که شاید بتوان «پویایی هماهنگی ابتدایی» نامید، قرار دارد (Kelso, ۱۹۹۰، ۱۹۹۴). منظور از ابتدایی فرمولبندی ریاضی ساده‌ای است (نه آنقدر ساده که اصل مسئله از دست برود) که شالوده‌ای برای شناخت سایر موضوعات، مانند فراگیری، سازش‌یابی با محیط و ارتباط این فرایندها با عملکرد مغز را پیش رو گذارد. لازم به اشاره نیست که پویایی هماهنگی ابتدایی از مفاهیمی چون خودسامانی و تشکیل انگاره به عنوان بخشی از یک راهبرد تجربی با انگیزه نظری (Haken, ۱۹۷۷) و از ابزارها و زبان پویایی غیرخطی مزدوج (coupled) برای تبیین قانونمند (به شکل پیوسته یا گسسته) چگونگی تشکیل و تغییرانگاره‌ها بهره‌گیری می‌کند.

چگونه قوانین اساسی هماهنگی را پیدا کنیم؟ به دیگر سخن: چگونه در دستگاههای پیچیده، متغیرهای جامع مناسب را می‌یابیم و پویایی‌شان را در یک تراز مشاهده‌ی گزیده شده پیدا می‌کنیم. همسوی با همیاری (synergetics)، تبدیلات فاز (یا دو شاخگی‌ها) نقطه ورودی برای بسط شناخت نظری موجودات زنده‌ی پیچیده، که در آنها درجات آزادی مناسب (relevant) معمولاً شناخته نیست، پیش روی می‌نهد. دلیلش اینست که تغییر کیفی به روشنی تمیز یک انگاره از دیگری را میسر می‌سازد و بدان وسیله شناسایی متغیرهای جمعی مربوط به انگاره‌های گوناگون و پویایی انگاره ممکن می‌شود (چند پایداری، از دست رفتن پایداری، و غیره). در نزدیکی نقاط بحرانی، فرایندهای حاکم بر پایداری انگاره، انعطاف‌پذیری و حتی گزینش آن هویدا می‌شوند. سنجش‌هایی که انگیزه نظری دارند (افت و خیزها، زمانهای واهلش relaxation - زمانهای اقامت در حوالی نقطه بحرانی، و غیره، رک به دنباله مطالب) برای تشریح این فرایندها در دسترس‌اند و امکان ارزیابی پیشگویی‌ها را میسر می‌سازند (برای نمونه Kelso و Schöner،

۱۹۸۸؛ و Schöner و Dling و Kelso، ۱۹۹۲). عوامل مهار که ناپایداری را تشویق می‌کنند، قابل تعیین‌اند. ناپایداری‌ها سازوکاری عمومی (generic) برای تغییرات انعطاف‌پذیر (تغییر وضعیت بدون جابجایی و تعویض Switch) را در بین الگوهای هماهنگ، یعنی ورود و خروج از حالت‌های همدوس (coherent)، پیش روی می‌نهند. سرانجام اینکه ترازهای توصیفی گوناگون - ترازهای هماهنگ و جزئی منفرد - را می‌توان از بررسی پویایی جزء (جفت نشده) و جفتیدگی غیرخطی‌شان، به هم مرتبط نمود.

شگفت این‌که قوانین بنیادین هماهنگی در مورد هماهنگی حرکتی انسان نخستین بار به دنبال کشف تجربی تغییرات خودبخودی الگوهای حرکت دست (Kelso، ۱۹۸۴ و ۱۹۸۱) بدست آمدند، که شاید شبیه تنظیم مجدد تغییرات زمانی - مکانی مشهود در تغییر وضع راه رفتن یک حیوان باشد (Orlovski و Shik، Severin، ۱۹۶۶). هنگامی که از افراد انسانی خواسته می‌شود که انگشت‌های نشانه خود را با آهنگی متناوب و خارج از فاز حرکت دهند، به گونه‌ای که بسامد (فرکانس) آن به‌طوری مدون افزایش یابد، دیده می‌شود که این حرکت خودبخود به یک حرکت متقارن و همفاز تبدیل می‌شود و چنانچه بسامد کاهش یابد عکس این رویداد یعنی تبدیل از همفاز به پادفاز (antiphase) رخ نمی‌دهد. همچنین اگر دستگاه (system) در وضع همفاز تدارک شود و بسامد افزایش یابد، هیچ تبدیلی به الگوی هماهنگی پادفاز پیش نمی‌آید.

این نمونه تجربی ساده نشانگر یک وابستگی هماهنگی‌کننده‌ی ابتدایی در دستگاه‌های پیچیده زیستی است. و دارای شاخصه‌های اصولاً غیرخطی خودسامانی از جمله چند پایداری (وجود دو حالت هماهنگ برای یک مقدار از عوامل - پارامترها)، تبدیل از یک حالت منظم به حالتی دیگر و پسماند (hysteresis) که یک نوع حافظه ابتدایی است، می‌باشد.

ساده‌ترین پویایی هماهنگی که در برگیرنده‌ی همه‌ی نتایج تجربی می‌شود چنین است.

$$\dot{\phi} = -a \sin \phi - 2b \sin 2\phi \quad (2)$$

که در آن  $\phi$  فاز نسبی میان دو جزء ریتمی اندرکنش‌کننده و  $b/a$  یک عامل مهار مربوط به زمان چرخه (cycle period) و  $t$ ، عکس بسامد است. دلیل موجهی در

دست است که  $\phi$  را عامل نظم مربوط مختصات بیان‌گاریم. نخست اینکه نظم‌یابی جای‌گاهی (آفاقی - spatiotemporal) میان اجزای در برمی‌گیرد. سایر مشهودات (observables)، انگار تسلیم (برده) رابطه فاز می‌شوند. دوم اینکه تغییرات آن خیلی کندتر از متغیرهایی است که رفتار تک تک اجزای توصیف می‌کند. سوم اینکه  $\phi$  به هنگام گذار (تبدیل transition) به‌طور ناگهانی تغییر می‌کند. پویایی معادله (۲) را می‌توان به عنوان ذره‌ای که در سرزمین تابع پتانسیل  $V(\phi)$  در حرکت است تجسم نمود. بنابراین یک معادله هم ارز معادله‌ی (۲) چنین می‌باشد.

$$\dot{\phi} = -\frac{\partial V(\phi)}{\partial \phi} \quad (3)$$

که در آن

$$V(\phi) = a \cos \phi - b \cos 2\phi$$

است. سرزمین پتانسیل یا «نقشه جاذب» در مورد آهنگ‌های حرکتی متفاوت، یعنی نسبت‌های گوناگون  $b/a$ ، در ردیف بالای شکل (۴) ترسیم شده‌اند. این پویایی موسوم به HKB، (۲) و (۳)، حقایق هماهنگی مشهود را در برمی‌گیرد. (۱) دارای دو جاذب نقطه‌ای ثابت و پایدار است که با حالت‌های قفل شده‌ی فاز و بسامد در  $\phi = 0$  (همفاز) و  $\phi = \pm\pi$  (پادفاز) مطابقت دارند. برای مقادیر کم نسبت  $b/a$ ، هر دو صورت هماهنگی، همزیست‌اند - اینکه کدام مشهودند بستگی به شرایط آغازین دارد - خاصیت اساساً غیر خطی «دو پایداری» (bistability). (۲) همزمان با کاهش نسبت  $b/a$ ، نقطه ثابت واقع در  $\phi = \pi$  پایداریش را از دست می‌دهد، و هرگونه افت و خیز کوچک، دستگاه را به سوی تنها نقطه ثابت پایدار در  $\phi = 0$  می‌راند. در ورای این «گذار فاز خودبخودی» تنها طرح متقارن در  $\phi = 0$  پایدار است. و (۳) هنگامی که جهت تغییر عامل مهار بر می‌گردد، دستگاه هماهنگی در جاذب همفاز باقی می‌ماند. این «پسماند» (hysteresis) از آنجا سرچشمه می‌گیرد که نقطه‌ی ثابت در  $\phi = 0$  همیشه پایدار است.

پویایی هماهنگی پایه، معادلات (۲) و (۳)، به طرق متعدد بسط یافته‌اند که در اینجا می‌توان تنها اشاره‌ای به آنها نمود، که در بین اینها عبارتند از:

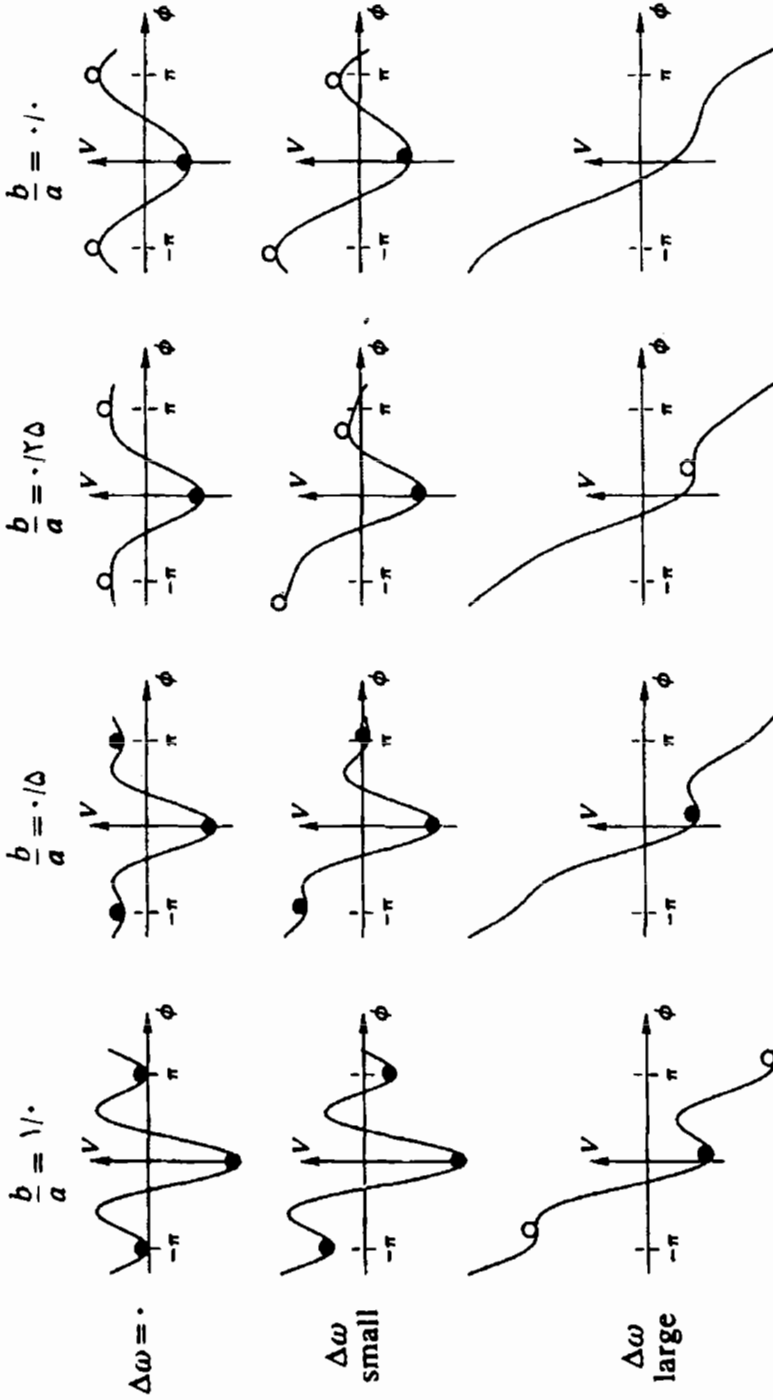
● وارد کردن نیروهای بختانه در معادلات (۲) و (۳) به پیشگویی‌های «آهسته شدن بحرانی» و «افت و خیزهای بحرانی» در نزدیکی ناپایداری انجامید (Haken

etal, ۱۹۸۶؛ Schöner, ۱۹۸۶). این پیشگویی‌ها را به آسانی از شکل ۴ (ردیف بالا) می‌توان دریافت. همزمان با کاهش ژرفای می‌نیمم واقع در  $\phi = \pi$ ، زمان برگشت به حال خود دستگاه، پس از هر افت و خیز کوچک، بیشتر و بیشتر می‌شود. در نتیجه، پیش بینی می‌شود که همزمان با نزدیکی به ناپایداری، زمان واهلش (relaxation) بیشتر شود زیرا نیروی بازگردان (شیب پتانسیل) کوچکتر می‌شود (آهسته کردن بحرانی). همچنین، تغییر پذیری  $\phi$  هم بخاطر پهن شدن پتانسیل در نزدیکی نقطه‌ی گذار (transition) زیاد می‌شود (افت و خیزهای بحرانی). هر دوی این پیشگویی‌ها در مورد دستگاه‌های تجربی گوناگون و بسیار زیاد، مورد تأیید واقع شده‌است

(برای نمونه Buchanan & Kelso, ۱۹۹۳؛ Kelso & Scholz, ۱۹۸۵؛ Kelso, Scholz & Schöner, ۱۹۸۶؛ Scholz, Kelso & Schöner, ۱۹۸۷؛ Schmidt, Carello & Turvey, ۱۹۹۰؛ Wimmeres, Beck & van Wierengen, ۱۹۹۲).

● پیامد اثرات پارامتریک «ویژه» در معادله (۲) وارد گردیده، برای نمونه هنگامی که طرح خاصی توسط پیرامون، یادگیری و نیت مشخص شده (مثلاً Schöner و Kelso, Scholz, ۱۹۸۸؛ Kelso & Schöner, ۱۹۸۸b؛ Zanone & Kelso, ۱۹۹۲). یکی از مزایای دانستن معادله (۲)، که در آن انگاره‌های هماهنگی در نتیجه‌ی اثرات پارامتری «غیر ویژه» (یعنی عامل مهار،  $b/a$ ، دستگاه را از جمیع حالاتش می‌گذراند ولی آنها را تسجیل نمی‌کند) شکل می‌گیرد و تغییر می‌کند، این است که می‌گذارد پارامترهای ویژه از منابع گوناگون به طوری پوینده (دینامیک) ابراز شوند (یعنی به عنوان «اجباراتی» (forcings) که با همان زبان عوامل نظم تعریف می‌شوند). یک امتیاز مفهومی این است که دو گانگی میان اطلاعات (ویژه) و پویندگی (غیر ویژه، ذاتی) از میان می‌رود. به این ترتیب، اطلاعات تنها هنگامی معنی دار و ویژه‌ی دستگاه زنده است که سهمی در پویایی عامل نظم داشته، آنها را به سمت طرح هماهنگی مورد نیاز جذب نماید. اینکه آیا چنین چشم‌انداز نظری در مورد «مسئله واقعی حیات» (Rosen, ۱۹۹۱) نقشی خواهد داشت؛ یعنی اینکه چگونه از نظم هُلنُمیک (holonomic - نمادین و مستقل از سرعت) که شاخص توالی دی.ان.اِ یا آر.ان.اِ است، به نظم غیر هُلنُمیک (وابسته به سرعت، رفتارگر)





$$V(\phi) = -\Delta\omega\phi - a \cos \phi - b \cos 2\phi$$

شکل ۴. پتانسیل HKB (Haken, Kelso, Bunz) برحسب نسبت  $b/a$  در مقادیر گوناگون  $\Delta\omega$  دایره‌های توپر نشانگر نقطه جاذب‌های ثابت و پایدار و دایره‌های توخالی نقاط ناپایدارند. ردیف بالا:  $\Delta\omega = 0$ : پتانسیل متقارن است و می‌نیم‌ها ابتدا در  $\phi = 0$  و  $\phi = \pm\pi$  هستند (رک به متن). ردیف میانی:  $\Delta\omega$  کوچک: پتانسیل نامتقارن است و می‌نیم‌ها اندکی جابجا شده‌اند. ردیف پایین:  $\Delta\omega$  بزرگ: تنها می‌نیم جابجا شده‌ی نزدیک  $\phi = 0$  در ابتدا پایدار است، و سپس آنهم ناپدید می‌شود. توجه شود که چگونه آثار مانده‌ی نقاط پایدار در مقادیری از پارامتر  $b/a$  پابرجا می‌مانند.

که در روبنای ژنتیکی پدیدار می‌شود می‌رسیم؛ معلوم نیست. نهایت اینکه تحلیل حاضر خود بازنگری فرمولبندی مسئله را پیشنهاد می‌کند. در اینجا قوانین هماهنگی خود سامان مانند معادله (۲)، اساساً ساختارهایی اطلاعاتی هستند. عامل نظم معرفی شده  $\phi$ ، روابط همدوس میان چیزهای گوناگون را در بر می‌گیرد. بر خلاف «فیزیک معمولی» پارامتر نظم زیست‌شناختی وابسته به متن است و ذاتاً برای عملکرد و نقش دستگاه معنادار است. حال می‌شود پرسید که چه چیزی برای یک زیست‌مند معنادارتر از اطلاعاتی است که روابط هماهنگی بین اجزاء آن و یا خود موجود با پیرامونش را مشخص می‌کند؟

● وارد کردن یک جمله‌ی تقارن شکن در معادله‌ی (۲) به منظور دربرگیری مواردی است که در آن واحدهای سازنده یکسان نیستند، یعنی جایی که اجزای نامزدوج توأثرهای ویژه‌ی متفاوتی بروز می‌دهند. توجه شود که معادله (۲) یک قانون هماهنگی تقارن است: دستگاه تناوب  $2\pi$  دارد و نسبت به انعکاس چپ-راست  $(\phi \rightarrow -\phi)$  یکسان می‌ماند. البته طبیعت از تقارن شکسته که سرچشمه‌ها و پیامدهای متعددی در موجودات زنده دارد، بهره می‌گیرد. پویایی هماهنگی، معادله‌ی (۲)، را می‌توان به آسانی جهت شامل کردن تقارن شکنی، از طریق افزایش یک جمله ثابت  $\Delta\omega$ ، که هم ارز تفاوت بسامد میان اجزای نامزدوج است، بسط داد (Schöner و Kelso, Del Colle، ۱۹۹۰). در این صورت با چشم پوشی از نیروهای اتفاقی (stochastic)، پویایی مربوط به معادله حرکت و پتانسیل به ترتیب چنین می‌شود:

$$\dot{\phi} = \Delta\omega - a \sin \phi - 2 \sin 2\phi \quad \text{و (۴)}$$

$$V(\phi) = -\Delta\omega\phi - a \cos \phi - b \cos 2\phi$$

شکل (۴) (نمودارهای میانی و پایینی) تکامل نقشه‌ی جاذب (attractor layout) مربوط به مقادیر گوناگون  $\Delta\omega$  را نشان می‌دهد. این بسط و تعمیم دو پیامد مهم حاصل از تقارن شکنی را پیشگویی می‌کند. نخست اینکه در مورد مقادیر کوچک از  $\Delta\omega$  پیشگویی می‌کند که می‌نیمم‌ها دیگر در  $\phi=0$  و  $\phi=\pi$  نمی‌باشند بلکه به‌طوری مدون جابجا می‌شوند. دوم اینکه برای مقادیر بس بزرگ از  $\Delta\omega$  دیگر در نقشه جاذب (attractor layout) می‌نیمم‌های موضعی وجود ندارد - نقاط پایدار ثابت از بین می‌روند - و فاز نسبی جابجا می‌شود. هردوی این پیشگویی‌ها به تجربه ثابت شده‌اند

(رک: Kelso و همکاران، ۱۹۹۰؛ Jeka و Kelso، ۱۹۹۲؛ Turvey و Shaw و Schmidt، ۱۹۹۳ همچنین مطالب ارائه شده در Swinnen/etal.، ۱۹۹۴).

با توجه به پایین شکل (۴) دیده می‌شود که گرچه دیگر هماهنگی شدید وجود ندارد، «بقایا» یا «شبح» حالات هماهنگ پابرجا می‌ماند، مثلاً در نزدیکی  $\phi=0$ . این را در اصطلاح «نوبه‌ای» (intermittency) گویند و نمایانگر یکی از فرایندهای خاصی است که در دستگاه‌های کم بُعد در نزدیکی نقطه مماس یا دو شاخه‌ای‌های گره‌زینی (saddle-node bifurcations) دیده می‌شود. در نتیجه‌ی تقارن شکسته در پویندگی هماهنگی، دستگاه به جای اینکه مطلقاً هماهنگ باشد، هماهنگی جزئی یا نسبی میان اجزای خود نشان می‌دهد. چنانچه سالها پیش van Holst (۱۹۳۹) گفته است، هماهنگی نسبی «نوعی هماهنگی نورونی است که مرئی ساختن نیروهای مؤثر دستگاه عصب مرکزی را که در غیر این صورت نامرئی می‌ماند، میسر می‌سازد». این اثر ناشی از رقابت تمایل به هماهنگی کامل (قفل شدن فاز و بسامد) از یکسو و تمایل اجزای منفرد در ابراز تغییرات ذاتی جای‌گاه از سوی دیگر است. این امر به آسانی از پویندگی هماهنگی، معادله (۴) دیده می‌شود، که در آن نسبت  $b/a$  نشانگر اهمیت نسبی حالت‌های جاذب فاز نهادی (attractive states intrinsic phase) در  $0$  و  $\pi$  و  $\Delta\omega$  با تفاوت‌های بسامد میان اجزای سازنده مطابقت دارد. همانند دانستن این شکل شارگونه‌ی پلاستیک و پر تغییر از هماهنگی نسبی، با راهکار پوینده‌ی نوبه‌ای (De Guzman و Holroyd - dynamical mechanism of intermittency و Kelso، ۱۹۹۱) با دید در حال شکل‌گیری که معتقد است دستگاه‌های زیستی میل به زندگی در نزدیک مرزهای رفتارهای منظم و نامنظم دارند (Kauffman، ۱۹۹۳)، سازگاری دارد. موجودات زنده با اشغال ناحیه نوبه‌ای و راهبردی در نزدیکی مرزهای حالات مُد قفل شده (mode-locked) (از جمله خود مغز، رک به دنباله مطالب) واجد آمیزه لازم از پایداری (از نوع هذلولی، نه مجانبی) و توانمندی برای جابجایی انعطافی در میان حالت‌های هماهنگ «نیمه پایدار»، می‌شوند.

● شاید روشن باشد که معادله‌های (۲) و (۴) را به آسانی می‌توان برای هماهنگی اجزای متعددی که کالبدگوناگونی دارند، به کار برد (برای نمونه Stewart و Collins، ۱۹۹۳؛ Kelso و Schönner، ۱۹۹۰؛ Kiemel و Kelso، ۱۹۹۳). پژوهش‌های تجربی، این اجزای منفرد را نوسانگرهایی غیر خطی شناخته‌اند که به

عنوان سرمشق رفتار وابسته به زمان - سازنده‌های اساسی در پویایی تکامل غیر یکنواخت (non-monotonic)، خواه منظم یا نامنظم، یا نامنظم، به شمار می‌آیند (Bergé و همکاران ۱۹۸۴). بتازگی Kelso و Haken، Fredrich، Jirsa (۱۹۹۴) نظر داده‌اند که شاید تزویج (coupling) اولیه‌ی HKB یعنی

$$K_{12} = (\dot{X}_1 - \dot{X}_2) \{ \alpha + \beta (X_1 - X_2)^2 \} \quad (5)$$

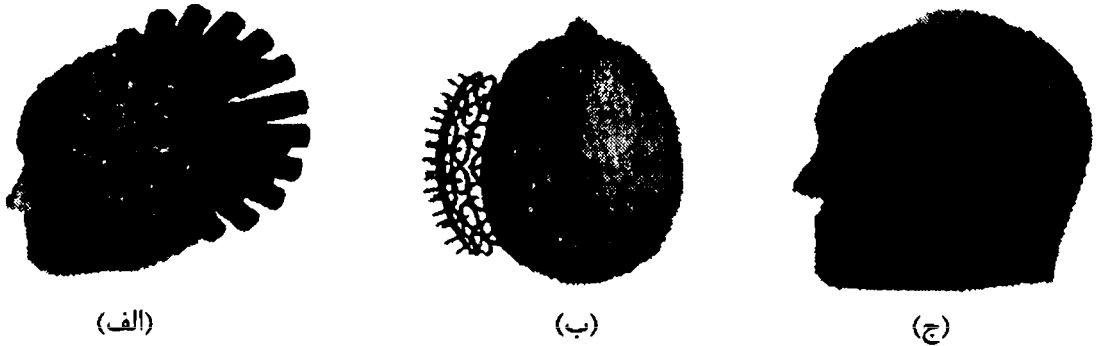
که در آن  $\alpha$  و  $\beta$  ضرایب تزویج، و  $X_1, X_2$  نشان دهنده نوسانگرهای غیر خطی خود نگهدار (self-sustaining) است، خود یک تزویج بنیادین در زیست فیزیک (biophysics) باشد. دلیلش این است که معادله (۵) ساده‌ترین راه تزویج اجزا را چنان در اختیار می‌گذارد که خواصی را که برای موجودات زنده بسیار حیاتی‌اند، ضمانت می‌کند مانند: چند پایداری، انعطاف، و گذار از میان حالت‌های هماهنگ. البته دلیل دیگر اینکه پویندگی هماهنگی خود سامان بنیادین، معادله (۲) و (۴)، را می‌توان از معادله (۵) بدست آورد.

کوتاه سخن اینکه معادله‌های (۵) و (۴) به ترتیب شکل‌های ابتدایی تزویج و هماهنگی را نشان می‌دهند. پویایی هماهنگی بنیادین شامل (الف) هیچگونه هماهنگی؛ (ب) - هماهنگی مطلق (هنگامی که دو یا چند جزء سازنده با یک بسامد همگام (synchronize) شده، وابستگی ثابتی را حفظ کنند)؛ و (ج) - هماهنگی نسبی (گرایش به جاذبه فاز حتی زمانی که بسامدهای اجزا یکسان نباشد). جملگی این شکل‌های خودسامانی توجیه پذیراند، به این معنی که اینها انگاره‌هایی (patterns) هستند که در رژیم‌های گوناگون پارامترهای پویندگی هماهنگی شناخته، پدیدار می‌شوند. در قلب چنین پویندگی، تقارنِ جائی-گاه (spatiotemporal) قرار دارد که هنگام شکسته شدن برای موجودات زنده ساختاری رویدادی بوجود می‌آورد که شامل تشکیل انگاره، تغییر انگاره، و نوبه‌ای بودن (intermittency)، می‌شود. تجربه نشان داده است که معادله‌های پویایی (۲)، (۳) و (۴) هماهنگی میان: (الف) - اجزای سازنده یک موجود؛ (ب) - خود موجودات؛ و (ج) - موجودات و پیرامونشان را ابراز می‌دارند (مقاله مروری Kelso، ۱۹۹۴ را بنگرید) و زیر بنایی برای توسعه نظری و تجربی بیشتر را پیش رو می‌نهند که یکی از آنها را در اینجا شرح می‌دهیم.

## خود سامانی در مغز

آیا مغز یک دستگاه خود سامان و انگاره پرداز است؟ به ویژه آیا در مغز گذار (تبدیل) فازهایی وجود دارند و اگر دارند چه شکلی هستند؟ چگونه ممکن است که پیچیدگی بس انگاره یافته در فضا و زمان را که شرینگتون (Sherrington) «شیخ جادویی» نامیده درک نمود؟ دست کم برای پاسخ به این پرسشها سه چیز لازم است: مجموعه‌ای از مفاهیم مناسب و راهبردهای روشمندان‌هی (methodological) مربوطه آنها؛ فناوری که از پس تجزیه و تحلیل پویندگی فراگیر (global) مغز برآید؛ و یک اصل مسلم (اصل اعلا - paradigm) تجربی تمیز که ضمن حفظ جنبه‌های بنیادین، جوانب پیچیده را به کنار می‌نهد. در این بخش خلاصه‌ای از کارهای اخیر ارایه می‌شود (برای شرح بیشتر Kelso و همکاران ۱۹۹۱ و ۱۹۹۲؛ Haken و Kelso و Fuchs، ۱۹۹۲؛ Fuchs و Kelso، ۱۹۹۳ را بنگرید) و می‌کوشیم که تمامی این جنبه‌ها را منظور کنیم.

آزمایش عبارت است از گذارهایی (تبدیل‌هایی) در هماهنگی حسی-حرکتی در نمونه‌ای (paradigm) که در سال ۱۹۹۰ توسط Schöner و Del Colle، Kelso و همکاران (۱۹۹۳) در مورد آزمایش (Wallenstein Bressler, Fuchs و Kelso) تحت تأثیر محرکهای صوتی متناوب قرار می‌گیرد و به او گفته می‌شود که در بین دو نوای پیایی (tone) دکمه‌ای را فشار دهد، به عبارتی همگام با محرک از آن کپی کند (syncopate). بسامد محرک از ۱ هرتز شروع می‌شود و پس از هر ۱۰ نوادر ۸ گام هر یک به اندازه ۰/۲۵ هرتز افزایش می‌یابد. در یک بسامد بحرانی معین، فرد دیگر نمی‌تواند تقلید کند (syncopate) و خود بخود به انگاره‌ای از هماهنگی تغییر می‌کند که اکنون با محرک همگام (synchronize) می‌شود. هنگام این آزمایشها، فعالیت مغزی به کمک یک رج ۳۷ تایی از ابزارهای تداخل کوانتومی ابررسانا SQUID (superconducting quantum interference devices array) که مطابق شکل‌های ۵-الف، ۵-ب، ۵-ج؛ بر روی قشر چپ و گیجگاهی (parieto-temporal cortex) مغز قرار گرفته، ثبت می‌شوند. SQUID ها دسترسی به انگاره‌یابی مکانی-زمانی میدان‌های مغناطیسی را که از جریان درندریتی درون یاخته‌ای در مغز سرچشمه می‌گیرد، میسر می‌سازند. از آنجا که پوست سر و جمجمه



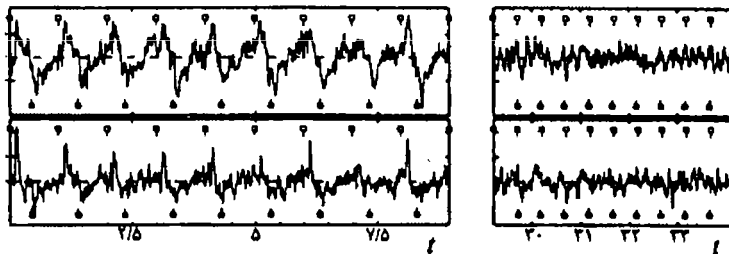
(الف)

(ب)

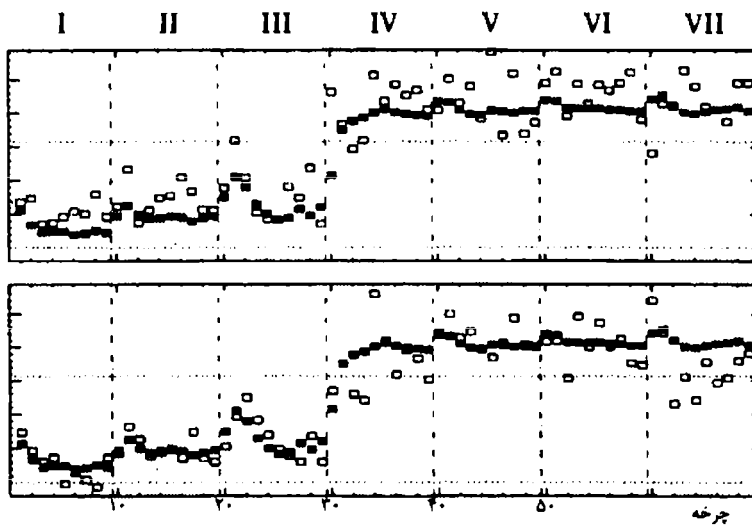
(ج)

پیش از گذار

پس از گذار



(د)



(ه)

شکل ۵. الف - بازسازی سرفرد مورد بررسی و محل حسگرهای SQUID. ب - الگوی ساختمانی قشر مغز (cortex) با کمک تصویر برداری مغناطیسی. لایه‌هایی به فاصله  $2/5$  میلیمتر از هم در صفحه coronal گزیده شده‌اند. موقعیت و جهت هر حسگر SQUID رویهم منطبق شده است. ج - نمونه‌ای از فعالیت مغناطیسی که توسط SQUIDها دریافت شده و بر روی الگوی سر - قشر نمایش داده شده است. د - دنباله‌ی زمانی حاصل از دو حسگر منفرد پیش و پس از گذار (transition). ه - فاز نسبی منطبق شده (محور  $y$ ) که در بسامد محرک هر چرخه از رفتار در طول زمان محاسبه شده (مربع‌های سیاه)، و دو تا از حسگرها (مربع‌های تو خالی). برای شرح بیشتر، متن را بنگرید.

نسبت به میدان‌های مغناطیسی حاصل از درون مغز شفاف‌اند و چونکه رج احساسگر (sensor array) جهت پوشش بخش عمده‌ی قشر پیشرفته‌ی مغز (neocortex) انسان بسنده می‌باشد، این ابزار پژوهشی نوین، پنجره‌ای غیر تعرضی (non-invasive) را به روی سازمان مکانی-زمانی مغز و ارتباطش با رفتار در زمان حقیقی، می‌گشاید.

شکل (۵-۵) میانگین داده‌های دو حسگر SQUID را پیش و پس از گذار رفتار از وضع تقلیدکردن آهنگ (syncopation) به همگامی (synchronization) را نشان می‌دهد. مربعهای توخالی نشانه نقاطی از زمان است که محرک پدیدار شده و مربعهای سیاه نشان دهنده‌ی فشار دکمه توسط انگشت راست می‌باشد. پیش از بروز گذار، محرک و پاسخ نسبت به هم پاد فاز (antiphase) هستند ولی پس از آن پاسخ فرد تقریباً با محرک هم‌فاز است. در حین این وظیفه‌ی دریافت-گنش، فعالیت مغزی تناوب شدیدی، به ویژه در ناحیه‌ی پیش‌گذار (pre-transition) از خود نشان می‌دهد. پس از گذار دامنه کاهش می‌یابد (اگرچه حرکات تندتراند) و پیام‌ها (signals) مهمه (noise) بیشتری در بر دارند. این نتایج، معمایی اما بسیار جالب‌اند. از یکسو همگامی (synchronization) رفتاری پایدارتر از تقلید آهنگ (syncopation) است و از سویی مطابق شکل (۵-۵) فعالیت مغز به هنگام همگامی کمتر از تقلید آهنگ، همدوس (coherent) می‌باشد. ظاهراً دشواری شرایط وظیفه تعیین‌کننده همدوسی پیام است.

یکی از شایان‌ترین نتایج در شکل ۵-۵ دیده می‌شود که در آن فاز نسبی میان محرک و پاسخ (مربعهای سیاه) با فاز نسبی میان محرک و پیامهای دو حسگر SQUID نماینده (مربعهای توخالی) انطباق داده شده‌اند (برای مشاهده داده‌های کامل، Kelso و همکارانش، ۱۹۹۲، را بنگرید). خط‌های افقی بیان‌گر اختلاف فازی برابر  $\pi$  راد می‌باشد. چنانچه انتظار می‌رود نتایج SQUID کمی پرمهمه تر از داده‌های رفتاری است. با این وجود به روشنی دیده می‌شود که در فاز نسبی مغز و نیز در رفتار، یک گذار (transition) رخ می‌دهد که نوعاً به سمت بالا می‌گراید و پیش از تغییر (switching) افت و خیز پیدا می‌کند که نشانی قطعی از نزدیک شدن به ناپایداری است. اینکه مغز و رفتار هر دو با نزدیک شدن به نقطه بحرانی در اثر یک میزان معین اختلال (۰/۲۵ هرگز در هر گام) دچار اختلال بیشتری می‌شوند نشانه

آهسته شدن بحرانی است. چونکه همزمان با نزدیکی به نقطه گذار، زمان برگشت به مقدار فاز نسبی پیش از اختلال، بیشتر و بیشتر می‌شود. به عبارتی تشکیل و تغییر (switching) انگاره، شکل یک ناپایداری پوینده بخود می‌گیرد. شایان توجه است که همدوسی پیامهای مغز و رفتار در یک عامل واحد نظم کلان (ماکروسکپی)، یعنی فاز نسبی، خودنمایی می‌کند، به گونه‌ای که انگار میان رویدادهای مغز و رفتار یک «همریختی عامل نظم» (abstract order parameter isomorphism) انتزاعی وجود دارد.

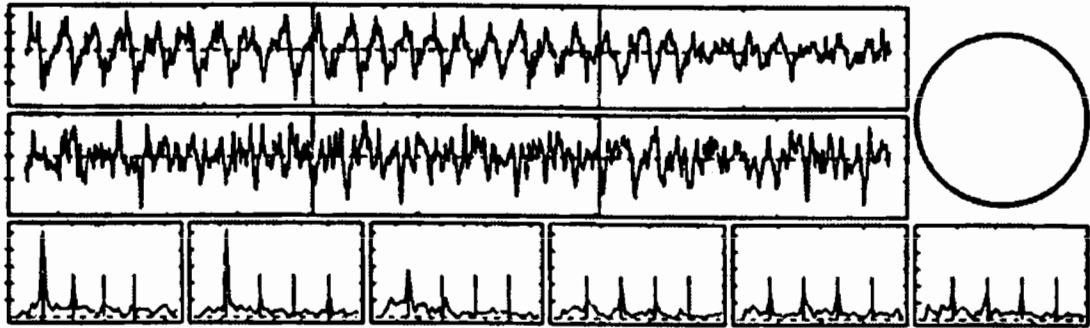
برای مشخص کردن تمامی رج ۳۷ حسگر همزمان با تکامل آن نسبت به زمان، از روش Karhunen-Loeve (KL) برای تفکیک و تجزیه (decomposition) بهره‌گیری شد (Haken و Fuchs و Friedrich، ۱۹۹۱) (Haken و Kelso و Fuchs، ۱۹۹۲). این روش بنام تحلیل جزء سازنده اصلی (principal component analysis) و یا تفکیک تک مقداره (single value decomposition) شهرت دارد. پیام‌جای‌گاهی (spatiotemporal)،  $H(x,t)$  را به صور (modes) فضایی مستقل از زمان،  $\phi(x)$  و دامنه‌های مربوطه،  $\xi(t)$ ، تفکیک می‌کنند:

$$H(x,t) = \sum_{i=1}^N \xi_i(t) \phi_i(x) \quad (6)$$

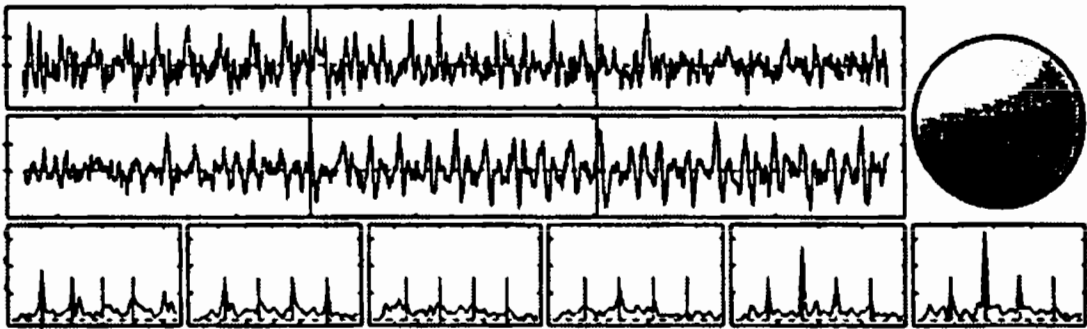
چنانچه توابع  $\phi_i(x)$  مناسب‌گزیده شوند، کوتاه شده‌ای (truncation) از این بسط در  $N$  کوچک (مثلاً ۱۰...۵  $N <$ ) تقریب خوبی از مجموعه داده‌های اولیه را ارائه می‌کند. تفکیک (decomposition) KL به لحاظ اینکه میانگین مجذورات در هر نقطه از آبت‌سازی (truncation) بسط معادله بالا را به کمترین مقدار می‌رساند، بهینه می‌باشد. دیده می‌شود که تنها چند صورت (mode) برای توجیه عمده پریشی (variance-وردایی) پیامهای مغز لازم است.

شکل ۶ (بالا و وسط) توابع مکانی (فضایی) حاصل از بسط KL و دامنه‌شان را در مورد دو تا از غالب‌ترین صورت‌ها یعنی دو تا از بزرگترین مقادیر ویژه، نشان می‌دهد. در مورد صورت (mode) بالایی که نزدیک ۶۰٪ از قدرت پیام‌ها را دارد، یک جزء سازنده‌ی شدیداً تناوبی در تمامی دوره‌های زمانی به چشم می‌خورد. اما طیف نشان می‌دهد که یک تغییر کیفی بین نواحی پیش و پس از گذار وجود دارد. در وضعیت پیش از گذار، پویایی تحت سلطه‌ی نخستین صورت KL است و با بسامد محرک (و

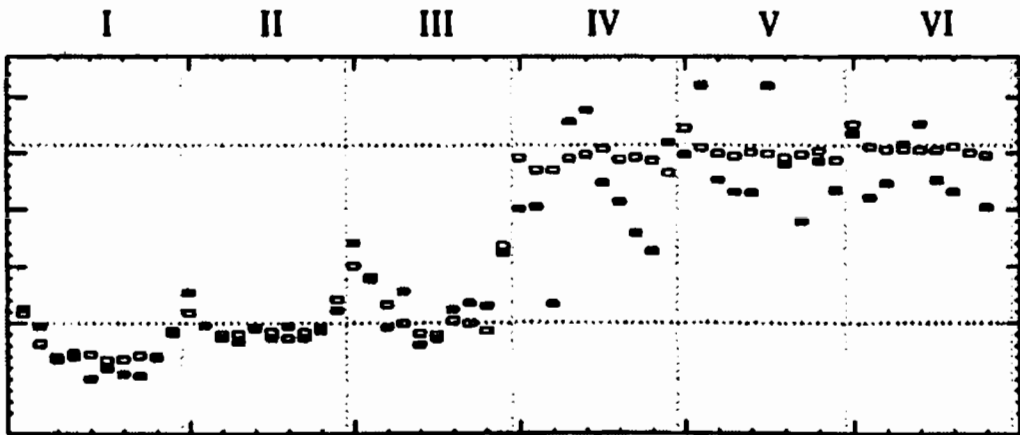




بالا



میان



پایین

شکل ۶ پویایی دو صورت (mode) فضایی (KL) که در برگزیده ۷۵٪ از پریشی (variance) در پیام رج SQUID است. بالا یی: (سمت راست) صورت غالب KL طیف های دامنه و توان در سگوی های بسامد I-میانی: (راست) صورت دوم KL و طیف های دامنه و توان. پایینی: فاز نسبی رفتار (مربعهای توخالی) و دامنه‌ی صورت بالا (مستطیل های سیاه) نسبت به محرک. به تغییرات کیفی در هر سه ردیف طیفها در حوالی ابتدای سگوی IV توجه شود (برای جزئیات متن را بنگرید).

پاسخ) رفتار نوسان می‌کند. در نقطه‌ی گذار یک تعویض (switch) رخ می‌دهد و صورت دوم KL را که سازنده‌ای با بسامد بزرگ که دو برابر بسامد محرک است، نشان می‌دهد (شکل ۶ میانی).

چنانچه پیشتر گفته شد انگاره‌ی پادفاز (antiphase) یا تقلید آهنگ (syncoption) در ورای یک بسامد بحرانی معین، پایدار نیست و یک تغییر خودبخودی به یک انگاره‌ی همگام (هم فاز) مشاهده می‌شود. چنانکه از شکل ۶ (پایین) دیده می‌شود، نخستین صورت KL (مربعهای سیاه) در نقطه‌ی گذار (transition)، یک گذار  $\pi$  واضح از خود نشان می‌دهد. توجه کنید که فاز پیام مغز و رفتار حسی - حرکتی در ناحیه‌ی پیش از گذار تقریباً یکسان‌اند در حالی که پس از تبدیل، پیام مغز حتی در حالی که رفتار حسی - حرکتی منظم تر می‌شود، پراکنده‌تر می‌گردد. در اینجا دیگر باره رفتار آسایشی که شاخصه‌ی کنده‌ی بحرانی است، نمایان می‌شود.

خلاصه اینکه اگرچه مغز از ناهمگنی بس عظیم در ساختار برخوردار است و پویندگی آن به‌طور کلی ناپایا (nonstationary) است، با این وجود می‌توان انگاره‌سازی آن را - در شرایط کاملاً مشخص - تشریح نمود. مغز از یک حالت ناهمدوس خودبخود یا حالت «آرامش»، بیدرنگ هنگامی که با یک وظیفه معنی‌دار روبرو شود، انگاره‌های جای‌گاهی همدوس پدیدار می‌سازد. همانند خیلی از دستگاه‌های نا تعادلی پیچیده که به کمک دانش همیاری (synergetics) بررسی شده، در مقادیری بحرانی از یک عامل مهار (کنترل)، مغز دچار تغییراتی در انگاره‌های جای‌گاهی خود می‌شود که به عنوان نمونه می‌توان برحسب فازهای نسبی، خواص طیفی صور فضایی، و غیره سنجید. جالب اینکه این کمیتها امضاها‌ی پیشگویی شده ناپایداری‌های انگاره ساز در دستگاه‌های خود سامان همیار را از خود بروز می‌دهند. بررسی‌های تجربی که در آن از رج ۶۴ تایی حسگرها برای تمامی سر بهره‌گیری شده، نیز به اجرا در آمده‌اند. تصویر زیبای شرینگتون از شبج جادویی (enchanted loom) که در آن میلیون‌ها رفت و آمد چشمک‌ها انگاره‌ای سرکش، اما همیشه معنادار، را به هم می‌بافد، ظاهراً به واقعیت می‌پیوندد.

## اندیشه‌های پایانی

در طول سال‌ها زیست‌شناسانی سرشناس استدلال کرده‌اند که روش‌های کار علمی بر روی اشیاء بی‌جان کلاً برای کارِ دانش روی موجودات زنده، به ویژه آنهایی که دارای مغز و اراده‌اند، به کار نمی‌آید. از سوی دیگر هنگامی که فیزیکدانان برجسته به بررسی خواص موجودات زنده چون هوشیاری (خودآگاهی) می‌پردازند برای پیدا کردن سرخ‌هایی دنبال ارتباط‌هایی میان نظریات فیزیکی چون مکانیک کوانتومی و نسبیت خاص می‌گردند. شگفت‌آور است که چرافیزیک‌پدیده‌های همیار، و خودسامانی در دستگاه‌های ناعادلی باز، توسط این هر دو گروه نادیده انگاشته می‌شود. به ویژه که دانش همیاری (synergetics) و رویکردهای وابسته، بارها و بارها نشان داده است که طبیعت از اصولی یکسان برای ایجاد شکل‌های بدیع درشت منظر (macroscopic) بهره می‌گیرد. این‌ها خواص کلی دستگاه‌اند: صراحتاً جمع‌ی‌اند و معمولاً به طور کلی مستقل از ماده‌ی حامی خود هستند. در شرایطی ویژه ماده‌ی معمولی رفتار خارق‌العاده‌ی «زنده مانند»، از جمله تشکیل و تغییر خودبخودی انگاره، و ایجاد و نابودی اشکال، از خود بروز می‌دهند. در این نوشتار، تنها اشاره‌ای از آنچه امکان‌پذیر است ارایه شده اما امیدواریم همین اندازه هم جهت تشویق برای کشف بیشتر این نظریه که موجودات زنده اساساً دستگاه‌های ناعادلی هستند که در آن‌ها انگاره‌های تازه‌ای پدیدار می‌شوند و خود را به گونه‌ای نسبتاً خودمختار نگه می‌دارند، بسنده کند.

پس آن چیست که مرده‌را از زنده جدا می‌کند؟ شرودینگر اندیشه‌هایی چون «اصل نظم از نظم»، «تغذیه از آنتروپی منفی» و «جامد بی‌تناوب» را پیشنهاد نمود. تمرکز روی مورد آخر مشوق زیست‌شیمی و بذری در زیست‌شناسی ملکولی گردید اما بر «فیزیک جدید» خیلی اثر نگذاشت. با وجود این می‌توان گفت که دستگاه‌های ناعادلی باز مطالب خیلی زیادی راجع به سازمان‌یابی موجودات زنده به ما می‌آموزند و برعکس. برخی از شواهدی که در اینجا به اختصار عرضه شده نشان می‌دهد که موجودات زنده، از جمله مغز انسان، میل دارند که در حالاتی هماهنگ نیمه پایدار در نزدیکی ناپایداری بسر برند تا بتوانند به شکلی انعطاف‌پذیر وضعیت (switch) دهند. آنها در نزدیکی بحرانیت (criticality) بسر می‌برند تا در آنجا بتوانند پیشگویی آینده کنند و تنها به اکنون پاسخگو نباشند. همه‌ی اینها

مربوط به فیزیک «جدید» خود سامانی است که از قضا در آن هیچ ترازوی نسبت به ترازوی دیگر بنیادی تر نمی باشد.

برای بیشتر جریان اصلی زیست‌شناسی، سرچشمه‌ی عمده‌ی سازمان زیستی باز بودن آن نبوده بلکه این حقیقت است که زیست‌مندان تحت مهار یک برنامه قرار دارند. برای خیلی از ژن و رزان (genesticts) و زیست‌شناسان، خصلت غایتمدار (teleonomic) زیست‌مندان اختصاصاً ناشی از یک برنامه ژنتیک است. این چیزی است که بین زیست‌مندان و ماشین‌های ساخت بشر مشترک است و مایه‌ی تمایزشان از طبیعت بی‌جان می باشد. مطابق این نظر آنچه باید بدانیم اینست که برنامه‌ای وجود دارد که به‌طور علی‌مسئول هدفمند بودن موجودات زنده می باشد؛ اینکه خود این برنامه چگونه پیدا شده است کاملاً بی‌مورد قلمداد می شود.

فیزیک خودسامانی در دستگاه‌های ناعادلی باز، هم اکنون خواصی «زنده‌سان» حتی بدون ژنوم ارابه می کند. رابرت روزن (Robert Rosen, ۱۹۹۱) پیشنهاد کرده است که رفتار آزادانه‌ی دستگاه‌های باز همانگونه چیزی است که ژن‌های مندلی می توانند «تحمیل» کنند. اما توصیف ژن، حتی در مفهوم، به عنوان برنامه‌ای که به یاخته‌ها دستورهایی جهت سازمان دهی شان می فرستد، خود تحقیری نسبت به پیچیدگی ژن می باشد. هر چه بیشتر درباره‌ی ماده‌ی ژنتیکی می آموزیم، خود ژن بیشتر به شکل یک دستگاه پوینده‌ی خود سامان جلوه گر می شود. به هر حال هر برنامه‌ای برنامه نویسی دارد. چه کسی یا چه چیزی برنامه ژنتیکی را برنامه ریزی می کند؟

اندیشمندان، اما به سبکی واقعاً تقلیل‌گرایانه، شاید روزی بیاید که اصلاً تمایز بین زیربنای ژنتیکی (genotype) و روبنای آن (phenotype) از میان خواهد رفت. حتی داروین و سپس لورنتس دریافتند که خود رفتار از کنش‌های هماهنگ که مشوق بقاء فرد و در نتیجه گونه ها می شود، پدیدار می گردد. در اینجا و دیگر نوشتارها نشان داده شده که برخی شکل‌های هماهنگی در قید اصول خود سامانی هستند. در نتیجه آیا امکان دارد که سرانجام رابطه‌ی زیربنا - روبنای ژنتیکی براساس پویندگی خود سامان مشترک که در مقیاسهای زمانی متفاوت عمل می کند تفسیر شود؟ اگر چنین باشد می توانیم اصل برده‌گیری همیاری را فرا خوانیم: کمیت‌های آهسته تغییرکننده عامل نظمی هستند که بخش‌هایی را که تند تطبیق می کنند، برده می سازند. اگر خزانه ژنی یک گونه را در طول عمر یک فرد (انسان،

حیوان یا گیاه) آهسته تغییر بیان‌گاریم، یقیناً ژن‌ها فرد را برده خواهند گرفت، که این ما را بیاد نظریه ژن خودخواه داوکینز (۱۹۷۶) می‌اندازد. اما اگر فرد بتواند بر ژن خود اثر گذارد، آنوقت چه رخ خواهد داد؟ در حال حاضر این پرسشی کاملاً خلاف سنت است و می‌تواند باعث شود که لامارک دوباره سر از خاک برآورد. دیگر عوامل نظامی که بر انسان‌ها اثر دارند قطعاً عبارتند از زبان، فرهنگ، علم و غیره. افزون بر ژن‌ها اینها نیز در شکل دادن یک فرد سهم دارند.

## مراجع

- Babloyantz, A. (1986). *Molecule, Dynamics and Life*. New York: Wiley.
- Bak, P. (1993). Self-organized criticality and gaia. In *Thinking about Biology*, eds. W. D. Stein & F. J. Varela, pp. 255-268. Reading, MA: Addison Wesley.
- Bergé, P., Pomeau, Y. & Vidal, C. (1984). *Order Within Chaos*. Paris: Hermann.
- Buchanan, J. J. & Kelso, J. A. S. (1993) Posturally induced transitions in rhythmic multijoint limb movements. *Experimental Brain Research* 94, 131-142.
- Collet, P. & Eckmann, J. P. (1990). *Instabilities and Fronts in Extended Systems*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Collins, J. J. & Stewart, I. N. (1993). Coupled nonlinear oscillators and the symmetries of animal gaits. *Journal of Nonlinear Science* 3, 349-392.
- Crick, F. H. C. (1966). *Of Molecules and Men*. Seattle: University of Washington Press.
- Dawkins, R. (1976). *The Selfish Gene*. Oxford: Oxford University Press.
- Dyson, F. (1985). *Origins of Life*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Friedrich, R., Fuchs, A. & Haken, H. (1991). In *Synergetics of Rhythms*, eds. H. Haken & H. P. Köpchen, Berlin: Springer.
- Fuchs, A. & Kelso, J. A. S. (1993). Pattern formation in the human brain during qualitative changes in sensorimotor coordination. *World Congress on Neural Networks, 1993* 4, 476-479.
- Fuchs, A., Kelso, J. A. S. & Haken, H. (1992). Phase transitions in the human brain: spatial mode dynamics. *International Journal of Bifurcation and Chaos* 2(4), 917-939.
- Haken, H. (1969). Lecture at Stuttgart University.
- Haken, H. (1975). Cooperative phenomena in systems far from thermal equilibrium and in non-physical systems. *Reviews of Modern Physics* 47, 67-121.
- Haken, H. (1977). *Synergetics: An Introduction*. Berlin: Springer.
- Haken, H., Kelso, J. A. S. & Bunz, H. (1985). A theoretical model of phase transitions in human hand movements. *Biological Cybernetics* 51, 347-356.
- Ho, M. W. (in press). *The Rainbow and the Worm*. Singapore: World Scientific.
- Iberall, A. S. & Soodak, H. (1987). A physics for complex systems. In *Self-organizing Systems: The Emergence of Order*, ed. F. E. Yates. New York and London: Plenum.
- Jeka, J. J., Kelso, J. A. S. & Kiemel, T. (1993). Pattern switching in human multilimb coordination dynamics. *Bulletin of Mathematical Biology* 55 (4), 829-845.
- Jirsa, V. K., Friedrich, R., Haken, H. & Kelso, J. A. S. (1994). A theoretical model of phase transitions in the human brain. *Biological Cybernetics* 71, 27-35.
- Kauffman, S. A. (1993). *Origins of Order: Self-organization and Selection in Evolution*.

- Oxford: Oxford University Press.
- Kelso, J. A. S. (1981). On the oscillatory basis of movement. *Bulletin of the Psychonomic Society* 18, 63.
- Kelso, J. A. S. (1984). Phase transitions and critical behavior in human bimanual coordination. *American Journal of Physiology: Regulatory, Integrative and Comparative Physiology* 15, R1000–R1004.
- Kelso, J. A. S. (1988). Introductory remarks: Dynamic patterns. In *Dynamic Patterns in Complex Systems*, eds. J. A. S. Kelso, A. J. Mandell & M. F. Shlesinger, pp. 1–5. Singapore: World Scientific.
- Kelso, J. A. S. (1990). Phase transitions: foundations of behavior. In *Synergetics of Cognition*, ed. H. Haken, pp. 249–268. Berlin: Springer.
- Kelso, J. A. S. (1994). Elementary coordination dynamics. In *Interlimb Coordination: Neural, Dynamical and Cognitive Constants*, eds. S. Swinnen, H. Heuer, J. Massion & P. Casaer. New York: Academic Press.
- Kelso, J. A. S., Bressler, S. L., Buchanan, S., DeGuzman, G. C., Ding, M., Fuchs, A. & Holroyd, T. (1991). Cooperative and critical phenomena in the human brain revealed by multiple SQUIDS. In *Measuring Chaos in the Human Brain*, eds. D. Duke & W. Pritchard, pp. 97–112. Singapore: World Scientific.
- Kelso, J. A. S., Bressler, S. L., Buchanan, S., DeGuzman, G. C., Ding, M., Fuchs, A. & Holroyd, T. (1992). A phase transition in human brain and behavior. *Physics Letters A* 169, 134–144.
- Kelso, J. A. S., DeGuzman, G. C. & Holroyd, T. (1991). The self-organized phase attractive dynamics of coordination. In *Self-organization, Emerging Properties and Learning, Series B: Vol 260*, ed. A. Babloyantz, pp. 41–62. New York: Plenum.
- Kelso, J. A. S., DelColle, J. D. & Schöner, G. (1990). Action-perception as a pattern formation process. In *Attention and Performance XIII*, ed. M. Jeannerod, pp. 139–169. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Kelso, J. A. S., Ding, M. & Schöner, G. (1992). Dynamic pattern formation: a primer. In *Principles of Organization in Organisms*, eds. A. Baskin & J. Mittenthal, pp. 397–439. Redwood City, CA: Addison Wesley.
- Kelso, J. A. S. & Jeka, J. J. (1992). Symmetry breaking dynamics of human multilimb coordination. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 18, 645–668.
- Kelso, J. A. S. & Scholz, J. P. (1985). Cooperative phenomena in biological motion. In *Complex Systems: Operational Approaches in Neurobiology, Physical Systems and Computers*, ed. H. Haken, pp. 124–149. Berlin: Springer.
- Kelso, J. A. S., Scholz, J. P. & Schöner, G. (1986). Non-equilibrium phase transitions in coordinated biological motion: critical fluctuations. *Physics Letters A* 118, 279–284.
- Kelso, J. A. S., Scholz, J. P. & Schöner, G. (1988). Dynamics governs switching among patterns of coordination in biological movement. *Physics Letters A* 134(1), 8–12.
- Kuramoto, Y. (1984). *Chemical Oscillations, Waves, and Turbulence*. Berlin: Springer.
- Maddox, J. (1993). The dark side of molecular biology. *Nature* 363, 13.
- Mayr, E. (1988). *Toward a New Philosophy of Biology*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

- Moore, W. (1989). *Schrödinger, Life and Thought*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Nicolis, G. & Prigogine, I. (1989). *Exploring Complexity: An Introduction*. San Francisco: Freeman.
- Pattee, H. H. (1976). Physical theories of biological coordination. In *Topics in the Philosophy of Biology*, Vol. 27, eds. M. Grene & E. Mendelsohn, pp. 153–173. Boston: Reidel.
- Rosen, R. (1991). *Life Itself*. New York: Columbia University Press.
- Schmidt, R. C., Carello, C. & Turvey, M. T. (1990). Phase transitions and critical fluctuations in the visual coordination of rhythmic movements between people. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 16(2), 227–247.
- Schmidt, R. C., Shaw, B. K. & Turvey, M. T. (1993). Coupling dynamics in interlimb coordination. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 19, 397–415.
- Scholz, J. P., Kelso, J. A. S. & Schöner, G. (1987). Non-equilibrium phase transitions in coordinated biological motion: critical slowing down and switching time. *Physics Letters A* 123, 390–394.
- Schöner, G., Haken, H. & Kelso, J. A. S. (1986). A stochastic theory of phase transitions in human hand movement. *Biological Cybernetics* 53, 442–452.
- Schöner, G., Jiang, W. Y. & Kelso, J. A. S. (1990). A synergetic theory of quadrupedal gaits and gait transitions. *Journal of Theoretical Biology* 142(3), 359–393.
- Schöner, G. & Kelso, J. A. S. (1988a). Dynamic pattern generation in behavioral and neural systems. *Science* 239, 1513–1520.
- Schöner, G. & Kelso, J. A. S. (1988b). A synergetic theory of environmentally-specified and learned patterns of movement coordination. II. Component oscillator dynamics. *Biological Cybernetics* 58, 81–89.
- Schrödinger, E. (1944). *What is Life?* Cambridge: Cambridge University Press.
- Shik, M. L., Severin, F. V. & Orlovskii, G. N. (1966). Control of walking and running by means of electrical stimulation. *Biophysics* 11, 1011.
- Swinnen, S., Heuer, H., Massion, J. & Casaer, P. (eds.) (1994). *Interlimb Coordination: Neural, Dynamical and Cognitive Constants*. New York: Academic Press.
- von Holst, E. (1939). Relative coordination as a phenomenon and as a method of analysis of central nervous function. In *The Collected Papers of Erich von Holst*, ed. R. Martin, pp. 33–135 (1973). Coral Gables, FL: University of Miami.
- Wallenstein, G. V., Bressler, S. L., Fuchs, A. & Kelso, J. A. S. (1993). Spatiotemporal dynamics of phase transitions in the human brain. In *Society for Neuroscience Abstracts*, Vol. 19, p. 1606. Washington DC: Society for Neuroscience.
- Wimmers, R. H., Beek, P. J. & van Wieringen, P. C. W. (1992). Phase transitions in rhythmic tracking movements: A case of unilateral coupling. *Human Movement Science* 11, 217–226.
- Wolpert, L. (1991). *The Triumph of the Embryo*. Oxford: Oxford University Press.
- Wunderlin, A. (1987). On the slaving principle. *Springer Proceedings in Physics* 19, 140–147. Berlin: Springer.
- Zanone, P. G. & Kelso, J. A. S. (1992). Evolution of behavioural attractors with learning: nonequilibrium phase transitions. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 18/2, 403–421.

## نظم از بی‌نظمی: ترمودینامیک پیچیدگی در زیست‌شناسی

اریک. دی. شناپدر    مؤسسه هاکوود - مانتانا - ایالات متحده  
جیمز. جی. کی    دانشگاه واترلو - اونتاریو - کانادا

### دیباچه

در میانه قرن نوزدهم دو نظریه‌ی علمی عمده درباره‌ی تکامل نظام‌های طبیعی در طی زمان ارایه گردید. ترمودینامیک، آن طور که توسط بولتزمان اصلاح و ظرافت یافت، طبیعت را طبق قانون دوم ترمودینامیک چنان دید که به سوی نوعی مرگ از بی‌نظمی بختانه زوال می‌یابد. این دید تعادل جوی بدبینانه از تکامل دستگاه‌های طبیعی، نقطه‌ی روبروی اصل اعلای داروین یعنی افزایش پیچیدگی، تخصص‌گرایی، و تشکیلات دستگاه‌های زیستی در طی زمان است. پدیدارشناسی خیلی از دستگاه‌های طبیعی نشان می‌دهد که بیشتر دنیا توسط ساختارهای ناعادلی همدوس، (coherent) مانند دهلیزهای گردشی\* (خانه‌های کوچکی که مانند لانه زنبور در کنار هم در ته ظروف مایعات در حال گرمایش دیده می‌شوند - م)،



واکنش‌های شیمیایی خودکاتالیتیک، و خود حیات، اشغال شده است. دستگاه‌های زنده در حال دور شدن از بی‌نظمی و تعادل به سوی ساختارهایی بسیار نظام یافته، که قدری با تعادل فاصله دارد، دیده می‌شوند.

این معما اروین شروودینگر را برانگیخت و وی در کتاب نطفه سان خود حیات چیست؟ (شروودینگر، ۱۹۴۴) کوشید تا فرایندهای بنیادین زیست‌شناسی و علوم فیزیک و شیمی را به هم فراخواند. وی اشاره داشت که حیات دو فرایند اساسی را در بر دارد؛ یکی «نظم از نظم» و دیگری «نظم از بی‌نظمی». وی ملاحظه کرد که ژن در یک گونه (species) نظم را از نظم پدیدار می‌سازد، به این معنی که فرزندی، خصلت‌ها را از والدین به ارث می‌برد. نزدیک ده سال پس از آن واتسون و کریگ (۱۹۵۳) برنامه‌ای پژوهشی را پیش روی زیست‌شناسان نهادند که به بخشی از مهمترین کشفیات پنجاه سال گذشته انجامیده است.

مشاهده‌ی مهم دیگر شروودینگر که به همان اندازه مهم است اما کمتر درک شده، فرضیه‌ی نظم از بی‌نظمی وی است. درحقیقت این کوششی بود برای ارتباط زیست‌شناسی با نظریات بنیادین ترمودینامیک (Schneider, ۱۹۸۷). وی اشاره داشت که دستگاه‌های زنده از قانون دوم ترمودینامیک، یعنی اینکه در دستگاه‌های بسته آنتروپی دستگاه باید به حداکثر برسد، پیروی نمی‌کنند. دستگاه‌های زنده در حقیقت نقطه‌ی روبروی چنان بی‌نظمی هستند و ترازهایی شگفت‌آور از نظم حاصل از بی‌نظمی را به نمایش می‌گذارند. برای نمونه گیاهان ساختارهایی بسیار نظام یافته‌اند که از اتم‌ها و ملکول‌های نامنظمی که در گازها و جامدها یافت می‌شوند، فراهم آمده‌اند.

شروودینگر این معما را با روی آوردن به ترمودینامیک ناتعادلی گشود. وی دریافت که دستگاه‌های زنده در دنیایی از شارهای (flows) انرژی و ماده به سر می‌برند. یک زیست‌مند با گرفتن انرژی با کیفیت بسیار بالا از بیرون و فرآوری آن در درون خود حالتی نظام یافته‌تر تولید می‌کند و به این ترتیب در یک وضعیت نظام یافته‌تر به سر می‌برد. حیات، دستگاهی دور از تعادل است که تراز نظم موضعی خود را به خرج بودجه کلان آنتروپی جهان تأمین می‌کند. وی پیشنهاد داشت که بررسی دستگاه‌های زنده از یک دیدگاه ناتعادلی، باعث آشتی خودسامانی زیست‌شناختی با ترمودینامیک می‌شود. افزون بر این وی انتظار

می‌داشت که چنین بررسی‌ای اصول جدیدی برای فیزیک به ارمغان خواهد داشت.

این نوشتار به برنامه‌های پژوهشی نظم از بی‌نظمی که شرودینگر پیشنهاد کرد و گسترش دیدگاه ترمودینامیکی وی از حیات می‌پردازد. تشریح می‌کنیم که قانون دوم ترمودینامیک سدی فراراه شناخت حیات نبوده بلکه برای توصیف کامل فرایندهای حیاتی ضرورت دارد. ترمودینامیک را به علیت فرایند حیات بسط داده، نشان می‌دهیم که قانون دوم زیربنای فرایندهای خودسامانی و تعیین‌کننده‌ای بسیاری از فرایندهای مشهود در رشد و کمال دستگاه‌های زیستمند، می‌باشد.

### بدیهیات ترمودینامیکی

ثابت شده است که ترمودینامیک در مورد همه‌ی دستگاه‌های (systems) کار و کارمایه (انرژی)، مانند دستگاه‌های سنتی دما - حجم - فشار، دستگاه‌های سینتیک شیمیایی، و دستگاه‌های الکترومغناطیسی و کوانتومی، به کار می‌رود. می‌توان رویکرد ترمودینامیک نسبت به رفتار دستگاه‌ها را در سه وضعیت نگریست: (۱) تعادل - (ترمودینامیک سنتی یا کلاسیک)، مانند رفتار شمار زیادی ملکول در یک دستگاه بسته؛ (۲) دستگاه‌هایی که تا اندازه‌ای از تعادل فاصله گرفته‌اند و به تعادل برمی‌گردند، مانند ملکول‌های موجود در دو ظرف (مساوی - م) که از راه یک شیر (بسته) به هم مرتبط‌اند و یکی از ظرف‌ها ملکول‌های بیشتری از دیگری دارد؛ هنگامی که شیر رابط باز می‌شود دستگاه به حالت تعادلی‌اش خواهد گرایید که در آن ملکول‌های دو ظرف یکسان می‌باشد؛ ۳- دستگاه‌هایی که از تعادل خیلی دورترند و به وسیله‌ی شیب‌هایی (gradients) وادار به ماندن در فاصله‌ای نسبت به تعادل هستند؛ مانند دو ظرف مرتبط که یک شیب فشار موجب می‌شود تا ملکول‌های یک ظرف بیش از دیگری باشد.

**اکسرژی (exergy) (انرژی)** مفهومی مرکزی در بحثمان درباره‌ی نظم از بی‌نظمی است. کارمایه از جنبه‌ی کیفی یا گنجایشی‌اش برای انجام کار مفید، دچار تغییر می‌شود. طی یک فرایند شیمیایی یا فیزیکی کیفیت یا گنجایش کارمایه در انجام کار به طوری جبران‌ناپذیر از میان می‌رود (در اصطلاح فرسایش). کارمایه عبارت است

از میزان بیشینه ظرفیت یک دستگاه در انجام کار مفید به هنگام سیرش بسوی تعادل با محیط خود (Ahern, ۱۹۸۰, Gholem و Brzutowski, ۱۹۷۸).

قانون نخست ترمودینامیک از تلاش‌های به کار رفته در شناخت رابطه‌ی بین گرما و کار به دست آمد. قانون نخست می‌گوید که کارمایه نه زاده می‌شود و نه از میان می‌رود و اینکه در یک دستگاه بسته یا منزوی، انرژی کل بدون تغییر می‌ماند. اما کیفیت کارمایه دستگاه (یعنی محتوای اکسرژی - exergy) می‌تواند تغییر کند و قانون دوم ترمودینامیک الزام می‌کند که اگر هر فرایندی در دستگاه در جریان باشد کیفیت کارمایه (اکسرژی) در آن دستگاه افول خواهد کرد. قانون دوم ترمودینامیک را می‌توان برحسب معیار کمی بازگشت ناپذیری، یعنی آنتروپی که تغییرش در هر فرایند واقعی از صفر بیشتر است، بیان نمود. قانون دوم را همچنین می‌توان چنین بیان داشت: هر فرایند واقعی تنهادر جهتی می‌تواند به پیش رود که به افزایش آنتروپی بیانجامد.

در ۱۹۰۸ در نتیجه‌ی تلاش کاراتئودوری (Caratheodory) که ثابت کرد قانون «افزایش آنتروپی» بیان عمومی قانون دوم نمی‌باشد، ترمودینامیک گامی به پیش نهاد (Kestin, ۱۹۷۶). بیان فراگیرتر قانون دوم ترمودینامیک چنین است: «در همسایگی هر حالتی معین از یک دستگاه بسته، حالت‌هایی وجود دارد که نمی‌توان از آن حالت از راه یک مسیر بی‌در رو (adiabatic)، چه بازگشتنی، چه بازگشت‌ناپذیر؛ به آنها دست یافت» بر خلاف تعریف‌های پیشین، این تعریف به ماهیت دستگاه یا مفاهیمی چون آنتروپی یا دما بستگی ندارد.

اخیرتر از آن Hatsopoulos و Keenan (۱۹۶۵) و Kestin (۱۹۶۸) قوانین صفرم، نخست، و دوم ترمودینامیک را تحت لوای «اصل وحدتی ترمودینامیک» درآوردند: «هرگاه دستگاهی منزوی پس از برداشته شدن یک سلسله قیود درونی، فرایندی اجرا کند به حالتی یکتایی که تعادل باشد می‌رسد: این حالت تعادل بستگی به ترتیبی که قیود برداشته شده‌اند، ندارد» این گفته، دستگاه‌های نوع دوم را که به فاصله‌ای از تعادل قرار دارند و مقید به ماندن در وضع ناعادلی نیستند، توصیف می‌کند. اهمیت این گفته در آن است که برای تمامی فرایندهای حقیقی جهتی و حالتی نهایی وضع می‌کند و می‌گوید یک دستگاه به تعادلی خواهد رسید که قیدها اجازه می‌دهند.

## دستگاه‌های فرسایشگر

اصول مورد اشاره در بالا برای دستگاه‌های بسته صدق می‌کند. اما دسته جالبتری از پدیده‌ها به دسته سوم دستگاه‌ها که نسبت به جریانهای کارمایه و مواد بازاند و در حالت‌های پایدار کاذبی که به فاصله‌ای از تعادل واقع‌اند، تعلق دارند (Prigogine و Nicolis ۱۹۸۹ و ۱۹۷۷). دستگاه‌های نظام‌یافته‌ی بی‌جان (مانند دهلیزهای گردشی، گردبادها، لیزرها) و دستگاه‌های زنده (از یاخته گرفته تا دستگاه اقلیمی) جملگی برای نگهداری نظام‌شان، وابسته به شارهای کارمایه از بیرون‌اند و برای اجرای این فرایندهای خودسامانی، به تبه‌سازی شارهای کارمایه (energy flows) وابسته‌اند. این نظام‌یابی به خرج افزایش آنتروپی در دستگاه «جهانی» بزرگتری که این ساختار در آن نهفته است، صورت می‌گیرد. در این دستگاه‌های فرسایشگر تغییر آنتروپی کل در یک دستگاه حاصلجمع تولید آنتروپی درونی آن (که همیشه مثبت یا برابر صفر است) و آنتروپی مبادله شده‌اش با محیط (که ممکنست مثبت، منفی، و یا صفر باشد) است. برای اینکه دستگاه خود را در حالت نامتعادل نگهدارد می‌بایست تبادل آنتروپی‌اش منفی و برابر آنتروپی تولید شده در فرایندهای درونی‌اش (مانند سوخت و ساز) باشد.

ساختارهای فرسایشگری که در گستره‌ای از شرایط محدود پایداراند به بهترین وجه به وسیله‌ی چرخه‌های پس‌خور مثبت خودکاتالیتیک (autocatalytic positive feedback cycles) قابل نمایش‌اند. دهلیزهای گردشی، گردبادها، واکنش‌های شیمیایی خودکاتالیتیک، و دستگاه‌های زنده جملگی نمونه‌هایی از ساختارهای فرسایشگر دور از تعادل‌اند که رفتاری هم‌دوس (coherent) بروز می‌دهند.

تبدیل از حالت رسانشی (conduction) و پیدایش همرفت (convection) در یک مایع مورد گرمایش، پیدایش دهلیزهای بنارد (Bénard cells) نمونه‌ای بارز از پیدایش نظامی هم‌دوس در پاسخ به درونروی (input) یک کارمایه بیرونی است (Chandrasekhar, ۱۹۶۱). در آزمایش دهلیزهای بنارد سطح زیرین یک مایع حرارت داده می‌شود و سطح رویین آن در دمایی سردتر نگهداشته می‌شود. در ابتدا جریان (انتقال) گرما در دستگاه از راه اندرکنش ملکول - ملکول رخ می‌دهند.

هنگامی که شار گرمایی به یک مقدار بحرانی می‌رسد، دستگاه ناپایدار گشته، عملکرد ملکولیِ شارِه (fluid) همدوس گشته، و حرکت گردشی زیروروکننده‌ای پدیدار می‌شود که نتیجه‌اش بروز طرح‌هایی شدیداً ساختاریافته‌ی شش وجهی همدوس، تا پیدایش طرح‌های حلزونی در سطح (دهلیزهای بنارد) می‌باشد. این گذار از ساختار ناهمدوس به همدوس، پاسخ دستگاه نسبت به اقدامات انجام شده برای دور کردنش از تعادل است (Kay و Schneider، ۱۹۹۴). این تبدیل از انتقال گرمای ناهمدوس و ملکول به ملکول، به ساختارهای همدوس سبب می‌شود که بیش از  $10^{22}$  ملکول به گونه‌ای بسیار منظم عمل کنند. این رویداد غیرمحمتمل نتیجه‌ی مستقیم شیب دمایی اعمال شده و پویندگی دستگاه و پاسخ آن نسبت به اقدامی است که آن را از تعادل دور می‌کند.

در سروکار با اینگونه دستگاه‌های ناتعادلی پیشنهاد ما نتیجه‌ای از اصل یگانگی ترمودینامیک کِستین (Kestin) است. برهان وی ثابت می‌کند که حالت تعادل یک دستگاه به مفهوم لیاپونف (Lyapunov) پایدار است. این نتیجه به طور ضمنی اشاره دارد که دستگاه نسبت به حذفش از وضعیت تعادل مقاومت خواهد کرد. میزانی که دستگاه از تعادل فاصله می‌گیرد توسط شیب‌های اعمال شده بر آن سنجیده می‌شود.

هنگامی که دستگاه‌ها از تعادل بدور رانده می‌شوند، از هر راهی برای مقابله با شیب‌های اعمال شده بهره می‌گیرند. هنگامی که شیب‌های اعمال شده زیاد می‌شوند، توانایی دستگاه نیز در رودررویی با بیشتر شدن فاصله‌شان از تعادل، زیادتر می‌شود.

گفته بالا را «نوبیانِ قانون دوم» و بیان کاراتئودُری (Caratheodory) را بیان سنتی قانون دوم خواهیم نامید. اصل لوشاتلیه (Le Chatelier) در دستگاه‌های شیمیایی، نمونه‌ای از نوبیانِ قانون دوم است.

دستگاه‌های ترمودینامیکی که تعادل دما، فشار، و شیمیایی نشان می‌دهند، در برابر جابجا شدن از این حالت‌های تعادلی مقاومت خواهند کرد. هنگامی که از وضعیت تعادلی دور می‌شوند حالتشان را چنان جابجا می‌کنند که با شیب‌های اعمال شده مخالفت کرده، می‌کوشند تا دستگاه را به سوی جاذب تعادلی‌اش برگردانند. هر چه شیب به کار رفته نیرومندتر باشد، اثر جاذب تعادلی بر دستگاه،

بزرگتر می‌شود. هر چه دستگاه از تعادل بیشتر فاصله داشته باشد، راهکارهای دستگاه برای مقاومت در برابر دور شدن از تعادل، پیچیده‌تر می‌شود. اگر شرایط پویایی یا جنبشی اجازه دهد، فرایندهای خودسامانی‌ای پدیدار خواهند شد که فرسایش شیب را تشویق می‌کنند. چنین رفتاری از دیدگاه سنتی (classic) معنی و مفهومی ندارد، اما طبق نوییان قانون دوم قابل انتظار است. به عبارتی پیدایش ساختارهای خودسامانِ همدوس، دیگر شگفت‌آور نبوده، بلکه پاسخ منتظره‌ی دستگاه در کوشش به مقاومت و فرسودن شیب‌های اعمال شده‌ای است که آن را از تعادل دور می‌کنند. بنابراین در تشکیل ساختارهای فرسایشگر، نظم حاصل از بی‌نظمی داریم.

تاکنون بحث‌مان روی دستگاه‌های فیزیکی ساده و اینکه چگونه شیب‌های ترمودینامیکی سبب خودسامانی می‌شوند، متمرکز بود. شیب‌های شیمیایی نیز موجب واکنش‌های خودکاتالیتیک فرسایشگر می‌شوند که نمونه‌هایی از آن در دستگاه‌های ساده‌ی شیمی معدنی، در واکنش‌های سنتز پروتئین، و در فسفریلاسیون، پلیمریزاسیون، و واکنش‌های آبکافت (هیدرولیز) خودکاتالیتیک یافت می‌شوند. دستگاه‌های واکنشی خودکاتالیتیک، شکلی از پس‌خور مثبت است که در آن فعالیت دستگاه یا واکنش، خود را به شکل واکنش‌های خودتقویتی، فزونی می‌بخشد. خودکاتالیزی موجب انگیزش فعالیت جمعی کل چرخه می‌شود. چنین فعالیت کاتالیتیک خودتقویتی، خودسامان دهنده است و راهی مهم در افزایش توانایی فرسایش دستگاه به شمار می‌آید.

مفهوم دستگاه‌های هدردهنده به عنوان فرسایشگران شیب دستگاه‌های ناعادلی فیزیکی و شیمیایی صدق می‌کند و فرایندهای پیدایش و تکامل دستگاه‌های پیچیده را توصیف می‌کند. نه تنها فرایندهای این دستگاه‌های فرسایشگر با نوییان قانون دوم سازش دارد بلکه انتظار می‌رود که در صورتی که شرایط اجازه دهد، واگر شیب‌هایی موجود باشند، چنین دستگاه‌هایی پدیدار شوند. مفهوم شروودینگر از نظم حاصل از بی‌نظمی، درباره‌ی پیدایش این دستگاه‌های فرسایشگر است، پدیده‌ای که در هر سه‌ی این دستگاه‌های ترمودینامیکی مشاهده می‌شود.

## دستگاه‌های زنده به عنوان فرسایشگران شیب

بولتزمان به تضاد ظاهری میان مرگ گرمایی کیهان و وجود حیات، که در آن دستگاه‌ها رشد می‌کنند، پیچیده می‌شوند، و تکامل می‌یابند، پی‌برد. وی پی‌برد که شیب کارمایه خورشید فرایند حیات را می‌راند و رقابتی داروین‌گونه برای آنتروپی در دستگاه‌های زنده پیشنهاد کرد:

بنابراین تنازع بقاء عمومی موجودات زنده، تلاشی برای مواد خام نیست - زیرا برای موجودات زنده اینها عبارتند از هوا، آب، و خاک که فراوان در دسترس‌اند - و برای کارمایه هم نیست زیرا به مقدار زیاد در هر بدن، به شکل گرما وجود دارد (گرچه متأسفانه قابل تبدیل نیست)، بلکه تنازعی است برای آنتروپی که از گذار (transition) کارمایه از خورشید داغ به زمین سرد، در دسترس می‌باشد. (بولتزمان، ۱۸۸۶).

اندیشه‌های بولتزمان توسط شرودینگر مورد تفحص بیشتر قرار گرفت و وی اشاره داشت که به نظر می‌رسد برخی دستگاه‌ها مانند حیات، قانون دوم ترمودینامیک را نقض می‌کنند (شرودینگر، ۱۹۴۴). اما تشخیص داد که دستگاه‌های زنده، دستگاه‌هایی باز هستند نه جعبه‌های بسته‌ی بی‌دررو (adiabatic) ترمودینامیک سنتی. یک زیست‌مند، در وضعی بسیار سامان یافته زنده می‌ماند به این طریق که خود کارمایه با کیفیت بالا را از بیرون وارد و ضایع می‌کند تا اینکه ساختار سازمانی دستگاه را تأمین نماید. یا به گفته‌ی شرودینگر تنها راهی که دستگاه زنده می‌تواند، دور از حداکثر آنتروپی یا مرگ، زنده بماند عبارت است از

درون بردن آنتروپی منفی از محیط خود ... بنابراین شگردی را که به کمک آن یک زیست‌مند خود را در یک تراز نسبتاً بالایی از نظم (= تراز نسبتاً پایینی از کارمایه) نگه‌میدارد در حقیقت مکش پیوسته‌ی نظم از محیط است ... گیاهان ... البته قدرتمندترین منبع «آنتروپی منفی» شان در آفتاب است. (شرودینگر، ۱۹۴۴).

حیات را می‌توان ساختار فرسایشگری دور از تعادل انگاشت که تراز نظم محلی خود را به خرج تولید آنتروپی در محیط نگه می‌دارد.

اگر کره‌ی زمین را به عنوان یک دستگاه ترمودینامیکی باز که شیب بزرگی از خورشید بر آن اعمال می‌شود بنگریم، نوبیان قانون دوم اشاره می‌دارد که دستگاه (زمین) از هر فرایند فیزیکی و شیمیایی که در دسترس باشد، برای کاهش این شیب بهره خواهد گرفت. ما پیشنهاد داریم که وجود حیات در روی زمین راه دیگری برای هدر دادن شیب القاشده‌ی خورشید است و به این ترتیب نمودی از نوبیان قانون دوم است. دستگاه‌های زنده، دستگاه‌های فرسایشگری دور از تعادل اند و استعداد زیادی برای کاستن شیب‌های پرتوی (radiation) در سطح زمین دارند (Kay، ۱۹۸۴، Hannon و Ulanowiz، ۱۹۸۷).

منشاء حیات عبارتست از توسعه و تکمیل راهی دیگر برای فرسایش شیب‌های کارمایه‌ای القا شده. حیات ادامه‌ی این راه‌های فرسایشگری را تضمین می‌کند و تدابیری را تکامل داده است که این ساختارهای فرسایشگر را در برابر یک محیط فیزیکی افت‌وخیزدار، نگه می‌دارد. ما پیشنهاد داریم که دستگاه‌های زنده دستگاه‌هایی هدر دهنده‌ی پویا با حافظه‌های رمزگذاری شده، یعنی ژن‌ها، هستند که ادامه‌ی فرایندهای فرسایشگر را میسر می‌سازند.

ما استدلال کرده‌ایم که حیات پاسخی در برابر جبر ترمودینامیکی هدر دادن شیب‌های فرسایش‌یابنده است (Kay، ۱۹۸۴، Schneider، ۱۹۸۸). هنگامی که دستگاه راه‌های بیشتری از همان نوع را برای فرسودن شیب‌های تحمیل شده، فراهم کرد رشد زیستی صورت می‌گیرد و رشد و کمال (development) هنگامی رخ می‌دهد که راهکارهای تازه‌ای برای فرسایش شیب‌های تحمیلی در دستگاه پدیدار می‌شود. این اصل شرطی را برای ارزیابی رشد و کمال در دستگاه‌های زنده، در اختیار می‌گذارد.

رشد گیاه کوششی برای گرفتن کارمایه خورشید و فرسودن شیب‌های سودمند است. خیلی گونه‌های گیاهی، خود را در مجموعه‌هایی آرایش می‌دهند تا اینکه سطح برگ افزایش یافته، دریافت کارمایه و فرسایش آن، بهینه گردد. بررسی بودجه‌های کارمایه‌ی گیاهان زمینی نشان می‌دهد که بخش اعظم کاربرد کارمایه در تبخیر و تعرق (evapotranspiration) صرف می‌شود، که نزدیک به ۲۰۰ تا ۳۰۰ گرم آب به ازای هر گرم ماده تثبیت شده‌ی فتوسنتزی است. این سازوکار، یک فرایند بسیار کارآمد برای فرسودن کارمایه است که ۲۵۰۰ ژول به ازای هر گرم آب تعریق



شده می‌باشد (Gates, ۱۹۶۲). تبخیر و تعرق راه عمده‌ی فرسایش در دستگاه‌های اقلیمی روی زمین به شمار می‌آید.

توزیع غنای گونه‌ها از جنبه‌ی زیست‌جغرافیایی (biogeography) در مقیاس بزرگ، شدیداً با قوه‌ی تبخیر و تعرق سالانه رابطه دارد (Currie, ۱۹۹۱). این روابط قدرتمند بین غنای گونه‌ای و کارمایه‌ی قابل دسترس، رابطه‌ای علی بین تنوع زیستی (biodiversity) و فرایندهای هدردهنده را پیش روی می‌نهد. هر چه کارمایه‌ی قابل دسترس برای توزیع میان گونه‌ها بیشتر باشد، راه‌های بیشتری برای تضييع انرژی در اختیار است. ترازهای تغذیه‌ای<sup>۱</sup> (trophic) و زنجیره‌های غذایی، مبتنی بر ماده تثبیت شده فتوسنتزی هستند و باعث بیشتر فرسایش این شیب‌ها از طریق ساختن ساختارهای بیشتر نظام یافته، می‌شوند. از اینرو انتظار می‌رود که هر جا کارمایه بیشتری در دسترس باشد، تنوع گونه‌ای بیشتری پدیدار شود. تنوع گونه‌ای و ترازهای تغذیه‌ای در استوا، که ۴۰٪ آفتاب بر آن می‌تابد و شیب بیشتری برای کاستن وجود دارد، بسیار بیشتر از هر جای دیگر است.

### تحلیل ترمودینامیکی دستگاه‌های اقلیمی (ecosystems)

دستگاه‌های اقلیمی عبارتند از سازندهای (اجزای سازنده) بیوتیک، فیزیکی و شیمیایی طبیعت، که با همدیگر به عنوان فرایندهای فرسایشگر ناتعادلی عمل می‌کنند. چنانچه از نوبیان قانون دوم نتیجه شود، چنین دستگاه‌هایی باید فرسایش کارمایه را افزایش دهند. چنین نظریه‌ای را می‌توان با مراجعه به انرژی‌تیک توسعه‌ی دستگاه اقلیمی طی فرایند متوالی یا هنگامی که تحت تنش هستند، محک زد.

همزمان با رشد و کمال یا بلوغ دستگاه‌های اقلیمی، الزاماً فرسایشگری کلی‌شان افزایش می‌یابد و می‌بایست ساختارهایی پیچیده‌تر، متنوع‌تر، و واجد سلسله‌مراتبی گسترده‌تر را برای فرسایش کارمایه تکمیل کنند (Schneider, ۱۹۸۸, Kay و Schneider, ۱۹۹۲). گونه‌های موفق‌انتهایی هستند که کارمایه را

---

۱. زیسمندانی که غذای خود را طی تعداد گام‌های واسطه‌ای یکسان از گیاهان کسب می‌کنند، مثلاً گیاهان سبز در تراز نخست قرار دارند. م

فراراه خودسازی و تولید مثل خودسرازیر می‌کنند و در فرایندهای خودکاتالیتیکی مصروف می‌دارند تا بدینوسیله فرسایندهای کلی دستگاه اقلیمی افزایش یابد. Lotka (۱۹۹۲)، Odum و Pinkerton (۱۹۵۵) گفته‌اند که دستگاه‌های زیستی‌ای می‌توانند بقا یابند که بیشترین درونگیری از توان را برای تنوع بقای‌شان تکمیل کرده باشند. به بیانی گویا تر «قوانین قدرت» را می‌توان چنین توصیف کرد که نظام‌های زیستی به گونه‌ای رشد و کمال می‌یابند که: آهنگ فرسایش کارمایه، رشد زیستی، و تکمیل نظام اقلیمی‌شان (ecosystem) را فزونی بخشند، و در واقع تکامل نمایانگر تکمیل راهکارهای تازه‌ی فرسایش است. به دیگر سخن، دستگاه‌های اقلیمی به گونه‌ای تکمیل می‌شوند که میزان اکسرژی (exergy) را که دریافت و مصرف می‌کنند، بیافزایند. در نتیجه، همزمان با تکمیل دستگاه‌های اقلیمی، اکسرژی کارمایه‌ای که بیرون می‌رود، کاهش می‌یابد. از این لحاظ است که دستگاه‌های اقلیمی بیشترین توان را فراهم می‌آورند، یعنی از اکسرژی ورودی به بهترین وجه بهره‌گیری می‌کنند، در عین حالی که مقدار کارمایه‌ای را که می‌گیرند افزایش می‌دهند.

طبق این نظریه، تنش‌های بی‌نظم‌کننده سبب می‌شوند که دستگاه‌های اقلیمی به آرایش‌هایی بگرایند که استعداد فرسایش کارمایه‌شان کمتر باشد. دستگاه‌های اقلیمی تحت تنش، اغلب شبیه دستگاه‌های اقلیمی پیاپی پیشین‌شان بوده، به وضع تعادل ترمودینامیکی نزدیک‌تر می‌باشند.

اقلیم‌شناسان روش‌های تحلیلی ابداع کرده‌اند که با آنها می‌توان شارهای کارمایه (energy flows) مواد در دستگاه‌های اقلیمی را تجزیه و تحلیل کرد (Kay, Graham, Ulanowicz, ۱۹۸۹). با این روش‌ها می‌توان تفصیل شار کارمایه و چگونگی توزیع آن در دستگاه اقلیمی را ابراز کرد. اخیراً داده‌های مربوط به شار کربن و کارمایه در دو دستگاه اقلیمی آبی باتلاقی و جزرومدار در نزدیکی یک نیروگاه عظیم در رودخانه کریستال در ایالت فلوریدا را مورد بررسی و تحلیل قرار دادیم (Ulanowicz, ۱۹۸۶) که یکی از آنها با تلاق «تنش‌دار» و دیگری با تلاق «شاهد» بوده است. دستگاه اقلیمی «تنش‌دار» در معرض ورود آب‌های گرم یک نیروگاه هسته‌ای قرار داشت در حالی که باتلاق شاهد از هر لحاظ تحت شرایط اقلیمی مشابهی واقع بود مگر اینکه فاضلابی به آن وارد نمی‌شد. از جنبه مطلق، در دستگاه اقلیمی

«تنش‌دار»، همه‌ی شارها کاهش یافتند و این به این معنی است که دستگاه اقلیمی اندازه‌اش از لحاظ جرم زیستی (biomass)، منابع، گردش مواد و کارمایه، و توانایی‌اش در فرسایش کارمایه ورودی، کاهش یافته است.

اثر کلی ورود آب گرم نیروگاه، کاهش اندازه دستگاه اقلیمی «تنش‌دار» و مصرف منابع آن، و در عین حال تأثیر بر توانایی حفظ منابع اکتسابی آن بوده است. این تحلیل بیانگر آن است که نقش و ساختار دستگاه‌های اقلیمی مسیرهای تکمیلی را می‌پیمایند که از کاربرد رفتار ساختارهای ترمودینامیک تعادلی بر تکمیل طرح‌های اقلیمی، پیشگویی می‌شود.

انرژیستیک دستگاه‌های اقلیمی کره زمین (terrestrial) آزمون دیگری برای فرضیه‌ای است که می‌گوید دستگاه‌های اقلیمی چنان تکمیل خواهند شد که انرژی را به نحوی موثرتر بفرسایند. ساختارهای فرسایشگر تکمیل‌تر، باید کارمایه‌ی بیشتری را بفرسایند. از این رو انتظار داریم دستگاه‌های اقلیمی بالغ تر محتوای اکسیرژی کارمایه‌ای را که می‌گیرند کاملتر از نظام‌های ناکاملتر، فرسایند. افت اکسیرژی در عرض یک دستگاه اقلیمی با تفاوت دمای جسم سیاه میان کارمایه آفتاب جذب شده و باز تابیده شده توسط آن، بستگی دارد. چنانچه گروهی دستگاه اقلیمی در یک مقدار کارمایه ورودی شناور باشند، انتظار خواهیم داشت که بالغ ترین‌شان کارمایه‌اش را در پایین‌ترین تراز باز تابد، یعنی پایین‌ترین دمای جسم سیاه را خواهد داشت.

هوبو و لووال (Hubo & Luvall، ۱۹۸۹ و ۱۹۹۱) دمای سطح اقلیم‌های زیستی متفاوتی را با استفاده از یک دستگاه روبشی و چندطیفی مادون قرمز حرارتی (thermal infrared multispectral scanner-TIMS) اندازه‌گیری کرده‌اند. داده‌های آن‌ها بدون تردید یک روند را نشان می‌دهند و آن اینکه هرگاه سایر متغیرها ثابت باشد، دستگاه اقلیمی تکمیل‌تر دمای سطحی‌اش کمتر و کارمایه بازتابشی‌اش فرساییده‌تر است.

داده‌های TIMS حاصل از جنگلی از سوزنی‌برگان در ایالت آرگان غربی نشان داد که دمای سطحی دستگاه اقلیمی با بلوغ و نوع آن تغییر می‌کند. بالاترین دماها در نقطه‌ای عاری از پوشش گیاهی و در روی یک سنگستان بود. سردترین نقطه بادمای ۲۹۹K، که ۲۶K خنک‌تر از نقطه عاری از پوشش بود، جنگلی ۴۰۰ ساله و بالغ از

صنوبر با پوششی سه قامته را تشکیل می‌داد. یک سنگستان ۶۲ درصد از انرژی وارده را فرو می‌ساید در حالی که جنگل ۴۰۰ ساله ۹۰٪ را. جاهایی که سن حدواسط دارند، بینابین این دو حد قرار گرفتند یعنی هر چه دستگاه اقلیمی بالغ‌تر یا کمتر بهم ریخته باشد فرسایش کارمایه‌ی بیشتری رخ می‌دهد. همین داده‌های بارز نشان می‌دهد که دستگاه‌های اقلیمی می‌بایست ساختار و نقش‌هایی بوجود آورند که شیب‌های (gradients) کارمایه‌ای اعمال شده را به نحو موثرتری بفرسایند (Schneider & Kay, ۱۹۹۴).

در بررسی انرژی‌کی‌مان از دستگاه‌های اقلیمی، آن‌ها را دستگاه‌هایی باز می‌انگاریم که کارمایه پرکیفیتی به آن‌ها تزریق می‌شود. دستگاه بازی را که کارمایه پرکیفیت به آن تزریق می‌شود، می‌توان از تعادل خارج نمود. اما طبیعت در برابر جابجایی از تعادل مقاومت نشان می‌دهد. بنابراین هرگاه میسر باشد دستگاه‌های اقلیمی به عنوان دستگاه‌هایی باز، با پدید آوردن خودبخودی رفتار سازمان یافته، کارمایه‌ی پرکیفیت را صرف ساخت و حفظ ساختارهای جدید نموده، از خود پاسخ نشان می‌دهند، این کار باعث افت توانایی کارمایه پرکیفیت در راندن دستگاه به دورتر از تعادل می‌شود. این فرایند خودسامانی با تغییراتی ناگهانی مشخص می‌شود که در نتیجه پیدایش مجموعه‌ی تازه‌ای از اندرکنش‌ها و فعالیت‌های اجزاء و کل دستگاه پدیدار می‌گردد. این پیدایش رفتار سامانمند، که اساس حیات است اکنون به نظر می‌رسد که از لحاظ ترمودینامیکی قابل انتظار است. هر چه کارمایه‌ی پرکیفیت بیشتری به دستگاه تزریق شود، سامان یابی بیشتری برای فرسایش کارمایه پدیدار می‌شود. بنابراین، پیدایش «نظم» از «بی‌نظمی» باعث بروز بی‌نظمی بیشتر می‌شود.

### نظم از بی‌نظمی و نظم از نظم

دستگاه‌های پیچیده را می‌توان در مقیاسی پیوسته از پیچیدگی عادی (دستگاه‌های پریگوزین، گردبادها، دهلیزهای بنارد، دستگاه واکنش‌های خود کاتالیز) گرفته تا پیچیدگی‌های خیزنده، که شاید شامل نظام‌های اجتماعی - اقتصادی بشر هم می‌شود، دسته‌بندی کرد. دستگاه‌های زنده در انتهای پیچیده‌تر این پیوستگی واقع‌اند. اینها باید در چارچوب دستگاه و محیط که خود بخشی از

آن را می‌سازند، ایفای نقش کنند. چنانچه دستگاه زنده‌ای شرایط محیطی اَبَر‌دستگاهی را که خود بخشی از آن محسوب می‌شود نادیده انگارد، بر علیه‌اش گزینش صورت خواهد گرفت. اَبَر‌دستگاه قیدهایی را بر رفتار دستگاه اعمال می‌کند و دستگاههای زنده‌ای که از لحاظ تکاملی موفق‌اند، می‌دانند چگونه در چارچوب آنها زندگی کنند. هرگاه دستگاه جدیدی پس از انقراض دستگاهی پیشین به وجود آید، اگر به تغییراتی مقید شود که احتمال موفقیت بیشتری دارند، فرایند خودسامانی موثرتری ببار خواهد آورد. ژنها در مقید کردن فرایند خودسامانی به گزینه‌هایی که احتمال توفیق‌شان بیشتر است، چنین نقشی را ایفا می‌کنند. در واقع اینها خود گواهی بر خودسامانی موفق‌اند به این معنی که نه ژنها بلکه خودسامانی سازوکار رشد و کمال (development) است. ژنها فرایند خودسامانی را محدود و محصور می‌کنند. در سطوح بالاتری از سلسله مراتب، آلات دیگری فرایند خودسامانی را در قید خود دارند. توانایی یک دستگاه اقلیمی در تولیدمثل (regeneration) تابع گونه‌هایی است که در فرایند تولیدمثل در دسترس‌اند.

با توجه به این که دستگاههای زنده پیوسته چرخه‌ی تولد - رشد - تولیدمثل - مرگ را می‌پیمایند، حفظ اطلاعات درباره‌ی اینکه چه چیزی کار می‌کند و چه نمی‌کند، برای ادامه‌ی حیات بسیار مهم است (Kay, ۱۹۸۴). این است نقش ژن، و در مقیاسی بزرگتر، تنوع زیستی: عمل کردن به‌عنوان ذخایری از پایگاههای اطلاعات مربوط به راهبردهای خودسامانی که کار می‌کنند. و این است منظور شروودینگر از ارتباط میان نظم از نظم و نظم از بی‌نظمی. حیات بدین دلیل پدیدار می‌شود که ترمودینامیک الزام می‌کند که هرگاه شیب‌های (gradients) ترمودینامیکی کافی و شرایط محیطی مناسبی وجود داشته باشند نظم از بی‌نظمی سر برآورد. اما اگر قرار باشد حیات ادامه یابد همان قواعد الزام می‌کند که موجود بتواند تولیدمثل کند یعنی از نظم نظم به وجود آورد. حیات بدون این دو فرایند امکان ندارد، نظم از بی‌نظمی برای پدید آوردن حیات و نظم از نظم برای تداوم حیات.

حیات توازنی است میان اجبار برای بقا از یکسو و فرسایش کارمایه از دیگر سو. یا به‌گفته‌ی بلوم (Blum, ۱۹۶۸):

می‌خواهم تکامل را با بافتن یک پرده‌ی منقوش بزرگی مقایسه کنم تا راه‌های محکم و توانمند این پرده از سرشت اساسی و بنیادین ماده‌ی بی‌جان و چگونگی گردآورده شدن این ماده در تکامل کره زمین، درست گردیده است. در ساخت این تار، قانون دوم ترمودینامیک نقش عمده را داشته است. پود رنگارنگی که جزئیات این پرده را تشکیل می‌دهد به گمان من عمدتاً توسط جهش (mutation) و گزینش طبیعی با تار مذکور در هم بافته شده است. اگر چه تار تعیین کننده‌ی ابعاد و نگهدارنده کل پرده است، این پود است که حس زیبا پسندانه‌ی محقق تکامل آلی را برمی‌انگیزد و زیبایی و تنوع سازگاری (fitness) موجودات زنده با محیط را نشان می‌دهد. ولی چرا اینقدر کم به تار توجه کنیم حال آنکه اساس و بنیان کل ساختار است؟ اگر چیزی که گهگاه در منسوجات به کار رفته به کار بریم شاید تشبیهمان کاملتر شود و آن درگیر شدن خود تار در ایجاد خود طرح است. تنها در این صورت است که گمان می‌کنم از تشبیه چیزی دستگیر خواهد شد.

کوشیده‌ایم که شرکت تار در ایجاد پرده‌ی منقوش حیات را نشان دهیم. به بیان شرویدینگر حیات از دو فرایند یکی نظم از نظم و دیگری نظم از بی‌نظمی فراهم آمده است. کار واتسن و کریک و دیگران زن را توصیف کرد و معمای نظم از نظم را گشود. کار حاضر نظر شرویدینگر درباره‌ی نظم از بی‌نظمی را تأیید می‌کند و زیست‌شناسی کلان (macroscopic) را بهتر با فیزیک ارتباط می‌دهد.

## مراجع

- Ahern, J. E. (1980). *The Exergy Method of Energy Systems Analysis*. New York: Wiley.
- Blum, H. G. (1968). *Time's Arrow and Evolution*. Princeton: Princeton University Press.
- Boltzmann, L. (1886). The second law of thermodynamics. Reprinted (1974) in *Ludwig Boltzmann, Theoretical Physics and Philosophical Problems*, ed. B. McGuinness. New York: D. Reidel.
- Brzustowski, T. A. & Golem, P. J. (1978). Second law analysis of energy processes. Part 1: Exergy – an introduction. *Transactions of the Canadian Society of Mechanical Engineers*, 4(4), 209–218.
- Chandrasekhar, S. (1961). *Hydrodynamics and Hydromagnetic Stability*. London: Oxford University Press.
- Currie, D. (1991). Energy and large-scale patterns of animal-and-plant species-richness. *American Naturalist* 137, 27–48.

- Gates, D. (1962). *Energy Exchange in the Biosphere*. New York: Harper and Row.
- Hatsopoulos, G. & Keenan, J. (1965). *Principles of General Thermodynamics*. New York: Wiley.
- In *Ecological Indicators*, eds. D. McKenzie, D. Hyatt & J. McDonald, pp. 159–181. New York: Elsevier.
- Kestin, J. (1968). *A Course in Thermodynamics*. New York: Hemisphere Press.
- Kestin, J. (ed.) (1976). *The Second Law of Thermodynamics*. Benchmark Papers on Energy, Vol. 5. Investigations into the foundations of thermodynamics, by C. Carathéodory, pp. 225–256. New York: Dowden, Hutchinson, and Ross.
- Lotka, A. (1922). Contribution to the energetics of evolution. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 8, 148–154.
- Luvall, J. C. & Holbo, H. R. (1989). Measurements of short term thermal responses of coniferous forest canopies using thermal scanner data. *Remote Sensing of the Environment* 27, 1–10.
- Luvall, J. C. & Holbo, H. R. (1991). Thermal remote sensing methods in landscape ecology. In *Quantitative Methods in Landscape Ecology*, eds. M. Turner & R. H. Gardner, Chap. 6. New York: Springer-Verlag.
- Nicolis, G. & Prigogine, I. (1977). *Self-Organization in Nonequilibrium Systems*. New York: Wiley.
- Nicolis, G. & Prigogine, I. (1989). *Exploring Complexity*. New York: Freeman.
- Odum, H. T. & Pinkerton, R. C. (1955). Time's Speed Regulator. *American Scientist* 43, 321–343.
- Schneider, E. D. (1987). Schrödinger shortchanged. *Nature* 328, 300.
- Schneider, E. (1988). Thermodynamics, information, and evolution: new perspectives on physical and biological evolution. In *Entropy, Information, and Evolution: New Perspectives on Physical and Biological Evolution*, eds. B. H. Weber, D. J. Depew & J. D. Smith, pp. 108–138. Boston: MIT Press.
- Schneider, E. & Kay J. (1994) Life as a manifestation of the second law of thermodynamics. *Mathematical and Computer Modeling* 19, nos. 6–8, 25–48.
- Schrödinger, E. (1944). *What is Life?* Cambridge: Cambridge University Press.
- Ulanowicz, R. E. (1986). *Growth and Development: Ecosystem Phenomenology*. New York: Springer.
- Ulanowicz, R. E. & Hannon, B. M. (1987). Life and the production of entropy. *Proceedings of the Royal Society B* 232, 181–192.
- Watson, J. D. & Crick, F. H. C. (1953). Molecular structure of nucleic acids. *Nature* 171, 4356, 737–738.

## خاطرات

روث براونیتزر - دختر شرودینگر<sup>۱</sup>

می‌خواهم تأکید کنم که من دانشمند نیستم اما دعوت به این مجمع را به عنوان نماد وفاداری و بزرگداشت پدرم پذیرفته‌ام از اینرو امیدوارم اگر به کارهای پدرم ارجاع نمی‌کنم، مرا می‌بخشید.

سال پیش در موقعیتی مشابه در پاریس از من خواسته شد که یادداشت‌هایی زندگینامه‌ای درباره پدرم تهیه کنم و من اجباراً تردیدهای خود را در مورد زندگینامه‌ها به‌طور کلی ابراز نمودم. زیرا اکثر اوقات نظرات نویسنده یا منظور او را منعکس می‌کنند. به ندرت نسبت به شخصیت‌ها عدالت روا می‌دارند و تمایل به این دارند که افراد را در قالب یا کلیشه‌ای در چشم مردم مجسم کنند. اینگونه زندگینامه‌ها مانند مجسمه هویدا می‌شوند تا اینکه فردی ناگهان خوشش بیاید که ضعف‌ها و نارسایی‌های آن را نشان دهد، گویی که همه این چیزها اصلاً معنایی دارند. در این عصر که عکس و تصویر پرستی خیلی رایج است، کمتر شخصیتی از جامعه، خواه واجد اهمیت واقعی باشد یا نه، از دسترس این مصیب‌رهایی دارد. در هر صورت یک شرح زندگی واقعی از اروین شرودینگر هنوز باید نوشته شود و این در صورتی است که «تنها» حقایق مورد توجه قرار گیرد و از افسانه و آنچه عطش همگان را برمی‌انگیزد پرهیز گردد.

۱. این قسمت براساس سخنرانی خانم روث براونیتزر دختر اروین شرودینگر در مراسم پذیرایی تهیه شده است.



در اینجا از نقل قولی از آینشتاین قدردانی می‌کنم: «اصل بودن انسانی چون من دقیقاً در این نهفته است که «چه» می‌اندیشد و «چگونه» فکر می‌کند، «نه» اینکه چه می‌کند و چه بر او می‌گذرد». آنچه اروین شرودینگر اندیشید و چگونه اندیشید عمدتاً بخشی از دانش رایج در دنیای فیزیک است و هر که زبان وی را بداند می‌تواند بخواند و تفسیر کند و چنانچه بخواهد برله یا علیه آن در آید. این بازی نیست که من بتوانم در آن شرکت کنم. آنچه را که نمی‌توانیم حدس بزنیم این است که چه باعث شد وی آنگونه بیاندهد که او کرد. اگر در این باره به توجیهی دست یابیم معنایش این می‌شود که برای پرسش اساسی حیات پاسخی یافته‌ایم که حتی اقدامی در این باره نیز از شهادت من فراتر است. اما آنچه می‌توانم انجام دهم این است که به زمان پیش برگردم و به رویدادهایی که نقش مؤثر در زندگی وی داشت بنگرم و بیاد آورم که برای خودش چه آرزو داشت.

عمده عامل مؤثر، محیط وین بین سال‌های تبدیل قرن و پایان دهه‌ی ۱۹۲۰ است. از آنجا که خودم شاهد صحنه‌ها نبوده‌ام تنها می‌توانستم با علاقه به داستان‌هایی که بزرگترها از آن زمان‌ها می‌گفتند گوش کنم. دو توکویل گفته است که هر کسی پیش از انقلاب فرانسه نزیسته باشد نمی‌تواند تصور کند که زندگی آن دوره چگونه بوده است. گمان می‌کنم عین همین برداشت را می‌توان درباره‌ی دهه‌های آخرین امپراطوری اتریش ابراز کرد. رشد سریعی در استعدادهای درخشان و نبوغ در تمامی زمینه‌ها پدیدار شد که می‌توان با ذکر ده‌ها نفر شهیر و نامدار در این دوره، شاهد آورد. برای خیلی‌ها دانشگاه بمنزله‌ی مگه‌ای درآمد بود، مدرسه اقتصاد اتریش، مدرسه پزشکی وین، نقاشان، آهنگسازان، معماران، مجسمه‌کاران، نویسندگان، هنرپیشه‌گان، همگی وجود داشتند.

آب‌های راکد امپراطوریِ رو به زوال، زمینه‌ی زایشی برای آنچه می‌توانست حیات پیدا کند، از جمله جمعیتِ عمدتاً ناشناس فیزیک نظری، را فراهم آورده بود. نظام آموزشی بسیار ممتازی که ارزان بود و بر ارزش‌های انسانی تأکید داشت فرصتی را برای همه‌ی کودکان از جمله کودکان مستمند فراهم کرده بود.

نتیجه‌اش پیدایش گروهی نسبتاً بزرگ از مردان و زنان خوب تحصیل کرده شد. هر عضوی از آن نسل، شغلش هر چه می‌بود، خواه پزشک، خدمتکار اجتماعی، مهندس، ملوان کشتی، می‌توانست از اصل نوشته‌های افلاطون و سنکا (Seneca) و بدون کمک فرهنگ لغت

یا تفسیر، لذت برد. در نتیجه هر کس در زبان خود نیز استاد محسوب می‌شد. این موضوع اخیراً هنگامی به ذهنم رسید که نامه فیزیکدان جوانی بدستم رسید و خواندم. برایم تعجب‌آور و باور نکردنی بود چون پر از غلط‌های املائی و انشایی بود و نمی‌دانستم چگونه توانسته دبیرستان را تمام کند چه رسد به اینکه به سطوح بالاتر رفته باشد. با این وجود امیدبخش‌ترین دانشمندان است و همگنانش وی را تمجید می‌کنند. ظاهراً در عصر پدرم چنین فردی به جایی که رسیده نمی‌رسید زیرا نظام خیلی زودتر از اینها وی را حذف می‌کرد یا اینکه وادارش می‌کرد مشقش را انجام دهد.

روشن است که در عصر ما می‌توان بدون توجه به فرهنگ به پیش رفت. اما این پدیده چند پرسش را پیش روی ما می‌نهد. آیا به دنبال نتایج تخصص‌گرایی هستیم؟ پدرم از تخصص‌گرایی هراس داشت و می‌کوشید از هر لحاظ کلی‌گرا باشد. اما این نشانه‌ی نسل وی بود. آیا به راستی این امر چیزی اساسی برای پیشرفتش بود، گرچه در ورای آن خیلی هم با سرشت او جور در نمی‌آید. یا اینکه فیزیکدان جوانی که اشاره کردم ثابت می‌کند که یک نابغه تحت هر شرایطی نابغه است.

به هر حال، اگر پدرم زبان و انشاء را کامل نمی‌دانست نمی‌توانست وارد دبیرستان (Gymnasium) بشود، چه رسد به دانشگاه. در آن صورت نبوغش به گونه‌ای دیگر مثلاً یک نویسنده‌ی آزاد در امور فرهنگی، یا نقاشی مشهور و یا نویسنده‌ای گمنام، خدا می‌داند چه، تظاهر می‌کرد.

اما پس از تأکید درباره‌ی اهمیت آموزش عالی در آن دوران، منصفانه باید گفت که در ۱۹۱۴ تقریباً همه‌ی کشورهای عمده تحت حکومت گروهی از مردمان بسیار با فرهنگ و آموخته بودند، که علیرغم تحصیلات و معلومات‌شان بشریت را به بزرگترین فاجعه رهبری کردند. با تعمق درباره‌ی همه اینها باید به این نتیجه برسیم که خواه تحصیلات و پرورش فرهنگی وی در دستاوردهای علمی‌اش اثر داشته یا نه، این امور نقشی اساسی در ظاهر و اثری که وی به عنوان یک انسان از خود می‌گذاشت، داشته است. وی انسان متین و شریف دوران پیش بود. مردی بسیار شاداب و دوست داشتنی که آدم آرزو داشت با او زندگی کند. فردی که آدم را به حسرت زمان‌های گذشته می‌انداخت.

سوا از شرح آنچه گذشت نمی‌توان نقش عمده‌ای که تربیت والدینش بروی گذاشته نادیده گرفت. دو زبانی مادر انگلیسی تبار و وابستگی‌های خانوادگی‌اش، به زودی نصیب او نیز شد. مادرش موسیقی دوست داشت و خوب ویولن می‌زد.

هنگامی که وی در ۵۴ سالگی از سرطان پستان مرد، پسرش بر این گمان بود که زیاده‌روی در نواختن این آلت بیماری‌اش را تشدید کرده است. مرگ مادر و مرگ پدر در دو سال پیش از آن، تألم ژرفی بر اروین شروودینگر گذاشت. از آن ببعد همه روابط پیشینش با موسیقی را برید.

پدرش حرفه خانوادگی تولید و پخش پارچه‌ای مخصوص داشت، اما قلباً یک زیست‌شناس، یا دانشمند و افزون بر این بسیار علاقمند به هنر بود. به مفهوم واقعی فرانسوی وی هنر دوست غیر حرفه‌ای، به معنای مثبت آن بود. یعنی فردی صاحب ذوق و هوشمند که نسبت به موضوعات خارج از حرفه‌اش کنجکاوی داشت. پدر شروودینگر ضمناً کتابخانه‌ی بزرگی داشت که پسرش جسته‌گریخته از زمانی که توانایی خواندن داشت، عملاً از همه‌ی آن سیراب شد. یکی از مواردی که پدرم جداً ابراز پیشیمانی و تأسف می‌کرد این بود که پس از مرگ پدرش در یک لحظه غفلت‌آور آن کتابخانه را فروخته بود.

افرادی که برجسته شناخته می‌شوند و در نتیجه شهرت می‌یابند، با خطر افسانه‌ای شدن روبرو هستند. تاریخ‌شناسان علاقمند گاهی چنین افسانه‌ها را نادرست تشخیص می‌دهند. نسل‌ها کودک در سرزمین‌های آلمانی زبان این را فراگرفتند که آخرین کلام‌گفته این بود «نور بیشتر» اما اکنون چیز کاملاً متفاوتی می‌شنویم، وی به دختر جوانی گفته است: «بچه جان، یکبار دیگر دستم را بگیر». بیشتر اوقات هنگامی که افسانه‌ای نابود می‌شود با افسانه‌ای دیگر جانشین می‌شود. حتی در حلقه نزدیکان و خویشان یک فرد از دنیا رفته، تمایل به این است که تصویر افسانه‌آمیزی درباره‌ی وی بوجود آید. خیلی مشکل می‌توان از شر چنین خیالبافی‌هایی مصون ماند.

در اینجا شاید خوب باشد گوشه‌هایی از مکالمات و سایر تبادلاتی را بیاد آورم که می‌تواند درباره طرز فکر و تصویری که شخصی از خود دارد، راهنما باشد. یکی از بهترین موارد چنین خاطراتی، صحبتی است که دو سال پیش از مرگ پدرم با وی داشتم. گفتگویمان درباره پیشرفت فرد دیگری بود و این که چه رشته‌ای را آن فرد می‌بایست برای تحصیلات آتی‌اش برگزیند، پدرم ناگهان و موکداً گفت: «پیش از آن که بدانم چه رشته‌ای را انتخاب کنم، تصمیم داشتم معلم بشوم». گرچه این جمله در حافظه‌ام حک شده، افسانه نیست. بلکه بازتابی از اروین شروودینگر واقعی است. نه تنها به گمان من و خیلی از دانشجویانش وی معلم خوبی بود و منظور خود را در گفتار

و نوشتار به خوبی بیان می‌کرد بلکه تربیت چند زبانی وی هم می‌بایست وی را در ورای این شغل یاری کرده باشد و حرفه‌ی معلمی در زندگی‌اش مفهوم دیگری داشت. یقین دارم جمع کثیری از آدم‌ها، شاید میلیون‌ها، هستند که اغلب اندیشه‌ها و افکار ارزشمند و درخشانی به ذهنشان می‌رسد. نظریات تابناکی که شاید مشکل‌گشای خیلی از مسائل باشند همه روزه به ذهن و مغز هزاران نفر خطور می‌کند. تنها مشکل این است که هیچگاه پیش‌آورده نمی‌شوند و دوباره ناپدید می‌شوند. زیرا یا به سلیقه‌ی صاحب آن‌ها چیز ویژه و مهمی به نظر نمی‌آیند و یا اینکه وی از بیان و اعلام آنها عاجز است. حرفه‌ی معلمی به خودی خود سازنده‌ی امواج اندیشه‌ی وی نبود زیرا معلمان به ندرت چیزی ممتازتر از سایر مردم ابراز می‌دارند. بلکه این میل نهادین وی در بهره‌وری از این موثرترین ابزارش در انتقال هرگونه فکر و اندیشه‌ای که داشت، شاید بخشی از نیروی رانش وی بود.

هنگامی که بیش از پنجاه سال پیش به ایرلند آمدیم، مهاجر و آواره بودیم. شمار پناهندگان نسبت به آن زمان شاید چندان تغییری نکرده باشد، اما زمانه خیلی فرق کرده است و همه علایم می‌رساند که ما شاهد تعطیلی صحنه‌های عصر ناپسند خشونت هستیم. پدرم که خود یک آواره بود، نسبت به همه کسانی که بخاطر حفظ جانشان مجبور به ترک خانه و کاشانه‌ی خود بودند، همدردی می‌کرد. آوارگی وی بخاطر مخالفت علنی‌اش بر علیه حکومت نازی‌ها بود. اگر چنین نبود وی می‌توانست در زادگاهش بماند و به عنوان یکی از مقربان هیتلر بدون هیچ نگرانی جنگ را سپری کند و پس از آن هم کوچکترین مشکل یا پشیمانی نداشته باشد.

وی بر خلاف میلیون‌ها انسان مستمندی که بخاطر نسل و نژادشان مورد آزار و شکنجه بودند، اختیار داشت. تصمیم به ترک وطن گرفت. ما بر خلاف بسیاری از مردم از امتیاز برخوردار بودیم. ما نیاز به التماس برای پذیرش از یک کشور خارجی نداشتیم و نگران این نبودیم که درخواستمان رد خواهد شد. بلکه از ما دعوت شد و سخاوتمندانه ما را پذیرفتند و از این بابت ما همیشه سپاسگزار ایرلند هستیم، به مردمش و به شخص امون دو والرا (Emmon de Valera)، یکی از بزرگترین دوستان پدرم.

این چیزی است که بارها و بارها در گذشته گفته‌ام و امروز هم نیم قرن پس از آن که به دابلین، این شهر باصفا آمده‌ایم، بسیار خوشحالم که آن را تکرار می‌کنم.

## واژگان فارسی - لاتین

criticality	بحرانیت	Cascade	آبشیب
stochastic random,	بختانه-کتره‌ای	element	آخشیج - عنصر
vector	بُردار - پیکان	ideal	آرمانی
slaving	برده‌کشی	idealization	آرمان‌گرایی
output	برونداد	primordial	آغازین
extrapolation	برون‌یابی	space & time	آفاق
basin	بستر	truncation	آبترسازی - کوتاه کردن
hominid	بشرسان	expression	ابراز - بیان (ژن)
crystal	بلور	contingency	اتفاق
unit crystal	بلور واحد	forcings	اجبارها
ligase	بند زن (آنزیم)	perturbation	اختلال
radicalism	بنیادگرایی	cognitive	ادراکی
ape	بوزینه - میمون	apriori	از پیش
ecosystem	بوم - نظام اقلیمی	antogenical	از لحاظ مراحل رشد
expression	بیان (ژن) - ابراز	paradigm	اصل اعلا - اصل مسلم
aperiodic	بی تناوب	assignment	اطلاق - انتساب
adiabatic	بی در زو	differential	افتراقی - تفاضلی
amorphous	بی ریخت	fluctuation	افت و خیز
ommatidium	بینایی	interaction	اندرکنش
consonant	بی صدا (حرف)	abstract	انتزاعی - مجرد
disorder	بی نظمی	superposition	انطباق
antibody	پادتن	pattern	انگاره - طرح
antiphase	پادفاز	AIDS	ایدز - عارضه‌نارسایی ایمنی اکتسابی
stationary, steady	پایا	fertilized	بارور شدن
	پدیدارشناسی - قالبمندی فراگیر	synagamy	باروری
phenomenology		big bang	بانگ اکبر

comparative	تطبیقی	radiation	پرتو
equilibrium	تعادل	radioactive	پرتوزا
switching	تغییر - تعویض	jump	پرش
differential	تفاضلی - افتراقی	bowerbird	پرنده آلاچیق ساز
crossing - over	تقاطع (زن)	proteinoid	پروتئین وارده
reduction	تقلیل - کاستی	multicellular	پُریاخته
monoclonal	تک تبار	variance	پریشی - وردایی
irreducible	تقلیل ناپذیر - کاستی ناپذیر	postmodernism	پسانوگرایی
evolution	تکامل	primates	پستانداران اولیه
microevolution	تکامل خرد - که تکامل	feed back	پس خور - پس خوراندن
macroevolution	تکامل کلان - مه تکامل	hysteresis	پسماند
redundancy	تکرر	retro- virus	پس نُورد - ویروس
haploid	تک نهاد	signal	پیام
singularity	تکینگی	curled	پیچ و فرخورده
combination	تلفیق	complex	پیچیده
biodiversity	تنوع زیستی	biogenesis	پیدایش زیستی
sequence	توالی	phylogenesis	پیدایش و رشد دودمانی
bias	تورش - گرایش	ontogenesis	پیدایش و رشد فردی
narrative	تومار - داستان	prebiotic	پیش از حیات
attractor	جاذب	protometabolism	پیش از سوخت و ساز
space & time	جایی گاه	prolanguage	پیش زبان
spatiotemporal	جایی گاهی	pretransitcm	پیش گذار - پیش تبدیل
determinism	جبر - قطعیت گرایی	vector	پیکان - بُردار
component	جزء سازنده - سازند	modulus	پیمانہ
diploid	جفت نهاد	fold	تا شدن - جمع شدن - تا
coupling	جفتیدن - تزویج	speculation	تأمل
anterior	جلو	evapotranspiration	تبخیر و تعریق
mutation	جهش	transition	تبدیل - گذار
matant	جهش یافتن	degeneration	تبهگنی - انشقاق
condensation	چگالش - چگال شدن	empirical	تجربی
many - body	چند پیکری	analytic	تحلیلی
polymorphism	چند شکلی	zygote, fertilized egg	تخم بارور شده
polyploid	چند نهاد	combination	ترکیب (ریاضی)
state	حالت	combinatorial	ترکیبی
steady (stationary)state	حالت پایا	coupling	تزویج
ground state	حالت پایه	homology	تشابه - همردیفی
micromtion	حرکات خرد	enhacer	تشدیدگر

digital	رقمی	calculus	حسابان
encoding	رمز گذارنده	computable	حساب بردار
codescript	رمز نگاشت	life	حیات
codon	رمزینه	microscopically	خُردنگرانه - از دید خرد
phenotype	روبنای ژنتیکی	beetle	خزوک - گجوله
methodological	روش‌مندانانه	self - sustaining	خود القا - خوددار
transcription	رونویسی - نسخه برداری	self-assembled	خودپنگان خودسامان
approach	رویکرد	self - organization	خودسامانی
morphology	ریخت - ریخت‌شناسی	data	داده
morphogenesis	ریخت زایی	database	داده پایگاه - پایگاه داده ها
germ	زایا	narrative	داستان - تومار
dorso - ventral	زیر - پشت	in - silico	در رایانه
subsystem	زیر دستگاه	macroscopic	درشت منظر، کلان
biomass	زیست جرم	input	درون‌ترو - درون گیری
biologic	زیست شناختی	system	دستگاه - نظام
organism (living)	زیست‌مند	collective	دسته جمعی
terrestrial	زمینی - جهانی	serial	دنباله دار
structure	ساختار	circular	دوار
fitness	سازگاری - تطبیق	bistable	دو پایدار
component	سازند - جزء سازنده	binary	دوتایی
beaver	سگ آبی	phylum	دودمان
hierarchy	سلسله مراتب	biturcation	دوشاخگی
classical	سنتی	Benard cells	دهلیزهای بنارد
measurement	سنجش	paleontology	دیرین شناسی
metabolism	سوخت و ساز	mind	ذهن
fluid	سیال - شاره	canalyzing	راه باز کردن - مجزا باز کردن
fluid	شاره - سیال	strategy	راهبرد
network, lattice	شبکه	mechanism	راهکار
homunuculus	شبه بشر	array	رج
sigular tatnum	شعور یگانه	lineage	رده - دودمان
fractal	شکنک وار	expressive	رسا
iconography	شمایل نگاری	conductive	رسانا
gradient	شیب	burgess	رُستی
cytoplasm	شیره یاخته	norm	رسم
vowel	صدا دار (حرف)	develpment	رشد و کمال
explicit	صریح - روشن	phylogensis	رشد و کمال دودمانی
mode	صورت - وضع	antogenesis	رشد و کمال فردی

enchanted loom	کلاف هوش	AIDS	عارضه نارسایی ایمنی اکتسابی، عامل جمعی - متغییرانبوه
macroworld	کلان سپهر - مه سپهر	collective parameter	
global	کلی - فراگیر	control parameter	عامل مهار
cofactor	کمک عامل	order parameter	عامل نظم
action	کنش	posterior	عقب
quantized	کوانتیده	rationalism	عقل گرایی
pogonorphan	کوتوله	circular casulatiy	علت دوار
microevolution	که تکامل - تکامل خرد	causal	علی
microcode	که رمز	dominant	غالب
transition	گذار - تبدیل	non - equilibrium	غیر تعادلی
viscosity	گرانروی - ویسکوزیته	non - invasive	غیر تعرضی
collect, integrate	گردآوری	abiotic	غیر زیستی
vortex	گرداب، گردابی	anagenetic	غیر ژنتیکی
node	گره	catastrophe	فاجعه
saddle- node	گره زینی	neo- catastrophism	فاجعه گرایی نو
selection	گزینش	global	فراگیر - کلی
entanglement	گوریدگی - درهم پیچیدگی	processing	فراوری - فرایند کردن
species	گونه	process	فرایند - فراگرد
higher sepecies	گونه والا	ontogenesis	فردزایی - پیدایش و رشد فرد
gastrulation	لوله وری	ontogenetic	فردزایانه
narrative	ماجرا - داستان	dissipative	فرسایشگر
deux ex nachina	ماشینی الهی بیرون	collapse	فروریختن - فروشکستن
positivism	مثبت گرایی	template	قالب
canalyzing	مجراسازی - کانال زنی	modular	قالبمند - قالبی
abstract	مجرد - انتزاعی		قالبمندی فراگیر - پدیدارشناسی
observables	مشهودات	phenomenology	
promoter	مشوق	neo- cortex	قشر پیشرفته مغز
microscale	مقیاس خرد		قشر چپ و گیجگاهی
macroscale	مقیاس کلان	parieto-temporalcortey	
complementarity	مکملیت	determinism	قطعیت - جبر
logical	منطقی	energy	کارمایه - انرژی
negentropy	منفانترپی - آنتروپی منفی	anatomy	کالبد
chordates	مهره داران	locus	کانون
macroevolution	مه تکامل - تکامل کلان	pluralism	کثرت گرایی
macroworld	مه سپهر - کلان سپهر	beetle	گجوله - خزوک
army ant	مورچه شتری - مورچه رزمی	nematode	کرم
rat	موش صحرائی		



collective mode	وضع جمعی - وضع جمیع	ape	میمون - بوزینه
retrovirus	ویروس پس نورد	vervet	میمون سیاه دمدار
chaos	هبا - درهم ریختگی	asocial	نا اجتماعی
chaotic	هبایی - هباگون	asymmetric	نامتقارن
replication	همانند سازی	peak	ناوک - نوک
synchronization	هماهنگ کردن	heterozygous	ناهمجفت
coordination	هماهنگی	transcription	نسخه برداری - رونویسی
isomerism	همپاری	system	نظام - دستگاه
overlap	همپوشانی	ecosystem	نظام اقلیمی - بوم
homologous	همتا - همردیف	coupled chemical system	نظام شیمیایی مزدوج
homozygous	همجفت	order	نظام
coherent	همدوس	narcosis	نعشگی
homologous	همردیف - همتا	map	نقشه
sequence homology	همردیفی توالی	exponential	نمایی
isomorphous	همریخت	tone	نوا
harmony	همسازي - همنوایی	stripe	نوار رنگی
congruent	هم سنخ	intermittent	نوبه ای
cooperation	همکاری	novelty	نوخاستگی - نوری
syncopate	همگانی کردن	noise	نوفه - همهمه
homogenous	همگن	modernism	نوگرایی
resonance	همنوایی شدید	intrinsic, inherent	نهادی - ذاتی
synergism	همیاری	linkage	وابستگی ژنی
noise	همهمه - نوفه	divergence	واگرایی
ensemble	هیئت - مجموعه	relaxation	واهلش - آسایش
monster	هیولا	uniformity	وحدت - یکپارچگی
cell	یاخته	uniformitarian	وحدت گرا
germ cell	یاخته زایا	variation	وردایی - پریشی
uniformity	یکپارچگی - وحدت	version	ورزه
monotonic	یکنواخت	mode	وضع - صورت

## واژگان لاتین - فارسی

beaver	سگ آبی	abiotic	غیرزیستی
beetle	گجوله - خزوک	abstract	مجرد - انتزاعی
bias	تورش - گرایش دار	action	کنش
bifurcation	دوشاخگی	amorphous	بی ریخت
big bang	بانگ اکبر	anagenetic	غیر ژنتیکی
binary	دوتایی	analytic	تحلیلی
biogenesis	پیدایش حیات - پیدایش زیستی	anatomy	کالبد
biologic	زیست شناختی	anisotropy	ناهمسانگردی
biomass	زیست جرم - توده زنده	anterio - posterior	جلو - عقب
bistable	دوپایدار	antibody	پادتن
bowerbird	پرنده آلاچیق ساز	antiphase	پادفاز
calculus	حسابان	antogenical	از لحاظ مراحل رشد
canalyzing	مجزا سازی - راه باز کردن	ape	بوزینه - میمون
catastrophe	فاجعه	aperiodic	بی تناوب - فاقد تناوب
catastrophism	فاجعه گرایی	approach	رویکرد
causal	علی	apriori	از پیش
chaos	هبا - در هم ریخته	army ant	مورچه شتری - مورچه رزمی
chaotic	هبایی - در هم ریخته	array	رج - رده
chordates	مهره داران	asocial	نا اجتماعی
circular	دوار - دایره ای	assemble	پنگاندن - سرهم کردن
classical	سنتی	assignment	انتساب - اطلاق
close breeding	تناسل با نزدیکان	asymmetric	نامتقارن
codescript	رمز نوشته	attractor	جاذب
codon	رمزینه	base	باز
cofactor	کمک عامل - عم عامل	base- pair	جفت باز
		basin	بستر

dynamic	پویا - پوینده	cognitive	ادراکی
ecosystem	نظام اقلیمی - بوم	coherent	همدوس
egg	تخم	collapse	فروریختن - فروشکستن
element	آخشیج - عنصر	collective	دسته جمعی
empirical	تجربی	collective parameter	عامل جمعی - متغیر انبوه
enchanted loom	کلاف مدهوش	collective mode	وضع جمعی
energy	کارمایه	combinatorial	ترکیبی (ریاضی)
enhancer	تشدیدگر	complementarity	مکملیت
ensemble	هیئت - مجموعه	component	جزء سازنده - سازند
entanglement	گوریدگی - درهم پیچیدگی	computable	حساب بردار
equilibrium	تعادل	conductive	رسانا
evapotranspiration	تبخیر و تعریق	consonant	بی صدا (حرف)
evolution	تکامل	contingency	اتفاق
exponential	نمایی	control parameter	عامل مهار
expression	بیان (ژن)	convection	گردش - جابجایی
expressive	رسا	cooperation	همکاری
extrapolation	برون یابی	coordination	هماهنگی
fauna	مجموعه جانوران یک منطقه - فون	coupled	مزدوج - جفتیده
feed back	پس خورده - باز خوراندن	creole	گویش ناقص و محدود
fertilized egg	تخم بارور شده	crystal	بلور
fitness	سازگاری - تطبیق	curled	پیچ و فرخورده - مجعد
fluctuation	افت و خیز	cycle	چرخه
fluid	شاره - سیال	cytoplasm	شیره یاخته - سیتوپلاسم
fold	تا شدن - جمع شدن	data	داده ها
fractal	شکنک وار	database	پایگاه داده ها - داده پایگاه
gastrulation	لوله وری	degeneration	تبهگنی - انشقاق
germ cell	یاخته زایا	descrete	مشخص - منفصل
global	فراگیر - کلی	development	رشد و کمال - تطور
gradient	شیب - گرادیان	differential	افتراقی - تفاضلی
ground state	حالت پایه	digital	رقمی
haploid	تک نهاد	diploid	جفت نهاد
harmony	همسازي - همنوایی	disorder	بی نظمی
heterocyclic	حلقه ناهمجور (اتمها یکسان نیست)	dissipative	فرسایشگر
heterozygous	ناهمجفت (هسته یاخته)	divergence	واگرایی
hierarchy	سلسله مراتب	dominant	غالب
higher species	گونه های والا	dorso - ventral	زیر - پشت

mind	ذهن	holism	ثبات درونی
modernism	نوگرایی	homeostasis	کلی‌گرایی - فراگیر
modular	قالبی	hominid	بشرسان
modulus	پیمانه	homologous	همتا - هم‌ردیف
monoclonal	تک تبار	homology	همتایی - تشابه
monotonic	یکنواخت	homunuculus	شبه بشر
monster	هیولا	hysterisis	پسماند
morphology	ریخت - ریخت شناسی	iconography	شمایل نگاری
morpophogenesis	ریخت زایی	ideal	آرمانی
multicellular	چند یاخته - پُریاخته	idealization	آرمانگرایی
mutant	جهش یافته	in - silico	در رایانه
mutation	جهش	input	درونرو
narcosis	نعشگی	integrating	گردآوری - جمع‌بندی
narrative	داستان - ماجرا	interaction	اندرکنش
negentropy	منفانتروپی - آنتروپی منفی	intrinsic	نهادی - ذاتی
nematodes	کرم‌ها	irreducible	کاستی ناپذیر - تقلیل ناپذیر
neocatastrophy	فاجعه‌گرایی نو - مکتب حوادث جدید	isomorph	هم‌ریخت
neocortex	قشر پیشرفته مغز	jump	پرش
network	شبکه	leeway	راه‌گریز - انحراف
node	گره	life	حیات
noise	همهمه - نوفه	ligase	بند زن (آنزیم)
non - equilibrium	غیر تعادلی	lineage	رده
non - invasive	غیر تعرضی	linkage	وابستگی (ژنتیکی)
norm	رسم	living organism	زیست‌مند
novelty	نوخاصگی - نوی	locus	کانون
observables	مشهودات	logical	منطقی
ommatidium	بینایی	macroevolution	مه تکامل - تکامل کلان
ontogenesis	فردزایی - پیدایش و رشد فردی	macroscale	کلان‌مقیاس
ontogenetic	فردزایانه	macroworld	مه سپهر - کلان سپهر
order	نظم	many - body	چند پیکری
order parameter	عامل نظم	measurment	سنجش - اندازه‌گیری
organism	زیست‌مند	melabolism	سوخت و ساز
output	برونداد - برون‌دهی	methodological	روش‌مندانانه
overlap	همپوشانی	micro evolution	که تکامل - تکامل خُرد
paleontolgy	دیرین‌شناسی	micromotions	حرکات خُرد
		microscale	مقیاس خُرد
		microscopically	مه‌نگرانه - از دید خُرد

reduction	کاستن - تقلیل	paradigm	اصل مسلم - اصل ازل
relaxation	واهلش - آسایش	parieto - temporal cortex	قشر چپ گیجگاهی
replication	همانند سازی	pattern	انگاره - طرح
resonance	همنوایی شدید	peak	ناوک - نوک
retrovirus	ویروس پس نورد	percolate	تراوردن - تراوش و شدن از
saddle - node	گره زینی	perturbations	اختلالات
salving	برده کشی	phenomenology	پدیدارشناسی - فرایرشناسی
selection	گزینش - انتخاب	phenotype	روبنای ژنتیکی
self - sustaining	خودابقا - خوددار	phylogenesis	پیدایش و تطور و دمان
sequence	توالی	phylum	دودمان
serial	دنباله ای	pidgin	گویش دست و پاشسته
signal	پیام	pleotrapy	تعداد روبنای ژنتیک
singular tatnum	شعور بیگانه	pluralism	کثرت گرایی
singularity	تکینگی	pognorophans	کوتوله
space & time	جای گاه	polyploid	چند نهاد
spatio - temporal	جای گاهی	positivism	مثبت گرایی
species	گونه	postmodernism	پسانوگرایی
speculation	تأمل	pre - transition	پیش گذار - پیش تبیل
spore	اسپور	prebiotic	پیش از حیات
state vactor	بردار حالت	primates	پستانداران اولیه
stationary state	حالت پایا	primordial	آغازین
steady state	حالت پایا	process	فرایند - فراگر
stochastic, random	بختانه	processing	فراوری - فرایند کرن
strategy	راهبرد	promoter	مشوق
stripe	نوار رنگ	proteinoid	پروتئین واره
structure	ساختار	quantized	کوانتیده - کوانتوم شده - منفصل
superposition	انطباق	radicalism	بنیاد گرایی
superposition	زیر دستگاه - دستگاه فرعی	radioactive	پرتوزا
switching	تغییر - تعویض	random	بختانه - هر همبیل کتره ای
syergism	همیاری	rate	آهنگ - نرخ - سرعت
synchronize	هماهنگ کردن	rationalism	عقلگرایی
syncopate	همگانی کردن	reaction	واکنش
system	دستگاه - نظام	reductionism	کاستی گرایی - تقلب گرایی
template	قالب	redundant	تکراری
terrestrial	زمینی - جهانی		
theme	موضوع		

vector	بُردار - پیکان	tone	نوا
version	وَرزه - نوع	transcription	رونویسی - نسخه برداری
viscosity	گرانروی - ویسکوزیته	transition	گذار - تبدیل
vowel	صدا دار	truncation	آبترسازی - کوتاه کردن
watercraft	وسیله حرکت بر آب	uniformitarian	وحدت گرا
wild	وحشی - طبیعی	uniformity	وحدت - یکپارچگی
zygote	تخم بارور شده	unitary	واحد - یکه
		variance	وردایی - پریشی

.....

.....

.....

.....

اروین شرودینگر، فیزیکدان نامی اتریشی و از بنیانگذاران نظریه‌ی کوانتوم، در سال ۱۹۴۳ سخنرانی‌هایی در دانشکده‌ی تثلیث (ترینیتی) ایرلند ایراد کرد که چون نگاه یک فیزیکدان به مسایل زیستی را نشان می‌داد با استقبال بسیار مواجه شد و پس از آن که به صورت کتاب انتشار یافت نیز یکی از پرتأثیرترین کتابها شد. در سال ۱۹۹۳، به مناسبت پنجاهمین سال ایراد آن سخنرانیها، در همان دانشکده همایشی بر پا شد که در آن برجسته‌ترین دانشمندان معاصر نظرات خود را درباره‌ی دیدگاه‌های شرودینگر و درباره‌ی مسأله‌ی حیات بیان کردند، و حاصل آن همایش نیز به صورت کتابی درآمد. آنچه اکنون پیش روی شماست مجموع آن هر دو کتاب است در یک مجلد، که در کل می‌تواند تصویری از پنجاه سال پیشرفت اندیشه‌ی علمی در زمینه‌ی مسأله‌ی حیات ارائه کند.

طیف خواننده: علاقه‌مندان تاریخ علم، زیست‌شناسی و فیزیک زیستی



کتاب ماد

(وابسته به نشرمرکز)

۲۲۵۰ تومان

ISBN: 964-305-634-1



9 789643 056346