Michio Kaku

PHYSICS OF THE IMPOSSIBLE

فیزیک ناممکن‌ها

بررسی علمی دنیای فیزرها | میدان‌های نیرو | دورفرستی | سفردر زمان

میچیو کاکو | ترجمه‌ی رامین رامبد

انتشارات مازیار

فیزیک ناممکن‌ها

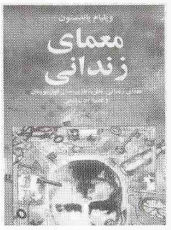
با ارائه‌ی بینشی هیجان‌انگیز از آن‌چه واقعاً در آینده می‌توانیم امید به داشتن آن داشته باشیم، *فیزیک ناممکن‌ها* ما را به سفری در مرزهای علم و ورای آن می‌برد. همه روزه شاهد آنیم که چیزهایی که روزی از سوی دانشمندان ((امکان ناپذیر)) قلمداد می‌شدند، پا به عرصه‌ی زندگی روزمره‌ی ما می‌گذارند: دستگاه‌های فکس، آسمان خراش‌های شیشه‌ای، خودروهای گازسوز، شبکه‌ی ارتباطی جهانی و قطارهای شناور تندرو. در اینجا نویسنده‌ی بنام در سطح جهان، میچیو کاکو با اطمینان مرزهای امروزین علم را در می‌نوردد و برای نخستین بار از دید یک کارشناس خبره به بررسی علم واقعی فردا می‌پردازد؛ زمینه‌ای که معمولاً قلمرو نویسندگان علمی تخیلی است. او از امکان‌پذیری علمی حرکت دایمی، میدان‌های نیرو، نامریی شدن، توپخانه‌ی پرتویی، پادگرانش و پادماده، دورفرستی، تله‌پاتی، روان جنبانی، روبات‌ها و سای‌بورگ‌ها، تندتر رفتن از نور، سفر در زمان، انرژی نقطه‌ی صفر، حیات فرازمینی، حتا نهان‌بینی پرده برمی‌دارد. وی به ما نشان می‌دهد که چگونه چندتایی از این ایده‌ها عملاً قوانین فیزیک را نقض می‌کنند. هیچ‌گاه تفاوت بین امکان‌پذیر، نامتحمل، و در شرف وقوع به این روشنی بیان نشده است.

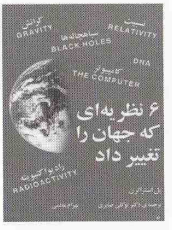
قلمرو علمی تخیلی در کجا پایان می‌پذیرد؟ واقعاً به چه چیزهایی می‌توانیم دست پیدا کنیم؟ کاکو در این کتاب قابل فهم، خواندنی و روشن‌گر می‌گوید ((هر چیزی که امکان‌ناپذیر نباشد، حتمی است!))

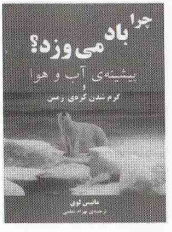
فیزیکدان بنام، دکتر میچیو کاکو، صاحب کرسی هنری سیمت در فیزیک نظری در دانشگاه سیتی نیویورک است. او نویسنده‌ی کتاب‌های پرفروش ـ *فوق فضا* و *جهان‌های موازی* از جمله نوشته‌های او هستند ـ و نویسنده‌ی برجسته‌ی دانشگاهی نیز هست، که در مجامع مختلف مورد تقدیر قرار گرفته است. دکتر کاکو در رادیو و تلویزیون هم به اجرای برنامه‌های علمی می‌پردازد.

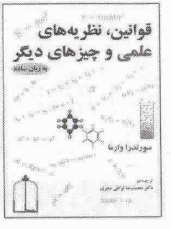
قیمت: ۱۳۵۰۰ تومان
ISBN 964-5676-92-4
9 789645 676924
انتشارات نازیار

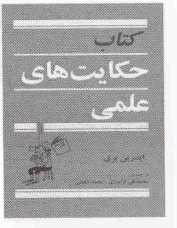
از مجموعه **قلمرو علم** منتشر شده است:

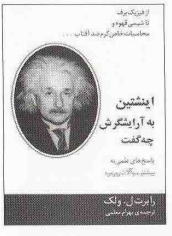


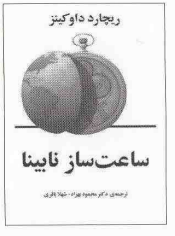


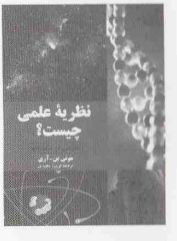


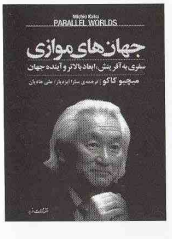


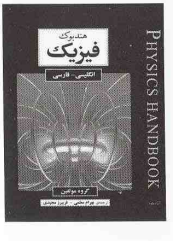


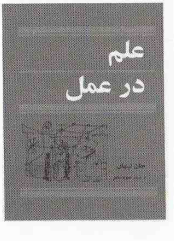


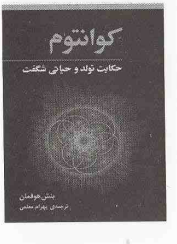


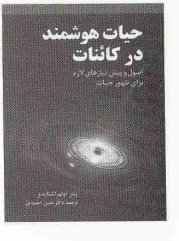












فیزیک ناممکن‌ها

بررسی علمی دنیای فیزرها، میدان‌های نیرو،
دورفرستی و سفر در زمان

میچیو کاکو

ترجمه‌ی
رامین رامبد

انتشارات مازیار

سرشناسه : کاکو، میچیو
Kaku, Michio :
عنوان و نام پدید آور : فیزیک ناممکن‌ها: بررسی علمی دنیای فیزرها، میدان‌های نیرو، دورفرستی و سفر در زمان / میچیو کاکو: ترجمه رامین رامبد
مشخصات نشر : تهران: مازیار، ۱۳۸۸.
مشخصات ظاهری : ۴۰۰ ص. ۱۴/۵ × ۲۱/۵ س م
شابک : ۹۷۸-۹۶۴-۵۶۷۶-۹۲-۴
وضعیت فهرست‌نویسی : فیپا
یادداشت : عنوان اصلی: physics of the impossible: a scientific exploration into the world of phasers, force fields, tleportation, and time travel, 2008.
یادداشت : کتابنامه
موضوع : فیزیک - مسائل متفرقه
موضوع : علوم = مسائل متفرقه
موضوع : فیزیک ریاضی - مسائل متفرقه
موضوع : فیزیک در ادبیات
موضوع : انسان و ماشین
شناسه افزوده : رامبد، رامین، ۱۳۴۵- ، مترجم
رده‌بندی کنگره : الف ۱۳۸۸ ۹ف۲ک/QC۷۵
رده‌بندی دیویی : ۵۳۰
شماره کتابشناسی ملی : ۱۹۹۵۴۵۲

www.mazyarpub.com

انتشارات مازیار

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

فیزیک ناممکن‌ها
میچیو کاکو
ترجمه‌ی رامین رامبد
چاپ سوم ۱۳۹۱
شمارگان ۱۲۰۰
طرح جلد کانون تبلیغاتی تردید
چاپ واژه
شابک ۴-۹۲-۵۶۷۶-۹۶۴-۹۷۸

فهرست مطالب

پیش‌گفتار مترجم ۷
پیش‌گفتار ۹
بخش ۱ : امکان‌پذیری‌های رده‌ی ۱
فصل ۱ : میدان‌های نیرو ۲۳
فصل ۲ : نامریی‌شدن ۳۸
فصل ۳ : فیزرها و ستارگان مرگ ۵۹
فصل ٤ : دورفرستی ۸۱
فصل ۵ : تله‌پاتی ۱۰۰
فصل ٦ : روان‌جنبانی ۱۲۱
فصل ۷ : روبات‌ها ۱۳۸
فصل ۸ : فرازمینیان و یوفوها ۱٦۵
فصل ۹ : فضاناوها ۱۹۸
فصل ۱۰ : پادماده و پادگیتی‌ها ۲۲۸
بخش ۲ : امکان‌پذیری‌های رده‌ی ۲
فصل ۱۱ : تندتر از نور ۲٤۹
فصل ۱۲ : سفر در زمان ۲۷۱
فصل ۱۳ : گیتی‌های موازی ۲۸٦
بخش ۳ : امکان‌پذیری‌های رده‌ی ۳
فصل ۱٤ : ماشین‌های حرکت دایمی ۳۱۷
فصل ۱۵ : پیش‌آگاهی ۳۳۵
پی‌گفتار - آینده‌ی امکان‌ناپذیری ۳۵۰
یادداشت‌ها ۳۷۳
کتاب‌شناسی ۳۸۹
نمایه ۳۹۱

پیش گفتار مترجم

در کتاب *چگونه درباره‌ی چیزهای عجیب بیندیشیم* (از همین مترجم و ناشر) «امکان‌ناپذیرهای فیزیکی و فنی» از جمله نکات مورد بحث درباره‌ی بررسی پدیده‌های عجیب و غریب‌اند. ایده‌های مربوط به یوفوها، تله‌پاتی، روان‌جنبانی، و گیتی‌های موازی از این قبیل موارد‌ند. چیزهایی که بیشتر در قلمرو علمی تخیلی جا می‌گیرند. خواننده آن کتاب ممکن است از خود بپرسد که بالاخره چه چیزهایی در رده‌ی این امکان‌ناپذیری‌ها قرار می‌گیرند؟ این کتاب را در واقع می‌توان پاسخی به این پرسش دانست. نویسنده که خود فیزیکدانی نامدار و صاحب سبک است و متخصص بیان علم همگانی، با بیانی شیوا به این داستان می‌پردازد. کتاب در ۲۰۰۸ به بازار عرضه شد و یکی از پرفروشترین کتاب‌های علم همگانی در سرتاسر جهان بوده است.

از نظر ترجمه نکاتی هست که باید یادآور شوم.

هر جا چیزی در {} آمده، از جانب من است، و تمام یکاهای متن اصلی به متریک تبدیل شده‌اند.

در مورد واژه‌ی «بیگ‌بنگ» باوجود اینکه می‌دانم معادل «مهبانگ» را برای آن ساخته‌اند، ترجیح دادم که آن را به همان صورت حفظ کنم تا در مقابل «بیگ کرانچ»، «بیگ فریز» و «بیگ اسپلت» یکنواختی حفظ شود. البته شاید کسی خرده بگیرد که اینها هم قابل ترجمه بود. هرچند سخن درستی است، ولی به دلایلی از این کار پرهیز کردم.

مطلب دیگر به Universe و World بر می‌گردد که آنها را به ترتیب «گیتی» و «جهان» گفته‌ام. ذکر این نکته از این جهت لازم است که

نویسنده در اینجا مبحث «گیتی‌های موازی» را پیش می‌کشد و در کتاب دیگر خود، *جهان‌های موازی* (که از سوی همین ناشر با ترجمه‌ی دیگری به زودی منتشر خواهد شد) عملا همین مطلب را تحت عنوان «جهان‌های موازی» مطرح کرده است. ناشر محترم بر یکسان‌سازی تاکید داشتند و من بر وفاداری به آنچه نویسنده نوشته. البته در صورت یکسان‌سازی با واژگانی مانند Multiverse و Many Worlds که آنها را به ترتیب بَسگیتی و جهان‌های متعدد گفته‌ام، به مشکل می‌خوردیم. خوشبختانه حرف من به کرسی نشست!

نکته‌ی آخر اینکه در برابر Silicon از «سیلیسیم» استفاده کرده‌ام. به‌تازگی در بسیاری از ترجمه‌های مطالب مربوط به کامپیوتر از «سیلیکون» استفاده می‌کنند که کاملا اشتباه است. بد نیست بدانید که «سیلیکون» تلفظ Silicone است (پلیمر سیلیسیم). برای Silicon باید به انگلیسی بگوییم «سیلیکِن». گرچه «سیلیسیم» واژه‌ی فرانسوی است، در نوشتارهای شیمی به فارسی جا افتاده است و من هم همان را به کار بردم.

در پایان، از انتشارات مازیار سپاس‌گزارم که با ایجاد مجموعه‌ی «قلمرو علم» می‌کوشد مفهوم «علم همگانی» را برای خوانندگان فارسی‌زبان هر چه بیشتر دسترس‌پذیر کند.

اینک، این شما و این سرزمین پرهیجان و شگفت‌انگیز امکان(نا)پذیری‌ها....

رامین رامبد

تهران، اسفند ۸۸

پیش گفتار

اگر ایده‌ای ابتدا مضحک به نظر نیاید، نمی‌شود به آن امید بست.

ــ آلبرت اینشتین

آیا می‌شود روزی از درون دیوارها گذشت؟ فضاپیماهایی ساخت که بتوانند تندتر از سرعت نور حرکت کنند؟ افکار دیگران را خواند؟ نامریی شد؟ اشیاء را با قدرت ذهن حرکت داد؟ بدن‌هایمان را فورا به فضای خارج از جو فرستاد؟

از هنگام کودکی، من همواره شیفته‌ی این پرسش‌ها بوده‌ام. هنگامی که بزرگ شدم، همانند بسیاری از فیزیکدان‌ها، مسحور امکان‌پذیری سفر در زمان، تفنگ‌های پرتویی، میدان‌های نیرو، جهان‌های موازی، و مانند این‌ها شدم. جادو، خیالپردازی، داستان‌های علمی تخیلی، همگی مکانی برای خیالپردازی من بوده‌اند. آن‌ها عشقبازی همیشگی من با ناممکن را فراهم ساختند.

تماشاکردن سریال قدیمی *فلش گوردون* در تلویزیون را به یاد می‌آورم. هر شنبه، میخکوب در پای تلویزیون، مجذوب ماجراهای فلش، دکتر زارکوف، و دیل آدریان، و انواع و اقسام فنّاوری‌های خیره‌کننده‌ی آینده‌گرایانه آنان می‌گشتم: سفینه‌های موشکی، سپرهای نامریی‌ساز،

تفنگ‌های پرتویی، و شهرهایی در دل آسمان. من حتا یک هفته را از دست ندادم. آن برنامه دنیای تازه‌ای را بر روی من گشود. من شیفته‌ی این اندیشه شدم که روزی با موشک به سیاره‌ای بیگانه مسافرت کنیم و به کاویدن اطراف و اکناف آن بپردازیم. با گیر افتادن در مدار این ابداعات رویایی، دریافتم که سرنوشتم به طریقی با دستاوردهای علمی نشان داده شده در آن برنامه گره خورده است.

بعدها فهمیدم که تنها من چنین نبودم. بسیاری از دانشمندان بسیار برجسته در آغاز از طریق مواجه با داستان‌های علمی تخیلی به علم علاقه‌مند شده‌اند. ستاره‌شناس بزرگ ادوین هابل شیفته‌ی کارهای ژول ورن بود. در اثر خواندن کتاب‌های ورن، هابل شغلی نان و آبدار در حقوق را رها کرد، و با پشت پا زدن به خواست پدرش، به علم پرداخت. سرانجام وی برجسته‌ترین ستاره‌شناس سده‌ی بیستم شد. خیالپردازی‌های کارل ساگان، ستاره‌شناس و نویسنده‌ی شهیر، با خواندن رمان *جان کارتر مریخی* نوشته‌ی ادگار رایس باروشعله‌ور شد. همانند جان کارتر، وی به تصورکردن کاوش سنگ‌های بهرام {مریخ} پرداخت.

روزی که آلبرت اینشتین درگذشت، کودکی بیش نبودم، ولی به خاطر دارم که مردم درباره‌ی زندگی و مرگ وی نجوا می کردند. فردایش عکسی از میز کار وی را در روزنامه، با دست‌نوشته‌ای از بزرگ‌ترین کار ـ ناتمام ـ او دیدم. از خودم پرسیدم، چه چیزی می‌تواند این‌چنین مهم باشد که بزرگ‌ترین دانشمند دوران ما نتوانست آن را به پایان برساند؟ مقاله‌ی مذکور بر این ادعا بود که اینشتین رویایی ناممکن در سر داشت، مسئله‌ای آن‌چنان دشوار که وجودی فانی قادر به اتمام آن نبود. سال‌ها طول کشید تا دریافتم آن دست‌نوشته در چه موردی بود: «نظریه‌ی همگانی» جامع و یگانه‌بخش. رویای او ـ که سه دهه‌ی آخر عمرش را بدان اختصاص داد ـ به من کمک کرد تا بر روی تصورات خودم تمرکز یابم. می‌خواستم، به طریقی ناچیز، جزئی از کوشش برای تکمیل کار اینشتین باشم، گنجاندن قوانین فیزیک در یک قانون.

با بالاتر رفتن سنم، کم‌کم پی‌بردم که گرچه فلش گوردون قهرمان بود و

همواره دل دختره را می‌برد، این دانشمنده بود که واقعا سریال تلویزیونی را می‌ساخت. بدون دکتر زارکوف خبری از موشک، سفر به مونگو، و نجات زمین نبود. قهرمان‌بازی‌ها به جای خود، ولی بدون علم چیزی به نام داستان علمی تخیلی وجود ندارد.

به این نتیجه رسیدم که این قصه‌ها بر اساس علم موجود ناممکن و تنها رویاپردازی محض بودند. بزرگ‌شدن یعنی دست‌شستن از چنین خیال‌هایی. به من گوشزد شد که در زندگی واقعی باید این ناممکن‌ها را رها کرد و سراغ شدنی‌ها رفت.

با این حال نتیجه گرفتم که اگر بخواهم به خیالپردازی‌هایم با ناممکن ادامه دهم، کلید آن در قلمرو فیزیک است. بدون بهره‌مندی از زمینه‌ای مستحکم در فیزیک پیشرفته، تا ابد درباره‌ی فنّاوری‌های آینده‌نگرانه، بدون دانستن این‌که آیا آن‌ها امکان‌پذیرند یا خیر، به حدس و گمان می‌پرداختم. دریافتم که باید توش و توان خود را صرف ریاضیات پیشرفته کنم و به فراگیری فیزیک نظری بپردازم. این همان کاری است که بدان پرداختم.

در دبیرستان برای پروژه‌ی نمایشگاه علمی، در گاراژ منزلمان یک اتم‌شکن سرهم کردم. به شرکت وستینگهاوس رفتم و ۱۶۰ کیلوگرم فولاد قراضه‌ی ترانسفورمر دست و پا کردم. طی کریسمس ۳۵ کیلومتر سیم مسی را زمین فوتبال مدرسه پیچیدم. سرانجام یک شتاب‌دهنده‌ی بتاترونی ۲٫۳ میلیون الکترون ولتی ساختم، که ۶ کیلووات توان مصرف (معادل تمام خروجی خانه‌ام) و میدانی مغناطیسی ۲۰,۰۰۰ برابر میدان مغناطیسی زمین ایجاد می‌کرد. هدفم تولید باریکه‌ای از پرتوهای گاما بود که برای ساخت پادماده توان کافی داشته باشند.

پروژه‌ی نمایشگاه علمی، من را به نمایشگاه ملی علم فرستاد و سرانجام به رویایم جامه‌ی واقعیت پوشاند، بردن بورس دانشگاه هاروارد که در آنجا نهایتا توانستم به هدفم یعنی تبدیل شدن به فیزیکدان نظری و گام گذاردن در جای پای قهرمانم، آلبرت اینشتین، نایل شوم.

امروز ایمیل‌هایی از نویسندگان علمی تخیلی و فیلمنامه‌نویسان دریافت

می‌کنم که از من می‌خواهند با بررسی محدودیت‌های قوانین فیزیک به شسته‌رفته‌کردن قصه‌های آنان کمک کنم.

«ناممکن» نسبی است

به عنوان فیزیکدان آموخته‌ام که «ناممکن» در اغلب موارد عبارتی نسبی است. به خاطر دارم که روزی آموزگارم به سواحل آفریقا و آمریکای جنوبی بر روی نقشه‌ی زمین اشاره کرد و گفت که آیا این عجیب نیست که این خطوط ساحلی کمابیش همانند قطعات پازل، با یکدیگر جور در می‌آیند؟ به گفته‌ی وی برخی دانشمندان تصور می‌کردند که شاید این‌ها روزی بخشی از یک قاره‌ی عظیم بوده‌اند. نتیجه‌گیری او چنین بود که هیچ نیرویی نمی‌توانست این دو قاره‌ی بزرگ را از هم جدا کند. چنین اندیشه‌ای ناممکن است.

در اواخر آن سال تحصیلی ما به مطالعه‌ی دایناسورها پرداختیم. آموزگارمان گفت که آیا عجیب نیست که دایناسورها میلیون‌ها سال بر روی زمین حکمفرمایی می‌کردند و یک روز همه‌ی آن‌ها از میان رفتند؟ هیچ کس نمی‌داند که چرا آن‌ها نابود شدند. برخی دیرین‌شناسان بر این باورند که شاید شهاب‌سنگی آمده از آسمان آن‌ها را از میان برداشته باشد، ولی این ناممکن است؛ این اندیشه بیش‌تر به داستان‌های علمی تخیلی می‌ماند.

امروزه می‌دانیم که قاره‌ها از طریق تکتونیک صفحه‌ای حرکت می‌کنند، و ۶۵ میلیون سال پیش شهاب‌سنگی غول‌آسا به طول ده کیلومتر احتمالا دایناسورها و بیش‌تر حیات بر روی زمین را نابود کرد. من در طول زندگی کوتاهم بارها و بارها شاهد بوده‌ام که به‌ظاهر ناممکن به فاکت علمی جا افتاده‌ای تبدیل شده است. خب آیا ناممکن است تصور کنیم که روزی بتوانیم خودمان را از یک مکان به مکانی دیگر دورفرستی (تله‌پورت) کنیم، یا فضاپیمایی بسازیم که روزی بتواند ما را به ستارگانی در فاصله‌ی چندین سال نوری دورتر ببرد؟

از نظر فیزیکدان‌های امروزی معمولا چنین شاهکارهایی ناممکن در

نظر گرفته می‌شوند. آیا می‌شود که آن‌ها در چند سده‌ی آینده ممکن شوند؟ یا در چند هزار سال، هنگامی که فنّاوری ما پیشرفته‌تر شد؟ یا در یک میلیون سال؟ به بیان دیگر، اگر به طریقی با تمدنی یک میلیون سال پیشرفته‌تر از خودمان روبه‌رو شویم، آیا فنّاوری روزمره‌ی آن‌ها در نظر ما «جادو» به‌نظر خواهد آمد؟ این یکی از پرسش‌های اساسی است که در سرتاسر این کتاب بدان پرداخته می‌شود؛ آیا چون چیزی امروز «ناممکن» است، آیا در سده‌ها یا میلیون‌ها سال آینده هم ناممکن باقی خواهد ماند؟

با در نظر گرفتن پیشرفت‌های چشمگیر علم در سده‌ی گذشته، به ویژه خلق نظریه‌ی کوانتوم و نسبیت عام، اکنون می‌توان براوردهایی تقریبی از زمان، اگر بشود، به تحقق پیوستن این فنّاوری‌های رویایی داشت. با دستیابی به نظریه‌های پیشرفته‌تر، مانند نظریه‌ی ریسمان، اکنون حتا مفاهیمی که در مرزهای علمی تخیلی قرار می‌گیرند، مانند سفر در زمان و گیتی‌های موازی، دارند از سوی فیزیکدان‌ها مورد ارزیابی دوباره قرار می‌گیرند. به پیشرفت‌های فنّاوری توجه کنید که ۱۵۰ سال پیش از سوی دانشمندان «ناممکن» نامیده شدند و اکنون بخشی از زندگی هرروزه‌ی ما هستند. در ۱۸۶۳ ژول ورن رمان *پاریس در سده‌ی بیستم* را نوشت که بیش از یک قرن گم شده بود تا آن‌که از سوی نتیجه‌ی وی پیدا شد و سرانجام در ۱۹۹٤ به چاپ رسید. داستان او آکنده از فنّاوری ناممکن اعلام‌شده در سده‌ی نوزدهم است، از جمله ماشین فکس، شبکه‌ی ارتباطات جهانی، آسمان‌خراش‌های شیشه‌ای، خودروهای بنزینی، و قطارهای شناور پرسرعت.

شگفت‌آور نیست که ورن توانسته چنین پیشگویی‌های دقیق خیره‌کننده‌ای داشته باشد چراکه وی غرق در جهان علم بود، و از اندیشه‌های دانشمندان پیرامونش نکته بر می‌داشت. بهره‌مندی ژرف از اصول دانش به وی اجازه می‌داد که چنین پیش‌بینی‌های اعجاب‌آوری داشته باشد.

بدبختانه برخی از بزرگ‌ترین دانشمندان سده‌ی نوزدهم موضعی مخالف اتخاذ کردند و تعدادی از فنّاوری‌ها را کاملا ناممکن اعلام نمودند.

لرد کلوین، شاید برجسته‌ترین فیزیکدان عصر ویکتوریا (وی در کنار ایزاک نیوتون در وست‌مینستر اَبی مدفون است)، اظهار داشت که وسایل «سنگین‌تر از هوا» مانند هواپیما ناممکن هستند. وی پرتوی ایکس را نیرنگ می‌دانست و برای رادیو آینده‌ای متصور نبود. لرد راترفورد، کاشف هسته‌ی اتم، امکان ساخت بمب اتمی را رد کرد و آن را «چرند» خواند. شیمیدانان سده‌ی نوزدهم جستجو برای کیمیا، ماده‌ی افسانه‌ای تبدیل‌کننده‌ی سرب به زر را از نظر علمی پایان‌یافته اعلام کردند. شیمی سده‌ی نوزدهم بر مبنای مصونیت بنیادی عناصر، همچون سرب، بود. اکنون اصولا با اتم‌شکن‌های امروزی می‌توانیم اتم‌های سرب را به طلا تبدیل کنیم. تصور کنید که تلویزیون‌ها، کامپیوترها، و اینترنت امروزی در سده‌ی نوزدهم تا چه اندازه رویایی به نظر می‌رسیدند.

زمانی سیاه‌چاله‌ها به صورت علمی تخیلی در نظر گرفته می‌شدند. اینشتین در ۱۹۳۹ مقاله‌ای نوشت که «اثبات می‌کرد» سیاه‌چاله‌ها هرگز نمی‌توانند تشکیل شوند. با این همه امروزه تلسکوپ فضایی هابل و تلسکوپ پرتوی ایکس چاندرا پرده از هزاران سیاه‌چاله در فضا برداشته‌اند.

دلیل این‌که این فنّاوری‌ها «ناممکن» در نظر گرفته می‌شدند این است که قوانین پایه‌ای فیزیک و علم در سده‌ی نوزدهم و بخش ابتدایی سده‌ی بیستم هنوز ناشناخته مانده بود. با توجه به عدم درک عظیم علم ، به‌ویژه در سطح اتمی، در آن دوران شگفت نیست که این پیشرفت‌ها ناممکن تصور می‌شدند.

مطالعه‌ی ناممکن

از کار روزگار، مطالعه‌ی جدی ناممکن غالبا در را بر روی حوزه‌هایی غنی و کاملا نامنتظره از علم گشوده است. مثلا کوشش بی‌ثمر و ناامیدکننده برای «ماشین حرکت دایمی» طی قرن‌ها منجر به این نتیجه شد که فیزیکدان‌ها چنین ماشینی را ناممکن در نظر بگیرند، و به اجبار پایستگی انرژی و سه قانون ترمودینامیک را فرض کنند. بدین ترتیب جستجوی

بی‌ثمر برای ساخت ماشین حرکت دایمی منجر به سربرآوردن حوزه‌ی کاملا جدید ترمودینامیک شد، که تا حدی بنای ماشین بخار، عصر ماشین، و جامعه‌ی مدرن صنعتی را پی‌ریزی کرد.

در پایان قرن نوزدهم دانشمندان تصمیم گرفتند که «ناممکن» است کره‌ی زمین میلیاردها سال عمر داشته باشد. لرد کلوین ساده‌انگارانه اظهار داشت که زمین مذاب در عرض ۲۰ تا ۳۰ میلیون سال خنک می‌شود، که در تعارض با نظرات زمین‌شناسان و زیست‌شناسان داروینی مبنی بر این‌که عمر زمین ممکن است میلیاردها سال باشد قرار داشت. با کشف نیروی هسته‌ای توسط مادام کوری و سایرین، و نشان‌دادن این‌که چگونه مرکز زمین که با واپاشی رادیواکتیو داغ می‌شود می‌تواند به واقع برای میلیاردها سال مذاب باقی بماند، سرانجام اثبات شد که ناممکن ممکن است.

نادیده‌گرفتن ناممکن می‌تواند مخاطره‌آمیز باشد. در دهه‌های ۱۹۲۰ و ۱۹۳۰ رابرت گودارد، بنیان‌گذار موشک‌سازی مدرن، از سوی کسانی که می‌اندیشیدند موشک‌ها هرگز نمی‌توانند در فضا حرکت کنند، مورد انتقادات شدید قرار گرفت. آنان به تمسخر هدف وی را حماقت گودارد نامیدند. در ۱۹۲۱ دبیران *نیویورک تایمز* نامنصفانه بر وی تاختند: «پروفسور گودارد از رابطه‌ی بین کنش و واکنش، و نیاز به چیزی بهتر از خلأ برای واکنش نسبت به آن آگاه نیست. گویی او از دانش پایه‌ای که هر روز در دبیرستان‌ها تدریس می‌شود بی‌بهره است.» آنان خشمگینانه ابراز داشتند که موشک‌ها ناممکن هستند چون در فضا هوایی برای فشارآوردن به آن وجود ندارد. بدبختانه یک حکمران به پیامدهای موشک‌های «ناممکن» گودارد پی‌برد ـ آدولف هیتلر. طی جنگ جهانی دوم پرتاب موشک‌های ظاهرا ناممکن پیشرفته‌ی V-۲ آلمان بارانی از مرگ و نابودی را بر سر لندن فرو ریخت، و تقریبا آن را به زانو درآورد.

پرداختن به ناممکن نیز چه بسا مسیر تاریخ دنیا را دگرگون ساخته است. در دهه‌ی ۱۹۳۰ خیلی‌ها، حتا اینشتین، باور داشتند که بمب اتمی «ناممکن» است. فیزیکدان‌ها بنا به معادله‌ی اینشتین $E=mc^2$ می‌دانستند که در دل هسته اتم‌ها انرژی عظیمی نهفته است، ولی انرژی آزادشده توسط

یک هسته آن‌قدر ناچیز بود که در نظر گرفته نمی‌شد. ولی فیزیکدان اتمی لیو زیلارد به یاد داستان *رهایی دنیا* نوشته‌ی اچ. جی. ولز در ۱۹۱٤ افتاد که در آن ولز ساخت بمب اتمی را پیش‌بینی کرده بود. او در آن کتاب بیان‌کرده بود که اسرار بمب اتم توسط فیزیکدانی در ۱۹۳۳ آشکار خواهد شد. زیلارد اتفاقی در ۱۹۳۲ به این کتاب برخورد. در ۱۹۳۳ دقیقا همان طور که دو دهه پیش ولز پیش‌بینی کرده بود، وی با برخورداری از ترغیب آن داستان به ایده‌ی بزرگ‌کردن نیروی تک اتم از طریق واکنش زنجیره‌ای دست یافت، بدین ترتیب انرژی شکافتن تک هسته‌ی اورانیم را می‌شود چندین تریلیون برابر کرد. سپس زیلارد به یک سری آزمایش و انجام مذاکراتی مخفیانه با اینشتین و پرزیدنت فرانکلین روزولت دست زد که سرانجام منجر به پروژه‌ی منهتن و در نهایت ساخت بمب اتم شد.

بازهم شاهدیم که مطالعه‌ی ناممکن چشم‌اندازهای کاملا جدیدی را فرا روی ما می‌گشایند، و با پس راندن مرزهای فیزیک و شیمی، دانشمندان را مجبور به تعریف‌کردن مجدد از آن‌چه «ناممکن» می‌دانند می‌کنند. به قول سر ویلیام آسلر «فلسفه‌های یک دوران، به یاوه‌های دوران بعد تبدیل شدند، و حماقتهای دیروز، به خردمندی فردا.»

فیزیکدان‌های بسیاری دلبسته‌ی این حکم مشهور تی. اچ. وایت هستند که در *پادشاه گذشته و آینده* نوشت «هر آن‌چه که ممنوع نباشد، حتمی است!» ما در فیزیک همواره به شاهد این گفته برمی‌خوریم. مادامی که قانونی فیزیکی به صراحت از پدیده‌ای جدید جلوگیری نکند، سرانجام به وجود آن پی خواهیم برد. (در جستجو برای ذرات اتمی جدید، این نکته چندین مرتبه رخ داده است. با درنوردیدن مرزهای آن‌چه که ممنوع است، فیزیکدان‌ها اغلب به شیوه‌ای نامنتظره قوانین تازه‌ی فیزیک را کشف کرده‌اند.) نتیجه‌ی بدیهی گزاره‌ی وایت را شاید بتوان چنین اظهار داشت «هر آن‌چه که امکان‌ناپذیر نباشد، حتمی است!»

مثلا استیون هوکینگ کیهان‌شناس کوشید با یافتن قانون فیزیکی تازه‌ای که سفر در زمان را قدغن می‌ساخت، و وی آن را «حدس حفاظت از گاه‌شناختی» می‌نامید، اثبات کند که سفر در زمان ناممکن است. بدبختانه

پس از سال‌ها کار دشوار، وی قادر به اثبات این اصل نشد. راستش بر خلاف آن، اکنون فیزیکدان‌ها نشان داده‌اند که قانونی که از سفر در زمان جلوگیری کند ورای ریاضیات امروزی ما قرار دارد. امروزه از آنجا که هیچ قانون فیزیکی برای جلوگیری از وجود ماشین‌های زمان وجود ندارد، فیزیکدان‌ها امکان‌پذیری آن‌ها را خیلی جدی گرفته‌اند.

هدف این کتاب پرداختن به آن فنّاوری‌هایی است که امروز «ناممکن» تصور می‌شوند ولی شاید ده‌ها یا صدها سال دیگر پیش‌پا افتاده باشند.

فعلا که اثبات شده یک فنّاوری «ناممکن» ممکن است: مفهوم دورفرستی (دست‌کم در سطح اتم‌ها). تا همین چند سال پیش فیزیکدان‌ها می‌گفتند که فرستادن یا پرتوفرستی یک شیء از یک نقطه به نقطه‌ی دیگر ناقض قوانین فیزیک کوانتومی است. راستش نویسندگان سریال اصلی *پیشتازان فضا* آن‌چنان از دست انتقادهای فیزیکدان‌ها به ستوه آمدند که «جبران‌گرهای هایزنبرگی» را وارد صحنه کردند تا شر این نقیصه را از سر دورفرست‌هایشان کم کنند. امروز به دلیل پیشرفت‌های اخیر فیزیکدان‌ها می‌توانند اتم‌ها را در طول یک اتاق یا فوتون‌ها را از زیر رود دانوب دورفرستی کنند.

پیش‌بینی آینده

همواره پیش‌بینی‌کردن اندکی خطرناک است، به‌ویژه آنهایی که مربوط به صدها یا هزاران سال آینده می‌شوند. «پیش‌بینی‌کردن بسیار دشوار است. خصوصا درباره‌ی آینده» زمانی تکیه کلام نیلز بور فیزیکدان بود. ولی مابین زمان ژول ورن و امروز تفاوتی بنیادی وجود دارد. امروز قوانین بنیادی فیزیک اصولا شناخته‌شده هستند. امروزه فیزیکدان‌ها از قوانینی اساسی آگاه‌اند که در چهل و سه مرتبه‌ی بزرگی گسترده شده‌اند، از درون پروتون گرفته تا گیتی انبساط‌یابنده. در نتیجه فیزیکدان‌ها می‌توانند با اطمینانی معقول اظهار کنند که چشم‌انداز کلی فنّاوری آینده به چه شکل خواهد بود، و بین فنّاوری‌های که فقط نامحتمل‌اند و آنهایی که واقعا ناممکن‌اند تمایز بهتری قایل شوند.

بدین ترتیب در این کتاب من چیزهای «ناممکن» را به سه دسته تقسیم می‌کنم.

نخست آنهایی که آن‌ها را *امکان‌ناپذیری‌های رده‌ی ۱* می‌نامم. این‌ها عبارت‌اند از فنّاوری‌هایی که امروز ناممکن‌اند ولی قوانین شناخته‌شده‌ی فیزیک را زیرپا نمی‌گذارند. بنابراین شاید آن‌ها در این سده یا حتا بعدی، به شکلی اصلاح شده امکان‌پذیر شوند. دورفرستی، موتورهای پادماده، شکل‌های معینی از تله‌پاتی، روان‌جنبانی، و نامریی‌شدن در این رده جا می‌گیرند.

دسته‌ی دوم را *امکان‌ناپذیرهای رده‌ی ۲* می‌نامم. این‌ها فنّاوری‌هایی هستند که درست در مرز فهم ما از جهان فیزیکی جا می‌گیرند. اگر آن‌ها به هر ترتیب امکان‌پذیر شوند، شاید بشود در مقیاس هزاران تا میلیون‌ها سال آینده به آن‌ها تحقق بخشید. این‌ها عبارت‌اند از ماشین‌های زمان، امکان‌پذیری سفر فوق فضایی، و سفر از طریق کرم‌چاله‌ها.

دسته‌ی آخر، *امکان‌ناپذیری‌های رده‌ی ۳* هستند. این‌ها فنّاوری‌های نقض‌کننده‌ی قوانین شناخته‌شده‌ی فیزیکی‌اند. شگفتا که فنّاوری‌های انگشت‌شماری در این رده جا می‌گیرند. اگر معلوم شود که این‌ها امکان‌پذیرند، تغییر بنیادی را در فهم ما از فیزیک سبب خواهند شد.

احساسم بر این است که این رده‌بندی معنا دارد، زیرا بسیاری از فنّاوری‌های علمی تخیلی که از سوی دانشمندان به عنوان کاملا ناممکن کنار گذاشته می‌شوند، در واقع برای تمدنی ابتدایی همچون ما ناممکن هستند. مثلا دیدار با فضاییان معمولا از آن رو ناممکن در نظر گرفته می‌شود که فواصل بین ستارگان بسیار گسترده است. در حالی که مسافرت بین‌ستاره‌ای آشکارا برای تمدن ما ناممکن است، چه بسا برای تمدنی صدها تا هزاران یا میلیون‌ها سال پیشرفته‌تر از ما ممکن باشد. پس رده‌بندی چنین «امکان‌ناپذیری‌هایی» با اهمیت است. فنّاوری‌هایی که برای تمدن کنونی ما ناممکن هستند الزاما برای دیگر انواع تمدن‌ها ناممکن نیستند. به هنگام صحبت درباره‌ی این‌که چه چیزی ممکن و چه چیزی

ناممکن است باید فنّاوری‌هایی را که هزاران یا میلیون‌ها سال از ما پیشرفته‌ترند نیز در نظر بگیریم.

کارل ساگان زمانی نوشت: «معنی این‌که تمدنی یک میلیون سال از ما جلوتر است چیست؟ ما تنها در چند دهه به رادیو تلسکوپ و فضاپیماها دست یافته‌ایم؛ تمدن صنعتی ما فقط چند صد سال عمر دارد... تمدنی پیشرفته با میلیون‌ها سال عمر همان اندازه از ما جلوتر است که ما از کودکی بادیه‌نشین یا میمونی جلوتریم.»

من در پژوهش‌هایم به طور حرفه‌ای بر روی کامل‌کردن رویای اینشتین برای «نظریه‌ی همه‌چیز» تمرکز دارم. شخصا کارکردن بر روی «نظریه‌ای پایانی» را که بتواند سرانجام پاسخگوی برخی از دشوارترین پرسش‌های «ناممکن» در علم امروز باشد، پرسش‌هایی همانند این‌که آیا سفر در زمان امکان‌پذیر است یا خیر، در مرکز یک سیاه‌چاله چه چیزی هست، یا پیش از بیگ‌بنگ چه رخ داده است، کاملا هیجان‌آمیز یافته‌ام. من هنوز هم رویای عشقی را سر دارم که در تمام عمر به ناممکن داشته‌ام، و می‌خواهم ببینم کی می‌شود که این ناممکن‌ها وارد زندگی هرروزه‌ی ما شوند.

بخش ۱

امکان‌ناپذیری‌های رده‌ی ۱

فصل ۱ میدان‌های نیرو

۱. وقتی دانشمندی برجسته ولی مسن می‌گوید که چیزی ممکن است، قریب به یقین راست می‌گوید. وقتی وی بگوید که چیزی ناممکن است، به احتمال زیاد اشتباه می‌کند.
۲. تنها راه کشف کردن حدود امکان‌پذیری آن است که دل به دریا بزنیم و آن‌ها را وارد امکان‌ناپذیری کنیم.
۳. بین هر فنّاوری به حد کافی پیشرفته با جادو نمی‌شود تمایز گذاشت.

ــ سه قانون آرتور سی. کلارک

«سپرها بسته!»

در بسیاری از اپیزودهای سریال تلویزیونی *پیشتازان فضا* این اولین دستور کاپیتان کِرک به خدمه است، تا با برقرارکردن سپرهای نیرو از سفینه‌ی *اینترپرایز* در برابر آتش دشمن محافظت شود.

در *پیشتازان فضا* سپرهای نیرو آن‌قدر مهم‌اند که اوج نبرد را می‌شود با این سنجید که سپرهای نیرو تا چه حد مقاومت می‌کنند. هرگاه که توان به میدان‌های نیرو کم برسد، آسیب‌دیدگی *اینترپرایز* بیش‌تر و بیش‌تر می‌شود تا جایی که چاره‌ای جز تسلیم‌شدن باقی نمی‌ماند.

این میدان نیرو چیست؟ در داستان‌های علمی تخیلی به طرزی گمراه‌کننده چیز ساده‌ای است: سدی نازک، نامریی ولی نفوذناپذیر که

می‌تواند هم لیزرها و هم موشک‌ها را منحرف کند. در نگاه نخست میدان نیرو آن‌قدر ساده به نظر می‌رسد که ساختن آن نباید دشوارتر از سپرهای معمولی باشد. می‌توان توقع داشت که روزی یک مخترع، کشف میدان نیروی تدافعی را اعلام کند. اما واقعیت پیچیده‌تر از این حرف‌هاست.

همان گونه که لامپ حبابی ادیسون تمدن مدرن را زیرورو کرد، میدان نیرو هم می‌تواند تاثیری ژرف بر هر جنبه از زندگی ما بگذارد. ارتش می‌تواند از میدان‌های نیرو برای آسیب‌ناپذیرشدن استفاده کند و سپرهایی نفوذناپذیر در برابر موشک‌ها و گلوله‌های دشمن بسازد. از لحاظ نظری می‌توان پل‌ها، ابَربزرگراه‌ها و جاده‌ها را تنها با فشار یک دکمه برپاساخت. شهرهایی کامل می‌توانند فورا از دل بیابان سر برآورند، با آسمان‌خراش‌هایی که کاملا از میدان‌های نیرو ساخته شده‌اند. میدان‌های نیرویی که بر روی شهرها ساخته‌شده باشند می‌توانند ساکنان آن‌ها را قادر سازد تا به دلخواه اثرات آب و هوایی ـ بادهای شدید، بوران‌ها، گردبادها ـ را اصلاح کنند. با گنبدی مطمئن از میدان نیرو می‌توان شهرها را در کف اقیانوس برپا ساخت. شیشه، فولاد، و ملات را می‌توان کاملا کنار گذاشت.

با همه‌ی این‌ها، ساختن میدان نیرو یکی از دشوارترین کارها در آزمایشگاه است. راستش برخی فیزیکدان‌ها بر این باورند که شاید ساخت آن، بدون دست‌بردن در خواص آن، عملا شدنی نباشد.

مایکل فارادی

مفهوم میدان‌های نیرو ریشه در کارهای دانشمند انگلیسی بزرگ سده‌ی نوزدهم مایکل فارادی دارد.

فارادی در خانواده‌ای کارگری زاده شد (پدرش آهنگر بود) و در اوایل دهه‌ی ۱۸۰۰ زندگی بخور نمیری به عنوان شاگرد صحاف داشت. فارادی جوان شیفته‌ی دستاوردهای عظیم پرده‌برداشتن از رازهای خواص دو نیروی تازه شد: الکتریسیته و مغناطیس. فارادی با تمام توانش هر آن‌چه را که در ارتباط با این مباحث بود می‌خواند و در کلاس‌های پروفسور همفری دِیوی در انستیتوی سلطنتی در لندن حاضر می‌شد.

روزی چشمان پرفسور دیوی در اثر یک حادثه‌ی شیمیایی به شدت آسیب دید و فارادی را به عنوان منشی خود استخدام کرد. فارادی اندک اندک اطمینان دانشمندان در انستیتوی سلطنتی را به خود جلب کرد و مجاز شد که خودش آزمایش‌هایی مهم را انجام دهد، هرچند اغلب بی‌اهمیت تلقی می‌شد. در طی سال‌ها پرفسور دیوی به‌طرزی فزاینده نسبت به شکوفایی دستیار جوانش، که ستاره‌ای رو به طلوع در حوزه‌ی تجربی بود و سرانجام هم شهرت دیوی را به پس پرده راند، رشک می‌برد. پس از مرگ دیوی در ۱۸۲۹ فارادی توانست با فراغ بال به دستاوردهایی شگرف دست یابد که منجر به ساخت ژنراتورهایی شد که توانستند انرژی را برای شهرها تامین کنند و مسیر تمدن جهانی را تغییر دهند.

«میدان‌های نیروی» فارادی کلید بزرگ‌ترین کشفیات او بودند. اگر کسی براده‌ی آهن را روی آهنربا بریزد درمی‌یابد که براده‌ی آهن الگویی تار عنکبوتی می‌سازد که سرتاسر فضا را پر می‌کند. این‌ها خطوط میدان فارادی‌اند که به طور ترسیمی نشان می‌دهند میدان‌های نیروی الکتریسیته و مغناطیس چگونه در فضا رخنه می‌کنند. اگر کسی مثلا میدان مغناطیسی زمین را ترسیم کند پی می‌برد که این خطوط از ناحیه‌ی قطب شمال سربرمی‌آورند و سپس در ناحیه‌ی قطب جنوب دوباره به دل زمین بازمی‌گردند. به همین نحو اگر کسی خطوط میدان الکتریکی میله‌ای برقگیر را در توفانی تندری ترسیم کند، درمی‌یابد که خطوط میدان در نوک میله‌ی برقگیر متمرکز شده‌اند. از نظر فارادی فضای تهی اصلا تهی نبود بلکه آکنده از خطوط میدانی بود که می‌توانستند اشیای دوردست را حرکت دهند. (به دلیل فقر دوران جوانی، فارادی از ریاضیات بی‌بهره بود، و در نتیجه دفترچه‌هایش نه از معادلات که پر از نمودارهای دست‌کشیده‌ی این خطوط میدان بودند. از قضا فقدان آموزش ریاضی منجر به ایجاد نمودارهای زیبایی از خطوط نیرو شد که امروز می‌شود آن‌ها را در هر کتاب درسی فیزیک پیدا کرد. در علم، تصویر فیزیکی غالبا مهم‌تر از ریاضیاتی است که برای توصیف آن به کار می‌بریم.)

تاریخ‌نویسان درباره‌ی این‌که چگونه فارادی توانست به کشف

میدان‌های نیرو، یکی از مهم‌ترین مفاهیم در تمام علوم، نایل شود گمان‌هایی زده‌اند. راستش را بخواهید، *چکیده‌ی تمام فیزیک مدرن* به زبان میدان‌های فارادی نوشته می‌شود. در ۱۸۳۱ وی به دستاوردی در میدان‌های نیرو نایل شد که برای همیشه تمدن را دگرگون ساخت. روزی وی آهنربایی کوچک را بر روی سیم‌پیچی حرکت می‌داد و متوجه شد که می‌تواند جریانی الکتریکی را در سیم، بدون این‌که آن را لمس کند، ایجاد نماید. این بدان مفهوم بود که میدان نامریی آهنربا توانسته از طریق فضای تهی الکترون‌ها در سیم هل دهد، و جریانی بسازد.

«میدان‌های نیروی» فارادی که تا پیش از این فرض می‌شد بی‌مصرف‌اند، تبدیل به نیروهای مادی واقعی شدند که می‌توانستند اشیاء را پیش برانند و توان تولید کنند. امروزه نوری که شما از آن برای خواندن این صفحه استفاده می‌کنید، احتمالا از کشف فارادی درباره‌ی الکترومغناطیس، انرژی گرفته است.

آهنربایی چرخان میدان نیرویی می‌سازد که الکترون‌ها را در سیم هل می‌دهد، و سبب می‌شود که آن‌ها در جریانی الکتریکی حرکت کنند. این الکتریسیته در سیم را سپس می‌توان برای روشن‌کردن لامپ به کار گرفت. از همین اصل برای ایجاد الکتریسیته به منظور فرستادن برق به شهرهای جهان استفاده می‌شود. مثلا آبی که از یک سد جریان پیدا می‌کند باعث چرخیدن آهنربایی عظیم در توربین می‌شود که سپس الکترون‌ها را در سیم هل می‌دهد و جریانی الکتریکی می‌سازد که از طریق سیم ولتاژ بالا به خانه‌های ما ارسال می‌شود.

به بیان دیگر میدان‌های نیروی مایکل فارادی، نیروهایی‌اند که تمدن مدرن را از بولدوزورهای برقی گرفته تا کامپیوترها، اینترنت و آی‌پادهای امروزی به پیش می‌رانند.

میدان‌های نیروی فارادی برای یک سده و نیم الهام‌بخش فیزیکدان‌ها بودند. اینشتین آن‌چنان فریفته‌ی آن شد که نظریه‌ی گرانش خود را برحسب آن‌ها نوشت. من نیز فریفته‌ی کار فارادی شدم. سال‌ها پیش من نظریه‌ی ریسمان‌ها را با موفقیت بر حسب میدان‌های نیروی فارادی

نوشتم، و در نتیجه نظریه‌ی میدان ریسمان را بنا نهادم. در فیزیک هنگامی که کسی می‌گوید «او مثل خط میدان فکر می‌کند» می‌خواهد احترام زیادی به طرف بگذارد.

چهار نیرو

در طی دو هزار سال گذشته، جداسازی و شناسایی چهار نیرویی که بر گیتی حکم می‌رانند، یکی از دستاوردهای برجسته‌ی فیزیک بوده است. همگی آن‌ها را می‌توان به زبان میدان‌های معرفی‌شده توسط فارادی توصیف کرد. با این حال بدبختانه هیچ کدام آن خواصی از میدان‌های نیرو را که در بیش‌تر داستان‌های علمی تخیلی مطرح می‌شوند ندارند. این میدان‌ها عبارت‌اند از:

۱. گرانش، نیروی بی سرو صدایی که پاهای ما را بر روی زمین نگه می‌دارد، مانع از متلاشی‌شدن زمین و ستارگان می‌شود، و منظومه‌ی خورشیدی و کهکشان را کنار هم نگه می‌دارد. بدون گرانش ما با سرعت ۱۶۰۰ کیلومتر بر ساعت توسط چرخش سیاره‌مان به فضا پرتاب می‌شدیم. مشکل در آن است که گرانش دارای خواصی کاملا متضاد با میدان‌های نیروی علمی تخیلی است. گرانش ربایشی است، نه دافعه‌ای؛ بسیار ضعیف است، به طور نسبی؛ و در فواصل عظیم و نجومی عمل می‌کند. به بیان دیگر، تقریبا متضاد با آن سد تخت، نازک، و نفوذناپذیری است که در داستانی علمی تخیلی می‌خوانیم یا در فیلمی علمی تخیلی می‌بینیم. مثلا تمام کره‌ی زمین دست‌اندرکار ربایش یک پر است، ولی ما می‌توانیم با بلندکردن همان پر با یک انگشت علیه گرانش زمین عمل کنیم. عمل انگشت ما می‌تواند گرانش کل یک سیاره را که بیش از شش تریلیون تریلیون کیلوگرم وزن دارد خنثا نماید.

۲. الکترومغناطیس(EM)، نیرویی که شهرهای ما را روشن می‌کند. لیزرها، رادیو، تلویزیون، لوازم الکترونیکی مدرن، کامپیوترها، اینترنت، الکتریسیته، مغناطیس ـ همگی پیامد نیروی الکترومغناطیس‌اند. به احتمال این پرمصرف‌ترین نیروی در خدمت بشر است. بر خلاف گرانش، این یکی می‌تواند هم ربایشی و هم دافعه‌ای باشد. با این حال، بنا به دلایلی چند به

عنوان میدان نیرو مناسب نیست. نخست، به سادگی می‌شود آن را خنثا کرد. مثلا پلاستیک و دیگر عایق‌ها به سادگی می‌تواند وارد میدان قوی الکتریکی یا مغناطیسی شوند. تکه پلاستیکی پرت‌شده در میدان مغناطیسی از دل آن می‌گذرد. دوم الکترومغناطیس در فواصل طولانی عمل می‌کند و نمی‌شود به سادگی آن را روی یک صفحه متمرکز کرد. قوانین نیروی EM توسط معادلات جیمز کِلِرک مکسول بیان می‌شود و به نظر نمی‌رسد که میدان‌های نیرو جواب این معادلات باشند.

۳ و ٤. نیروهای هسته‌ای ضعیف و قوی. نیروی ضعیف نیروی واپاشی رادیواکتیو است. این همان نیرویی است که به مرکز زمین گرما می‌بخشد، که رادیواکتیو است. این همان نیروی نهفته در پشت آتش‌فشان‌ها، زمین‌لرزه‌ها، و جابه‌جایی قاره‌ای است. نیروی قوی، هسته‌های اتم را کنار هم نگه می‌دارد. انرژی خورشید و ستارگان از نیروی هسته‌ای نشأت می‌گیرد که مسئول روشن‌کردن گیتی است. مشکل آن است که نیروی هسته‌ای نیرویی کوتاه‌برد است، و عمدتا در طول هسته عمل می‌کند. از آنجا که این نیرو چنین به خواص هسته‌ها وابسته است، دست‌کاری آن فوق‌العاده دشوار است. اکنون تنها راه دست‌کاری این نیرو متلاشی‌کردن ذرات زیراتمی در اتم‌شکن‌ها یا منفجرکردن بمب‌های اتمی است.

گرچه میدان‌های نیروی به کاررفته در علمی تخیلی چه بسا با قوانین شناخته‌شده‌ی فیزیک همخوانی نداشته باشند، کماکان گریزگاه‌های وجود دارد که شاید بتوانند ساخت یک میدان نیرو را امکان‌پذیر سازند. نخست، چه بسا نیروی پنجم هنوز نادیده‌ای در آزمایشگاه وجود داشته باشد. مثلا شاید چنین نیرویی به جای مسافت‌های نجومی، در طول چند سانتی‌متر تا چند متر عمل کند. (با این حال کوشش‌های ابتدایی برای اندازه‌گیری وجود چنین نیروی پنجمی به نتایج منفی انجامیده است.)

دوم، چه بسا بتوان از پلاسما برای بازآفرینی برخی از خواص میدان نیرو استفاده کرد. پلاسما «حالت چهارم ماده» است. جامدات، مایعات، و گازها سه حالت آشنای ماده را می‌سازند، ولی متداول‌ترین شکل ماده در گیتی پلاسماست، گازی از اتم‌های یونیده. چون دل و روده‌ی اتم‌های پلاسما از هم جدا شده‌اند، الکترون‌ها از اتم کنده‌شده‌اند، اتم‌ها از لحاظ

الکتریکی باردارند و می‌توان به سادگی آن‌ها را با میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی دست‌کاری کرد.

پلاسما فراوان‌ترین ماده‌ی مریی در گیتی است، که سازنده‌ی خورشید، ستارگان، و گاز بین‌ستاره‌ای به شمار می‌رود. پلاسماها برای ما ناآشنایند چون به ندرت بر روی زمین یافت می‌شوند، ولی ما می‌توانیم آن‌ها را به شکل آذرخش، خورشید، و درون تلویزیون پلاسما مشاهده کنیم.

پنجره‌های پلاسمایی

همان گونه که دیدیم اگر گازی به حد کافی داغ شود پلاسما شکل می‌گیرد و می‌توان آن را با میدان‌های مغناطیسی و الکتریکی قالب‌گیری کرد و شکل داد. مثلا می‌توان آن را به شکل صفحه یا پنجره درآورد. از این «پنجره‌ی پلاسمایی» می‌توان برای جداسازی خلأ از هوای عادی استفاده کرد. در اصل شاید بتوان از نشت هوای درون فضاپیما به فضای بیرون جلوگیری کرد و در نتیجه واسطی راحت و شفاف بین فضای خارجی و فضاپیما ایجاد نمود.

در مجموعه‌ی تلویزیونی *پیشتازان فضا* از چنین میدان نیرویی برای جداسازی عرشه‌ی شاتل، که شامل سفینه‌های کوچک‌تری است، از خلأ فضای بیرونی استفاده می‌شود. این نه تنها شیوه‌ای زیرکانه برای صرفه‌جویی در هزینه‌هاست بلکه وسیله‌ای هم هست که ساخت آن امکان‌پذیر است.

پنجره‌ی پلاسمایی در ۱۹۹۵ توسط آدی هرش‌کوویچ فیزیکدان در آزمایشگاه ملی بروک‌هیون در لانگ آیلند اختراع شد. وی آن را برای حل مشکل جوشکاری فلزات با استفاده از باریکه‌های الکترونی ساخت. در مشعل جوشکاری استیلن از گاز داغ برای ذوب کردن و سپس جوش‌دادن دو تکه فلز استفاده می‌شود. ولی با باریکه‌ای از الکترون‌ها می‌توان فلزات را تندتر، تمیزتر، و ارزان‌تر از روش‌های متداول جوش داد. با این حال مشکل جوشکاری با باریکه‌ی الکترونی، نیاز به کار در خلأ دارد. این

نیازمندی دردسرساز است، چون به معنی ساخت جعبه‌ی خلئی است که چه بسا به بزرگی یک اتاق باشد.

دکتر هرش‌کوویچ برای حل این مشکل دست به اختراع پنجره‌ی پلاسمایی زد. فقط با ۹۰ سانتی‌متر درازا و کم‌تر از ۳۰ سانتی‌متر قطر، پنجره‌ی پلاسمایی گاز را تا ۶۶۰۰°C داغ می‌کند و پلاسمایی محصورشده با میدان‌های مغناطیسی و الکتریکی می‌سازد. مانند هر گازی این ذرات فشاری اعمال می‌کنند که مانع از ورود هوا به درون محفظه‌ی خلأ می‌شود و لذا هوا را از خلأ جدا می‌کند. (وقتی از گاز آرگون استفاده شود، پلاسما درخششی آبی‌رنگ پیدا می‌کند، مانند میدان نیرو در *پیشتازان فضا*.)

پنجره‌ی پلاسمایی در سفر فضایی و صنعت کاربردهایی گسترده دارد. در بسیاری اوقات فرایندهای تولیدی نیازمند خلأ برای انجام ساخت‌های میکرویی و حکّاری خشک در مقاصد صنعتی‌اند، ولی کارکردن در خلأ می‌تواند گران از آب درآید. اما با پنجره‌ی پلاسمایی می‌توان با فشردن یک دکمه خلأ را به ارزانی برقرار کرد.

ولی آیا پنجره‌ی پلاسمایی می‌تواند به عنوان سپری نفوذناپذیر هم به کار گرفته شود؟ آیا می‌تواند در برابر گلوله‌ی توپ از پا نیفتد؟ می‌توان پنجره‌ی پلاسمایی با توان و دمای به حد کافی بیش‌تری را در آینده تصور کرد که می‌تواند گلوله‌های پرتاب‌شده را ناکار یا تبخیر کند. ولی برای ساخت میدان نیرویی واقع‌گرایانه‌تر، مانند آنهایی که در علمی تخیلی یافت می‌شوند، نیازمند ترکیبی از چندین فنّاوری هستیم که ساختاری لایه‌ای داشته باشند. شاید هر لایه به تنهایی فاقد قدرت کافی برای متوقف نمودن گلوله توپ باشد ولی ترکیب آن‌ها ممکن است که از پس کار برآید.

لایه‌ی بیرونی می‌تواند پنجره‌ی پلاسمایی ابرباردار با دماهای به حد کافی بالا برای تبخیر فلزات باشد. لایه‌ی دوم می‌تواند پرده‌ای از باریکه‌های لیزر پرانرژی باشد. این پرده متشکل از هزاران باریکه‌ی متقاطع لیزر، شبکه‌ای می‌سازد که می‌تواند اشیایی عبوری از آن را چنان داغ کند که تبخیر شوند. در فصل بعدی به لیزرها خواهم پرداخت.

و در پس این پرده‌ی لیزری می‌توان شبکه‌ای از جنس «نانولوله‌های

کربنی» تصور کرد، لوله‌هایی نازک از اتم‌های منفرد کربن به ضخامت یک اتم که به مراتب از فولاد محکم‌ترند. گرچه رکورد فعلی جهانی برای درازای نانولوله‌ی کربنی تنها در حدود ۱۵ میلی‌متر است، می‌توان روزی را تصور کرد که شاید قادر باشیم نانولوله‌های کربنی را با درازای دلخواه تولید کنیم. با این فرض که بشود نانولوله‌های کربنی را به صورت یک شبکه به هم بافت، می‌توان از آن‌ها صفحه‌ای بسیار قدرتمند تهیه کرد که بیش‌تر اشیاء را دفع کنند. این صفحه نامریی خواهد بود، چون هر نانولوله‌ی کربنی در ابعاد اتمی است، ولی شبکه‌ی نانولوله‌ی کربنی قوی‌تر از هر ماده‌ی متداول خواهد بود.

پس با ترکیب‌کردن پنجره‌ی پلاسمایی، پرده‌ی لیزری، و صفحه‌ی نانولوله‌ی کربنی شاید بتوان ساخت دیواری نامریی را تصور کرد که نمی‌شود به آن تقریبا با هر شیوه‌ای رخنه کرد.

ولی این سپر چندلایه نیز هنوز کاملا خواص میدان نیروی علمی تخیلی را برآورده نمی‌سازد ـ زیرا شفاف است و لذا نمی‌تواند باریکه‌ی لیزر را متوقف کند. در نبردی با توپخانه‌ی لیزری، سپر چندلایه به درد نمی‌خورد.

برای متوقف‌کردن باریکه‌ی لیزری، لازم است که سپر از نوعی «فوتوکروماتیک» پیشرفته برخوردار باشد. این همان فرایندی است که در عینک‌های آفتابی که خودبه‌خود در معرض تابش UV تیره می‌شوند به کار می‌رود. فوتوکروماتیک بر اساس مولکول‌هایی است که می‌توانند دست‌کم در دو حالت وجود داشته باشند. در یک حالت مولکول شفاف است. ولی هنگامی که در معرض تابش UV (فرابنفش) قرار بگیرد فورا به حالت دوم که کدر است می‌رود.

شاید روزی بتوانیم از نانوفنّاوری برای ساخت ماده‌ای به سختی نانولوله‌های کربنی که خواص اپتیکی خود را در معرض نور لیزر تغییر دهد، استفاده کنیم. بدین ترتیب شاید چنین سپری قادر به متوقف‌کردن پرتابه‌های لیزری و نیز باریکه‌ی ذرات یا آتش توپخانه باشد. با این حال اکنون فوتوکروماتیکی که بتواند باریکه‌های لیزر را متوقف کند در دسترس نیست.

شناوری مغناطیسی

در داستان‌های علمی تخیلی، میدان‌های نیرو سوای منحرف‌کردن پرتابه‌های تفنگ پرتویی وظیفه‌ی دیگری هم دارند: سکویی برای غلبه بر گرانش. در فیلم *بازگشت به آینده* مایکل جی. فاکس روی «تخته هوایی» سوار می‌شود، که شبیه اسکیت بورد است ولی با این فرق که بر روی خیابان شناور می‌ماند. با در نظر گرفتن قوانین فیزیکی که امروزه از آن‌ها آگاهیم (که در فصل ۱۰ خواهیم دید) چنین وسیله‌ی پادگرانشی امکان‌ناپذیر است. ولی شاید در آینده تخته هوایی‌ها و ماشین هوایی‌ها به واقعیت بپیوندند و به ما امکان دهند که اشیای بزرگ را به دلخواه شناور سازیم. اگر در آینده «ابررساناهای دمای اتاق» واقعیت پیدا کنند، شاید بتوان اشیاء را با استفاده از قدرت میدان‌های نیروی مغناطیسی شناور ساخت.

چنان‌چه دو میله‌ی آهنربا را از سمت قطب‌های شمال در کنار هم بگذارید یکدیگر را دفع می‌کنند. (اگر میله را بچرخانیم طوری که قطب شمال یکی نزدیک قطب جنوب دیگری قرار گیرد، آن‌گاه دو آهنربا هم‌دیگر را می‌ربایند.) از همین اصل، که قطب‌های شمال هم‌دیگر را می‌رانند، می‌توان برای بلندکردن بارهای سنگین از روی زمین استفاده کرد. تاکنون چندین کشور قطارهای پیشرفته‌ی شناوری مغناطیسی (قطارهای maglev) را ساخته‌اند که با استفاده از آهنرباهای عادی درست در بالای ریل به هوا بر می‌خیزند. به دلیل برخورداری از اصطکاک صفر، آن‌ها می‌توانند به سرعت‌هایی رکوردشکن بر روی بالشتکی از هوا دست یابند.

در ۱۹۸٤ نخستین سیستم مَگلِو خودکار تجاری در بریتانیا عملیاتی شد که بین فرودگاه بین‌المللی بیرمینگهام و ایستگاه قطار بین‌المللی بیرمینگهام رفت و آمد می‌کرد. قطارهای مگلو در آلمان، ژاپن، و کره نیز ساخته شده‌اند، هرچند همگی آن‌ها برای سرعت‌های بالا طراحی نشده بودند. خط نمایشی «تکه‌ی عملیاتی مقدماتی» (IOS) در شانگهای نخستین قطار مگلو تجاری پرسرعت است که با بیشینه سرعت ٤۲۹ کیلومتر بر ساعت

حرکت می‌کند. قطار مگلو ژاپن در یاماناشی به سرعت ۵۷۸ کیلومتر بر ساعت می‌رسد که حتا از قطارهای چرخدار معمولی نیز تندتر است.

ولی این وسایل مگلو فوق‌العاده گران‌اند. یک راه برای افزایش کارایی استفاده از ابررساناهاست که وقتی تا نزدیک صفر مطلق خنک شوند تمام مقاومت الکتریکی خود را از دست می‌دهند. ابررسانایی در ۱۹۱۱ توسط هایکه اونز کشف شد. اگر موادی خاصی تا ۲۰ K بالای صفر مطلق خنک شوند تمام مقاومت الکتریکی را از دست می‌دهند. معمولا وقتی دمای فلزی را کم می‌کنیم، مقاومت آن اندک اندک کاهش می‌یابد. (دلیلش آن است که ارتعاشات تصادفی اتم باعث دشوارشدن جریان‌یافتن الکترون‌ها در سیم می‌شود. با کاهش دما این حرکت‌های تصادفی کاهش می‌یابند، لذا الکتریسیته با مقاومت کمتری جریان می‌یابد.) ولی اونز با کمال شگفتی دریافت که در دمایی بحرانی مقاومت موادی خاص ناگهان به صفر می‌رسد.

فیزیکدان‌ها فورا به اهمیت این نتیجه پی بردند. خطوط نیرو با انتقال الکتریسیته در مسافت‌های زیاد مقدار چشمگیری انرژی تلف می‌کنند. ولی چنان‌چه بشود تمام مقاومت را از میان برداشت، توان الکتریکی را می‌توان تقریبا به رایگان انتقال داد. راستش اگر الکتریسته در چنین سیم‌پیچی به جریان در بیاید، بدون هیچ کاهشی در انرژی، برای میلیون‌ها سال به جریان‌یافتن ادامه می‌دهد. گذشته از آن با اندکی کوشش از جانب این جریان‌های الکتریکی عظیم می‌شود آهنرباهایی با توان باورنکردنی ساخت. با این آهنرباها می‌توان به سادگی بارهای بسیار سنگین را بلند کرد.

با وجود این توان اعجاب‌انگیز، مشکل ابررسانایی در آن است که خوطه‌وری آهنرباهای بزرگ در حوضچه‌های مایع فراسرد بسیار هزینه‌بردار است. برای ابرسرد نگه داشتن مایعات نیاز به تاسیسات عظیم خنک‌سازی هست، که به دلیل گرانی مانع از بهره‌گیری از آهنرباهای ابررسانا می‌شود.

اما چه بسا روزی فیزیکدان‌ها بتوانند «ابررساناهای دما اتاق»، کیمیای فیزیکدان‌های حالت جامد، را بسازند. اختراع ابررساناهای دمای اتاق در

آزمایشگاه جرقه‌ی دومین انقلاب صنعتی را خواهد زد. میدان‌های مغناطیسی قوی که بتوانند خودروها و قطارها را بلند کنند چنان ارزان می‌شوند که شاید ساخت خودروهای شناور با صرفه شود. با داشتن ابررساناهای دمای اتاق، خودروهای پروازی مشاهده‌شده در *بازگشت به آینده*، *گزارش اقلیت*، و *جنگ ستارگان* شاید پا به واقعیت بگذارند.

اصولا می‌شود کمربندی از جنس آهنرباهای ابررسانا درست کرد که بتوانند شخص را بدون کمترین تلاش از زمین بلند کنند. با چنین کمربندی هرکسی می‌تواند همچون سوپرمن به پرواز درآید. ابررساناهای دمای اتاق آن‌چنان چشمگیرند که در بسیاری از داستان‌های علمی تخیلی (مانند مجموعه‌ی *دنیای حلقه‌ای* نوشته‌ی لری نیون در ۱۹۷۰) حضور دارند.

برای دهه‌ها فیزیکدان‌ها بدون موفقیت به دنبال ابررساناهای دمای اتاق بوده‌اند. با آزمودن یک ماده پس از دیگری، این فرایندی خسته‌کننده و بگیر نگیر بوده است. ولی در ۱۹۸۶ رده‌ی جدیدی از مواد موسوم به «ابررساناهای دمای بالا» یافت شدند که در حوالی ۹۰ درجه بالای صفر مطلق، یا ۹۰ K، تبدیل به ابررسانا می‌شدند. گویی قفل کار برداشته شد. هر ماه فیزیکدان‌ها به شکستن رکورد جهانی دیگری برای ابررسانایی دست می‌زدند. برای مدتی کوتاه چنین به نظر رسید که امکان‌پذیری ابررساناهای دمای اتاق پا را از علمی تخیلی به زندگی روزمره بیرون خواهند گذاشت. ولی پس از چند سال حرکت با سرعت رکوردشکن، پژوهش در ابررساناهای دمای اتاق از تب و تاب افتاد.

اکنون رکورد جهانی برای ابررساناهای دمای بالا مربوط به ماده‌ای به نام جیوه تالیم باریم کلسیم مس اکسید است که در ۱۳۸ K (۱۳۵ °C-) ابررسانا می‌شود. این دمای به نسبت زیاد هنوز هم با دمای اتاق فاصله‌ی درازی دارد. ولی این رکورد ۱۳۸ K کماکان با اهمیت است. نیتروژن در ۷۷K مایع می‌شود و نیتروژن مایع قیمتی در حدود شیر دارد. بنابراین نسبتا با هزینه‌ی کم می‌توان از نیتروژن مایع معمولی برای خنک‌کردن

ابررساناهای دمای بالا استفاده کرد. (البته ابررساناهای دمای اتاق اصلا نیازی به خنک‌کردن ندارند.)

در حال حاضر به طرزی شرم‌آور هیچ نظریه‌ای برای تشریح خواص ابررساناهای دمای بالا وجود ندارد. راستش یک جایزه‌ی نوبل فیزیک منتظر آن فیزیکدانی است که بتواند چگونگی کارکرد ابررساناهای دمای بالا را توضیح دهد. (ابررساناهای دمای بالا از اتم‌های قرارگرفته در لایه‌های مشخص تشکیل می‌شوند. بسیار از فیزیکدان‌ها این نظریه را مطرح کرده‌اند که این لایه‌بندی ماده‌ی سرامیکی است که سبب می‌شود الکترون‌ها آزادانه بین هر لایه جریان پیدا کنند و ابررسانایی را بسازند. ولی کارکرد دقیق هنوز هم یک راز است.)

بدبختانه به دلیل این ناآگاهی، فیزیکدان‌ها برای پژوهش ابررساناهای دمای بالای جدید کورمال به پیش می‌روند. این بدان معناست که ابررساناهای افسانه‌ای دمای اتاق شاید فردا یا سال آینده کشف شوند یا هیچ‌گاه نشوند. هیچ‌کس نمی‌داند که چه هنگام امکان دارد چنین ماده‌ای یافت شود.

ولی در صورت کشف ابررساناهای دمای اتاق موجی از کاربردهای تجاری به راه خواهد افتاد. میدان‌های مغناطیسی یک میلیون بار قوی‌تر از میدان مغناطیسی زمین (که ۰٫۵ گاوس است) می‌توانند فراگیر شوند.

یک ویژگی مشترک ابررسانایی، اثر مایسنر نامیده می‌شود. چنان‌چه آهنربایی بر روی ابررسانا قرار داده شود، آهنربا شناور می‌شود، گویی نیرویی نامریی آن را در بالا نگه می‌دارد. (دلیل اثر مایسنر آن است که آهنربا می‌تواند یک آهنربای «تصویر آینه‌ای» در ابررسانا ایجاد کند، به گونه‌ای که آهنربای اصلی و آهنربای تصویر آینه‌ای یکدیگر را دفع می‌کنند. شیوه‌ی دیگر توصیف این پدیده آن است که میدان‌های مغناطیسی نمی‌توانند به درون ابررسانا نفوذ کنند. در عوض میدان‌های مغناطیسی از آن رانده می‌شوند. پس اگر آهنربایی در بالای ابررسانا نگه‌داشته شود، خطوط نیروی آن توسط ابررسانا دفع می‌شوند، و لذا خطوط نیرو آهنربا را به بالا رانده و سبب شناوری آن می‌شوند.)

با بهره‌گیری از اثر مایسنر می‌توان تصور کرد که در آینده بزرگراه‌ها از این سرامیک‌های ویژه ساخته می‌شوند. بنابراین آهنرباهای کارگذاشته شده در کمربندها یا تایرها می‌توانند ما را قادر سازند که بدون اصطکاک یا افت انرژی، تا مقصد به طور مغناطیسی پرواز کنیم.

اثر مایسنر تنها بر روی مواد مغناطیسی مانند فلزات تاثیر می‌گذارد. ولی می‌شود از آهنرباهای ابرمغناطیسی برای شناورسازی مواد نامغناطیسی، موسوم به پارامغناطیس‌ها و دیامغناطیس‌ها نیز استفاده کرد. این ترکیبات به خودی خود فاقد خواص مغناطیسی‌اند؛ آن‌ها خواص مغناطیسی را تنها در حضور میدان مغناطیسی خارجی به دست می‌آورند. پارامغناطیس‌ها توسط آهنرباهای خارجی جذب می‌شوند، حال آن‌که دیامغناطیس‌ها از آن رانده خواهند شد.

مثلا آب دیامغناطیس است. از آنجا که تمام موجودات زنده از آب ساخته شده‌اند، آن‌ها می‌توانند در حضور میدان مغناطیسی نیرومند شناور شوند. دانشمندان توانسته‌اند در میدان مغناطیسی ۱۵ تسلا (۳۰,۰۰۰ برابر میدان زمین) جانوران کوچک، مانند قورباغه، را شناور کنند. ولی اگر ابررساناهای دمای اتاق به واقعیت بپیوندند، امکان دارد که اشیای نامغناطیسی بزرگ‌تر را نیز از طریق خاصیت دیامغناطیسی آن‌ها شناور ساخت.

خلاصه آن‌که میدان‌های نیرویی که به طور معمول در علمی تخیلی مطرح می‌شوند، در توصیف چهار نیروی موجود در گیتی نمی‌گنجند. با این حال چه بسا بشود بسیاری از خواص میدان‌های نیرو را با استفاده از سپری چندلایه، متشکل از پنجره‌های پلاسما، پرده‌های لیزر، و فوتوکروماتیک شبیه‌سازی کرد. ولی ساختن چنین سپری شاید چندین دهه یا یک سده طول بکشد. و اگر بتوان به ابررساناهای دمای اتاق دست یافت، شاید بشود همانند فیلم‌های علمی تخیلی از میدان‌های مغناطیسی قوی برای شناورسازی خودروها و قطارها، و به پرواز درآوردن آن‌ها در هوا استفاده کرد.

با توجه به تمام این موارد، من میدان‌های نیرو را در امکان‌ناپذیری

رده‌ی ۱ جا می‌دهم ـ یعنی چیزی که با فنّاوری امروز ناممکن است، ولی در حدود یک سده و اندی به شکلی اصلاح‌شده امکان‌پذیر خواهد بود.

فصل ۲ نامریی‌شدن

وقتی خیالبافی شما تیره و تار است نمی‌توانید به چشمانتان تکیه کنید.

ــ مارک تواین

در *پیشتازان فضا ٤: سفر به منزل*، خدمه‌ی *اینترپرایز* موفق به ربودن یک سفینه‌ی جنگی کلینگتون می‌شوند. بر خلاف فضاپیماهای ناوگان ستاره‌ای فدراسیون، سفینه‌های امپراتوری کلینگتون به «وسیله‌ی پوشاننده‌ی» مخفی‌ای مجهزند که آنان را در برابر نور یا رادار نامریی می‌کند، به طوری که فضاپیماهای کلینگتون می‌توانند مخفیانه به پشت سر سفینه‌های فدراسیون بروند و با خیال آسوده به آن‌ها شبیخون بزنند. این وسیله‌ی پوشاننده مزیتی استراتژیک را نصیب امپراتوری کلینگتون در برابر فدراسیون سیاره‌ها می‌کند.

آیا به راستی چنین وسیله‌ای امکان‌پذیر است؟ مدت‌های مدیدی است که از صفحات *مرد نامریی* گرفته تا شنل نامریی‌ساز جادویی کتاب‌های *هری پاتر*، یا حلقه‌ی *ارباب حلقه‌ها*، نامریی‌شدن به یکی از شگفتی‌های علمی تخیلی و خیالپردازی تبدیل شده است. با این حال دست‌کم یک سده است که فیزیکدان‌ها امکان‌پذیری شنل‌های نامریی‌ساز را مردود می‌شمارند، و قاطعانه می‌گویند که آن‌ها ناممکن‌اند: آن‌ها قوانین اپتیک را

نقض می‌کنند و با هیچ‌کدام از خواص شناخته‌شده‌ی ماده همخوانی ندارند.

ولی امروزه بعید نیست که ناممکن تبدیل به ممکن شود. پیشرفت‌های تازه در مورد «متامواد» منجر به بازنگری‌هایی عمده در کتاب‌های درسی اپتیک شده است. پیش‌نمونه‌های عملیاتی چنین موادی واقعا در آزمایشگاه ساخته شده‌اند، و علاقه‌ای شدید را در رسانه‌ها، صنعت، و ارتش برای نامریی‌ساختن مریی به راه انداخته‌اند.

نامریی‌شدن در طول تاریخ

شاید نامریی‌شدن یکی از قدیمی‌ترین مفاهیم در اسطوره‌های باستان باشد. از آغاز تاریخ مدون، آدمهایی که شبی وهمناک را به تنهایی به سر می‌کردند در اندیشه‌ی ارواح نامریی مردگانی که در تاریکی پرسه می‌زدند، از ترس به خود لرزیده‌اند. قهرمان یونانی پرسیوس توانست به یاری کلاهخود نامریی‌ساز شر مدوسای دیوصفت را کم کند. فرماندهان نظامی در رویای وسیله‌ی پوشاننده‌ی نامریی‌سازی به سر می‌برند. سربازان نامریی‌شده می‌توانند به سادگی از خطوط دشمن بگذرند و آنان را غافلگیر کنند. جنایتکاران می‌توانند با نامریی‌شدن دست به سرقت‌های خیره‌کننده بزنند.

نامریی‌شدن نقشی اساسی در نظریه‌ی پرهیزکاری و اخلاق افلاطون دارد. افلاطون در شاهکار فلسفه‌ی خود، *جمهور*، به نقل اسطوره‌ی انگشتر گایگس می‌پردازد. گایگس که چوپانی فقیر ولی ساده دل اهل لیدیاست وارد غاری مخفی می‌شود و گوری را با جسدی انگشتری زرین به دست، پیدا می‌کند. گایگس در می‌یابد که انگشتر زرین از قدرت جادویی نامریی‌ساختن وی برخوردار است. به‌زودی این چوپان بی‌چیز از قدرتی که انگشتر به او می‌دهد سرمست می‌شود. پس از ورود مخفیانه به قصر پادشاه، گایگس با بهره‌گیری قدرت خود ملکه را می‌فریبد، به یاری او پادشاه را می‌کشد و بر تخت فرمانروایی لیدا تکیه می‌زند.

نتیجه‌ی اخلاقی مد نظر افلاطون آن است که هیچ انسانی نمی‌تواند در

برابر وسوسه‌ی برخورداری از توانایی ناپدیدشدن و کشتن به اراده مقاومت به خرج دهد. تمامی انسان‌ها فسادپذیرند. اخلاق عبارت است از ساختی جامعوی که از بیرون تحمیل می‌شود. شاید انسان در اجتماع برای حفظ شرافت و صداقت خود به ظاهر پرهیزگار به نظر آید، ولی به محض کسب قدرت نامریی‌شدن، بهره‌گیری از چنین توانایی مقاومت‌ناپذیر خواهد بود. (برخی بر این باورند که این پرهیزگاری الهام‌بخش جی. آر. آر. تولکین در نوشتن سه‌گانه‌ی *ارباب حلقه‌ها* بوده است، که در آن حلقه‌ای هست که فرد به دست‌کننده را نامریی می‌سازد و منبع شر نیز به شمار می‌رود.)

نامریی‌شدن مفهومی متداول در علمی تخیلی نیز هست. در مجموعه‌ی *فلش گوردون* در دهه‌ی ۱۹۳۰، فلش برای فرار از دست جوخه‌ی اعدام مینگ سنگدل نامریی می‌شود. در قصه‌ها و فیلم‌های *هری پاتر*، هری شنلی مخصوص می‌پوشد که به وی امکان می‌دهد بدون دیده‌شدن از دژ هاگوارتز بیرون بزند.

اچ. جی. ولز بیش‌تر این اسطوره را در رمان کلاسیک *مرد نامریی* در قالبی ملموس قرار داده است؛ در این داستان یک دانشجوی پزشکی اتفاقی به قدرت بعد چهارم دست می‌یابد و نامریی می‌شود. بدبختانه وی از این قدرت رویایی برای سود شخصی استفاده می‌کند و دست به خلافکاری‌های بی‌اهمیت می‌زند، و سرانجام ناامیدانه به هنگام گریز از دست پلیس جان می‌سپارد.

معادلات مکسول و راز نور

تا هنگام کار فیزیکدان اسکاتلندی جیمز کلرک مکسول، یکی از غول‌های فیزیک سده‌ی نوزدهم، فیزیکدان‌ها درک درستی از قوانین اپتیک نداشتند. مکسول به نوعی در نقطه مقابل مایکل فارادی قرار داشت. در حالی که فارادی بدون هیچ آموزش رسمی، از غریزه‌ی تجربی محشری برخوردار بود، مکسول، هم دوره‌ی فارادی، در ریاضیات پیشرفته استاد بود. وی به

عنوان دانشجوی ریاضی فیزیک در کمبریج دانش آموخت، جایی که ایزاک نیوتون دو سده پیش کار خود را انجام داده بود.

نیوتون دست به ابداع حسابگان زد که بر حسب زبان «معادلات دیفرانسیل» بیان می‌شود و شرح می‌دهد که چگونه اشیاء به آرامی دستخوش تغییرات ناچیز در فضا و زمان می‌شوند. حرکت موج‌های دریا، سیالات، گازها، گلوله‌ی توپ را می‌توان به زبان معادلات دیفرانسیل توصیف کرد. مکسول با هدفی روشن کار را آغاز کرد؛ تشریح یافته‌های انقلابی فارادی و میدان‌های نیروی او از طریق معادلات دیفرانسیل دقیق.

مکسول با این کشف فارادی شروع کرد که میدان‌های الکتریکی را می‌شود به میدان‌های مغناطیسی تبدیل کرد و برعکس. وی ترسیمات فارادی از میدان‌های نیرو را گرفت و آن‌ها را به زبان دقیق معادلات دیفرانسیل بازنویسی کرد، و یکی از مهمترین مجموعه معادلات در علم مدرن را ایجاد نمود. این‌ها مجموعه‌ای از هشت معادله‌ی دیفرانسیل با هیبتی ترسناک‌اند. هر فیزیکدان و مهندسی در دنیا وقتی می‌خواهد درس الکترومغناطیس را بگذارند باید سر آن‌ها کلی عرق بریزد.

سپس مکسول از خودش سؤالی سرنوشت‌ساز پرسید: اگر میدان‌های مغناطیسی بتوانند به میدان‌های الکتریکی و برعکس تبدیل شوند، چنان‌چه گویی در الگویی پایان‌ناپذیر به هم تبدیل می‌شوند، چه پیش می‌آید؟ مکسول دریافت که این میدان‌های الکتریکی ــ مغناطیسی موجی ایجاد خواهند کرد، خیلی شبیه به موج دریا. او سرعت این موج‌ها را محاسبه کرد و با شگفتی دریافت که مقدار آن همان سرعت نور است! در ۱۸٦٤ با کشف این فاکت، وی پیشگویانه نوشت: «این سرعت چنان به مقدار نور نزدیک است که انگار قاطعانه می‌توانیم نتیجه بگیریم که خود نور... یک آشفتگی الکترومغناطیسی است.»

شاید این یکی از بزرگترین کشف‌ها در تاریخ بشر باشد. سرانجام برای نخستین بار راز نور افشا شد. مکسول ناگهان دریافت که هر چیزی از درخشش طلوع، زبانه‌های غروب، رنگهای خیره‌کننده‌ی رنگین‌کمان گرفته تا گنبد مینای ستارگان آسمان را می‌توان بر حسب موج‌هایی که وی بر

صفحه‌ی کاغذ نوشته بود، توصیف کرد. امروز می‌دانیم که تمام طیف الکترومغناطیسی ـ از رادار گرفته تا تلویزیون، نور فروسرخ، نور مریی، نور فرابنفش، پرتوهای ایکس، میکروموج‌ها، و پرتوهای گاما ـ چیزی جز موج‌های مکسول نیستند، که به نوبه‌ی خود میدان‌های نیروی مرتعش فارادی‌اند.

اینشتین درباره‌ی اهمیت معادلات مکسول نوشت که آن‌ها «ژرف‌ترین و ثمربخش‌ترین چیزی‌اند که فیزیک از هنگام نیوتون تجربه کرده است.»

(از بخت بد، مکسول یکی از برجسته‌ترین فیزیکدان‌های سده‌ی نوزدهم، در سن پایین چهل و هشت سالگی از سرطان معده درگذشت، شاید همان بیماری که مادرش را در همان سن کشته بود. چه بسا اگر وی بیش‌تر زنده می‌ماند، می‌توانست کشف کند که معادلاتش آشفتگی فضا-زمان را نیز مجاز می‌دارند که مستقیما به نظریه‌ی نسبیت خاص اینشتین می‌انجامد. درک این نکته تکان‌دهنده است که اگر مکسول زنده می‌ماند بعید نبود که نسبیت در زمان جنگ داخلی آمریکا کشف شود.)

نظریه‌ی نور مکسول و نظریه‌ی اتمی توصیفاتی ساده برای اپتیک و نامریی‌شدن فراهم می‌کنند. در جامد اتم‌ها به هم فشرده شده‌اند، در حالی که در مایع یا گاز مولکول‌ها فاصله‌ی بسیار بیش‌تری دارند. بیش‌تر جامدات به این دلیل کدرند که پرتوهای نور نمی‌توانند از درون ماتریکس چگال اتم‌های جامد، که مانند دیوار آجری هستند، بگذرند. در مقابل بسیاری از مایعات و گازها به این دلیل شفاف‌اند که نور می‌تواند با راحتی بیش‌تری از بین فضاهای بزرگ بین اتم‌های آن‌ها بگذرد، فضایی که بزرگتر از طول موج نور مریی است. مثلا آب، الکل، آمونیاک، استون، هیدروژن پروکسید، بنزین، و مانند این‌ها، همگی شفاف‌اند، درست مثل گازهایی همانند اکسیژن، هیدروژن، نیتروژن، کربن دیوکسید، متان، و غیره.

چندین استثنای مهم بر این قاعده وجود دارد. بسیاری از بلورها هم جامدند و هم شفاف. ولی اتم‌های بلور در ساختار شبکه‌ای دقیق آرایش یافته‌اند و در ردیف‌هایی منظم قرار گرفته‌اند و فاصله‌بندی‌های منظم بین

آن‌ها وجود دارد. بدین ترتیب مسیرهایی زیادی در شبکه‌ی بلورین وجود دارد که باریکه‌ی نور می‌تواند از درون آن‌ها بگذرد. بنابراین گرچه بلور هم اندازه‌ی هر جامد دیگری سفت و سخت است، نور کماکان می‌تواند راه خود را از درون بلور پیدا کند.

در شرایط خاص چنان‌چه اتم‌ها آرایشی تصادفی پیدا کنند، جامد ممکن است که شفاف شود. این کار را می‌توان با گرم‌کردن موادی خاص تا دمای زیاد و سپس خنک‌کردن سریع آن‌ها انجام داد. مثلا شیشه به دلیل آرایش تصادفی اتم‌هایش، جامدی است با بسیاری از خواص مایع. با بهره‌گیری از این شیوه می‌توان برخی از آب‌نبات‌ها را شفاف کرد.

آشکار است که نامریی‌شدن خاصیتی است که، از طریق معادلات مکسول، در سطح اتمی رخ می‌دهد، و لذا بازسازی آن اگر ناممکن نباشد بیش از حد دشوار است. برای نامریی‌ساختن *هری پاتر*، باید وی را به مایع تبدیل کرد، تا بخارشدن او را داغ نمود، متبلورش ساخت، دوباره او را داغ کرد، و سپس سردش کرد، که انجام تمام این کارها حتا برای یک جادوگر هم واقعا دشوار است.

ارتش، ناکام در نامریی‌ساختن هواپیماها، دست به بهترین جایگزین زد: ایجاد فنّاوری رادارگریزی که هواپیماها را از دید رادار مخفی می‌کند. فنّاوری رادارگریزی برای انجام مجموعه‌ای از ترفندها به معادلات مکسولمتکی است. جت جنگنده‌ی رادارگریز کاملا برای چشم انسان مریی است، ولی تصویر آن روی صفحه‌ی رادار دشمن تنها به اندازه‌ی یک پرنده‌ی بزرگ است. (فنّاوری رادارگریزی عملا شلم شوربایی از ترفندهاست. با تغییردادن مواد در جت جنگنده، کاهش‌دادن مقدار فولاد و استفاده از پلاستیک و رزین به جای آن، تغییردادن زوایای بدنه، بازآرایی لوله‌های اگزوز، و غیره، می‌توان باریکه‌های فرودی رادار دشمن بر روی هواپیما را در تمام جهت‌ها پراکنده ساخت، به طوری که آن‌ها هرگز به صفحه رادار دشمن بازنگردند. حتا با فنّاوری رادارگریزی، جت جنگنده کاملا نامریی نمی‌شود؛ در عوض تا جایی که از نظر فنی امکان داشته باشد، رادار را منحرف و پراکنده می‌کند.)

متامواد و نامریی‌شدن

ولی شاید نویدبخش‌ترین پیشرفت اخیر در مورد نامریی‌شدن، ماده‌ی جدید هیجان‌انگیزی موسوم به «متاماده» باشد که ممکن است روزی اشیاء را واقعا نامریی کند. مضحک است که زمانی ساخت متامواد امکان‌ناپذیر تلقی می‌شد زیرا آن‌ها قوانین اپتیک را نقض می‌کنند. اما در ۲۰۰۶ پژوهشگران در دانشگاه دوک در دورهام کارولینای شمالی، و امپریال کالج در لندن، با موفقیت خِرد سنتی را مغلوب کردند و متامواد را برای نامریی‌کردن شیئی در برابر تابش میکروموج به کار گرفتند. هرچند هنوز موانع زیادی بر سر راه وجود دارد، برای نخستین بار در تاریخ، اکنون طرحی برای نامریی‌ساختن اشیای عادی در پیش رو داریم. (این پژوهش با سرمایه‌گذاری سازمان پروژه‌های پژوهشی پیشرفته‌ی دفاعی پنتاگون [DARPA] انجام شد.)

ناتان مایرولد، مدیر ارشد فنّاوری پیشین مایکروسافت می‌گوید که قابلیت انقلابی متامواد «کاملا دیدگاه ما از اپتیک و تقریبا هر جنبه از الکترونیک را دگرگون خواهد ساخت ... برخی از این متامواد می‌توانند کارهایی انجام دهند که چند دهه پیش خواب و خیالی بیش نبودند.»

بالاخره این متامواد چه هستند؟ آن‌ها ترکیباتی‌اند با خواصی اپتیکی که در طبیعت مشابه ندارد. متامواد با کارگذاری درون‌کاشت‌هایی در ماده ساخته می‌شوند که موج‌های الکترومغناطیسی را مجبور به خمیده‌شدن به شیوه‌هایی نامعمول می‌کنند. دانشمندان در دانشگاه دوک مدارهای کوچک الکتریکی را در نوارهای مسی با آرایش دایره‌های هم‌مرکز تخت (شبیه به المنت‌های اجاق برقی) جایگذاری کردند. نتیجه آمیخته‌ای پیچیده از سرامیک، تفلون، فیبرهای کامپوزیتی، و اجزای فلزی بود. این درون‌کاشت‌های کوچک در مس، خم‌کردن و مسیردهی به تابش میکروموج به شیوه‌ای ویژه را ممکن می‌سازند. مسیری را که رودخانه در اطراف یک تخته سنگ بزرگ می‌پیماید تصور کنید. چون آب به سرعت در اطراف تخته سنگ می‌پیچد، حضور تخته سنگ در پایین دست از بین

می‌رود. به همین نحو متامواد می‌توانند پیوسته مسیر میکروموج‌ها را تغییر دهند و خم کنند به طوری که مثلا اگر در اطراف یک استوانه قرارداده شوند، اصولا هر چیزی درون استوانه را نسبت به میکروموج نامریی می‌کنند. اگر متامواد بتوانند همه‌ی بازتاب‌ها و سایه‌ها را از میان بردارند، آن‌گاه می‌توان شیء را نسبت به آن شکل از تابش نامریی ساخت.

دانشمندان با ساخت وسیله‌ای متشکل از ده حلقه‌ی فایبرگلاس پوشیده از عناصر مسی با موفقیت این اصل را به نمایش در آورده‌اند. حلقه‌ی مسی درون این وسیله تقریبا به طور کامل نسبت به تابش میکروموج نامریی است و تنها سایه‌ای اندک ایجاد می‌کند.

توانایی متامواد در دست‌کاری چیزی نهفته است که آن را «ضریب شکست» می‌نامیم. شکست عبارت است از خمیده‌شدن نور به هنگام عبور آن از درون مواد شفاف. اگر دست خودتان را درون آب ببرید، یا به عدسی عینکتان بنگرید، می‌بینید که آب و شیشه باعث به‌هم ریختن و خم‌شدن مسیر نور عادی می‌شوند.

دلیل خم‌شدن نور در آبو شیشه آن است که به هنگام ورود به محیط‌های شفاف چگال، سرعت نور کم می‌شود. سرعت نور در خلأ محض همواره ثابت است ولی نور گذرنده از شیشه یا آب باید از درون تریلیون‌ها اتم بگذرد و بنابراین سرعتش کم می‌شود. (سرعت نور بخش بر سرعت کاهش یافته درون آن محیط را ضریب شکست می‌نامیم. با توجه به افت سرعت نور در شیشه ضریب شکست آن باید همواره بزرگتر از ۱٫۰ باشد.) مثلا ضریب شکست خلأ برابر ۱٫۰۰، برای هوا ۱٫۰۰۰۳، برای شیشه ۱٫۵ و برای الماس ۲٫٤ است. معمولا هرچه محیطی چگال‌تر باشد، میزان خمیدگی و در نتیجه ضریب شکست بیش‌تر می‌شود.

سراب نمونه‌ی آشنایی از ضریب شکست است. اگر در روزی گرم مشغول رانندگی باشید و مستقیم به افق بنگرید، جاده انگار با درخشندگی موج می‌زند و توهم دریاچه‌ای براق را ایجاد می‌کند. در بیابان می‌توان دورنمای شهرها و کوهستان را در افق دید. دلیل آن است که هوای داغ برخاسته از جاده یا بیابان چگالی کمتری از هوای عادی دارد و بنابراین

ضریب شکست آن از هوای خنک‌تر پیرامون پایین‌تر است و در نتیجه نور آمده از اشیای دوردست می‌تواند از سطح جاده به سمت چشمان شما شکست پیدا کند و باعث توهم دیدن اشیای دوردست شود.

معمولا ضریب شکست ثابت است. باریکه‌ای نازک از نور به هنگام ورود به شیشه خم می‌شود و سپس به مسیر مستقیم به پیش می‌رود. اما فعلا تصور کنید که می‌توانید ضریب شکست را به اختیار درآورید به طوری که بشود در هر نقطه از شیشه پیوسته آن را تغییر داد. با گذر نور از درون این ماده‌ی جدید نور می‌تواند در جهت‌های تازه پیچ و تاب بخورد و مانند مار در درون آن جسم مسیری ایجاد کند.

اگر کسی بتواند ضریب شکست را درون متاماده کنترل کند تا نور از اطراف شیء بگذرد، آن‌گاه آن شیء نامریی می‌شود. برای این کار، متاماده‌ی مذکور باید دارای ضریب شکست *منفی* باشد که هر کتاب درسی اپتیک آن را ناممکن می‌داند. (متامواد نخستین بار توسط فیزیکدان شوروی ویکتور وسه‌لاگو در ۱۹۶۷ به طور نظری مطرح شدند و بیان شد که از خواص عجیب اپتیکی همانند ضریب شکست منفی و اثر داپلر وارون برخوردارند. متامواد آن‌چنان عجیب و غریب‌اند که زمانی تصور می‌شد که امکان ساخت نداشته باشند. ولی در چند سال گذشته متامواد به راستی در آزمایشگاه ساخته شده‌اند و فیزیکدان‌های بی‌علاقه را واداشته‌اند که کتاب‌های درسی اپتیک را بازنویسی کنند.)

پژوهشگران متامواد یک لحظه هم از دست روزنامه‌نگارانی که می‌خواهند بدانند شنل‌های نامریی‌ساز کی به بازار می‌آید راحت نیستند. پاسخ آن است که: به این زودی‌ها خبری نیست.

دیوید اسمیت از دانشگاه دوک می‌گوید: «خبرنگارها زنگ می‌زنند و از شما می‌خواهند خلاصه یک زمانی را بگویید. ماه یا سال. آنان دست‌بردار نیستند و آخر سر شما می‌گویید خب، شاید پانزده سال. بعدش هم تیتر می‌زنند پانزده سال تا ساخت شنل *هری پاتر*.» به همین دلیل است که اکنون وی از ارائه هر زمانی طفره می‌رود. دوستداران *هری پاتر* یا *پیشتازان فضا* باید صبر کنند. با آن‌که ساخت شنل نامریی‌ساز واقعی در

چارچوب قوانین فیزیک امکان‌پذیر *است*، همان طور که اکثر فیزیکدان‌ها بر این نظرند، دشواری‌های فنی جدی بر سر راه این فنّاوری هست تا از تابش میکروموج به محدوده‌ی مریی برسیم.

به طور کلی ساختارهای درونی جایگذاری‌شده درون متماده باید کوچک‌تر از طول موج تابش باشند. مثلا میکروموج‌ها می‌توانند طول موجی در حدود ۳ سانتی‌متر داشته باشند، پس برای متاماده‌ای که بخواهد مسیر میکروموج‌ها را خم کند، درون‌کاشت‌های جایگذاری‌شده آن باید کوچک‌تر از ۳ سانتی‌متر باشند. اما برای نامریی‌کردن شیء نسبت به نور سبز، با طول موج ۵۰۰ نانومتر (nm)، متماده باید ساختارهای جایگذاری‌شده‌ی درونی تنها با درازای ۵۰۰ نانومتر داشته باشد ـ و ناگفته نماند که نانومتر مقیاس طول اتمی لازم برای نانوفنّاوری است. (یک نانومتر برابر با طولی به اندازه‌ی یک میلیاردیم متر است. تقریبا در یک نانومتر ۵ اتم را می‌توان جا داد.) شاید این کلید حل مسئله‌ای باشد که در کوشش برای ساخت شنل نامریی‌ساز واقعی با آن مواجهیم. برای خم‌کردن باریکه‌ی نور همچون مار، تک اتم‌های درون متماده را باید دست‌کاری کنیم.

متامواد برای نور مریی

این مسابقه پایانی ندارد.

از هنگام اعلام ساخته‌شدن متامواد در آزمایشگاه، با ارائه‌ی دیدگاه‌های جدید و دستاوردهای شگفت‌آوری که هر ماه صورت می‌گیرند، فعالیت زیادی در این حوزه در دست انجام است. هدف مشخص است: استفاده از نانوفنّاوری برای ساخت متامواد که بتوانند نه فقط میکروموج بلکه نور مریی را خم کنند. چندین رهیافت پیشنهاد شده‌اند که همگی نویدبخش هستند.

یک پیشنهاد استفاده از فنّاوری در دسترس است، یعنی قرض‌گرفتن فنون شناخته‌شده از صنعت نیم‌رسانا برای ساخت متامواد جدید. شیوه‌ی موسوم به «فوتولیتوگرافی» در قلب کوچک‌سازی کامپیوتر قرار دارد و لذا

انقلاب کامپیوتر را به پیش می‌راند. مهندسین با این فنّاوری می‌توانند صدها میلیون ترانزیستور ریز را در ویفری سیلیسیمی نه چندان بزرگتر از شست شما جا دهند.

دلیل این‌که توان کامپیوتر هر هجده ماه دوبرابر می‌شود (معروف به قانون مور) آن است که دانشمندان از تابش فرابنفش برای «حک‌کردن» اجزای ریزتر و ریزتر در تراشه‌ی سیلیسیمی استفاده می‌کنند. این شیوه بسیار شبیه به کاری است که شابلون‌ها در ایجاد تی‌شرت‌های رنگی انجام می‌دهند. (مهندسین کامپیوتر با یک ویفر نازک کار را شروع می‌کنند و سپس اندودهایی بسیار نازک از مواد مختلف را روی آن می‌نشانند. بعد ماسکی پلاستیکی روی ویفر گذاشته می‌شود که در نقش الگو عمل می‌کند و دربرگیرنده‌ی طرح‌هایی پیچیده از سیم‌ها، ترانزیستورها، و اجزای کامپیوتری است که اسکلت پایه‌ی مداربندی را می‌سازند. سپس بر روی ویفر تابش فرابنفش تابانده می‌شود که طول موج بسیار کوچکی دارد و این تابش الگو را بر روی ویفر حساس به نور چاپ می‌کند. با عمل‌آوری ویفر با گازها و اسیدهای ویژه مداربندی پیچیده‌ی ماسک بر روی جایی از ویفر که نور فرابنفش دیده حک می‌شود. این فرایند ویفری ایجاد می‌کند که دارای صدها میلیون شیار ریز است که طرح‌های ترانزیستورها را می‌سازند.) فعلا کوچک‌ترین قطعاتی که می‌توان با این فرایند حکّاری ایجاد کرد در حدود ۳۰ نانومتر (یا حدود ۱۵۰ اتم) طول دارد.

وقتی گروهی از دانشمندان نخستین متامواده‌ای را ساختند که در گستره‌ی مریی نور عمل می‌کرد، پیشرفتی عمده در جستجو برای نامریی‌کردن رخ داد. دانشمندان در آلمان و وزارت انرژی آمریکا در اوایل ۲۰۰۷ اعلام کردند که برای نخستین بار در تاریخ آنان متامواده‌ای ساخته‌اند که در نور سرخ کار می‌کند. در مدت زمان بسیار کوتاهی «ناممکن» به دست آمده بود.

کاستاس سوکولیس فیزیکدان از آزمایشگاه ایمز در آیوا به همراه استفان لیندن، مارتین وگه‌نر و گونتر دولینگ از دانشگاه کارلسروهه آلمان،

توانستند متاماده‌ای بسازند که ضریب ۰٫۶- برای نور سرخ با طول موج ۷۸۰ nm داشت. (رکورد پیشین جهانی برای تابش خمیده‌شده توسط یک متاماده ۱٫۴۰۰ nm بود که نه در گستره‌ی نور مریی بلکه در گستره‌ی فروسرخ قرار می‌گیرد.

این دانشمندان نخست با صفحه‌ای شیشه‌ای کار را آغاز کردند و سپس اندود نازکی از نقره، منیزیم فلوئورید، و بعد لایه‌ی دیگری از نقره روی آن نشاندند، که «ساندویچی» از فلوئورید با ضخامت فقط ۱۰۰ nm تشکیل می‌دهد. سپس با استفاده از فنون استاندارد حکّاری آنان آرایه‌ای بزرگ از سوراخ‌های چارگوش میکروسکوپی در ساندویچ ایجاد کردند که الگویی شبکه‌ای شبیه به تور ماهیگیری دارد. (پهنای سوراخ‌ها تنها ۱۰۰ nm است که از طول موج نور سرخ بسیار کوچک‌تر است.) سپس آنان باریکه‌ی نور سرخ را از درون ماده گذراندند و ضریب آن را اندازه گرفتند که ۰٫۶- بود.

این فیزیکدان‌ها کاربردهای متعددی را برای این فنّاوری پیش‌بینی می‌کنند. به گفته‌ی دکتر سوکولیس متامواد «شاید روزی به توسعه‌ی نوعی ابرعدسی تخت منجر شود که در طیف مریی کار بکند. چنین عدسی‌ای تفکیک به مراتب بالاتری از فنّاوری متداول دارد، و جزئیات بسیار کوچک‌تری از یک طول موج نور را به دست می‌آورد.» کاربردهای فوری چنین «ابرعدسی‌هایی» عبارت خواهد بود از عکسبرداری از اشیای میکروسکوپی، مانند درون سلول‌های انسانی زنده، یا تشخیص بیماری‌ها در نوزاد درون زهدان، با شفافیتی غیر قابل تصور. شاید بتوانیم عکس‌هایی از اجزای مولکول DNA بدون استفاده از بلورنگاری پیچیده‌ی پرتوی ایکس به دست آوریم.

تاکنون این دانشمندان تنها برای نور سرخ ضریب شکست منفی را عرضه کرده‌اند. گام بعدی در استفاده از این فنّاوری عبارت خواهد بود از خم‌کردن نور سرخ به طور کامل در اطراف یک شیء که باعث نامریی‌شدن آن می‌شود.

پیشرفت‌های آتی در این زمینه شاید در حوزه‌ی «بلورهای فوتونیکی» رخ دهد. هدف فنّاوری بلورهای فوتونیکی ایجاد تراشه‌ای است که به

جای الکتریسیته از نور برای پردازش اطلاعات استفاده کند. این کار شامل بهره‌گیری از نانوفنّاوری برای حک‌کردن اجزای ریز بر روی ویفر است، به گونه‌ای که ضریب شکست با هر جزء تغییر پیدا کند. ترانزیستورهایی که از نور استفاده می‌کنند نسبت به آنهایی که الکتریسته را به کار می‌برند مزیت‌هایی متعددی دارند. مثلا افت گرمایی بسیاری کمتری در بلورهای گرمایی رخ می‌دهد. (در تراشه‌های سیلیسیمی پیشرفته، گرمای ایجاد شده برای پختن تخم مرغ کفایت می‌کند. بدین ترتیب آن‌ها باید پیوسته خنک شوند در غیر این صورت از کار می‌افتند، و خنک نگه‌داشتن آن‌ها بسیار هزینه‌بردار است.) شگفت‌آور نیست که علم بلورهای فوتونیکی کاملا برای متامواد مناسب است، زیرا هر دوی این فنّاوری‌ها شامل دست‌کاری ضریب شکست نور در نانومقیاس می‌شود.

نامریی کردن با پلاسمون‌ها

برای عقب نماندن از قافله، گروهی دیگر در اوسط ۲۰۰۷ اعلام کردند که متاماده‌ای ساخته‌اند که با استفاده از فنّاوری کاملا متفاوتی به نام «پلاسمونیک» نور مریی را خم می‌کند. فیزیکدان‌ها هنری لزک، جنیفر دیون، و هری اتواتر در انستیتوی فنّاوری کالیفرنیا {کَلتِک} اعلام کردند که متاماده‌ای دارای ضریب منفی برای ناحیه‌ی دشوارتر آبی ـ سبز طیف مریی نور ساخته‌اند.

هدف از پلاسمونیک «فشردن» نور است به طوری که بتوان اشیاء را در نانومقیاس، به ویژه در سطح فلزات دست‌کاری کرد. دلیل این‌که فلزات الکتریسیته را هدایت می‌کنند آن است که الکترون‌ها اتصالی شُل با اتم‌های فلز دارند و لذا می‌توانند آزادانه در روی سطح فلز حرکت کنند. الکتریسیته‌ای که در سیم‌های منزل شما به جریان در می‌آید نمودی از حرکت هموار این الکترون‌های شُل‌پیوند روی سطح فلز است. ولی در شرایط خاص وقتی باریکه‌ی نور با فلز برخورد کند، این الکترون‌ها می‌توانند هماهنگ با باریکه‌ی نور اصلی به ارتعاش درآیند، و حرکت‌هایی موج‌مانند از الکترون‌ها روی سطح فلز ایجاد کنند (موسوم به پلاسمون)،

که این حرکت‌های موج‌مانند در هماهنگی با باریکه‌ی نور اصلی می‌تپد. مهمتر از آن می‌توان این پلاسمون‌ها را «فشرده» کرد تا فرکانسی یکسان با باریکه‌ی اصلی داشته باشند (و لذا اطلاعات یکسانی را حمل کنند) ولی با طول موج بسیار کم‌تر. در اصل سپس می‌توان این موج‌های فشرده را درون نانوسیم‌ها چپاند. مانند بلورهای فوتونیکی هدف نهایی پلاسمونیک ایجاد تراشه‌های کامپیوتری است که به جای الکتریسیته با نور محاسبه کنند.

گروه کلتک متاماده‌ی خود را از دو لایه نقره با عایق سیلیسیم ـ نیتروژن در بین آن‌ها (با ضخامت تنها ۵۰ nm) ساخته‌اند، که در نقش «موجبری» عمل می‌کند که می‌تواند مسیر موج‌های پلاسمونی را راهنمایی کند. نور لیزر از طریق دو شکاف کنده‌شده در متاماده وارد و خارج می‌شوند. با تحلیل زاویه‌هایی که نور لیزر با گذر از درون متاماده خمیده می‌شود، می‌توان تایید کرد که نور با ضریب منفی خم شده است.

آینده‌ی متامواد

در آینده پیشرفت در مورد متامواد به این دلیل ساده شتاب خواهد گرفت که اکنون علاقه‌ی زیادی به ساخت ترانزیستورهایی وجود دارد که بتوانند به جای الکتریسیته با باریکه‌ی نور به کار کنند. پژوهش در مورد نامریی‌شدن بدین ترتیب می‌تواند «قلمدوش» پژوهش جاری پیرامون بلورهای فوتونیکی و پلاسمونیک برای ساخت جایگزین‌های تراشه‌های سیلیسیمی شود. تاکنون صدها میلیون دلار برای ساخت جایگزین‌های فنّاوری سیلیسیمی سرمایه‌گذاری شده است و پژوهش در مورد متامواد از این فعالیت‌های پژوهشی سود خواهد برد.

با دستاوردهایی که هر از چند ماه در این حوزه پدید می‌آیند، شگفت‌آور نیست که برخی فیزیکدان‌ها فرض کنند که شاید در طی چند دهه نوعی سپر نامریی‌ساز از آزمایشگاه بیرون بیاید. مثلا دانشمندان اطمینان دارند که در چند سال آینده آنان قادر به ساخت متامواد خواهند بود که می‌توانند یک شیء را کاملا نسبت به فرکانسی از نور مریی، دست

کم در دو بعد، نامریی کند. انجام این کار نیازمند جایگذاری درون‌کاشت‌های نانوی ریز نه به شکل آرایه‌های منظم بلکه در الگوهایی پیچیده است تا نور بتواند به نرمی در اطراف شیء خم شود.

سپس دانشمندان باید دست به ساخت متامواد بزنند که بتواند نور را نه تنها در سطوح تخت دوبعدی بلکه در سه بعد خم کند. فوتولیتوگرافی برای ایجاد ویفرهای تخت سیلیسیمی بسیار مناسب بوده است، ولی ساخت متامواد سه بعدی نیازمند روی هم‌گذاری ویفرها به شیوه‌ای پیچیده است.

پس از آن دانشمندان باید مشکل ساخت متامواد را از سر راه بردارند که نه فقط یک فرکانس بلکه چند تا از آن‌ها را خم کند. بی‌گمان این دشوارترین بخش کار است، چرا که درون‌کاشت‌های ریزی که تاکنون ابداع شده‌اند تنها نوری با یک فرکانس دقیق را خم می‌کنند. چه بسا که دانشمندان مجبور شوند متامواد را به صورت لایه‌ای بسازند تا هر لایه فرکانسی ویژه را خم کند. راه حل این مشکل آشکار نیست.

با وجود این، زمانی که سرانجام سپر نامریی‌ساز ساخته شود شاید با وسیله‌ای زمخت روبه‌رو شویم. شنل *هری پاتر* از پارچه‌ای نرم و نازک ساخته شده است و هر کسی که آن را به سر بکشد نامریی می‌شود. ولی برای امکان‌پذیرشدن چنین چیزی ضریب شکست درون پارچه باید با پیچ و تاب خوردن آن به شیوه‌ای پیچیده تغییر کند، که ناشدنی است. به احتمال بسیار «شنل» نامریی‌ساز واقعی باید، دست کم در آغاز، از جنس استوانه‌ای جامد از متامواد باشد. بدین طریق می‌توان ضریب شکست را درون استوانه ثابت نگه داشت. (گونه‌های پیشرفته‌تر می‌توانند سرانجام شامل متامواد انعطاف‌پذیر باشند که قادر به پیچ و تاب خوردن‌اند و کماکان می‌توانند نور را درون متامواد در مسیر درست به جریان درآورند. بدین طریق کسی که در زیر شنل است می‌تواند تا حدی آزادی حرکت داشته باشد.)

برخی افراد نقصی را در سپر نامریی‌ساز خاطر نشان ساخته‌اند: کسی که

در زیر آن است بدون مریی‌شدن قادر به دیدن بیرون نیست. فرض کنید همه جای *هری پاتر* به غیر از چشم‌هایش نامریی باشد، که به صورت شناور در وسط هوا به چشم می‌آیند. هر روزنه‌ی چشم در شنل نامریی‌ساز از بیرون کاملا دیده می‌شود. اگر *هری پاتر* کاملا نامریی بماند آن‌گاه از زیر شنل نامریی‌ساز خود اصلا نمی‌تواند چیزی ببیند. (یک راه حل ممکن شاید گذاشتن دو صفحه‌ی شیشه‌ای ریز در نزدیکی مکان روزنه‌ی چشم‌ها باشد. این صفحه‌های شیشه‌ای در نقش «باریکه‌شکاف» عمل خواهند کرد و با شکافتن بخش کوچکی از نور فرودی به صفحه، نور را به چشم‌ها می‌فرستند. بنابراین بیش‌تر نوری که به شنل می‌خورد در اطراف آن جریان می‌یابد، فرد را نامریی می‌کند ولی بخش کوچکی از نور به سمت چشم‌ها منحرف می‌شود.

با وجود همه‌ی این دشواری‌ها دانشمندان و مهندسین نسبت به ساخت نوعی سپر نامریی‌ساز در دهه‌های آینده خوشبین‌اند.

نامریی‌سازی و نانوفنّاوری

پیش از این گوشزد کردم که چه بسا کلید نامریی‌سازی در نانوفنّاوری، یعنی توانایی دست‌کاری ساختارهایی در ابعاد اتمی به طول یک میلیاردیم متر، نهفته باشد.

تولد نانوفنّاوری به سخنرانی مشهور ۱۹۵۹ برنده‌ی نوبل ریچارد فاینمن در انجمن فیزیک آمریکا با عنوان مضحک «در آن پایین اتاق‌های زیادی هست» باز می‌گردد. وی در آن سخنرانی به حدس و گمان درباره‌ی این‌که کوچک‌ترین ماشین‌ها در سازگاری با قوانین شناخته‌شده‌ی فیزیک چه شکلی خواهند بود پرداخت. او فهمید که می‌شود ماشین‌ها را کوچک و کوچک‌تر کرد تا به ابعاد اتمی رسید، و سپس می‌شود از اتم‌ها برای ساخت ماشین‌های دیگر استفاده کرد. وی فرض کرد که ماشین‌های اتمی، مانند قرقره‌ها، اهرم‌ها، و چرخ‌ها، همگی کاملا در چارچوب قوانین فیزیک‌اند، هر چند که ساخت آن‌ها فوق‌العاده دشوار خواهد بود.

نانوفنّاوری برای سال‌ها به فراموشی سپرده شد، زیرا دست‌کاری تک

اتم‌ها در فراسوی فنّاوری روز بود. اما در ۱۹۸۱ فیزیکدان‌ها با اختراع میکروسکوپ تونل‌زنی پویشی به دستاوری رسیدند که جایزه‌ی نوبل فیزیک را برای دانشمندان گِرد بینیک و هاینریش رورِر که در آزمایشگاه زوریخ IBM کار می‌کردند به ارمغان آورد.

فیزیکدان‌ها ناگهان توانستند «تصاویری» خیره‌کننده از اتم‌های منفرد مانند آن‌چه در کتاب‌های شیمی ترسیم شده به دست آورند، چیزی که منتقدان نظریه‌ی اتمی زمانی ناممکن می‌دانستند. تهیه‌ی عکس‌هایی بی‌نظیر از اتم‌های صف‌کشیده در بلور یا فلز اکنون ممکن شده بودند. دیگر می‌شد با چشم غیر مسلح فرمول‌های شیمیایی مورد استفاده توسط دانشمندان، با آرایشی پیچیده از اتم‌های در هم تنیده در یک مولکول را مشاهده کرد. گذشته از آن میکروسکوپ تونل‌زنی پویشی امکان دست‌کاری اتم‌های منفرد را فراهم ساخت. عملا حروف IBM با استفاده از اتم‌های منفرد نوشته شد و ولوله‌ای را در دنیای علم بر پا ساخت. دیگر دانشمندان در هنگام دست‌کاری اتم‌های منفرد چشم بسته نبودند، در عوض می‌توانستند آن‌ها را ببینند و با ایشان بازی کنند.

میکروسکوپ تونل‌زنی پویشی به طرزی گمراه‌کننده ساده است. مانند سوزن گرامافون که دیسک را می‌پوید، کاونده‌ای نوک‌تیز به آهستگی بر روی ماده‌ی مورد بررسی عبور می‌کند. (نوک آن‌چنان تیز است که تنها از یک اتم ساخته شده است.) بار الکتریکی اندکی به کاونده اعمال می‌شود، و جریانی از کاونده از طریق ماده به سطح زیرین راه می‌یابد. وقتی کاونده از روی یک اتم می‌گذرد مقدار جریان مذکور از درون کاونده تغییر می‌یابد و این تغییرات ثبت می‌شوند. با عبور کاونده از روی اتم، این جریان کم و زیاد می‌شود و در نتیجه مسیر خود را با جزئیات دقیق ثبت می‌کند. پس از گذرهای بسیار با ترسیم افت و خیزهای جریان، می‌توان تصاویری زیبا از اتم‌های منفرد سازنده‌ی یک شبکه به دست آورد.

(میکروسکوپ تونل‌زنی پویشی با استفاده از قوانین عجیب مکانیک کوانتومی امکان‌پذیر شده است. معمولا الکترون‌ها فاقد انرژی کافی برای گذر از کاونده به ماده و نهایتا سطح زیرین‌اند. ولی به دلیل اصل عدم

قطعیت احتمال اندکی برای «تونل‌زدن» یا نفوذ به درون سد توسط الکترون‌های جریان وجود دارد، هرچند که این کار از سوی نظریه‌ی نیوتونی ممنوع شمرده می‌شود. بدین ترتیب جریان به راه افتاده از طریق کاونده، نسبت به اثرات کوانتومی در ماده حساس است. بعدا به تفصیل به اثرات نظریه‌ی کوانتوم خواهم پرداخت.)

کاونده هم‌چنین برای جابه‌جاکردن اتم‌های منفرد و ساختن «ماشین‌های» ساده از اتم‌های منفرد به حد کافی حساس است. این فنّاوری اکنون آن‌چنان پیشرفته است که خوشه‌ای از اتم‌ها را می‌توان روی صفحه سوبر کامپیوتر نشان داد و سپس تنها با حرکت‌دادن مکان‌نمای کامپیوتر می‌توان اتم‌ها را به محل دلخواه منتقل کرد. مانند بازی با تکه‌های لگو می‌شود با تعدای از اتم‌ها ور رفت. گذشته از نوشتن حروف الفبا با استفاده از اتم‌های منفرد، می‌شود اسباب‌بازی‌های اتمی نیز درست کرد، مثلا چرتکه‌ی ساخته‌شده از اتم‌های منفرد. آرایه‌ای از اتم‌ها روی سطحی با شکاف‌های عمودی قرار می‌گیرند، درون این شکاف‌های عمودی می‌توان باکی‌بال‌های کربنی (شبیه به توپ فوتبال ولی از جنس اتم‌های منفرد کربن) جا داد. سپس می‌توان این توپ‌های کربنی را در هر شکاف بالا و پایین برد، و لذا چرتکه‌ای اتمی ساخت.

هم‌چنین در آوردن وسایل اتمی با استفاده از باریکه‌های اتمی امکان‌پذیر است. مثلا دانشمندان در دانشگاه کورنل کوچک‌ترین گیتار دنیا، بیست برابر نارک‌تر از موی آدمیزاد، را از بلور سیلیسیم بیرون کشیده‌اند. این گیتار دارای شش زه، هریک به ضخامت یک‌صد اتم است و می‌توان با میکروسکوپ نیروی اتمی به این زه‌ها زخمه زد. (این گیتار واقعا موسیقی می‌نوازد ولی فرکانس‌های تولیدی کاملا در بالای گستره‌ی شنوایی انسان قرار می‌گیرند.)

فعلا بیش‌تر این «ماشین‌های» نانوفن چیزی بیش از اسباب‌بازی نیستند. ماشین‌های پیچیده‌تر شامل چرخ‌دنده و بلبرینگ‌ها هنوز در راهند. اما بسیاری از دانشمندان مطمئن‌اند که زمان ساخت ماشین‌های اتمی واقعی فرا می‌رسد. (ماشین‌های اتمی عملا در طبیعت وجود دارند. یاخته‌ها چون

قادر به جنباندن مژکهایی ریزند، می‌توانند آزادانـه در آب شـنا کننـد. ولـی وقتی مفصل مژک و یاخته را بررسی کنیم می‌بینیم که واقعا با ماشینی اتمی مواجه‌ایم که حرکت مژک را در تمامی جهت‌ها ممکن می‌سازد. پس یـک راه حل توسعه‌دادن نانوفنّاوری، رونوشت‌برداری از طبیعت است کـه طـی میلیاردها سال در هنر ماشین‌های اتمی بـه مرتبـه‌ی اسـتادی دسـت یافتـه است.)

هولوگرام‌ها و نامریی‌شدن

راه دیگری برای تا حدی نامریی‌کردن یک شخص عکس گرفتن از نمـای پشت سر او و سپس انداختن تصویر زمینه مستقیما بر روی لباس شـخص یا بر روی صفحه تصویری در جلوی وی است. از دید روبه‌رو چنـین بـه نظر می‌رسد که گویی فرد شفاف شده است و نور به طریقی از درون بـدن شخص می‌گذرد.

نائوکی کاواکامی از آزمایشگاه تاچی در دانشگاه توکیـو خیلـی بـر روی این فرایند که موسوم به «استتار نوری» است کار کرده است. وی می‌گویـد «این شیوه به خلبانان برای دیدن باند پرواز زیرپایشان از درون کابین، یا به رانندگان برای دیدن از درون گلگیرها بـرای پـارک‌کـردن خـودرو کمـک می‌کند.» «شنل» کاواکامی پوشیده از مهره‌های ریز بازتابنده‌ی نور است کـه شبیه به یک صفحه تصویر عمل می‌کنند. یک دوربـین ویـدیویی از آن‌چـه که در پشت شنل اسـت تـصویربرداری مـی‌کنـد. سـپس ایـن تـصویر بـه ویدیوپروژکتوری ارسال می‌شود که جلوی شنل را روشن مـی‌کنـد، بـدین ترتیب گویی نور از درون فرد گذشته است.

پیش‌نمونه‌های شنل استتار نوری عملا در آزمایشگاه سـاخته شـده‌انـد. اگر شما به کسی که این شنل صفحه‌مانند را پوشیده بنگرید چنین می‌نماید که انگار شخص ناپدید شده است زیرا آن‌چه کـه شـما مـی‌بینیـد تـصویر پشت سر اوست. اما اگر اندکی چشمانتان را جابـه‌جـا کنیـد تـصویر روی شنل تغییر نمی‌کند و شما متوجه تردستی می‌شوید. استتار نوری واقعی‌تـر

نیازمند ساخت تصویری سه بعدی است. و به همین دلیل به هولوگرام نیاز دارد.

هولوگرام تصویر سه بعدی ساخته شده با لیزر است (مانند تصویر سه بعدی شازده خانم لیا در جنگ *ستارگان*). اگر صحنه‌ی پشت سر یک فرد با دوربین ویژه‌ی هولوگرافی تصویربرداری شود و سپس تصویر هولوگرافی با استفاده از یک صفحه تصویر ویژه‌ی هولوگرافی بر روی آن شخص انداخته شود، وی را می‌توان نامریی ساخت. مشاهده‌گر ایستاده در جلوی آن فرد صفحه تصویر هولوگرافی را که شامل تصویر سه بعدی صحنه‌ی زمینه است، بدون فرد مذکور، می‌بیند. بدین ترتیب گویی فرد ناپدید می‌شود. در اینجا مکان فرد، تصویر سه بعدی دقیقی از صحنه‌ی زمینه است. حتا اگر شما چشمانتان را بچرخانید نمی‌توانید بگویید که آن‌چه که دیده‌اید نیرنگ بوده است.

به دلیل «همدوسی» نور لیزر است که این تصاویر سه بعدی امکان‌پذیر می‌شوند. همدوسی یعنی این‌که تمام موج‌ها با هماهنگی عالی ارتعاش می‌کنند. ساختن هولوگرام‌ها با باریکه‌ی لیزر همدوسی که دو بخش می‌شود صورت می‌گیرد. نیمی از باریکه فیلم عکاسی را روشن می‌کند و نیم دیگر بر روی شئ می‌تابد، بازتاب پیدا می‌کند و سپس بر روی همان فیلم عکاسی می‌افتد. وقتی این دو باریکه بر روی فیلم تداخل کنند، الگویی تداخلی شکل می‌گیرد که تمام اطلاعات موج سه بعدی اصلی را در خود جا می‌دهد. فیلم پس از ظاهرشدن به جز الگوی تارعنکبوتی ظریفی از طوقه‌ها و خطوط، چیزی زیادی را نشان نمی‌دهد. ولی هنگامی که باریکه‌ی لیزر بر روی آن تابانده شود، ناگهان رونوشت سه بعدی دقیقی از شئ اصلی پدیدار می‌شود.

البته دشواری‌های فنی پیش روی نامریی‌سازی هولوگرافیکی بسیار است. یک چالش، ساخت دوربین هولوگرافی با قابلیت گرفتن دست‌کم ۳۰ فریم در ثانیه است. مشکل دیگر ذخیره‌سازی و پردازش آن اطلاعات است. سرانجام لازم است که این تصویر بر روی صفحه‌ای به نمایش درآید که به تصویر جنبه‌ی واقعی ببخشد.

نامریی‌شدن از طریق بعد چهارم

باید بگوییم که در داستان *مرد نامریی* اچ. جی. ولز شیوه‌ای پیچیده‌تر برای نامریی‌شدن بیان شده است که شامل استفاده از قدرت بعد چهارم است. (بعدا در این کتاب به تفصیل بیش‌تر درباره‌ی امکان وجود بعدهای بالاتر بحث خواهم کرد.) آیا ما می‌توانیم این گیتی سه بعدی خودمان را ترک کنیم و از مکانی عالی‌تر در بعد چهارم بر روی آن شناور بمانیم؟ مانند پروانه‌ای سه بعدی که بر روی صفحه کاغذی دو بعدی بال می‌زند، ما هم از دید هر کس که در گیتی زیرپای ما به سر می‌برد ناپدید خواهیم شد. یک مشکل این ایده در آن است که وجود بعدهای بالاتر هنوز به اثبات نرسیده است. گذشته از آن سفری فرضی به بعدی بالاتر نیازمند انرژی‌هایی فراسوی آن چیزی است که با فنّاوری فعلی ما می‌توان بدان دست یافت. به عنوان راهی ممکن برای دستیابی به نامریی‌شدن، این شیوه ورای دانش و توانایی امروزی ما قرار دارد.

با در نظرگرفتن تلاش‌های بی‌شمار تاکنون صورت گرفته ، نامریی‌شدن آشکارا شایسته‌ی امکان‌ناپذیری رده‌ی ۱ است. چه بسا که در چند دهه‌ی آینده، یا دست کم در همین سده، نوعی نامریی‌شدن به صورت متداول در اختیار قرار گیرد.

فصل ۳ فیزرها و ستارگان مرگ

رادیو هیچ آینده‌ای ندارد، ماشین‌های پرنده‌ی سنگین‌تر از هوا ناممکن‌اند، اثبات خواهد شد که پرتوی ایکس نیرنگی بیش نیست.

ــ لرد کلوین فیزیکدان، ۱۸۹۹

بمب اتمی اصلا منفجر نخواهد شد. من این را به عنوان یک متخصص مواد منفجره می‌گویم.

ــ آدمیرال ویلیام لیی

٤-۳-۲-۱، آتش!

ستاره‌ی مرگ سلاحی غول‌آساست، به اندازه‌ی یک ماه کامل. شلیک سوزاننده‌ی ستاره‌ی مرگ به سیاره‌ی بی‌دفاع *الدِران*، سرزمین شازده خانم لیا، باعث تراکندن مهیب آن سیاره و پراکندن تکه پاره‌هایی به اطراف منظومه‌ی خورشیدی شد. فریاد زجرآلود میلیاردها انسان، اختلالی را در «نیروی» احساس‌شده در سرتاسر کهکشان سبب شد.

اما آیا به راستی اسلحه‌ی ستاره‌ی مرگ بیان شده در داستان جنگ *ستارگان* امکان‌پذیر است؟ آیا چنین سلاحی متشکل از آتشبارهای توپخانه‌ی لیزری می‌تواند سیاره‌ای کامل را بخار کند؟ درباره‌ی شمشیرهای نوری در دستان *لوک اسکای‌واکر* و *دارت ویدر* که با نور

می‌توانند فولاد را ببرند چه بگوییم؟ آیا تفنگ‌های پرتویی، مانند فِیزرها در *پیشتازان فضا*، سلاح‌هایی ممکن برای نسل‌های آینده‌ی نیروهای انتظامی و پلیس خواهند بود؟

در جنگ *ستارگان* میلیون‌ها سینمارو مجذوب این جلوه‌های ویژه‌ی چشمگیر شدند، ولی برخی منتقدان تحت تاثیر قرار نگرفتند و با گفتن این‌که این‌ها همگی سرگرم‌کننده بود ولی یقینا امکان ندارد، شدیدا به آن تاختند. توپخانه‌ای سیاره‌سوز به اندازه‌ی ماه و نیز شمشیرهای ساخته‌شده از باریکه‌های نور جامد، حتا برای کهکشانی بسیار بسیار دور دست هم، موضوعاتی عجیب و غریب‌اند. جرج لوکاس، استاد جلوه‌های ویژه، حتما این دفعه حسابی از کوره در رفته بود.

گرچه باور آن دشوار می‌نماید ولی واقعیت در آن است که برای مقدار انرژی‌ای که می‌توان در یک باریکه‌ی نور چپاند هیچ محدویت فیزیکی وجود ندارد. هیچ قانون فیزیک بر سر راه ساخت ستاره‌ی مرگ یا شمشیرهای نوری قرار نمی‌گیرد. راستش در طبیعت باریکه‌های سیاره‌سوز تابش گاما وجود دارند. زبانه‌های عظیم تابش آمده از فوران‌گر پرتوی گاما در فضای دوردست، انفجاری تنها کوچک‌تر از خود بیگ‌بنگ را برپا می‌سازد. هر سیاره‌ی بینوایی که در تیررس فوران‌های یک فوران‌گر پرتوی گاما قرار گیرد واقعا جزغاله یا خرد و خاکشیر خواهد شد.

تسلیحات باریکه‌ای در طول تاریخ

رویای بهره‌گیری از باریکه‌های انرژی نه ایده‌ای تازه که ریشه در اسطوره و قصه‌های باستانی دارد. *زئوس* خدای یونانی برای فرستادن آذرخش بر سر آدمیزاد مشهور بود. خدای نروژی، *تور*، پتکی جادویی به نام *میولنیر* داشت که می‌توانست آذرخش پرتاب کند، و *ایندر*، خدای هندو برای شلیک باریکه‌های انرژی از نیزه‌ای جادویی شهره بود.

مفهوم استفاده از پرتوها به عنوان اسلحه‌ای عملی، احتمالا به کار ریاضیدان بزرگ یونانی ارشمیدس باز می‌گردد. وی که شاید بزرگترین دانشمند تمام عصر باستان است دو هزار سال پیش، قبل از نیوتون و

لایب‌نیتز، نوعی حسابان ابتدایی را کشف کرد. در نبردی افسانه‌ای علیه قوای ژنرال رومی مارسلوس در طی جنگ دوم پونی در ۲۱۴ پ‌م، ارشمیدس به دفاع از پادشاهی سیراکوز شتافت و باور بر این است که آتشبارهای بزرگی از بازتابنده‌های خورشیدی ساخت که آفتاب را روی بادبان ناوهای دشمن متمرکز می‌ساخت و آن‌ها را به آتش می‌کشید. (حتا امروزه هم در بین دانشمندان بر سر این‌که آیا این یک اسلحه‌ی پرتویی عملی بوده است یا خیر، بحث و جدل هست؛ گروه‌های گوناگونی از دانشمندان سعی بر بازسازی این شاهکار کرده‌اند که نتایجی متفاوت را به دست آورده‌اند.)

پای تفنگ‌های پرتویی از ۱۸۸۹ به وسیله‌ی اچ. جی. ولز در داستان کلاسیک *نبرد دنیاها*، که در آن فضاییان آمده از بهرام با انرژی گرمایی شلیک‌شده از سلاح‌هایی که بر روی سه‌پایه قرار داشتند شهرها را کاملا نابود می‌کردند، به صحنه‌ی علمی تخیلی باز شد. در طی جنگ جهانی دوم نازی‌ها که همواره مشتاق بهره‌گیری از آخرین دستاوردهای فنی برای تسخیر جهان بودند با انواع و اقسام تفنگ‌های پرتویی، از جمله وسیله‌ای صوتی، بر اساس آینه‌های شلجمی که قادر به متمرکزکردن باریکه‌های پرشدت صدا بود، دست به آزمایش زدند.

با نمایش فیلم جیمز باند *انگشت طلا*، که نخستین فیلم هالیوود برای نمایش لیزر بود، سلاح‌های ساخته‌شده از باریکه‌های متمرکز نور به عرصه‌ی خیالپردازی مردم وارد شدند. (در این فیلم، جاسوس افسانه‌ای بریتانیایی بر روی میزی فلزی بسته شد بود و هم‌زمان باریکه‌ی لیزر توانمندی به آرامی پیش می‌آمد و میز بین پاهای او را ذوب می‌کرد و بیم آن می‌رفت که او را دو شقّه کند.)

دانشمندان در آغاز ایده‌ی تفنگ‌های پرتویی مطرح‌شده در رمان ولز را به ریشخند گرفتند، چون آن‌ها قوانین اپتیک را نقض می‌کردند. بنابر معادلات مکسول، نور که ما در پیرامونمان می‌بینیم به سرعت ناپدید می‌شود و ناهمدوس است (یعنی معجونی از موج‌هایی با فرکانس‌ها و فازهای متفاوت). زمانی تصور می‌شد که ساختن باریکه‌های همدوس،

متمرکز و یکنواخت نور، آن گونه ما در باریکه‌های لیزر می‌بینیم، امکان‌ناپذیر است.

انقلاب کوانتومی

با آمدن نظریه‌ی کوانتوم تمام این‌ها تغییر کرد. در آغاز سده بیستم آشکار شده بود که گرچه قوانین نیوتون و معادلات مکسول در توصیف حرکت سیاره‌ها و رفتار نور به گونه‌ای خیره‌کننده موفق بودند، ولی نمی‌توانستند سر تا پای پدیده‌ها را توضیح دهند. آن‌ها در توضیح این‌که چرا مواد رسانای الکتریسته‌اند، چرا فلزات در دماهایی معین ذوب می‌شوند، چرا گازها با داغ‌شدن نور می‌تابانند، چرا موادی مشخص در دماهای پایین ابررسانا می‌شوند، ناتوان بودند ـ تمام این موارد نیازمند درک دینامیک درونی اتم‌هاست. دیگر وقت انقلاب فرارسیده بود. دویست و پنجاه سال فیزیک نیوتونی رو به سرنگونی بود و از دشواری زایش فیزیکی تازه خبر می‌داد.

در ۱۹۰۰ ماکس پلانک در آلمان پیشنهاد کرد که انرژی بر خلاف تصور نیوتون پیوسته نیست بلکه در بسته‌هایی کوچک و گسسته به نام «کوانتوم» قرار دارد. سپس در ۱۹۰۵ اینشتین فرض کرد که نور هم از این بسته‌های گسسته‌ی ریز (یا کوانتوم) ساخته شده است که بعدا آن‌ها را «فوتون» نامید. اینشتین با این ایده‌ی قدرتمند ولی ساده توانست اثر فوتوالکتریک را توضیح دهد، این‌که چرا وقتی نور به فلزات تابانده می‌شود آن‌ها از خود الکترون گسیل می‌کنند. امروزه اثر فوتوالکتریک و فوتون اساس تلویزیون، لیزرها، پیل‌های خورشیدی، و بسیاری از ابزارهای الکترونیکی جدید را می‌سازند. (نظریه‌ی فوتون اینشتین آن‌چنان انقلابی بود که حتا ماکس پلانک که معمولا پشتیبان عمده‌ی اینشتین بود نتوانست نخست آن را باور کند. پلانک در مورد اینشتین گفت «این‌که او گاهی نتوانسته به هدف بزند ... مثلا در مورد فرضیه‌ی کوانتوم‌های نور، نباید منجر به کنارگذاشتن وی شود.»)

سپس در ۱۹۱۳ فیزیکدان دانمارکی نیلس بور تصویری کاملا تازه از

اتم را در اختیار ما گذارد که مانند یک منظومه‌ی خورشیدی مینیاتوری بود. اما بر خلاف منظومه‌ی خورشیدی در فضا، الکترون‌ها تنها می‌توانستند در مدارها یا لایه‌هایی گسسته در اطراف هسته حرکت کنند. وقتی الکترون از یک لایه به لایه‌ای کوچک‌تر با انرژی کم‌تر «می‌پرید»، یک فوتون انرژی گسیل می‌کرد؛ و با جذب فوتونی دارای انرژی گسسته، به لایه‌ای بالاتر با انرژی بیش‌تر «می‌پرید».

با آمدن مکانیک کوانتومی و کارهای انقلابی اروین شرودینگر و ورنر هایزنبرگ و بسیاری دیگر، نظریه‌ی تقریبا کاملی از اتم در ۱۹۲۵ سر برآورد. بنا به نظریه‌ی کوانتوم، الکترون یک ذره بود ولی موجی به آن وابسته بود که هر دو خاصیت ذره و موج‌مانند را به آن می‌بخشید. این موج از معادله‌ای به نام معادله‌ی موج شرودینگر پیروی می‌کرد که با آن می‌شد خواص اتم‌ها از جمله تمام «پرش‌های» مورد فرض بور را محاسبه کرد.

پیش از ۱۹۲۵ کماکان اتم‌ها را به صورت اشیایی اسرارآمیز در نظر می‌گرفتند و افراد زیادی مانند ارنست ماخ فیلسوف، بر این باور بودند که شاید اصلا وجود نداشته باشند. پس از ۱۹۲۵ دیگر می‌شد به دقت به درون دینامیک اتم‌ها نگریست و عملا خواص آن‌ها را پیش‌بینی کرد. شگفتا که اگر شما کامپیوتری به حد کافی بزرگ در اختیار داشته باشید می‌توانید خواص عناصر شیمیایی را از روی قوانین نظریه‌ی کوانتوم به دست آورید. به همان گونه که اگر فیزیکدان‌های نیوتونی ماشین حسابی به حد کافی بزرگ در دست داشتند می‌توانستند حرکت تمام اجسام آسمانی در گیتی را مورد محاسبه قرار دهند، فیزیکدان‌های کوانتومی هم می‌توانند در اصل به محاسبه‌ی تمام خواص عناصر شیمیایی در گیتی بپردازند. اگر کسی کامپیوتری به حد کافی بزرگ در دست داشته باشد او نیز می‌تواند تابع موج تمام انسان را بنویسد.

میزرها و لیزرها

در ۱۹۳۵ پروفسور چالرز تاونز از دانشگاه کالیفرنیا در برکلی و همکارانش

نخستین تابش همدوس به شکل میکروموج را درست کردند. بـه آن مِیـزر گفته شد (برگرفته از تقویت میکروموج بـا گـسیل القـایی تـابش). وی و فیزیکدان‌های روس نیکلای باسوف و الکساندر پروخوروف، سـرانجام در ۱۹٦٤ جایزه‌ی نوبل را بردند. طولی نکشید که نتایج آنان به نور مریی هـم گسترش داده شد و به پیدایش لیزر انجامید. (البته فِیزر چیزی بیش از یک وسیله‌ی تخیلی که در *پیشتازان فضا* مطرح شد نیست.)

در لیزر ابتدا با محیطی ویژه مانند گاز، بلور، یا دیود، که باریکـه‌ی لیـزر را گذر می‌دهد شروع به کار می‌کنیم. سپس از بیرون انـرژی را بـه شـکل الکتریسیته، رادیویی، نور، یا واکنش شیمیایی به درون این محیط می‌دمـیم. ورود ناگهانی این انرژی اتم‌های محیط را برانگیخته مـی‌کنـد و در نتیجـه الکترون‌ها با جذب این انرژی، سپس به لایه‌های الکترونی بالاتر می‌پرند.

محیط در این حالتِ برانگیخته و پرانرژی ناپایدار است. حال اگر کـسی باریکه‌ای نور به درون محیط بفرستد، فوتون‌ها بـه هـر اتـم مـی‌خورنـد و سبب می‌شوند که ناگهان به تـرازی پـایین‌تـر فـرو بیفتنـد و فوتـون‌هـای بیش‌تری را در این فرایند آزاد کننـد. ایـن بـه نوبـه‌ی خـود بـه رهاشـدن فوتون‌های بیش‌تری از سوی الکترون‌ها منجر مـی‌شـود کـه سـرانجام بـه آبشاری از اتم‌های فروریزنده همراه با تریلیون‌ها تریلیون فوتون که ناگهان به درون باریکه رها می‌شوند خواهد انجامید. نکته در این است کـه بـرای برخی مواد معین وقتی که این بهمن فوتون‌ها فرومی‌ریزد تمـام فوتـون‌هـا هماهنگ با هم شروع به ارتعاش می‌کنند، یعنی که همدوس هستند.

(ردیفی از دومینوها را در نظر بگیرید. دومینوها در پایین‌ترین حالت انرژی خود روی میز ولو شده‌اند. دومینوها در حالتی برانگیخته و پرانرژی، به طور عمودی قرار گرفته‌اند، شبیه به اتم‌های برانگیخته در محیط. اگر یک دومینو را هل دهید می‌توانید موجب فرروریزی ناگهانی تمام این انرژی در یک لحظه شوید، درست مانند باریکه‌ی لیزر.)

تنها مواد خاصی «لِیز» می‌کنند، یعنی تنها در مواد خاصی است که وقتی فوتونی به اتمی برانگیخته می‌خورد فوتونی گسیل خواهد شد که با فوتون

اولیه همدوس است. در نتیجه‌ی این همدوسی، همه‌ی فوتون‌های موجود در این سیل فوتون‌ها هماهنگ با هم ارتعاش می‌کنند و باریکه‌ی لیزری به پهنای مداد می‌سازند. (بر خلاف گفته‌ی رایج، پهنای باریکه‌ی لیزر تا ابد به همان باریکی مداد باقی نمی‌ماند. مثلا باریکه‌ی لیزر شلیک‌شده به ماه اندک اندک گسترش می‌یابد تا این‌که سرانجام به قطر چند کیلومتر می‌رسد.)

یک لیزر گازی ساده شامل لوله‌ای پر از گاز هلیم و نئون است. وقتی الکتریسیته به درون این لوله فرستاده می‌شود، اتم‌ها انرژی می‌گیرند. سپس اگر به ناگاه انرژی کاملا آزاد شود باریکه‌ای از نور همدوس شکل می‌گیرد. این باریکه با استفاده از دو آینه که در دو سر لوله قرار دارند تا باریکه در بین آن‌ها پس و پیش رود، تقویت می‌شوند. یک آینه کاملا کدر است، ولی دیگری خروج مقدار اندکی از نور را در هر گذر امکان‌پذیر می‌کند و منجر به باریکه‌ای می‌شود که از یک سر بیرون می‌زند.

امروزه لیزرها تقریبا در همه جا پیدا می‌شوند، از پیشخوان فروشگاه‌ها گرفته تا کابل‌های فیبرنوری حامل اینترنت، تا چاپگرهای لیزری و CDخوان‌ها، تا کامپیوترهای مدرن. آن‌ها در جراحی چشم، برداشتن خالکوبی‌ها، و حتا آرایشگاه‌ها هم به‌کار گرفته می‌شوند. در ۲۰۰٤ بیش از ۵٫٤ میلیارد دلار لیزر در سرتاسر جهان به فروش رفته است.

انواع لیزرها و همجوشی

با پیداشدن مواد جدیدی که می‌توانند لیز کنند و به دست آوردن شیوه‌هایی جدید برای دمیدن انرژی به درون محیط، کمابیش هر روزه لیزری تازه کشف می‌شود.

پرسش آن است که آیا یکی از این فنّاوری‌ها برای ساخت تفنگ پرتویی یا شمشیر نوری به کار می‌آید؟ آیا می‌شود لیزری به حد کافی توانمند برای انرژی دادن به ستاره‌ی مرگ ساخت؟ امروزه بر حسب نوع ماده‌ای که لِیز می‌کند و انرژی تزریق‌شده درون محیط (مثلا الکتریسیته،

باریکه‌های پرشدت نور، حتا انفجارهای شیمیایی) انواع و اقسام سردرگم‌کننده‌ای از لیزرها وجود دارند. از جمله:

- *لیزرهای گازی.* لیزرهای هلیم ـ نئون که خیلی متداول‌اند و باریکه‌های قرمزی می‌سازند، از جمله‌ی این لیزرهایند. این‌ها با موج‌های رادیویی یا الکتریسیته انرژی‌دار می‌شوند. لیزرهای هلیم ـ نئون کاملا ضعیف‌اند. ولی لیزرهای گازی کربن دیوکسید را که قادر به ایجاد باریکه‌های کاملا نامریی بسیار پرتوان‌اند، می‌توان برای برشکاری و جوشکاری در صنایع سنگین به کار گرفت.
- *لیزرهای شیمیایی.* این لیزرهای توانمند با واکنشی شیمیایی، مانند جت سوزانی از اتیلن و نیتروژن تری‌فلوئورید یا NF_3، انرژی‌دار می‌شوند. چنین لیزرهایی برای کاربردهای نظامی به حد کافی توان دارند. لیزرهای شیمیایی در لیزرهای نظامی هوابرد و زمینی آمریکا به کار گرفته می‌شوند و با قابلیت تولید چندین میلیون وات توان برای سرنگون‌کردن موشک‌های کوتاه‌برد در هوا طراحی شده‌اند.
- *لیزرهای اِکسیمِر.* این لیزرها نیز با واکنش‌های شیمیایی که اغلب شامل گازی خنثا (مثلا آرگون، کریپتون، یا زنون) و فلوئور یا کلر است، انرژی‌دار می‌شوند. این‌ها نور فرابنفش می‌سازند و می‌توانند در حکّاری ترانزیستورهای ریز درون تراشه‌ها در صنعت الکترونیک، یا برای جراحی ظریف لیزیک چشم به کار گرفته شوند.
- *لیزرهای حالت جامد.* نخستین لیزر عملیاتی ساخته شده متشکل از بلور یاقوت کروم ـ سَفایر بود. انواع زیادی از بلورها همراه با ایتریم، هولمیم، تولیم، و دیگر مواد شیمیایی، باریکه‌ی لیزر را فراهم می‌کنند. این‌ها قادر به ایجاد تپ‌های فوق کوتاه پرانرژی نور لیزرند.
- *لیزرهای نیم‌رسانا.* دیودها که به طور معمول در صنعت الکترونیک به کار گرفته می‌شوند می‌توانند باریکه‌های پرشدتی تولید کنند که در برشکاری و جوشکاری صنعتی کاربرد دارند. این‌ها اغلب در پیشخوان فروشگاه‌ها برای خواندن بارکدهای روی کالاهای خریداری‌شده به کار گرفته می‌شوند.
- *لیزرهای رنگینه‌ای.* این لیزرها از رنگینه‌های آلی به عنوان محیط خود سود می‌جویند. این‌ها به‌ویژه برای ایجاد تپ‌های فوق کوتاه نور که غالبا تنها چند تریلیونیم ثانیه عمر دارد به کار برده می‌شوند.

لیزرها و تفنگ‌های پرتویی؟

با داشتن انواع گوناگون لیزرهای تجاری و توان لیزرهای نظامی چرا هنوز به تفنگ‌های پرتویی قابل استفاده در نبرد و میدان رزم دست نیافته‌ایم؟ انگار در فیلم‌های علمی تخیلی تفنگ‌های پرتویی مختلف به سلاح استاندارد تبدیل شده‌اند. پس چرا به ساخت آن‌ها دست نمی‌زنیم؟

پاسخ سرراست عبارت است از نبود منبع توان پرتابل و قابل حمل. ما به منبع توان مینیاتوری به اندازه‌ی کف دست با قابلیت تامین توان نیروگاهی عظیم نیاز داریم. فعلا تنها راه بهره‌گیری از توان یک نیروگاه تجاری بزرگ، ساختن خود آن است. در حال حاضر کوچک‌ترین وسیله نظامی پرتابل که می‌تواند شامل مقدار زیادی انرژی باشد، یک بمب هیدروژنی مینیاتوری است که شاید علاوه بر هدف، خودتان را هم به آن دنیا بفرستد.

دشواری دیگر عبارت است از پایداری ماده‌ی لیزکننده. از لحاظ نظری هیچ محدودیتی بر سر راه انرژی‌ای که می‌توان در لیزر چپاند وجود ندارد. مسئله آن است که ماده‌ی لیزکننده در تفنگ لیزری پایدار نخواهد ماند. مثلا لیزرهای بلوری در صورت تزریق مقدار زیاد انرژی، خیلی داغ می‌شوند و ترک می‌خورند. بنابراین برای ساخت لیزری بسیار توانمند که بتواند شیئی را بخار کند یا دشمنی را سر جایش بنشاند، شاید نیاز به توان یک انفجار داشته باشیم. در این صورت دیگر پایداری ماده‌ی لیزکننده محدودیتی به شمار نمی‌رود چون چنین لیزری یکبار مصرف خواهد بود.

به دلیل دشواری‌های ایجاد منبع توان پرتابل و پایداری ماده‌ی لیزکننده ساخت تفنگ پرتویی با فنّاوری امروزین امکان ندارد. تفنگ‌های پرتویی ممکن‌اند ولی تنها در صورتی که با کابل به منبع توان متصل شوند. یا شاید بتوان با نانوفنّاوری باتری‌هایی مینیاتوری ساخت که قادر به ذخیره یا ایجاد انرژی کافی برای تامین فوران‌های شدید انرژی مورد نیاز وسیله‌ای دستی باشد. فعلا همان‌گونه که دیدیم نانوفنّاوری در مراحل آغازین خود است. در سطح اتمی دانشمندان توانسته‌اند وسایلی اتمی بسازند که بسیار

بدیع ولی به‌دردنخورند، مثل چرتکه اتمی یا گیتار اتمی. ولی عاقلانه است که تصور کنیم چه بسا در اواخر این سده یا سده‌ی بعد، نانوفنّاوری بتواند باتری‌هایی مینیاتوری در اختیار ما بگذارد که قادر به ذخیره‌سازی چنین مقادیر عظیمی از انرژی باشند.

شمشیرهای نوری نیز از همین مشکل رنج می‌برند. هنگامی که در دهه‌ی ۱۹۷۰ فیلم *جنگ ستارگان* بر روی پرده آمد و شمشیرهای نوری به پرفروشترین اسباب‌بازی بچه‌ها تبدیل شدند، بسیاری از منتقدان گوشزد کردند که چنین وسیله‌ای هرگز ساخته نخواهد شد. نخست این‌که جامد ساختن نور ناممکن است. نور همواره با سرعت نور حرکت می‌کند؛ نمی‌شود آن را جامد کرد. دوم، بر خلاف شمشیرهای نوری در جنگ *ستارگان*، باریکه‌های نور در میانه‌ی راه پایان نمی‌یابند. باریکه‌های نور تا ابد به راه خود ادامه می‌دهند؛ نوک شمشیر نوری واقعی به دل آسمان فرو می‌رود.

با استفاده از پلاسما، گاز یونیده‌ی بسیار داغ، عملا راهی برای ساخت چنین شمشیر نوری وجود دارد. پلاسما را می‌توان به حد کافی داغ ساخت تا در تاریکی بدرخشد و فولاد را هم ببرد. شمشیر نوری پلاسمایی شامل میله‌ای باریک و توخالی است که مانند تلسکوپ از دسته بیرون کشیده می‌شود. درون این لوله پلاسمای داغ رها خواهد شد که سپس از درون سوراخ‌های کوچکی که در فواصل منظم روی لوله تعبیه شده‌اند بیرون می‌زند. با بیرون آمدن پلاسما از درون دسته، سپس در طول لوله، و سرانجام از داخل سوراخ‌ها، لوله‌ای دراز و درخشنده از گاز ابَرداغ ایجاد می‌شود که برای ذوب‌کردن فولاد کفایت می‌کند. گاهی به این وسیله مشعل پلاسمایی گفته می‌شود.

بنابراین ساخت وسیله‌ای پرانرژی که شبیه شمشیر نوری باشد امکان‌پذیر است. اما همانند تفنگ‌های پرتویی در اینجا هم باید منبع توان پرانرژی پرتابلی را تهیه کرد. یا باید از طریق کابل‌های دراز، شمشیر نوری را به منبع توان متصل کنید یا این‌که با استفاده از نانوفنّاوری منبع توانی کوچک بسازید که بتواند مقادیر عظیمی انرژی فراهم کند.

بدین ترتیب با وجود امکان‌پذیری ساخت تفنگ‌های پرتویی و شمشیرهای نوری به شیوه‌ای در حال حاضر، سلاحهای دستی موجود در فیلم‌های علمی تخیلی ورای فنّاوری امروزین هستند. اما در اواخر این سده یا سده‌ی بعدی با پیشرفت در علم مواد و نیز نانوفنّاوری شاید گونه‌ای تفنگ‌نوری ساخته شود، که آن‌را در امکان‌ناپذیری رده‌ی ۱ جا می‌دهد.

انرژی برای ستاره‌ی مرگ

برای ساخت توپ لیزری ستاره‌ی مرگ، که آن گونه که در جنگ *ستارگان* توصیف شده، قادر به نابودکردن تمام یک سیاره و به وحشت‌انداختن یک کهکشان باشد، لازم است که توانمندترین لیزر قابل تصور ساخته شود. فعلا برخی از توانمندترین لیزرهای روی زمین برای تهیه‌ی دماهایی که تنها در مرکز ستارگان یافت می‌شود به کار برده می‌شوند. شاید روزی آن‌ها در شکل راکتورهای همجوشی، توان ستارگان را بر روی زمین قابل دسترس کنند.

ماشین‌های همجوشی سعی بر بازسازی آن چیزی دارند که وقتی نخستین بار ستاره‌ای در فضا تشکیل می‌شود، رخ می‌دهد. ستاره به صورت گویی عظیم از گاز هیدروژن بی‌شکل آغاز می‌شود تا این‌که سرانجام گرانش گاز را فشرده و در نتیجه آن را داغ می‌کند؛ دماهایی که نهایتا سر به فلک می‌کشند. مثلا در اعماق مرکز یک ستاره دما می‌تواند سر به ۵۰ میلیون و ۱۰۰ میلیون درجه‌ی سانتی‌گراد بزند، که آن‌قدر داغ هست تا سبب کوبیده‌شدن هسته‌های هیدروژن به یکدیگر، ساخت هسته‌ی هلیم و فورانی از انرژی بشود. همجوشی هیدروژن به هلیم که در آن مقدار اندکی جرم از طریق معادله‌ی مشهور اینشتین، $E=mc^2$ ، به انرژی انفجاری ستاره تبدیل می‌شود، منبع انرژی ستارگان به شمار می‌رود.

فعلا دانشمندان از دو طریق می‌کوشند که مهار همجوشی را بر روی زمین به دست بگیرند. معلوم شده است که توسعه‌ی هرکدام بیش از حد انتظار دشوار است.

محصورسازی لَخت برای همجوشی

روش نخست «محصورسازی لخت» نام دارد. در اینجا از قوی‌ترین لیزرهای موجود بر روی زمین برای ایجاد تکه‌ای از خورشید در آزمایشگاه استفاده می‌شود. لیزر حالت جامد شیشه‌ی نئودیمیمی برای ایجاد دماهای وحشتناکی که تنها در قلب ستارگان یافت می‌شود به کار می‌رود. این سیستم‌های لیزری در ابعاد یک کارخانه هستند و حاوی مجموعه‌ای از لیزرهایند که ردیفی از باریکه‌های لیزری موازی را به درون تونلی دراز شلیک می‌کنند. سپس این باریکه‌های لیزری پرتوان به ردیفی آینه‌های کوچک که در اطراف یک کره جا گرفته‌اند برمی‌خورند؛ این آینه‌ها باریکه‌های لیزر را با دقت و یکنواختی بر روی قرصی ریز و غنی از هیدروژن (از جنس ترکیباتی مانند لیتیم دوترید، سازنده‌ی فعال بمب هیدروژنی) متمرکز می‌کنند. معمولا این قرص به اندازه‌ی سرسوزن است و تنها ۱۰ میلی‌گرم وزن دارد.

برخورد نور لیزر سطح قرص را می‌سوزاند و باعث تبخیر سطح و فشردگی قرص می‌شود. با رُمبیدن قرص موجی شوکی ایجاد می‌شود که به قلب قرص می‌رسد و دما را به میلیون‌ها درجه می‌رساند که برای چسباندن هسته‌های هیدروژن و تبدیل به هلیم کفایت می‌کند. دما و فشار آن‌چنان مقادیر نجومی دارند که «معیار لاسن» برقرار می‌شود، همان معیاری که در بمب هیدروژنی و قلب ستارگان برقرار می‌شود. (معیار لاسن می‌گوید برای انجام فرایند همجوشی در بمب هیدروژنی، در ستارگان، یا در ماشین‌های همجوشی، باید گستره‌ای ویژه از دماها، چگالی، و زمان محصورسازی تامین شود.)

در فرایند محصورسازی لخت مقادیر عظیمی انرژی از جمله نوترون‌ها آزاد می‌شوند. (لیتیم دوترید می‌تواند به دماهای تا ۱۰۰ میلیون درجه‌ی سانتی‌گراد و چگالی‌هایی بیست برابر سرب برسد.) سپس زبانه‌ای از نوترون‌ها از قرص فوران می‌کند و نوترون‌ها به روکشی کروی از موادی که در اطراف محفظه جا دارند برمی‌خورد و روکش را داغ می‌کند. در

مرحله‌ی بعد روکش داغ آب را به جوش می‌آورد و از بخار حاصل می‌توان برای چرخاندن توربین و تولید برق استفاده کرد.

با این حال مشکل در قابلیت متمرکزکردن چنین توان عظیمی تنها بر روی قرص کروی ریزی نهفته است. نخستین کوشش جدی در ساخت همجوشی لیزری عبارت بود از لیزر شیوا، سیستم لیزری بیست باریکه‌ای که در آزمایشگاه ملی لارنس لیورمور (LLNL) در کالیفرنیا ساخته و در ۱۹۷۸ عملیاتی شد. (شیوا خدای هندو با چندین بازو است و این سیستم لیزری نیز چنین طرحی دارد.) کارکرد سیستم لیزر شیوا دلسردکننده از آب در آمد، ولی برای اثبات این‌که همجوشی لیزری از نظر فنی می‌تواند نتیجه‌بخش باشد به درد خورد. سیستم لیزر شیوا بعدا با لیزر نُوا جایگزین شد، که انرژی‌ای ده برابر شیوا داشت. ولی لیزر نوا هم نتوانست به سوزاندن مناسب قرص‌ها دست پیدا کند. با وجود این راه را برای پژوهش فعلی در تاسیسات ملی سوزانش (NIF)، که ساخت آن در ۱۹۹۷ در LLNL شروع شد، هموار کرد.

NIF که انتظار می‌رود در ۲۰۰۹ عملیاتی شود[1]، ماشینی است غول‌آسا متشکل از ۱۹۲ باریکه‌ی لیزر با توان خروجی وحشتناک ۷۰۰ تریلیون وات (خروجی تقریبا ۷۰۰,۰۰۰ نیروگاه هسته‌ای چپانده‌شده در یک فوران انرژی). این سیستم لیزری مدرن برای دستیابی به سوزاندن کامل قرص‌های غنی از هیدروژن طراحی شده است. (منتقدان نیز بر کاربرد نظامی آشکار آن انگشت گذارده‌اند. چون می‌تواند انفجار بمب هیدروژنی را شبیه‌سازی کند، یا حتا شاید ساخت سلاح هسته‌ای تازه‌ای را میسر سازد؛ بمب هیدروژنی خالص که برای راه‌انداختن فرایند همجوشی نیازی به بمب اتمی اورانیمی یا پلوتونیمی ندارد.)

ولی حتا ماشین لیزری NIF که دربرگیرنده‌ی قویترین لیزرها بر روی زمین است نیز نمی‌تواند به گرد توان ویرانگر ستاره‌ی مرگ جنگ

---

[1] در نوامبر ۲۰۰۹ گزارش شد NIF به مرحله‌ی راه‌اندازی آزمایشی رسیده و تا ۲۰۱۲ به توان کامل دست می‌یابد. بنگرید به *Laser Focus World*, Nov. 2009, p. 33 ـ م.

ستارگان برسد. برای ساخت چنین وسیله‌ای باید سراغ دیگر منابع نیرو برویم.

محصورسازی مغناطیسی برای همجوشی

روش دومی که دانشمندان می‌توانند به طور بالقوه برای انرژی‌دادن به ستاره‌ی مرگ به کار بگیرند «محصورسازی مغناطیسی» نام دارد، فرایندی که در آن پلاسمایی داغ از گاز هیدروژن درون میدانی مغناطیسی نگه داشته می‌شود. در واقع این روش می‌تواند عملا پیش‌نمونه‌ی نخستین راکتورهای همجوشی تجاری را فراهم سازد. اکنون راکتور آزمایشی گرماهسته‌ای بین‌المللی (ITER) پیشرفته‌ترین پروژه‌ی همجوشی از این دست است. در ۲۰۰۶ چندین کشور (شامل اتحادیه اروپا، ایالات متحده، چین، ژاپن، کره، روسیه، و هندوستان) تصمیم به ساخت ITER در کاداراشه در جنوب فرانسه گرفتند. این راکتور برای داغ‌کردن گاز هیدروژن تا ۱۰۰ میلیون درجه‌ی سانتی‌گراد طراحی شده است و می‌تواند به نخستین راکتور هسته‌ای در تاریخ تبدیل شود که انرژی بیش‌تری از آن‌چه مصرف می‌کند تولید کند. طراحی آن برای تولید توان ۵۰۰ مگاوات به مدت ۵۰۰ ثانیه است (رکورد فعلی ۱۶ مگاوات توان به مدت ۱ ثانیه است). ITER در ۲۰۱۶ نخستین پلاسما را ایجاد می‌کند و در ۲۰۲۲ کاملا عملیاتی خواهد شد. با هزینه‌ای ۱۲ میلیارد دلاری این سومین پروژه‌ی علمی گران در تاریخ به شمار می‌رود (پس از پروژه‌ی منهتن و ایستگاه فضایی بین‌المللی).

ITER شبیه یک دونات بزرگ است، با گاز هیدروژن که درونش می‌چرخد و سیم‌پیچ‌هایی عظیم در دورتادور سطح آن. سیم‌پیچ‌ها تا ابررساناشدن خنک می‌شوند و سپس مقدار زیادی انرژی الکتریکی وارد آن‌ها می‌شود تا میدانی مغناطیسی برای محصورکردن پلاسما درون دونات فراهم شود. وقتی جریانی الکتریکی به درون دونات خورانده می‌شود، گاز تا دمای ستارگان داغ خواهد شد.

دلیل هیجان زیاد دانشمندان نسبت به ITER در چشم‌انداز دستیابی به

یک منبع انرژی ارزان است. آب دریا که غنی از هیدروژن است منبع سوخت برای راکتورهای همجوشی به شمار می‌رود. دست‌کم در روی کاغذ همجوشی می‌تواند برای ما منبعی از انرژی ارزان و پایان‌ناپذیر فراهم کند.

ولی چرا الان راکتورهای همجوشی را در اختیار نداریم؟ چرا با این‌که فرایند همجوشی در دهه‌ی ۱۹۵۰ تبیین شد پیشرفت در آن چندین دهه طول کشیده است؟ مشکل کار عبارت است از دشواری زیاد فشرده‌کردن سوخت هیدروژن به شیوه‌ای یکنواخت. در ستارگان، گرانش گاز هیدروژن را به شکل یک کره‌ی بی‌نقص فشرده می‌کند، به طوری که گاز یکنواخت و تمیز داغ می‌شود.

در لیزر همجوشی NIF باریکه‌های متمرکز نور لیزر که سطح قرص را می‌سوزانند باید کاملا یکنواخت باشند و دستیابی به این یکنواختی بسیار دشوار است. در ماشین‌های محصورسازی مغناطیسی، میدان‌های مغناطیسی دارای هر دو قطب شمال و جنوب‌اند؛ در نتیجه فشرده‌کردن گاز به یکنواختی به شکل یک کره بیش از حد دشوار است. بهترین کاری که می‌شود کرد ایجاد میدان مغناطیسی به شکل دونات است. اما فشرده‌کردن گاز شبیه فشردن بادکنک است. هر بار که یک سر بادکنک را بفشاریم، هوا از جایی دیگر سر در می‌آورد. فشردن بادکنک به یکنواختی و هم‌زمان از همه جهت کار چالش‌آور است. گاز داغ معمولا از میدان مغناطیسی نشت می‌کند و سرانجام به دیواره‌های راکتور می‌رسد و فرایند همجوشی را از کار می‌اندازد. به همین دلیل است که فشرده‌کردن گاز هیدروژن برای بیش از یک ثانیه، این همه دشوار بوده است.

برخلاف نسل فعلی نیروگاه‌های شکافت هسته‌ای، راکتور همجوشی مقادیر زیادی پسماند هسته‌ای ایجاد نمی‌کند. (هر واحد متداول شکافت هسته‌ای ۳۰ تن پسماند بسیار رادیواکتیو در سال تولید می‌کند. در مقابل پسماند هسته‌ای ایجادشده توسط ماشین همجوشی عمدتا فولاد رادیواکتیوی است که پس از اوراق‌کردن راکتور باقی می‌ماند.)

همجوشی در آینده‌ی نزدیک بحران انرژی زمین را حل نخواهد کرد؛

پی‌یر ژیل دُژن برنده‌ی فرانسوی نوبل فیزیک گفته است «می‌گوییم که خورشید را درون جعبه‌ای می‌گذاریم. چه ایده‌ی زیبایی. اما مشکل در این است که نمی‌دانیم آن جعبه را چگونه بسازیم.» اما اگر همه‌چیز بر وفق مراد باشد پژوهشگران امیدوارند که طی چهل سال ITER بتواند راه را برای تجاری‌سازی انرژی همجوشی باز کند، انرژی‌ای که بتواند برق خانه‌هایمان را تامین کند. چه بسا روزی راکتورهای همجوشی مشکل انرژی را از پیش پای ما بردارند و انرژی خورشید را با ایمنی در روی زمین رها سازند.

اما حتا راکتورهای همجوشی محصورسازی مغناطیسی هم یارای تامین انرژی کافی برای نیرودادن به سلاح ستاره‌ی مرگ نیستند. برای این کار به طرحی کاملا تازه نیاز داریم.

لیزرهای پرتوی ایکس با شلیک هسته‌ای

با فنّاوری امروزین امکان دیگری برای شبیه‌سازی توپخانه‌ی لیزری ستاره‌ی مرگ وجود دارد و آن استفاده از بمب هیدروژنی است. ردیفی از لیزرهای پرتوی ایکس که نیروی سلاح‌های هسته‌ای را به کار می‌گیرند و متمرکز می‌کنند، از لحاظ نظری می‌توانند انرژی کافی را برای راه‌اندازی وسیله‌ای فراهم کنند که بتواند کل یک سیاره را بسوزاند.

نیروی هسته‌ای، از نظر وزنی تقریبا ۱۰۰ میلیون برابر انرژی بیش‌تری از یک واکنش شیمیایی فراهم می‌کند. تکه‌ای اورانیم غنی‌شده که بزرگتر از توپ بیسبال نیست برای سوزاندن کامل یک شهر به شکل گلوله‌ای آتشین کفایت می‌کند ـ با این‌که تنها ۱ درصد جرم آن به انرژی تبدیل می‌شود. همان طور که دیدیم راه‌های متفاوتی برای تزریق انرژی به درون باریکه‌ی لیزر وجود دارد. توانمندترین آن‌ها استفاده از نیروی رهاشده از یک بمب هسته‌ای است.

لیزرهای پرتوی ایکس از ارزش علمی و نیز نظامی زیادی برخوردارند. به دلیل طول موج بسیار کوتاه، آن‌ها را می‌توان برای وارسی فواصل اتمی و رمزگشایی از ساختار اتمی مولکول‌های پیچیده به کار گرفت، شاهکاری

که با استفاده از شیوه‌های متداول فوق‌العاده دشوار است. وقتی بتوانیم بگوییم که خود اتم‌ها را در حال حرکت و در آرایش‌های متناسب آن‌ها درون یک مولکول «می‌بینیم»، پنجره‌ای تازه بر روی واکنش‌های شیمیایی گشوده خواهد شد.

چون بمب هیدروژنی مقدار عظیمی انرژی را در گستره‌ی پرتوی ایکس آزاد می‌کند، لیزرهای پرتوی ایکس را نیز می‌توان با سلاح‌های هسته‌ای انرژی‌دار کرد. نزدیکترین فرد به لیزر پرتوی ایکس عبارت است از ادوارد تلر فیزیکدان، پدر بمب هیدروژنی.

البته تلر فیزیکدانی بود که از کنگره در دهه‌ی ۱۹۵۰ رای اعتماد گرفت، چون رابرت اوپنهایمر که سرپرست پروژه‌ی منهتن بود به دلیل گرایش‌های سیاسی‌اش نتوانست برای ادامه دادن کار بر روی بمب هیدروژنی مورد اعتماد قرار گیرد. شهادت تلر منجر به بی‌آبرویی اوپنهایمر و کنارگذاردن صلاحیت امنیتی وی شد؛ بسیاری از فیزیکدان‌های برجسته هیچ‌گاه تلر را به خاطر کاری که کرد نبخشیدند.

(آشنایی من با تلر به زمانی برمی‌گردد که من در دبیرستان بودم. من تعدادی آزمایش بر روی ماهیت پادماده ترتیب دادم و جایزه‌ی بزرگ در نمایشگاه علم سانفرانسیسکو و سفری به نمایشگاه ملی علم در البوکرکی در نیومکزیکو را برنده شدم. من با تلر، که به فیزیکدان‌های جوان خوش‌فکر علاقه داشت، در تلویزیون محلی ظاهر شدیم. سرانجام به من بورس مهندسی هرتز تلر اعطا شد که هزینه‌ی تحصیل من در هاروارد را تامین کرد. من به خاطر چندین بازدیدی که هرسال از خانه‌ی تلر در برکلی داشتم کمابیش با خانواده‌ی وی آشنا بودم.)

اساسا لیزر پرتوی ایکس تلر یک بمب هسته‌ای کوچک است که با میله‌های مسی احاطه شده است. ترکاندن این سلاح هسته‌ای، موج شوکی پرشدتی از پرتوهای ایکس رها می‌کند. این پرتوهای پرانرژی سپس از درون میله‌های مسی می‌گذرند، که در نقش ماده‌ی لیزکننده، توان پرتوهای ایکس را درون باریکه‌های پرشدت متمرکز می‌کنند. سپس این باریکه‌های پرتوی ایکس را می‌شود به سمت کلاهک‌های جنگی دشمن نشانه‌گیری

کرد. البته چنین وسیله‌ای یکبار مصرف است، چون انفجار هسته‌ای باعث می‌شود که لیزر پرتوی ایکس خودتخریبی باشد.

آزمایش ابتدایی لیزر پرتوی ایکس با شلیک هسته‌ای آزمایش کابرا نام داشت که در ۱۹۸۳ در تونلی زیرزمینی صورت گرفت. بمبی هیدروژنی ترکانده شد و سپس سیل پرتوهای ایکس ناهمدوس آن به صورت باریکه‌ی همدوسی از لیزر پرتوی ایکس متمرکز شد. در آغاز تصور شد که این آزمایش موفقیت‌آمیز بوده است و در واقع در ۱۹۸۳ سبب شد که پرزیدنت رانلد ریگان با الهام از آن در نطقی تاریخی قصد خود را برای سپر دفاعی «جنگ ستارگان» ابراز کند. بدین ترتیب کوششی چندین میلیارد دلاری برای ساخت آرایه‌ای از وسایلی شبیه به لیزر پرتوی ایکس با شلیک هسته‌ای به منظور سرنگون‌کردن موشک‌های بالستیک میان‌قاره‌ای (ICBM) دشمن آغاز شد که تا امروز هم ادامه داشته است. (وارسی بعدی نشان داد که آشکارساز به کار رفته برای انجام اندازه‌گیری‌ها در طی آزمایش کابرا خراب بوده است؛ بنابراین مقادیر حاصل از آن نمی‌تواند مورد استناد قرار گیرد.)

آیا به راستی امروز می‌توان از چنین وسیله‌ی بحث‌برانگیزی برای سرنگون‌کردن کلاهک‌های جنگی ICBMها استفاده کرد؟ شاید. اما دشمن می‌تواند از شیوه‌های ساده و ارزان گوناگونی برای عقیم‌کردن چنین سلاح‌هایی استفاده کند (مثلا دشمن می‌تواند برای سردرگم‌کردن رادار میلیون‌ها کاه فلزی ارزان پخش کند، یا برای پراکندن پرتوهای ایکس کلاهک‌های جنگی‌اش را به دَوران درآورد، یا اندودی شیمیایی را برای حفاظت در برابر باریکه‌ی پرتوی ایکس به کار گیرد). یا این‌که دشمن به سادگی برای نفوذ به درون سپر دفاعی جنگ ستارگان دست به تولید انبوه کلاهک‌های جنگی بزند.

پس امروز استفاده از لیزر پرتوی ایکس با شلیک هسته‌ای به عنوان سیستم دفاع موشکی غیر عملی است. اما آیا ساخت ستاره‌ی مرگ برای کاربرد علیه سیارک سرگردانی که به زمین نزدیک می‌شود یا نابودکردن یک سیاره‌ی کامل شدنی هست یا نه؟

فیزیک ستاره‌ی مرگ

آیا می‌شود تسلیحاتی ساخت که مانند آن‌چه در *جنگ ستارگان* می‌بینیم یک سیاره را کاملا نابود کند؟ از لحاظ نظری پاسخ مثبت است. چندین شیوه برای ساخت آن‌ها وجود دارد.

نخست هیچ محدودیت فیزیکی برای انرژی‌ای که می‌تواند توسط بمب هیدروژنی آزاد شود وجود ندارد. نحوه‌ی کار بدین صورت است. (کارکرد دقیق بمب هیدروژنی حتا امروزه هم جزو اسرار فوق محرمانه‌ی دولت آمریکاست، ولی طرح کلی کاملا شناخته شده است.) بمب هیدروژنی عملا در چندین مرحله ساخته می‌شود. با توالی دقیق این مراحل می‌توان بمبی هسته‌ای با قدرتی تقریبا نامحدود ساخت.

مرحله‌ی یکم یک بمب شکافتی استاندارد است، که از توان اورانیم ۲۳۵ در رهاکردن فورانی از پرتوهای ایکس استفاده می‌کند، مانند آن‌چه که در بمب اتمی هیروشیما رخ داد. در کسری از ثانیه، پیش از این‌که انفجار بمب اتمی هر چیزی را نابود کند، کره‌ی منبسط‌شونده‌ی پرتوهای ایکس از انفجار جلو می‌زند (چون با سرعت نور حرکت می‌کند) و سپس بر روی محفظه‌ای از لیتیم دوترید، ماده‌ی فعال بمب هیدروژنی، بازمتمرکز می‌شود. (چگونگی دقیق این کار هنوز هم سری است.) پرتوهای ایکس برخورنده به لیتیم دوترید باعث رُمبش آن و گرمایش آن تا میلیون‌ها درجه و نهایتا انفجار دومی می‌شوند که بسیار بزرگتر از اولی است. فوران پرتوهای ایکس حاصل از این بمب هیدروژنی را سپس می‌توان بر روی دومین تکه‌ی لیتیم دوترید بازمتمرکز کرد و انفجار سومی را سبب شد. بدین طریق می‌توان تکه‌هایی از لیتیم دوترید را کنار هم گذارد و بمبی هیدروژنی با قدرتی غیر قابل تصور ساخت. راستش بزرگترین بمب هیدروژنی ساخته شده تاکنون بمبی دو مرحله‌ای بوده است که توسط اتحاد شوروی در ۱۹۶۱ ترکاند و انفجاری معادل با ۵۰ میلیون تن TNT را سبب شد، هر چند در تئوری قادر به ایجاد انفجاری بیش از ۱۰۰ میلیون تن TNT بود (یا پنج هزار برابر قدرت بمب هیروشیما).

با این حال سوزاندن کامل یک سیاره نیازمند قدرتی بسیار متفاوت است. برای این کار ستاره‌ی مرگ باید هزاران لیزر پرتوی ایکس را در فضا شلیک کند، و لازم است که این شلیک هم‌زمان باشد. (برای مقایسه به یاد بیاورید که در اوج جنگ سرد، آمریکا و شوروی در حدود سی هزار بمب هسته‌ای در انبار داشتند.) انرژی جمعی حاصل از چنین تعداد زیادی لیزر پرتوی ایکس باید برای سوزاندن سطح یک سیاره کفایت کند. پس قطعا برای یک امپراتوری کهکشانی که در هزاران سال آینده وجود خواهد داشت ساخت چنین سلاحی ممکن خواهد بود.

برای تمدنی بسیار پیشرفته، گزینه‌ی دومی هم در دست است: ساخت ستاره‌ی مرگ با استفاده از انرژی فوران‌گر پرتوی گاما. چنین ستاره‌ی مرگی فورانی از تابش را ایجاد خواهد کرد که تنها بیگ‌بنگ از آن برتر است. فوران‌گرهای پرتوی گاما به طور طبیعی در فضای دوردست یافت می‌شوند، ولی تصورکردنی است که تمدنی پیشرفته بتواند از توان بی حد آن‌ها بهره‌گیری کند. با کنترل‌کردن چرخش ستاره درست پیش از این‌که دچار رمبش شود و فوق نواختری (هایپرنوا) بسازد، شاید بتوان فوران‌گر پرتوی گاما را به سمت هر نقطه‌ای از فضا هدف‌گیری کرد.

فوران‌گرهای پرتوی گاما

فوران‌گرهای پرتوی گاما عملا برای نخستین بار در دهه‌ی ۱۹۷۰ دیده شدند، هنگامی که ارتش آمریکا ماهواره‌ی *ولا* را برای آشکارسازی «درخش‌های هسته‌ای» (مدرکی بر انفجار مخفیانه‌ی بمب هسته‌ای) به هوا فرستاد. ولی به جای تشخیص درخش‌های هسته‌ای، *ولا* فورانهای عظیمی از تابش آمده از فضا را آشکارسازی کرد. در آغاز این کشف باعث نگرانی پنتاگون شد: شوروی‌ها داشتند در کجای فضا سلاح هسته‌ای جدیدی را آزمایش می‌کردند؟ بعدا مشخص شد که این فوران‌ها دارند به طور منظم از سمت آسمان می‌آیند، یعنی این‌که آن‌ها داشتند عملا از بیرون کهکشان راه شیری می‌آمدند. ولی اگر آن‌ها بیرون‌کهکشانی بودند باید واقعا توانی

را در مقادیر نجومی رها می‌کردند تا برای روشن‌کردن تمام گیتی قابل دید کفایت کند.

وقتی در ۱۹۹۰ اتحاد شوروی از هم پاشید، ناگهان بخش عظیمی از داده‌های اخترشناسی توسط پنتاگون غیر محرمانه شد و اخترشناسان را به وجد آورد. ناگهان اخترشناسان به پدیده‌ای تازه و رازآلود پی‌بردند که داشت به آن‌ها می‌گریست، چیزی که بازنویسی کتاب‌های علمی را الزامی می‌کرد.

چون فوران‌گرهای پرتوی گاما تنها چند ثانیه تا چند دقیقه پیش از ناپدیدشدن عمر می‌کنند، سیستمی پیچیده از حسگرها برای شناسایی و تحلیل آن‌ها مورد نیاز است. نخست ماهواره‌ها فوران آغازی را آشکار می‌کنند و مختصات دقیق فواره را به زمین می‌فرستند. سپس این مختصات به تلسکوپ‌های نوری یا رادیویی ارسال می‌شود تا به سمت مکان دقیق فوران‌گر پرتوی گاما جهت‌گیری کنند.

هرچند که کماکان باید جزئیات زیادی روشن شود، یک نظریه درباره‌ی خاستگاه فوران‌گرهای پرتوی گاما این است که آن‌ها «فوق نواخترانی» با قدرت عظیم‌اند که از خود سیاه‌چاله‌هایی حجیم برجای می‌گذارند. انگار که فوران‌گرهای پرتوی گاما سیاه‌چاله‌هایی غول‌آسای در حال تشکیل هستند.

ولی سیاه‌چاله‌ها از خود دو «جت» تابش گسیل می‌کنند، یکی از قطب شمال و یکی از قطب جنوب، مانند یک فرفره. تابشی که از فوران‌گر پرتوی گامای دوردست دیده می‌شود انگار یکی از جت‌هاست که به سمت زمین قرار دارد. اگر جت یک فوران‌گر پرتوی گاما به سمت زمین بود و فوران‌گر پرتوی گاما در همسایگی کهکشانی ما قرار داشت (چند صد سال نوری از زمین) توان آن برای نابودکردن همه‌ی حیات بر روی سیاره‌ی ما کافی بود.

درآغاز تپ پرتوی ایکس فوران‌گر پرتوی گاما تپی الکترومغناطیسی می‌سازد که تمام تجهیزات الکترونیکی بر روی زمین را از کار می‌اندازد. باریکه‌ی پرشدت پرتوهای ایکس و پرتوهای گامای آن برای آسیب

رساندن به اتمسفر زمین و نابودکردن لایه محافظ اوزون کفایت می‌کند. جت فوران‌گر پرتوی گاما سپس دمای سطح زمین را بالا می‌برد تا این‌که سرانجام توفان‌های آتشین عظیمی که سرتاسر سیاره را دربر می‌گیرد تشکیل شود. برخلاف جنگ *ستارگان*، فوران‌گر پرتوی گاما شاید عملا تمام سیاره را منفجر نکند ولی می‌تواند ریشه‌ی تمام حیات را بخشکاند و سیاره‌ای تفتیده و برهوت برجا بگذارد.

تصورکردنی است که تمدنی صدها هزار تا یک میلیون سال پیشرفته‌تر از ما بتواند چنین سیاه‌چاله‌ای را به سمت هدف قرار دهد. این کار با منحرف‌کردن مسیر سیاره‌ها و ستارگان نوترونی در زاویه‌ای دقیق به سمت ستاره‌ای رو به مرگ، درست پیش از رمبش آن، شدنی است. این انحراف برای تغییردادن محور چرخش ستاره به طوری که در جهت خاصی قرار گیرد کفایت می‌کند. ستاره‌ی رو به مرگ بزرگترین تفنگ پرتویی قابل تصور را در اختیار می‌گذارد.

خلاصه آن‌که استفاده از لیزرهای توانمند برای ساخت تفنگ‌های پرتویی پرتابل یا دستی و شمشیرهای نوری را می‌توان در امکان‌ناپذیری رده ۱ جا داد ـ چیزی که در آینده‌ی نزدیک یا شاید در طی یک سده امکان‌پذیر باشد. اما چالش غایی، هدفگیری ستاره‌ای چرخان پیش از فوران آن به سیاه‌چاله و تبدیل کردن به ستاره‌ی مرگ را باید امکان‌ناپذیری رده‌ی ۲ در نظر گرفت ـ چیزی که آشکارا قوانین فیزیک را زیر پا نمی‌گذارد (فوران‌گرهای پرتوی گاما وجود دارند) ولی شاید تنها در صدها هزار تا میلیون‌ها سال آینده ممکن شود.

فصل ۴ دورفرستی

روبه‌رویی با پارادوکس چه عالی است. اکنون امیدی به پیشرفت داریم.

ــ نیلس بور

راستشو بخوای کاپیتان، من نمی‌تونم قانونای فیزیکو عوض کنم!

ــ اسکاتی، سرمهندس در *پیشتازان فضا*

دورفرستی (Teleportation) یا توانایی انتقال آنی یک فرد یا شئ به مکانی دیگر، فنّاوری‌ای است که می‌تواند مسیر تمدن را تغییر دهد و سرنوشت ملت‌ها را زیر و رو کند؛ می‌تواند به‌گونه‌ای توقف‌ناپذیر قواعد تسلیحاتی را زیر و رو کند: ارتش‌ها می‌توانند نیروهای خود را پشت خطوط دشمن دورفرستی کنند یا رهبران دشمن را به سادگی دورفرستی و آن‌ها را دستگیر نمایند. سیستم‌های ترابری امروزین ـ از خودروها و کشتی‌ها گرفته تا هواپیماها و قطارها، و تمام صنایعی که به این سیستم‌ها خدمات ارائه می‌کنند به درد نخور خواهند شد؛ ما می‌توانیم به سادگی خودمان را به محل کار و کالاهایمان را به بازار دورفرستی کنیم. تعطیلات دم دستی خواهد شد چون ما می‌توانیم خودمان را به مقصد دورفرستی نماییم.

دورفرستی هرچیزی را دگرگون خواهد کرد.

نخستین اشاره‌ها به دورفرستی را می‌توان در متون مذهبی مانند انجیل پیدا کرد، جایی که ارواح، انسان‌ها را به جایی دیگر می‌برند. قطعه‌ی زیر از اعمال رسولان در عهد جدید گویی به دورفرستی فیلیپ از غزه به اشدود اشاره دارد: «وقتی از آب بیرون آمدند، روح خداوند فیلیپ را برداشت و برد و خزانه‌دار حبشی دیگر او را ندید، ولی راه خود را با خوشحالی پیش گرفت و رفت. اما فیلیپ خود را در شهر اشدود یافت. پس هم در آنجا و هم در شهرهای سر راه خود، پیغام خدا را به مردم رساند تا به شهر قیصریه رسید» (اعمال رسولان ۴۰-۸:۳۶).

دورفرستی هم‌چنین در چنته‌ی هرشعبده‌بازی یافت می‌شود: درآوردن خرگوش از کلاه، کارت از درون آستین، و سکه از پشت گوش یک نفر. در یکی از حقه‌های جدید هیجان‌انگیز شعبده‌بازی، یک فیل درسته در پیش چشم حیرت‌زده‌ی تماشاگران ناپدید می‌شود. در این نمایش فیلی به وزن چند تن درون قفسی گذاشته می‌شود. سپس با چرخش چوب‌دستی شعبده‌باز در مقابل حیرت تماشاگران فیل نیست می‌شود. (بدیهی است که فیل به راستی ناپدید نمی‌شود. این کلک با آینه صورت می‌گیرد. در پشت هر میله‌ی قفس، آینه‌ی نواری بلند و باریکی کار گذاشته شده است. هر کدام از این نوارهای آینه‌ی عمودی را می‌توان مثل در روی پاشنه چرخاند. در شروع شعبده وقتی تمام آینه‌های نواری عمودی در پشت میله قرار دارند، نمی‌توان آینه‌ها را دید و فیل معلوم است. ولی وقتی آینه ۴۵ درجه به سمت تماشاچیان چرخانده شود، فیل غیب می‌شود و آن‌چه که تماشاچیان می‌بینند تصویر بازتابیده‌ی دیگر سمت قفس است.)

دورفرستی و علمی تخیلی

نخستین اشاره به دورفرستی در علمی تخیلی، به داستان مرد بی‌پیکر نوشته‌ی ادوارد پیج میچل در ۱۸۷۷ بازمی‌گردد. در این داستان دانشمندی قادر بود که اتم‌های گربه‌ای از هم جدا کند و از طریق سیم تلگراف آن‌ها

را منتقل نماید. بدبختانه هنگامی که دانشمند تلاش می‌کرد خودش را دورفرستی کند باتری تمام شد. تنها سر او با موفقیت دورفرستی شد.

سر آرتور کُنان دویل، که به خاطر داستان‌های شرلوک هلمز خود مشهور است، فریفته‌ی ایده‌ی دورفرستی شد. پس از سال‌ها نوشتن رمان‌های جنایی و داستان‌های کوتاه سرانجام از دست مجموعه‌ی شرلوک هلمز خسته شد و سرانجام کاراگاه خود را کشت، یعنی او و پرفسور موریتاری را از آبشاری به پایین پرتاب کرد. ولی اعتراض مردم آن‌چنان زیاد بود که دویل را واداشت کاراگاه محبوب را از گور بیرون بکشد. چون او نتوانست از دست شرلوک هلمز خلاص شود، دویل در عوض تصمیم به خلق مجموعه‌ای کاملا جدید با هنرنمایی پرفسور چلنجر گرفت، کسی که هم‌تراز شرلوک هلمز بود. هر دوی آنان برای حل رازها از ذهنی هشیار و شامه‌ای تیز برخوردار بودند. ولی با آن‌که هلمز برای گشودن قفل موارد تودرتو از منطق خشک استنتاجی بهره می‌گرفت، پرفسور چلنجر در دنیای وهم‌آلود روح‌باوری و پدیده‌های پارانرمال، شامل دورفرستی، به سر می‌برد. در رمان *ماشین تجزیه‌کردن*، چاپ ۱۹۲۷، پروفسور با نجیب‌زاده‌ای روبه‌رو می‌شود که ماشینی برای تجزیه‌کردن آدم و سرهم‌کردن وی در جایی دیگر ساخته است. ولی وقتی مخترع با خودستایی می‌گوید که اختراع وی می‌تواند، در دستانی ناباب، شهرهایی کامل را به‌همراه میلیون‌ها شهروند آن‌ها با فشار یک دکمه نابود کند، پرفسور چلنجر به وحشت می‌افتد. در آخر پرفسور چلنجر با استفاده از آن ماشین مخترع مذکور را تجزیه می‌کند و بدون سرهم‌کردن وی آزمایشگاه را ترک می‌گوید.

بعدا هالیوود دورفرستی را کشف کرد. فیلم مگس ساخت ۱۹۵۸ به تفصیل نشان می‌دهد که وقتی دورفرستی به بیراهه رود چه مصیبتی پیش می‌آید. وقتی دانشمندی با موفقیت خودش را در عرض یک اتاق دورفرستی می‌کند، اتم‌های او با مگسی که تصادفا وارد محفظه‌ی دورفرستی شده در هم آمیخته می‌شود، در نتیجه دانشمند به هیولای جهش‌یافته‌ی هولناکی تبدیل می‌شود که نیم‌انسان و نیم‌مگس است. (در ۱۹۸۶ بازآفرینی این فیلم با بازی جف گولدمن بر پرده آمد.)

دورفرستی نخستین بار با مجموعه‌ی *پیشتازان فضا* به فرهنگ عامه پا گذاشت. به دلیل این‌که بودجه‌ی استودیوی پارامونت امکان ساخت جلوه‌های ویژه‌ی لازم برای شبیه‌سازی نشست و برخاست موشک‌ها در سیاره‌های دوردست را فراهم نمی‌ساخت، جین رادنبری خالق *پیشتازان فضا* دورفرستی را در این مجموعه گنجاند. فرستادن خدمه‌ی سفینه‌ی *اینترپرایز* به مقصد با نور، کم هزینه‌تر از آب در می‌آمد.

در طول سال‌ها انواع و اقسام اعتراض‌ها از سوی دانشمندان نسبت به امکان‌پذیری دورفرستی ابراز شد. برای دورفرستی یک شخص لازم است که مکان دقیق هر اتم را در بدن زنده بدانیم، که احتمالا اصل عدم قطعیت هایزنبرگ را نقض می‌کند (که می‌گوید شما نمی‌توانید هم مکان دقیق و هم سرعت هر الکترون را بدانید). تهیه‌کنندگان مجموعه‌ی *پیشتازان فضا*، با نرمش در برابر منتقدان، «جبران‌گرهای هایزنبرگی» را در اتاقک انتقال جا دادند، تا با افزودن وسیله‌ای به انتقالگر بتوان قوانین فیزیک کوانتومی را جبران کرد. ولی احتمالا نیاز به ساخت این جبران‌گرهای‌هایزنبرگی بی‌خود بود. چه بسا که منتقدان اولیه و دانشمندان در اشتباه بوده باشند.

دورفرستی و نظریه‌ی کوانتوم

بنا به نظریه‌ی نیوتونی دورفرستی آشکارا ناممکن است. قوانین نیوتون بر اساس این دیدگاه‌اند که ماده از توپ‌های بیلیارد ریز و سفتی ساخته شده است. اشیاء تا زمانی که هل داده نشوند حرکت نمی‌کنند؛ اشیاء ناگهان ناپدید و در جای دیگر پدیدار نمی‌شوند.

اما در نظریه‌ی کوانتوم این همان کاری است که ذرات می‌توانند انجام دهند. هنگامی که ورنر هایزنبرگ، اروین شرودینگر، و همکارانشان در ۱۹۲۵ نظریه‌ی کوانتوم را بیان کردند، قوانین نیوتون که به مدت ۲۵۰ سال حاکم بی‌چون و چرا بودند سرنگون شدند. فیزیکدان‌ها به هنگام تحلیل خواص عجیب اتم‌ها کشف کردند که الکترون‌ها می‌توانند مانند موج عمل کنند و در حرکت‌های به ظاهر آشفته‌ی خود در درون اتم‌ها پرش‌های کوانتومی انجام دهند.

در ۱۹۰۵ اینشتین نشان داد که موج‌های نور می‌توانند خواصی ذره‌مانند داشته باشند؛ یعنی آن‌ها را می‌توان به صورت بسته‌های انرژی موسوم به فوتون توصیف کرد. ولی در دهه‌ی ۱۹۲۰ کم کم داشت برای شرودینگر مشخص می‌شد که برعکس این هم درست است: این‌که ذراتی مانند الکترون بتوانند رفتار شبیه به موج از خود بروز دهند. این ایده نخستین بار توسط فیزیکدان فرانسوی لویی دوبروی مطرح شد، که جایزه‌ی نوبل فیزیک را برای او به ارمغان آورد. (ما در دانشگاه خودمان این را به دانشجویان کارشناسی نشان می‌دهیم. ما الکترون‌ها را درون لوله‌ی پرتو کاتدی، که در تلویزیون‌ها هم وجود دارد، شلیک می‌کنیم. الکترون‌ها از درون سوراخی ریز می‌گذرند، پس قاعدتا انتظار داریم که در جایی که الکترون‌ها به صفحه‌ی تلویزیون می‌خورند لکه‌ای ریز ببینیم. در عوض با حلقه‌های هم‌مرکز موج‌واری مواجه می‌شویم که تنها چنان‌چه موجی از درون سوراخ بگذرد انتظار آن‌ها می‌رود، نه زمانی که ذره‌ای نقطه‌ای عبور می‌کند.)

یک روز شرودینگر درباره‌ی این پدیده‌ی عجیب سخنرانی می‌کرد. او با پرسش فیزیکدان دیگری به نام پیتر دبای به چالش کشیده شد: اگر الکترون‌ها را با موج توصیف کنیم پس معادله‌ی موج آن‌ها چیست؟

از زمانی که نیوتون حسابان را ایجاد کرده بود فیزیکدان‌ها توانسته بودند موج‌ها را برحسب معادلات دیفرانسیل تشریح کنند، پس شرودینگر هم پرسش دبای را به عنوان چالشی برای نوشتن معادله‌ی دیفرانسیل موج‌های الکترون جدی گرفت. همان ماه شرودینگر به مرخصی رفت و در بازگشت، آن معادله را با خود به ارمغان آورد. پس به همان ترتیبی که مکسول پیش از آن میدان‌های نیروی فارادی را گرفت و معادلات مکسول را برای نور از دل آن‌ها بیرون کشید، شرودینگر هم ماده ـ موج دوبروی را گرفت و از دل آن معادلات شرودینگر برای الکترون‌ها را استخراج کرد.

(تاریخ‌نویسان علم کوشیده‌اند تا به مسیر دقیقی پی ببرند که شرودینگر برای کشف معادله‌ی مشهورش پیمود که چشم‌انداز فیزیک و شیمی مدرن

را برای همیشه دگرگون ساخت. انگار شرودینگر اغلب تعطیلات خود را با معشوقه‌هایش می‌گذراند و حتا روزنگارهایی دقیق از ملاقات با کشته مرده‌های بی‌شمارش را با رمزهایی پیچیده از هر دیدار یادداشت کرده است. تاریخ‌نویسان اکنون بر این باورند که در آخر هفته‌ای که شرودینگر معادلاتش را کشف کرد در ویلای هرویک در آلپ با یکی از دوست دخترهایش به سر می‌برد.)

هنگامی که شرودینگر شروع به حل معادله‌ی خود برای اتم هیدروژن کرد، با شگفتی کامل به ترازهای انرژی دقیق هیدروژن که پیش‌تر به خوبی توسط فیزیکدان‌ها مدون شده بود دست یافت. او سپس پی‌برد که تصویر قدیمی ارائه‌شده از اتم توسط نیلس بور که در آن الکترون‌ها به دور هسته می‌چرخیدند (که حتا امروزه هم در کتاب‌های درسی و در تبلیغات به عنوان نماد علم جدید به کار برده می‌شود) کاملا اشتباه است. آن مدارها را باید با موج‌هایی که در اطراف هسته‌اند جایگزین کرد.

کار شرودینگر در جامعه‌ی فیزیک غوغایی برپا کرد. ناگهان فیزیکدان‌ها توانستند به درون خود اتم سرک بکشند، به تفصیل موج‌هایی را که لایه‌های الکترونی آن را می‌سازند بیازمایند، و از ترازهای انرژی آن پیش‌بینی‌هایی دقیق بکنند که به خوبی با داده‌ها جور در می‌آید.

ولی پرسشی ناخوشایند که حتا امروز هم گریبان‌گیر فیزیک است کماکان وجود داشت. اگر الکترون را با موج توصیف کنیم، آن‌گاه خود آن موج چه هست؟ پاسخ توسط مکس بورن فیزیکدان داده شد، که گفت این موج‌ها عملا موج‌های احتمال‌اند. این موج‌ها تنها شانس یافتن الکترونی خاص را در هر مکان و هر زمانی بیان می‌کنند. به عبارت دیگر، *الکترون ذره است، ولی احتمال یافتن آن ذره با موج شرودینگر داده می‌شود.* هرچه موج بزرگتر باشد، شانس یافتن آن ذره در آن نقطه بیش‌تر می‌شود.

با این پیشرفت‌ها ناگهان شانس و احتمال درست در قلب فیزیک وارد شد، که تا پیش از آن پیش‌بینی‌هایی دقیق داشت و مسیر ذرات را، از سیاره‌ها گرفته تا دنباله‌دارها تا گلوله‌های توپ، بی‌ردخور تعیین می‌کرد.

این عدم قطعیت سرانجام هنگامی فرمولبندی شد که هایزنبرگ اصل عدم قطعیت را مطرح کرد، یعنی این مفهوم که نمی‌شود هم سرعت دقیق و هم مکان دقیق الکترون را هم‌زمان دانست. هم‌چنین نمی‌توان انرژی دقیق آن را که در مدتی مشخص اندازه‌گیری شده به دست آورد. در سطح کوانتومی تمام قوانین اساسی عقل سلیم نقض می‌شود: الکترون‌ها می‌توانند ناپدید شوند و از جایی دیگر سر در آورند، و نیز می‌توانند هم‌زمان مکان‌های زیادی داشته باشند.

(از بازی روزگار اینشتین، پدرخوانده‌ی نظریه‌ی کوانتوم که در ۱۹۰۵ به آغاز انقلاب کمک کرد، و شرودینگر، کسی که معادله‌ی موج را به ما ارزانی داشت، از واردشدن شانس به فیزیک بنیادی به هراس افتادند. اینشتین نوشت «مکانیک کوانتومی شایسته‌ی احترام زیادی است. اما ندایی درونی به من گوشزد می‌کند که این یعقوب واقعی نیست. این نظریه چیزهای زیادی عرضه می‌کند، ولی نمی‌تواند ما را به اسرار سرورمان نزدیک کند. من به سهم خود معتقدم که او تاس نمی‌ریزد.»)

نظریه‌ی هایزنبرگ انقلابی و جنجالی بود ـ ولی هم‌چنین چاره‌ساز. فیزیکدان‌ها به یکباره توانستند تعداد زیادی پدیده‌های سردرگم‌کننده، از جمله قوانین شیمی را توضیح دهند. برای تحت تاثیر قراردادن دانشجویان دکترایم از لحاظ این‌که نظریه‌ی کوانتوم تا چه حد عجیب است، گاهی از آنان می‌خواهم که این احتمال را محاسبه کنند که اتم‌های آن‌ها ناگهان ناپدید و در سوی دیگر دیوار بازپدیدار شوند. چنین رویداد دورفرستی در فیزیک نیوتونی ناممکن است ولی در مکانیک کوانتومی عملا مجاز به شمار می‌رود. با این حال پاسخ آن است که برای وقوع این رخداد باید بیش از عمر گیتی منتظر بمانیم. (اگر شما از کامپیوتر برای رسم معادله‌ی شرودینگر بدنتان استفاده کنید، پی می‌برید که بسیار شبیه به اعضای بدنتان است، به غیر از این‌که نمودار کمی مبهم است و برخی از موج‌های شما در تمام جهت‌ها بیرون زده‌اند. برخی از موج‌های شما حتا تا ستارگان دور دست هم کشیده می‌شود. پس احتمال بسیار اندکی هست که روزی بتوانید در سیاره‌ای دوردست از خواب بیدار شوید.)

این نکته که گویی الکترون‌ها می‌توانند هم‌زمان در مکان‌های بسیاری وجود داشته باشند مبنای شیمی را می‌سازد. می‌دانیم که الکترون‌ها در اتم به دور هسته می‌چرخند، شبیه به منظومه خورشیدی مینیاتوری. ولی اتم‌ها و منظومه‌ی خورشیدی بسیار متفاوت‌اند؛ اگر دو منظومه‌ی خورشیدی در فضا به هم برخورد کنند، هردو متلاشی می‌شوند و سیاره‌ها به فضای دل ژرف می‌روند. برخلاف آن، وقتی اتم‌ها با هم برخورد می‌کنند اغلب مولکول‌هایی می‌سازند که کاملا پایدارند و الکترون‌ها در بین آن‌ها به اشتراک گذاشته می‌شوند. در کلاس شیمی دبیرستان غالبا آموزگار این را با «الکترون‌های گسترده» نشان می‌دهد، شبیه توپ فوتبال آمریکایی، که دو اتم را به هم متصل می‌کند.

اما آن‌چه که آموزگاران شیمی به ندرت به دانش‌آموزان خود می‌گویند آن است که الکترون بین دو اتم اصلا «گسترده» نمی‌شود. این «توپ فوتبال آمریکایی» عملا نمود این احتمال است که الکترون، در درون این توپ فوتبال، در مکان‌های بسیاری در یک زمان حضور دارد. به زبان دیگر تمام شیمی که مولکول‌های درون بدن ما را تشریح می‌کند، بر اساس این ایده است که الکترون‌ها می‌توانند هم‌زمان مکان‌های بسیاری داشته باشند، و این اشتراک الکترون‌ها بین دو اتم است که مولکول‌ها را درون بدن ما کنار هم‌دیگر نگه می‌دارد. *بدون نظریه‌ی کوانتوم، مولکول‌ها و اتم‌های بدن ما فورا ناپدید می‌شوند.*

این خصلت غریب ولی ژرف نظریه‌ی کوانتوم (که احتمالی متناهی برای وقوع حتا عجیب‌ترین رویدادها وجود دارد) توسط داگلاس آدامز در رمان طنز *راهنمای مفت‌سواری در کهکشان* به کار گرفته شده است. او نیاز به راهی برای این ور و آن ور رفتن در کهکشان داشت، پس او محرک نااحتمال نامتناهی را اختراع کرد، «روش تازه‌ی محشری برای درنوردیدن فواصل نجومی در یک چشم بر هم زدن، بدون آن همه دست و پازدن در فوق فضا.» ماشین وی می‌تواند بخت هر رویداد کوانتومی را به دلخواه تغییر دهد، به طوری که حتا نامحتملترین رویدادها هم پیش پا افتاده می‌شوند. پس اگر شما بخواهید که به نزدیکترین منظومه‌ی ستاره‌ای

بروید، تنها کافی است احتمال بازآفرینی در آن ستاره را تغییر بدهید و بعد، آنجایید! شما در یک چشم به هم زدن به آنجا دورفرستی می‌شوید.

در واقعیت «جهش‌های» کوانتومی بسیار معمول در درون اتم را نمی‌توان به راحتی به اشیای بزرگی مانند آدم‌ها که شامل تریلیون‌ها تریلیون اتم‌اند، تعمیم داد. حتا اگر الکترون‌ها در بدن ما در سفر رویایی‌شان به دور هسته بالا و پایین بپرند، تعداد آن‌ها آن‌قدر زیاد است که میانگینی از حرکت‌های آن‌ها حاصل می‌شود. به بیان ساده به همین دلیل است که در سطح ما مواد منسجم و دایمی به نظر می‌آیند.

پس با آن‌که دورفرستی در سطح اتمی مجاز است، برای این‌که عملا شاهد این اثرات عجیب در مقیاس ماکروسکوپی باشیم باید بیش از عمر گیتی به انتظار بنشینیم. ولی آیا می‌شود مانند داستان‌های علمی تخیلی، از این قوانین نظریه‌ی کوانتوم برای ساخت ماشینی به منظور دورفرستی چیزی به دلخواه استفاده کرد؟ شگفتا که پاسخ تا حدی آری است.

آزمایش EPR

کلید دورفرستی کوانتومی در مقاله‌ی مشهور ۱۹۳۵ آلبرت اینشتین و همکارانش بوریس پودولسکی و ناتان روزن نهفته است، که به قصد تعریض، آزمایش EPR (برگرفته از نام سه نویسنده) را برای کنارگذاردن همیشگی گنجاندن احتمال در فیزیک مطرح کردند. (اینشتین ماتم گرفته از موفقیت‌های تجربی انکارناپذیر نظریه‌ی کوانتوم نوشت «هرچه نظریه‌ی کوانتوم موفق‌تر می‌شود، مسخره‌تر به نظر می‌رسد.»)

اگر دو الکترون در آغاز با هماهنگی ارتعاش کنند (حالت موسوم به همدوسی) می‌توانند در همگامی موج‌وار باقی بمانند، حتا اگر آن‌ها بسیار از هم دور شوند. با آن‌که این دو الکترون چه بسا سال‌های نوری از هم دور باشند، کماکان موج شرودینگر نامریی آن دو را به هم متصل می‌کند، درست مانند بند ناف. اگر بلایی سر یک الکترون بیاید، آن‌گاه مقداری از آن اطلاعات فورا به دیگری منتقل می‌شود. به این «درهم‌تنیدگی

کوانتومی» می‌گوییم، این مفهوم که ذراتی که با همدوسی در حال ارتعاش‌اند دارای نوعی خط ارتباطی ژرف بین خود هستند.

دو الکترون همدوس را که در هماهنگی نوسان می‌کنند در نظر می‌گیریم. سپس می‌گذاریم آن‌ها در جهت‌های مختلف از هم دور شوند. اسپین هر الکترون می‌تواند به سمت بالا یا پایین باشد. فرض می‌کنیم که اسپین کل سیستم برابر صفر است، به طوری که اگر اسپین یک الکترون بالا باشد آن‌گاه خودبه‌خود می‌دانیم که اسپین الکترون دیگر پایین است. بنا به نظریه‌ی کوانتوم پیش از انجام اندازه‌گیری الکترون نه در بالا و نه در پایین اسپین می‌کند، بلکه در حالتی بینابین است که در آن هم‌زمان در بالا و پایین اسپین می‌کند. (به محض انجام مشاهده، تابع موج «می‌رمبد» و ذره را در حالتی مشخص قرار می‌دهد.)

بعد اسپین یک الکترون را اندازه می‌گیریم. مثلا اسپین بالاست. بدین ترتیب فورا می‌دانیم که اسپین الکترون دوم پایین است. حتا اگر الکترون‌ها سال‌های نوری از هم دور باشند به محض اندازه‌گیری اسپین الکترون اول فورا از اسپین الکترون دوم خبردار میشویم. در واقع *شما تندتر از سرعت نور از این آگاه می‌شوید!* چون این دو الکترون «درهم‌تنیده‌اند»، یعنی توابع موج آن‌ها در هماهنگی می‌تپند، توابع موج آن‌ها با «ریسمان» یا بند نافی نامریی به هم متصل‌اند. هرآنچه که برسر یکی بیاید خودبه‌خود بر دیگری هم تاثیر می‌گذارد. (یعنی به مفهومی، آن‌چه که بر سر ما بیاید خودبه‌خود بر چیزهایی در فواصل دور دست گیتی هم‌زمان تاثیر می‌گذارد، چون توابع موج ما احتمالا در آغاز زمان درهم‌تنیده بوده‌اند. تو گویی شبکه‌ای از درهم‌تنیدگی هست که گوشه‌های دوردست گیتی، شامل ما را به هم متصل می‌کند.) اینشتین با تمسخر این را «جن‌زدگی از دور» نامید و به خیال خودش با این پدیده توانست «اثبات» کند که نظریه‌ی کوانتوم اشتباه است، چرا که چیزی نمی‌تواند تندتر از سرعت نور حرکت کند.

اصولا اینشتین آزمایش EPR را به عنوان منادی مرگ نظریه‌ی کوانتوم طرح‌ریزی کرد. ولی در دهه‌ی ۱۹۸۰ آلن آسپه و همکارانش در فرانسه این آزمایش را با دو آشکارساز به فاصله‌ی ۱۳ متر انجام دادند و

اسپین‌های فوتون‌های گسیل‌شده از اتم‌های کلسیم را اندازه گرفتند، و نتایج دقیقا با نظریه‌ی کوانتوم همخوانی داشت. انگار خداوند با گیتی تاس‌بازی می‌کند.

آیا به راستی اطلاعات تندتر از نور حرکت می‌کنند؟ آیا اینشتین در این مورد که سرعت نور حد سرعت در گیتی است اشتباه می‌کرد؟ راستش خیر. اطلاعات تندتر از سرعت نور حرکت می‌کنند، ولی این اطلاعات تصادفی‌اند و در نتیجه به‌درد نخور. حتا اگر اطلاعات تندتر از نور هم حرکت کنند، شما نمی‌توانید پیامی واقعی یا رمز مورس را از طریق آزمایش EPR ارسال کنید.

دانستن این‌که الکترونی در گوشه‌ای از گیتی اسپین پایین دارد اطلاعاتی بی‌فایده است. شما نمی‌توانید با این روش نرخ سهام را ارسال کنید. مثلا گیریم که دوست شما همیشه به طور تصادفی یک لنگه جوراب قرمز و یک لنگه سبز می‌پوشد. حالا شما یک پا را بررسی می‌کنید و می‌بینید که جوراب آن قرمز است. حالا شما تندتر از سرعت نور می‌فهمید که لنگه‌ی دیگر سبز است. اطلاعات عملا تندتر از نور انتقال یافته ولی این اطلاعات به‌درد نخور است. هیچ سیگنالی حاوی اطلاعات ناتصادفی را نمی‌شود با این روش ارسال کرد.

برای سال‌ها آزمایش EPR به عنوان مثالی از پیروزی قاطع نظریه‌ی کوانتوم علیه منتقدانش به کار گرفته می‌شد، ولی این یک پیروزی توخالی، بدون هیچ پیامد عملی بود. البته تا الان.

دورفرستی کوانتومی

در ۱۹۹۳ وقتی دانشمندان IBM به سرپرستی چارلز بنت نشان دادند که با آزمایش EPR به طور فیزیکی می‌شود اشیاء را دورفرستی کرد، دست‌کم در مقیاس اتمی، همه‌چیز تغییر کرد. (به بیان دقیق‌تر آن‌ها نشان دادند که می‌شود تمام اطلاعات گنجانده‌شده در یک ذره را دورفرستی کرد.) از آن هنگام فیزیکدان‌ها توانسته‌اند فوتون‌ها و حتا یک اتم کامل سزیم را

دورفرستی کنند. چه بسا که دانشمندان در طی چند دهه بتوانند نخستین مولکول DNA و ویروس را دورفرستی کنند.

دورفرستی کوانتومی از برخی ویژگی‌های عجیب‌تر آزمایش EPR بهره می‌گیرد. در این آزمایش‌های دورفرستی فیزیکدان‌ها با دو اتم، A و C، کار را آغاز می‌کنند. گیریم که می‌خواهیم اطلاعات را از اتم A به اتم C دورفرستی کنیم. سپس اتم سومی،B، را وارد می‌کنیم که از آغاز با C درهم‌تنیده است، پس B وC همدوس‌اند. اکنون اتم A در تماس با اتم B قرار داده می‌شود. A به پویش B می‌پردازد، به طوری که اطلاعات موجود در اتم A به اتم B منتقل می‌شود. در این فرایند A و B درهم‌تنیده می‌شوند. اما از آنجا که B و C از آغاز درهم‌تنیده بودند، اطلاعات درون A اکنون به اتم C منتقل شده است. در نتیجه اتم A اکنون به درون اتم C دورفرستی شده است، یعنی، اکنون محتوای اطلاعات A با C یکسان است.

توجه کنید که اطلاعات موجود در اتم A از بین رفته (بنابراین دو رونوشت پس از دورفرستی نداریم). یعنی هر کسی که فرضا دورفرستی شود در این فرایند می‌میرد. ولی اطلاعات موجود در بدن وی در جایی دیگر پدیدار خواهد شد. هم‌چنین توجه داشته باشید که اتم A به مکان اتم C نرفته است. بلکه این اطلاعات درون A است (مثلا اسپین و قطبش آن) که به C منتقل شده است. (این بدان معنا نیست که اتم A ناپدید شده و از جایی دیگر سر درآورده است. مفهوم آن این است که اطلاعات موجود در اتم A به اتمی دیگر C منتقل شده است.)

از هنگام خبر این دستاورد، در اثر رقابت شدید بین گروه‌های مختلف برای پیشی‌گرفتن از یکدیگر، پیشرفت کار بسیار سریع شده است. نخستین نمایش تاریخی دورفرستی کوانتومی که در آن فوتون‌های نور فرابنفش دورفرستی شدند در ۱۹۹۷ در دانشگاه اینس‌بروک انجام شد. در سال بعد پژوهشگران در کلتِک با آزمایشی دقیق‌تر شامل دورفرستی فوتون‌ها این روند را پی گرفتند.

در ۲۰۰٤ فیزیکدان‌ها در دانشگاه وین توانستند ذرات نور را در فاصله‌ای ۶۰۰ متری در زیر رودخانه‌ی دانوب با استفاده از کابل فیبر نوری

دورفرستی کنند و رکوردی برپا سازند. (طول خود کابل ۸۰۰ متر بود و در زیر سیستم فاضلاب شهری در زیر دانوب کشیده شده بود. فرستنده در یک سوی رود بود و گیرنده در سوی دیگر.)

انتقاد صورت گرفته به این آزمایش‌ها آن است که آن‌ها با فوتون‌های نور انجام شده‌اند. این‌ها چیزی نیستند که در علمی تخیلی با آن‌ها مواجه می‌شویم. بنابراین هنگامی که در ۲۰۰٤ دورفرستی کوانتومی نه با فوتون‌ها که با اتم‌های واقعی انجام شد و ما را گامی به وسیله‌ی دورفرستی واقع‌گرایانه‌تری نزدیک کرد، اتفاق مهمی رخ داد. فیزیکدان‌ها در انستیتوی ملی استانداردها و فنّاوری در واشینگتن با موفقیت سه اتم بریلیم را درهم‌تنیده وخواص یک اتم را به دیگری منتقل کردند. این دستاورد آن‌چنان مهم بود که روی جلد مجله‌ی *نیچر* را به خود اختصاص داد. گروهی دیگر هم توانست اتم کلسیم را دورفرستی کند.

در ۲۰۰٦ نیز پیشرفت چشمگیر دیگری صورت گرفت، چرا که برای نخستین بار شیئی ماکروسکوپی در کار دخیل بود. فیزیکدان‌ها در انستیتو نیلس بور در کپنهاگ و انستیتو ماکس پلانک در آلمان توانستند باریکه‌ی نور را با گازی از اتم‌های سزیم درهم‌تنیده کنند، شاهکاری شامل تریلیون‌ها تریلیون اتم. سپس آنان اطلاعات موجود در اتم‌های سزیم را در طول فاصله‌ای تقریبا نیم متری ارسال کردند. یوجین پُلزیک یکی از پژوهشگران می‌گوید «برای نخستین مرتبه دورفرستی بین نور ـ حامل اطلاعات ـ و اتم‌ها انجام شد.»

دورفرستی بدون درهم‌تنیدگی

پیشرفت در دورفرستی به سرعت شتاب می‌گیرد. در ۲۰۰۷ دستاوردی دیگر حاصل شد. فیزیکدان‌ها روشی برای دورفرستی بدون نیاز به درهم‌تنیدگی پیشنهاد کردند. به یاد داشته باشیم که درهم‌تنیدگی به تنهایی دشوارترین ویژگی دورفرستی است. حل این مسئله می‌تواند چشم‌اندازهایی تازه پیش روی دورفرستی بگشاید.

استون بردلی از شورای پژوهشی مرکز پیشرفت در اپتیک اتمی

کوانتومی استرالیا در بریزبن که پیشتاز روش تازه‌ی دورفرستی است می‌گوید «ما داریم درباره‌ی باریکه‌ای متشکل از ۵,۰۰۰ ذره می‌گوییم که در یک مکان ناپدید و در مکانی دیگر پدیدار می‌شوند.»

او ادعا می‌کند «ما حس می‌کنیم که طرح ما اصولا به مفهوم تخیلی نزدیک‌تر است.» در رهیافت آنان، وی و همکارانش باریکه‌ای از اتم‌های روبیدیم را گرفته، تمام اطلاعات آن‌ها را به باریکه‌ی نور تبدیل کرده، این باریکه را به کابل فیبر نوری فرستاده، و سپس باریکه‌ی اصلی اتم‌ها را در مکانی دورتر بازسازی می‌کنند. اگر ادعای وی درست باشد، این روش نخستین سنگ را از سر راه دورفرستی بر می‌دارد و شیوه‌هایی کاملا جدید را برای دورفرستی اشیایی هرچه بزرگتر در اختیار می‌گذارد.

برای تمایز این روش جدید با دورفرستی کوانتومی، دکتر بردلی روش خود را «دورفرستی کلاسیک» می‌نامند. (این نام تا حدی گمراه‌کننده است چرا که روش او نیز شدیدا به نظریه‌ی کوانتوم، ولی نه درهم‌تنیدگی، وابسته است.)

کلید این نوع دورفرستی بدیع حالت جدیدی از ماده موسوم به «چگالیده‌ی بوز ـ اینشتین» (BEC) است، که یکی از سردترین موادی است که در تمام گیتی وجود دارد. در طبیعت سردترین دما در فضای بیرونی یافت می‌شود؛ ۳K بالای صفر مطلق. (این ناشی از گرمای بازمانده از بیگ‌بنگ است، که هنوز هم گیتی را پر کرده است.) ولی BEC یک *میلیونیوم تا یک میلیاردیم* درجه بالای صفر مطلق است، دمایی که تنها می‌شود در آزمایشگاه با آن روبه‌رو شد.

وقتی شکل‌های مشخصی از ماده تا نزدیک صفر مطلق سرد شوند، اتم‌های آن‌ها سریعا به پایینترین حالت انرژی فرو می‌افتند، به طوری که تمام اتم‌های آن‌ها در هماهنگی ارتعاش می‌کنند و همدوس می‌شوند. توابع موجی تمام اتم‌ها همپوشانی می‌کند، به طوری که BEC به گونه‌ای، شبیه به یک «ابَراتم» گنده می‌شود، که در آن تمام اتم‌ها در هماهنگی ارتعاش می‌کنند. این حالت عجیب از ماده توسط اینشتین و ساتین‌درانات

بوز در ۱۹۲۵ پیش‌بینی شد اما تا زمانی که سرانجام BEC در ۱۹۹۵ در آزمایشگاه MIT و دانشگاه کلرادو ساخته شد، هفتاد سال گذشت.

کارکرد وسیله‌ی دورفرستی بردلی و همکارانش بدین صورت است. نخست آنان با مجموعه‌ای از اتم‌های روبیدیم ابرسرد در حالت BEC آغاز می‌کنند. سپس آنان باریکه‌ای از ماده را درون BEC می‌فرستند (که آن نیز از اتم‌های روبیدیم ساخته شده). اتم‌های درون باریکه نیز سریعا به پایینترین حالت انرژی خود می‌روند، به طوری که اضافه انرژی را به صورت تپی از نور رها می‌کنند. سپس باریکه‌ی نور حاصل به درون کابل فیبر نوری می‌رود. این باریکه‌ی نور دربرگیرنده‌ی تمام اطلاعات کوانتومی لازم برای تشریح باریکه‌ی اولیه‌ی ماده است (مانند مکان و سرعت تمام اتم‌های آن). بعد این باریکه‌ی نور به BEC دیگری برخورد می‌کند که درنتیجه باریکه‌ی نور را به باریکه‌ی ماده‌ی اصلی تبدیل می‌کند.

این شیوه‌ی تازه‌ی دورفرستی بسیار نویدبخش است، چرا که شامل درهم‌تنیدگی اتم‌ها نیست. ولی این روش هم دشواری‌های خود را دارد. نخست این‌که بسیار به خواص BECها وابسته است که ساخت آن‌ها در آزمایشگاه سخت است. گذشته از آن خواص BECها کاملا عجیب غریب است، زیرا آن‌ها طوری رفتار می‌کنند که گویی یک اتم گنده هستند. در اصل اثرات کوانتومی عجیبی را که تنها در سطح اتمی شاهدیم می‌توانیم با چشم غیر مسلح با BEC مشاهده کنیم. زمانی این امکان‌ناپذیر تصور می‌شد.

کاربرد عملی فوری BECها ساخت «لیزرهای اتمی» است. البته لیزرها بر پایه‌ی باریکه‌های همدوس فوتون‌هایی‌اند که در هماهنگی ارتعاش می‌کنند. ولی BEC مجموعه‌ای از اتم‌هایی است که در هماهنگی ارتعاش می‌کنند، پس می‌شود باریکه‌هایی از اتم‌های BEC ساخت که همگی همدوس باشند. به زبان دیگر BEC می‌تواند همتای لیزر را ایجاد کند، لیزر اتمی یا لیزر ماده، که از اتم‌های BEC ساخته شده است. کاربردهای تجاری لیزرها بی‌شمارند، و کاربردهای تجاری لیزرهای اتمی نیز می‌تواند به همان اندازه ژرف باشد. ولی چون BECها تنها در دماهایی درست

بالای صفر مطلق وجود دارند، پیشرفت در این زمینه هرچند آهسته ولی پیوسته خواهد بود.

با دانستن پیشرفت‌های به دست آمده بالاخره کی می‌توان انتظار داشت که بتوانیم خودمان را دورفرستی کنیم؟ فیزیکدان‌ها امید دارند که در سال‌های آتی مولکول‌های پیچیده را دورفرستی کنند. پس از آن شاید مولکول DNA یا حتا چه بسا ویروسی، طی دهه‌های آینده دورفرستی شود. در اصل چیزی وجود ندارد که از دورفرستی انسان جلوگیری کند، درست مثل فیلم‌های علمی تخیلی، ولی مشکلات فنی پیش روی چنین شاهکاری بی‌تردید بسیارند. تنها برقراری همدوسی بین فوتون‌های ریز نور و اتم‌های منفرد، برخی از برترین آزمایشگاه‌های فیزیک در دنیا را به خود مشغول کرده است. برقراری همدوسی کوانتومی اشیای واقعا ماکروسکوپی، مثل یک آدم، بی‌تردید مدت‌های مدید به طول می‌کشد. راستش احتمالا قرن‌های متمادی یا حتا بیش‌تر طول می‌کشد تا بتوان اشیای عادی را دورفرستی کرد ـ تازه اگر بشود.

کامپیوترهای کوانتومی

در نهایت سرنوشت دورفرستی کوانتومی ارتباطی تنگاتنگ با سرنوشت ساختن کامپیوترهای کوانتومی دارد. هر دوی این‌ها از فیزیک کوانتومی یکسان و فنّاوری مشابه‌ای بهره می‌گیرند، پس رشد یکی از این دو زمینه بر دیگری تاثیر می‌گذارد. شاید روزی کامپیوترهای کوانتومی جایگزین کامپوترهای دیجیتالی آشنایی شوند که بر روی میزهای ما قرار دارند. راستش آینده‌ی اقتصاد جهانی چه بسا روزی به چنین کامپیوترهایی بستگی پیدا کند، پس علاقه‌ی تجاری زیادی به این فنّاوری‌ها وجود دارد. با آمدن فنّاوری‌های جدید برخاسته از کامپیوترهای کوانتومی شاید روزی *سیلیکن ولی* از رونق بیفتد و تبدیل به *راست‌بلت*[1] شود.

---

[1] Rust Belt ناحیه‌ای در شمال آمریکا که بسیاری از صنایع بزرگ مانند فولاد و خودروسازی در آن به دلیل عدم بهره‌وری به تعطیلی کشیده شدند ـ م.

کامپیوترهای عادی در سیستم دودویی ۰ و ۱، موسوم به بیت، محاسبه می‌کنند. ولی کامپیوترهای کوانتومی به مراتب توانمندترند. آن‌ها می‌توانند برحسب کیوبیت محاسبه کنند که می‌تواند مقادیری بین ۰ و ۱ بگیرد. اتمی را در نظر بگیرید که در میدانی مغناطیسی قرار دارد و مانند فرفره‌ای به دور خود می‌چرخد، پس محور اسپین آن می‌تواند یا بالا یا پایین باشد. عقل سلیم می‌گوید که اسپین این اتم یا بالاست یا پایین، ولی هم‌زمان هر دو نیست. ولی در جهان عجیب کوانتوم این اتم به صورت مجموع دو حالت توصیف می‌شود، مجموع اتمی با اسپین بالا و اتمی با اسپین پایین. در جهان شگفت‌انگیز کوانتوم هر شئ با مجموع تمام حالت‌های ممکن توصیف می‌شود (اگر بخواهیم اشیاء بزرگ مانند گربه را در زبان کوانتوم توصیف کنیم باید توابع موج گربه‌ی زنده و مرده را با هم جمع کنیم، پس گربه نه مرده و نه زنده است، این را به تفصیل در فصل ۱۳ شرح خواهم داد.)

اکنون رشته‌ای از اتم‌های قرارگرفته در میدان مغناطیسی را با اسپین هم‌راستا در یک جهت تصور کنید. اگر باریکه‌ای لیزر به این رشته اتم‌ها تابانده شود، باریکه‌ی لیزر از روی این مجموعه اتم‌ها بازمی‌تابد و محور اسپین برخی از اتم‌ها را وارون می‌کند. با اندازه‌گیری تفاوت بین باریکه‌ی لیزر ورودی و خروجی دست به «محاسبه‌ی» کوانتومی پیچیده‌ای شامل وارونی اسپین‌های بسیاری زده‌ایم.

کامپیوترهای کوانتومی هنوز در دوران نوزادی‌اند. رکورد جهانی برای محاسبه‌ی کوانتومی ۱۵ = ۵ × ۳ است، محاسبه‌ای که در مقابل ابرکامپیوترهای امروزی خنده‌دار است. هم دورفرستی کوانتومی و هم کامپیوترهای کوانتومی از ضعف مرگبار یکسانی برخوردارند: همدوس نگه‌داشتن مجموعه‌ی بزرگی از اتم‌ها. اگر از پس این مشکل برآییم، دستاوری بزرگ در هر دو زمینه حاصل خواهد شد.

CIA و دیگر سازمانهای مخفی به شدت به کامپیوترهای کوانتومی علاقه‌مندند. بسیاری از رمزهای سرّی جهان به «کلیدی» که یک عدد صحیح بسیار بزرگ است، و توانایی در فاکتورگیری آن به اعداد اول،

بستگی دارد. اگر این کلید حاصلضرب دو عدد، هرکدام با یک‌صد رقم، باشد، آن‌گاه شاید یافتن این دو فاکتور از ابتدا برای کامپیوتر دیجیتالی بیش از یک‌صد سال زمان ببرد. چنین رمزی اصولا امروز نشکستنی است.

ولی در ۱۹۹٤ پیتر شور از آزمایشگاه‌های بل نشان داد که فاکتورگیری اعداد بزرگ برای کامپیوتر کوانتومی بازیچه‌ای بیش نیست. این کشف فورا علاقه‌ی جامعه‌ی اطلاعاتی را برانگیخت. در اصل کامپیوتر کوانتومی می‌تواند تمام رمزهای جهان را بشکند و سیستم‌های کامپیوتری سرّی امروزین را کاملا به زانو در آورد. نخستین کشوری که بتواند چنین سیستمی بسازد قادر خواهد بود که از محرمانه‌ترین اسرار دیگر ملت‌ها و سازمان‌ها رمزگشایی کند.

برخی دانشمندان گمان می‌زنند که در آینده اقتصاد جهان به کامپیوترهای کوانتومی وابسته خواهد بود. انتظار می‌رود که کامپیوترهای دیجیتالی سیلیسیمی در حدود ۲۰۲۰ به حد فیزیکی توان محاسباتی خود برسند. چنان‌چه قرار بر پیشرفت فنّاوری باشد به نسل تازه و توانمندتری از کامپیوترها نیاز پیدا می‌کنیم. برخی افراد به بررسی امکان‌پذیری بازآفرینی توان مغز آدمی با کامپیوترهای کوانتومی مشغول‌اند.

بنابراین کاری مخاطره‌آمیز در پیش است. چنان‌چه بتوان مشکل همدوسی را حل کرد، نه تنها شاید چالش دورفرستی را از پیش رو برداریم؛ بلکه شاید توانایی پیش‌بردن همه نوع فنّاوری به شیوه‌های نامتصور را با کامپیوترهای کوانتومی به دست آوریم. این دستاورد آن‌چنان مهم است که در فصل‌های بعد دوباره به آن خواهم پرداخت.

همانگونه که قبلا خاطر نشان کردم، برقراری همدوسی در آزمایشگاه بسیار دشوار است. ظریفترین ارتعاش می‌تواند همدوسی دو اتم را بر هم بزند و محاسبه را از کار بیندازد. امروزه نگه‌داشتن همدوسی بین فقط یک مشت اتم بسیار سخت است. اتم‌هایی که در ابتدا هم‌فازند در عرض چند نانوثانیه یا در بهترین حالت یک ثانیه شروع به ناهمدوسی می‌کنند. دورفرستی باید بسیار سریع انجام شود، پیش از آن‌که اتم‌ها شروع به

ناهمدوسی کنند. بدین ترتیب مانع دیگری بر سر راه محاسبه و دورفرستی کوانتومی قرار می‌گیرد.

با وجود تمام این چالش‌ها، دیوید دویچ از دانشگاه آکسفورد بر این باور است که می‌توان بر این دشواری‌ها چیره شد: «با خوش‌اقبالی و به یاری پیشرفت‌های نظری اخیر [ساخت کامپیوتر کوانتومی] حداکثر ۵۰ سال دیگر طول می‌کشد.... این شیوه‌ای کاملا تازه برای بهره‌گیری از طبیعت است.»

برای ساخت کامپیوتر کوانتومی به‌دردخور لازم است که صدها میلیون اتم داشته باشیم که در هماهنگی ارتعاش کنند، کاری که فراتر از توانایی‌های امروزین است. دشواری‌های دورفرستی کاپیتان کِرک که دیگر سر به فلک می‌زند. برای چنین کاری لازم است با دوقلوی کاپیتان کِرک یک درهم‌تنیدگی کوانتومی ایجاد کنیم. حتا با نانوفنّاوری و کامپیوترهای پیشرفته هم بررسی چگونگی انجام این کار دشوار است.

پس دورفرستی در سطح اتمی وجود دارد، و چه بسا که سرانجام مولکول‌های پیچیده و حتا آلی را طی چند دهه دورفرستی کنیم. ولی برای دورفرستی اشیای ماکروسکوپی مجبوریم که چندین دهه تا قرن‌ها، یا حتا بیش‌تر، صبر کنیم تا شاید روزی به راستی امکان‌پذیر شود. بنابراین دورفرستی مولکول‌های پیچیده، شاید حتا ویروس یا یاخته‌ی زنده، شایسته‌ی عنوان امکان‌ناپذیری رده‌ی ۱ است، چیزی که شاید در این سده ممکن شود. ولی دورفرستی انسان، هرچند با قوانین فیزیک مجاز است، شاید چندین سده بعد از آن طول بکشد، با این گمان که اگر اصولا امکان‌پذیر باشد. بدین ترتیب این نوع دورفرستی را در امکان‌ناپذیری رده‌ی ۲ می‌گذارم.

فصل ۵ تله‌پاتی

اگر در طول روز به چیزی عجیب بر نخوردید روز خوبی نداشته‌اید.

ــ جان ویلر

تنها کسانی که به یاوه می‌پردازند به ناممکن دست خواهند یافت.

ــ ام سی. اِشِر

رمان *اِسلَن* نوشته‌ی اِی. ایی. ونِ فُگت به توانایی عظیم و ژرفترین هراس ما درباره‌ی قدرت تله‌پاتی می‌پردازد.

جیمی کراس، قهرمان داستان یک «اسلن» است، نژادی روبه نابودی از تله‌پات‌های ابرهوشمند.

والدین وی از سوی دارودسته‌های خشمگین آدم‌ها، که از همه‌ی تله‌پات‌ها وحشت و نفرت دارند، وحشیانه کشته شده‌اند، زیرا قدرت بی‌حد آنان می‌تواند در خصوصی‌ترین و پنهان‌ترین اندیشه‌های مردم نفوذ کند. آدم‌های بی‌ترحم، اسلن‌ها را همانند جانوران شکار می‌کنند. شناسایی آنان از روی دسته‌مویی مجعد که از سرشان بیرون زده بسیار آسان است. در طول کتاب، جیمی می‌کوشد با دیگر اسلن‌هایی تماس برقرار کند که

ممکن است برای فرار از دست انسان‌های مصمم به نابودی آنان، به فضا گریخته باشند.

از نظر تاریخی خواندن ذهن آن‌چنان با اهمیت تلقی شده است که غالبا به خدایان نسبت داده شده است. یکی از بنیادی‌ترین توانایی‌های هر خدایی قابلیت خواندن ذهن ما و بنابراین پاسخ‌دادن به درونی‌ترین دعاهای ما بوده است. تله‌پات واقعی که بتواند به دلخواه ذهن‌ها را بخواند می‌تواند به آسودگی به مرفه‌ترین و توانمندترین آدم روی زمین تبدیل شود؛ او قادر است وارد ذهن بانکداران وال استریت شود یا از رقیبان خود اخاذی کند و آنان را به کارهای ناخواسته وادارد. وی خطری برای امنیت دولت‌ها خواهد بود. او می‌تواند بی‌هیچ تلاشی حساس‌ترین اسرار هر ملتی را به چنگ آورد. مانند اسلن‌ها، وی می‌تواند هراسناک باشد و از میان برداشته شود.

توان بی‌اندازه‌ی تله‌پات واقعی در مجموعه‌ی تاثیرگذار *بنیاد* نوشته‌ی ایزاک آسیموف، که اغلب از آن به عنوان یکی از برجسته‌ترین کارهای علمی تخیلی تمام دوران یاد می‌شود، به تصویر کشیده شد. *امپراتوری کهکشانی* با حکومتی هزاران ساله در آستانه‌ی سرنگونی و فروپاشی است. انجمنی زیرزمینی از دانشمندان، موسوم به بنیاد دوم، از معادلاتی پیچیده برای پیش‌بینی این‌که سرانجام امپراتوری فرومی‌پاشد و تمدن را به قهقرایی سی هزارساله فرو می‌برد استفاده می‌کند. این دانشمندان برای کاهش فروپاشی تمدن به تنها چند هزار سال، بر اساس معادلاتشان نقشه‌ای زیرکانه پی‌می‌ریزند. ولی بعدا فاجعه از راه می‌رسد. معادلات هوشمندانه‌ی آنان از پیش‌بینی یک رویداد بازمی‌ماند، به دنیا آمدن باشنده‌ای جهش‌یافته به نام میول، کسی که قادر به کنترل اذهان در فواصلی طولانی است و بنابراین می‌تواند کنترل *امپراتوری کهکشانی* را در دست بگیرد. کهکشان محکوم به فروغلتیدن در آشوب و هرج و مرجی سی‌هزارساله است مگر آن‌که بتوان این تله‌پات را از پا در آورد.

گرچه علمی تخیلی پر است از داستان‌هایی خیال‌پردازانه درباره‌ی تله‌پات‌ها، واقعیت از این حرف‌ها به دور است. چون اندیشه خصوصی و

نامریی است، قرن‌هاست که شیادها و کلاهبرداران از وجود آدم‌های ساده‌لوح و زودباور سود برده‌اند. استفاده از یک دستیار ـ کسی که در میان جمعیت نشسته است و ذهن وی توسط ذهن‌باور «خوانده» می‌شود ـ یک کلک صحنه‌ای معمولی شعبده‌بازان و ذهن‌باوران است.

در واقع شغل شعبده‌بازان و ذهن‌باوران متعددی بر اساس «حقه‌ی کلاه» مشهور بوده است. در اینجا افراد پیام‌هایی خصوصی را بر روی تکه‌های کاغذی می‌نویسند و بعد آن‌ها را درون کلاهی می‌گذارند. سپس شعبده‌باز به شنوندگان می‌گوید که در هر تکه کاغذ چه نوشته شده است و افراد را متعجب می‌کند. برای این کلک زیرکانه، توصیفی ساده وجود دارد (به یادداشت‌ها بنگرید).

یکی از مشهورترین موارد تله‌پاتی، نه شامل دستیار انسانی بلکه یک جانور بود؛ هانس زبله، اسبی شگفت‌انگیز که مخاطبین اروپایی را در دهه‌ی ۱۸۹۰ به وجد می‌آورد. هانس زبله، در برابر شگفتی تماشاچیان، می‌توانست دست به محاسبات پیچیده‌ی ریاضی بزند. اگر مثلا از هانس زبله می‌پرسیدید که ٤٨ را بر ٦ تقسیم کند، اسب سم خود را ٨ مرتبه بر زمین می‌زد. در واقع هانس زبله می‌توانست ضرب، تقسیم، جمع کسری، هجی‌کردن، و حتا شناسایی نت‌های موسیقی را انجام دهد. دوست‌داران هانس زبله اظهار داشتند که یا او از بسیاری از انسان‌ها هوشمندتر است یا این‌که می‌تواند با تله‌پاتی ذهن آدم‌ها را بخواند.

ولی هانس زبله نتیجه‌ی نوعی کلک زیرکانه نبود. توانایی بی‌همتای هانس زبله در انجام عملیات حساب، حتا مربی‌اش را هم گمراه کرد. در ۱۹۰٤ روان‌شناس برجسته پرفسور سی. اشترومپف برای بررسی و تحلیل این اسب فراخوانده شد و نتوانست هیچ مدرک آشکاری مبنی بر نیرنگ یا اشاره‌ی مخفیانه به آن اسب بیابد، و در آخر هم به خیل مشتاقان هانس زبله پیوست. با این حال سه سال بعد دانشجوی اشترومپف، روان‌شناس اسکار پفونگست، دست به آزمون‌هایی سختگیرانه‌تر زد و سرانجام به راز هانس زبله پی‌برد. تمام آن چیزی که وی مشاهده کرد عبارت بود از تغییرات ظریف چهره‌ی مربی اسب. تا زمانی که حالت چهره‌ی مربی

اندکی تغییر می‌کرد اسب به کوبیدن سم ادامه می‌داد و سپس از این کار دست می‌کشید. هانس زبله نمی‌توانست ذهن آدم‌ها را بخواند یا محاسبات ریاضی انجام دهد؛ او تنها مشاهده‌گری تیزبین از چهره‌ی آدم‌ها بود.

در تاریخ مدون سخن از دیگر جانوران «تله‌پاتیک» نیز میان آمده است. در ۱۵۹۱ اسبی به نام *موراکو* در انگلستان شهره خاص و عام شد و با انتخاب افراد از میان تماشاچیان، اشاره به حرف الفبا، و جمع‌زدن دو تاس، برای صاحبش حسابی پول در آورد. آن‌چنان غوغایی در انگلستان برپا شد که شکسپیر در نمایشنامه‌ی Love's Labour's Lost آن را با عنوان «اسبِ رقصان» جاودانه ساخت.

به گونه‌ای محدود قماربازان هم می‌توانند ذهن آدم‌ها را بخوانند. معمولا وقتی شخصی چیزی خوشایند ببیند مردمک چشم او گشاد می‌شود. ولی وقتی چیزی ناخوشایند ببیند (یا محاسبه‌ای ریاضی انجام دهد) مردمک تنگ می‌شود. قماربازان می‌توانند با دیدن گشاد و تنگ شدن چشم بازیگر روبه‌رو، احساسات را از روی چهره‌ی خونسرد آنان بخوانند. به همین دلیل است که اغلب قماربازان عینک آفتابی به چشم می‌زنند تا مردمکشان را مخفی نگه دارند. هم‌چنین می‌شود باریکه‌ی لیزر برگشتی از مردمک چشم آدم را برای مکانی که بازتابیده تحلیل کرد و در نتیجه دقیقا تعیین کرد که فرد به کجا می‌نگرد. با تحلیل حرکت نقطه‌ی بازتابیده‌ی نور لیزر می‌توان تعیین کرد که یک فرد چگونه تصویری را می‌پوید. سپس با ترکیب‌کردن این دو فنّاوری می‌توان وقتی کسی تصویری را می‌پوید، مخفیانه، به واکنش احساسی آن شخص پی برد.

پژوهش‌های وراحسی

نخستین مطالعات علمی تله‌پاتی و دیگر پدیده‌های پارانرمال توسط انجمن پژوهش‌های وراحسی صورت گرفت که در ۱۸۸۲ در لندن بنانهاده شد. (جمله‌ی «تله‌پاتی ذهنی» در آن سال توسط اف. دبلیو. مایرز، عضو این انجمن باب شد.) برخی از برجسته‌ترین چهره‌های سده‌ی نوزدهم از روسای پیشین این انجمن بودند. این انجمن که امروز هم وجود دارد،

توانست ادعاهای متقلبانه‌ی زیادی را برملا کند، ولی اغلب بین روح‌باوران، که کاملا معتقد به پارانرمال بودند، و دانشمندان، که مطالعه‌ی علمی جدی را طلب می‌کردند، تقسیم می‌شد.

یکی از پژوهشگران مرتبط با این انجمن، دکتر جوزف بنکس راین بود که نخستین مطالعه‌ی اسلوبمند و موشکافانه‌ی پدیده‌های وراحسی را در ۱۹۲۷ در آمریکا آغاز کرد و بنیاد انستیتو راین (امروز با نام مرکز پژوهشی راین) را در دانشگاه دوک در کارولینای شمالی بنا نهاد. برای ده‌ها سال وی و همسرش، لوییزا، برخی از نخستین آزمایشات کنترل‌شده‌ی علمی را در آمریکا بر روی انواع گسترده‌ای از پدیده‌های پیراروانشناختی انجام دادند و آن‌ها را در مجله‌های با بازبینی همتا منتشر کردند. این راین بود که عنوان «دریافت فراحسی» (ESP) را برای نخستین بار در کتاب‌هایش باب کرد.

در واقع آزمایشگاه راین واضع استاندارد برای پژوهش‌های وراحسی بود. یکی از همکاران وی، دکتر کارل زنر، مجموعه کارتی پنج نمادی، معروف به کارت‌های زنر را برای تحلیلِ قدرت‌های تله‌پاتی ابداع کرد. بخش اعظم نتایج، مطلقا هیچ مدرکی از تله‌پاتی ارائه نکرد. ولی بخش اندکی از آزمایشات گویی نشانگر همبستگی کوچک ولی چشمگیری در داده‌ها بود که نمی‌شد آن‌ها را با شانس محض توضیح داد. مشکل در این بود که نتایج این آزمایشات غالبا توسط دیگر پژوهشگران به دست نمی‌آمد.

گرچه راین کوشید تا به لحاظ قاطعیت شهرتی دست و پا کند، شهرت وی تا حدی در مواجه با اسبی به نام *لیدی واندر* خدشه‌دار شد. این اسب می‌توانست کارهای بسیار جالب تله‌پاتی را انجام دهد، از جمله کوبیدن بر روی بلوک‌های اسباب‌بازی الفبا و در نتیجه هجی‌کردن واژه‌هایی که تماشاچیان به آن می‌اندیشیدند. انگار راین چیزی راجع به اثر هانس زبله نمی‌دانست. راین در ۱۹۲۷ لیدی واندر را تا حدی به طور مفصل بررسی کرد و نتیجه گرفت «بنابراین تنها چیزی که باقی می‌ماند توصیفی تله‌پاتیک است، انتقال تاثیرگذاری ذهنی با فرایندی ناشناخته. چیزی برای نقض این

گفته یافت نشد و بر حسب نتایج، دیگر فرضیه‌ها معقول به نظر نمی‌رسند». بعدها میلبورن کریستوفر پرده از منبع واقعی قدرت تله‌پاتی لیدی واندر برداشت: حرکات ظریف تازیانه که در دستان صاحب لیدی واندر بود. حرکات ظریف تازیانه سرنخی برای لیدی واندر بود تا دست از کوبیدن سم بردارد. (اما حتا پس از برملاشدن منبع واقعی قدرت لیدی واندر، راین از این اعتقاد دست برنداشت که آن اسب به راستی تله‌پاتیک بود ، ولی تاحدی قدرت تله‌پاتیک خود را از دست داده و صاحبش را مجبور به دست‌زدن به حیله کرده بود.)

با این حال هنگامی که وی در آستانه‌ی بازنشستگی بود، شهرت راین آخرین ضربه‌ی مهلک را دریافت کرد. او به دنبال جانشینی با شهرت خدشه‌نیافته برای ادامه‌ی کار انستیتوی خود بود. دکتر والتر لِوی که او در ۱۹۷۳ استخدام کرده بود نامزدی مناسب به نظر می‌رسید. دکتر لوی، ستاره‌ای نوظهور در این زمینه بود، و نتایج مطالعه‌ای شورانگیز را گزارش کرده بود که نشان می‌داد موش‌ها می‌توانند با تله‌پاتی، مولد اعداد تصادفی کامپیوتر را تغییر دهند. با این حال کارکنان بدبین آزمایشگاه کشف کردند که دکتر لوی شب‌ها برای دست‌بردن در نتایج، مخفیانه به آزمایشگاه می‌آید. مچ او هنگام دست‌بردن در نتایج گرفته شد. آزمون‌های بیش‌تر نشان داد که موش‌ها اصلا هیچ قدرت تله‌پاتیکی ندارند، و دکتر لِوی با خفت و خواری مجبور شد به استعفا از انستیتو تن دهد.

تله‌پاتی و درگاه ستارگان

در اوج جنگ ستارگان علاقه به پارانرمال به طرزی جنون‌آور افزایش یافت، در آن دوران تعداد آزمایشات مخفیانه بر روی تله‌پاتی، کنترل ذهن، و دورنگری بی‌شمار بود. (دورنگری عبارت است از «نگریستن» به مکانی دور دست تنها با ذهن، با خواندن ذهن دیگران.) درگاه ستارگان نام رمز تعدادی از مطالعات با پشتیبانی CIA بود (مثلا پرتو خورشید، آتش جام، و راه اصلی). کارها در حدود ۱۹۷۰ آغاز شد زمانی که CIA نتیجه گرفت که شوروی سالیانه ۶۰ میلیون روبل بر روی پژوهش‌های «سایکوترونیک»

هزینه می‌کند. نگرانی از این بود که شوروی‌ها از ESP برای مکانیابی زیردریایی‌ها و تاسیسات نظامی آمریکا، شناسایی جاسوسان، و خواندن اسناد محرمانه استفاده کنند.

تامین مالی پروژه‌های CIA در ۱۹۷۲ شروع شد، و راسل ترگ و هرولد پوتهوف از انستیتوی پژوهشی استنفورد (SRI) در منلو پارک سرپرستان آن بودند. در آغاز آنان به دنبال آموزش‌دادن گروه منتخبی از وراحسگران بودند تا بتوانند در «زرادخانه‌ی وراحسی» گنجانده شوند. در بیش از دو دهه، ایالات متحده ۲۰ میلیون دلار بر روی درگاه ستارگان هزینه کرد، با بیش از چهل کارمند، بیست و سه دورنگر، و سه وراحسگر در فهرست حقوق‌بگیرها.

تا ۱۹۹۵ با بودجه‌ی ۵۰۰,۰۰۰ دلار در سال، CIA صدها پروژه‌ی گردآوری اطلاعات شامل هزاران جلسه‌ی دورنگری را انجام داده بود. به‌ویژه از دورنگرها خواسته شد تا

- مکان سرهنگ قذافی را پیش از بمباران ۱۹۸٦ لیبی تعیین کنند
- ذخیره‌ی پلوتونیم کره‌ی شمالی را در ۱۹۹٤ بیابند
- مکان گروگان ربوده شده توسط بریگاد سرخ در ایتالیا را در ۱۹۸۱ تعیین کنند
- مکان بمب‌افکن TU-۹۵ شوروی را که در آفریقا سقوط کرده بود تعیین کنند

در ۱۹۹۵ CIA از انستیتو پژوهشی آمریکا (AIR) خواست تا به ارزیابی این برنامه‌ها بپردازد. AIR توصیه کرد به این برنامه پایان داده شود. دیوید گاسلین از AIR نوشت «هیچ مدرک مستندی که دارای ارزشی برای جامعه‌ی اطلاعاتی باشد وجود ندارد.»

هواداران درگاه ستارگان لاف زدند که در طول سال‌ها آن‌ها به نتایج «هشت مارتینی» دست یافته‌اند (نتیجه‌گیری‌هایی آن‌چنان بی‌برو برگرد که برای سرحال آمدن باید هشت مارتینی بالا انداخت). با این حال منتقدان پافشاری کردند که بخش اعظم دورنگری به غیر از مشتی اطلاعات بی‌ارزش و نامربوط، و هدردادن پول مالیات‌دهندگان حاصلی نداشته است

و آن چند «نتیجه‌ی» حاصل شده هم مبهم و آن‌چنان کلی‌اند که نمی‌توانـد در هیچ وضعیتی به کـار گرفتـه شـود. گـزارش AIR تاکیـد مـی‌کـرد کـه تاثیرگذارترین «موفقیت‌های» درگاه ستارگان شامل دورنگرهایی بوده که از پیش نسبت به عملیاتی که انجام می‌دادند چیزهایی می‌دانستند، و بنـابراین شاید دست به حدس‌هایی قریب به یقین زده‌اند که معقول به نظر می‌رسد.

در انتهـا CIA نتیجـه گرفـت کـه درگـاه سـتارگان حتـا یـک نمونـه از اطلاعاتی را که به انجام عملیات اطلاعاتی سازمان یاری رسانده باشد ارائه نکرده است و لذا به این پروژه پایان داد. (شایعاتی وجود دارد کـه CIA از دورنگرها برای تعیین مکان صدام حسین در جنگ خلـیج فـارس اسـتفاده کرده است، هرچند که تمام این کارها پوچ بود.)

اسکن‌های مغز

در همان زمان دانشمندان داشتند اندک اندک مقداری از فیزیـک نهفتـه در پشت کارکرد مغز را می‌فهمیدنـد. در سـده‌ی نـوزدهم دانـشمندان تـصور کردند که سیگنال‌های الکتریکی در درون مغـز انتقـال مـی‌یابـد. در ۱۸۷۵ ریچارد کاتن کشف کرد که با گذاردن الکترودهایی بـر روی پوسـت سـر می‌شود سیگنال‌های ظریف گسیل‌شده توسـط مغـز را آشکارسـازی کـرد. سرانجام این منجر به اختراع الکتروانسفالوگرام (EEG) شد.

در اصل مغز فرستنده‌ای است کـه در آن اندیـشه‌هـای مـا بـه صـورت سیگنال‌های ظریف الکتریکی و موج‌های الکترومغناطیسی انتشار مـی‌یابـد. ولی استفاده از این سـیگنال‌هـا بـرای خوانـدن اندیـشه‌هـای یـک نفـر بـا دشواری‌هایی روبه‌روست. نخست این سـیگنال‌هـا بـسیار ضـعیف‌انـد، در گستره‌ی میلی‌وات. دوم این سیگنال‌ها درهم‌برهم‌اند، و عمدتا تمایزناپـذیر از نویز تصادفی. تنها اطلاعاتی خام درباره‌ی اندیشه‌های ما را مـی‌تـوان از این شلوغی بیرون کشید. سوم مغز ما قادر به گرفتن سـیگنال‌هـای مـشابه برآمده از دیگر مغزها توسط این سیگنال‌ها نیست؛ یعنی ما فاقد آنتن هستیم. و سرانجام حتا اگر بتوانیم این سیگنال‌های ضعیف را بگیـریم نمـی‌تـوانیم

آن‌ها را رمزگشایی کنیم. با استفاده از فیزیک عادی نیوتونی و مکسولی، تله‌پاتی از طریق رادیو ناشدنی به نظر می‌رسد.

برخی بر این باورند که شاید تله‌پاتی توسط نیروی پنجمی ، موسوم به نیروی «سای»، انجام‌شدنی باشد. ولی حتا هواداران پیراروان‌شناسی هم اذعان می‌کنند که آنان هیچ مدرک عینی و تکرارپذیری از این نیروی سای در دست ندارند.

ولی این پرسش را کماکان باقی نگه می‌دارد: درباره‌ی تله‌پاتی با نظریه‌ی کوانتوم چه می‌شود گفت؟

در دهه‌ی گذشته دستگاه‌های کوانتومی تازه‌ای عرضه شده‌اند که برای نخستین بار در تاریخ، به ما امکان داده‌اند که به مغز در حال اندیشیدن بنگریم. اسکن‌های مغز PET (توموگرافی با گسیل پوزیترون) و MRI (تصویربرداری با رزونانس مغناطیسی) پیشگامان این انقلاب کوانتومی‌اند. اسکن PET با تزریق قند رادیواکتیو در خون انجام می‌شود. این قند تا حدی در مغزی که با فرایند اندیشیدن فعال می‌شود و نیاز به انرژی دارد، تمرکز می‌یابد. قند رادیواکتیو پوزیترون‌هایی (پادالکترون) گسیل می‌کند که به سادگی با دستگاه آشکارسازی می‌شوند. بدین ترتیب با ردگیری الگوی ساخته‌شده توسط پادماده در مغز زنده، می‌توان الگوهای اندیشه را ردگیری کرد و دقیقا گفت که چه بخش‌هایی از مغز به چه فعالیتی مشغول‌اند.

ماشین MRI به طریق مشابه ولی دقیق‌تر عمل می‌کند. سر بیمار درون میدان آهنربایی دونات‌شکلی گذاشته می‌شود. میدان مغناطیسی هسته‌ی اتم‌ها در مغز را به موزات خطوط میدان هم‌راستا می‌کند. تپی رادیویی به بیمار فرستاده می‌شود و هسته‌ها را به جنبش وامی‌دارد. وقتی هسته‌ها جهتگیری را وارون کنند، «پژواک» رادیویی ظریفی گسیل می‌کنند که قابل آشکارسازی است، در نتیجه از حضور ماده‌ای خاص خبر می‌دهند. مثلا فعالیت مغز به مصرف اکسیژن مرتبط است، پس ماشین MRI می‌تواند فرایند اندیشیدن را با تمرکز بر مصرف خون اکسیژن‌دار مشخص کند. غلظت بیش‌تر خون اکسیژن‌دار یعنی فعالیت ذهنی بیش‌تر در آن بخش از

مغز. (امروزه «ماشین‌های MRI تابعگانی» [fMRI] می‌توانند در کسری از ثانیه بر نواحی کوچکی از مغز در اندازه‌ی میلی‌متری متمرکز شوند، این ماشین‌ها برای ردگیری الگوهای اندیشه در مغز زنده ایده‌آل‌اند.)

دروغ‌سنج‌های MRI

با ماشین‌های MRI این امکان وجود دارد که روزی دانشمندان بتوانند از طرح کلی اندیشه در مغز زنده رمزگشایی کنند. تعیین این‌که آیا کسی دروغ می‌گوید، ساده‌ترین آزمون «ذهن‌خوانی» خواهد بود.

بنا به افسانه نخستین دروغ‌سنج قرن‌ها پیش توسط کاهنی هندی ساخته شد. او متهم و «الاغ جادویی» را درون اتاقی دربسته جا می‌داد و به متهم می‌گفت که دم الاغ جادویی را بکشد. اگر الاغ عرعر می‌کرد متهم دروغ‌گو بود. اگر الاغ ساکت می‌ماند، آن‌گاه متهم راست می‌گفت. (البته کاهن دخفیانه به دم الاغ کمی دوده می‌مالید.)

پس از این‌که متهم از اتاق بیرون آورده می‌شد، معمولا بر بی‌گناهی خود پافشاری می‌کرد چون با کشیدن دم الاغ صدایی در نیامده بود. ولی کاهن دستان متهم را هم نگاه می‌کرد. اگر دستان تمیز بودند، معلوم می‌شد که وی دروغ‌گو است. (گاهی تهدید به استفاده از دروغ‌سنج موثرتر از خود دروغ‌سنج است.)

نخستین «الاغ جادویی» در دوران جدید در ۱۹۱۳ ساخته شد، وقتی که ویلیام مارستن روان‌شناس مقاله‌ای درباره‌ی بررسی افزایش فشار خون با دروغ‌گفتن نوشت. (این مشاهده‌ی افزایش فشار خون عملا به دوران باستان باز می‌گردد، که در آن هنگام بازجو دستان متهم را هنگام بازپرسی می‌گرفت.) این ایده به سرعت مقبولیت پیدا کرد و حتا وزارت دفاع خیلی زود انستیتو دروغ‌سنجی خود را برپا ساخت.

ولی در طی سال‌ها مشخص شد که جامعه‌ستیزان که از کرده‌ی خود پشیمان نیستند، می‌توانند دروغ‌سنج‌ها را گمراه کنند. مشهورترین قضیه مربوط به آلدریچ ایمز جاسوس دوجانبه‌ی CIA بود که با فرستادن تعداد زیادی از جاسوسان آمریکایی به کام مرگ و لو دادن اسرار نیروی دریایی

آمریکا، پول خوبی از شوروی سابق به جیب زد. برای ده‌ها سال ایمز انواع آزمون‌های دروغ‌سنجی CIA را از سر گذراند. هم‌چنین قاتل سریالی گری ریج‌وی معروف به قاتل بدنام گرین ریور که بیش از پنجاه زن را کشت نیز درَ اینجا قرار می‌گیرد.

در ۲۰۰۳ فرهنگستان ملی علوم آمریکا گزارشی بسیار انتقادی درباره‌ی اعتمادپذیری دروغ‌سنج‌ها منتشر ساخت و در آن شیوه‌های گمراه‌کردن دروغ‌سنج‌ها و بی‌گناهانی را که دروغ‌گو نامیده شده بودند، فهرست کرد.

دروغ‌سنج‌ها تنها سطوح اضطراب را اندازه می‌گیرند، اما چه می‌شود اگر خود مغز را اندازه‌گیری کنیم؟ ایده‌ی بررسی فعالیت مغز برای بیرون‌کشیدن دروغ‌ها به بیست سال پیش و کارهای پیتر رُزنفلد از دانشگاه نورث‌وسترن باز می‌گردد که از روی اسکن‌های EEG نشان داد که موج‌های P۳۰۰ افراد در حال دروغ‌گویی، الگویی متفاوت از افرادی دارد که راست می‌گویند. (اغلب به هنگام روبه‌روشدن مغز با چیزی تازه یا غیرعادی، موج‌های P۳۰۰ برانگیخته می‌شوند.)

ایده‌ی استفاده از اسکن‌های MRI در دروغ‌سنج‌ها توسط دنیل لَنگ‌لِبن از دانشگاه پسیلوانیا مطرح شد. در ۱۹۹۹ او اتفاقی به مقاله‌ای برخورد که می‌گفت کودکان مبتلا به نابسامانی کم‌توجهی در دروغ‌گویی مشکل دارند، ولی او بنا به تجربه می‌دانست که این اشتباه است؛ چنین کودکانی مشکلی با دروغ‌گفتن نداشتند. مشکل واقعی آنان این بود که نمی‌توانستند جلوی راست‌گویی را بگیرند. لنگ‌لبن به خاطر آورد «آنان همه‌چیز را بیرون می‌ریزند». او حدس زد که مغز در دروغ‌گفتن، نخست باید جلوی خود را از راست‌گفتن بگیرد و سپس فریب را بسازد. وی می‌گوید «وقتی آگاهانه دروغ می‌گویید، باید در ذهن خود جلوی حقیقت را بگیرید. پس می‌توان نتیجه گرفت که این به معنی افزایش فعالیت مغز است.» به زبان دیگر دروغ‌گویی کاری دشوار است.

با انجام آزمایش بر روی دانشجویان کالج و تقاضای دروغ‌گویی از آنان، لنگ‌لبن به زودی دریافت که دروغ‌گفتن منجر به افزایش فعالیت چندین

ناحیه‌ی مغز از جمله لُب پیشین (مکان تمرکز اندیشه‌ی سطح بالاتر)، لب گیجگاهی، و سیستم لیمبیک (مکان پردازش عواطف) می‌شود. وی به ویژه متوجه فعالیتی غیرعادی در چین‌های کمربندی پیشین شد (که با اراده‌ی کشاکش و بازدارش پاسخ همراه است).

او ادعا کرد که با تحلیل سوژه‌هایش در آزمایشاتی کنترل‌شده برای تعیین این‌که آیا آنان دروغ می‌گفتند یا نه (مثلا او از دانشجویان می‌خواست درباره نوع کارت‌های بازی دروغ بگویند) توانست به میزان موفقیت سازگار ۹۹ درصد دست یابد.

علاقه به این فنّاوری آن‌چنان زیاد شد که دو شرکت اقدام به عرضه این خدمات کردند. در ۲۰۰۷یک شرکت، No Lie MRI، نخستین مشتری را پیدا کرد، شخصی که از شرکت بیمه‌ی خود درخواست غرامت کرده بود زیرا آنان ادعا می‌کردند که او مغازه‌ی خود را به عمد آتش زده است. (اسکن fMRI نشان داد که او آتش‌افروز نیست.)

هواداران تکنیک لنگ‌لبن مدعی‌اند که این شیوه نسبت به دروغ‌سنج‌های قدیمی بسیار اعتمادپذیرتر است، زیرا دست‌بردن در الگوهای مغز خارج از کنترل آدمی است. در حالی که می‌توان افراد را آموزش داد که تا حدی ضربان قلب و عرق‌کردن خود را کنترل کنند، کنترل‌کردن الگوهای مغز امکان‌ناپذیر است. در واقع هواداران خاطر نشان می‌کنند که در دورانی که خطر تروریسم زیاد است، این فنّاوری می‌تواند با شناسایی یک حمله‌ی تروریستی به خاک آمریکا جان‌های زیادی را نجات دهد.

منتقدان با وجود اذعان به میزان موفقیت ظاهری این فنّاوری در آشکارسازی دروغ‌ها، گوشزد می‌کنند که fMRI عملا نه به آشکارسازی دروغ، بلکه به فعالیت افزایش‌یافته‌ی مغز در هنگامی که کسی دروغ می‌گوید می‌پردازد. اگر مثلا کسی در حالتی پراضطراب راست هم بگوید این ماشین نتایج اشتباه را ارائه خواهد داد. fMRI تنها اضطراب سوژه را آشکار می‌کند و به نادرستی بر دروغ‌گویی وی مهر تایید می‌زند. استیون هایمن عصب‌شناس از دانشگاه هاروارد هشدار می‌دهد «اشتهایی

باورنکردنی برای انجام آزمون‌های جداکننده‌ی درستی از فریبکاری وجود دارد، عجب علمی.»

برخی از منتقدان نیز ادعا کرده‌اند که دروغ‌سنج واقعی، مثل تله‌پات واقعی، می‌تواند ارتباطات اجتماعی عادی را کاملا ناخوشایند کند، چون مقدار مشخصی دروغ مانند «گریس اجتماع» است که می‌گذارد چرخ‌های اجتماع راحت‌تر بچرخند. مثلا اگر معلوم شود همه‌ی احترامی که به رئیس، فرمانده، همسر، معشوق، و همکارانمان می‌گذاریم دروغ است، شاید چهره‌ی ما مخدوش شود. در واقع دروغ‌سنج واقعی می‌تواند تمام اسرار خانوادگی، عواطف پنهانی، آرزوهای سرکوفته، و نقشه‌های مخفیانه‌ی ما را برملا کند. همان‌طور که ستون‌نویس علمی دیوید جونز گفته است، دروغ‌سنج واقعی «مانند بمب اتمی است، که بهتر است به عنوان سلاح نهایی نگه‌داری شود. اگر در بیرون از دادگاه بیش از حد مورد استفاده قرار گیرد، زندگی اجتماعی را ناممکن خواهد ساخت.»

مترجم همگانی

برخی به درستی بر این نکته انگشت گذارده‌اند که اسکن‌های مغز با وجود عکس‌هایی خیره‌کننده از مغز در حال‌اندیشیدن، چیزی جز مشتی اطلاعات بسیار خام ارائه نمی‌کند و نمی‌شود اندیشه‌های مجزا را با آن سنجید. وقتی ما به ساده‌ترین کار ذهنی می‌پردازیم احتمالا میلیون‌ها نورون هم‌زمان شروع به کار می‌کنند، و fMRI این فعالیت را تنها به صورت تصویری مبهم نشان می‌دهد. یک روان‌شناس اسکن‌های مغز را به حضور در ورزشگاهی مملو از تماشاچی و تلاش برای گوش‌دادن به حرف‌های آدم بغل دستی تشبیه کرده است. صدای آن فرد در میان داد و فریادهای جمعیت گم خواهد شد. مثلا کوچک‌ترین بخشی از مغز را که می‌توان با fMRI با اعتمادپذیری تجزیه و تحلیل کرد، «وُکسل» می‌نامیم. ولی هر وکسل با چندین میلیون نورون متناظر است، پس حساسیت ماشین fMRI آن‌قدرها هم خوب نیست تا اندیشه‌های مجزا را از یکدیگر جدا کند.

در علمی تخیلی گاهی از «مترجم همگانی» استفاده می‌شود، وسیله‌ای

که می‌تواند اندیشه‌های آدم را بخواند و سپس آن‌ها را مستقیما به مغز فردی دیگر بفرستد. در برخی رمانهای علمی تخیلی تله‌پات‌های فضایی اندیشه‌ها را در مغز ما می‌گذارند، ولو این‌که با زبان ما آشنایی نداشته باشند. در فیلم علمی تخیلی *دنیای آینده* ساخت ۱۹۷۶، رویای زنی در زمان واقعی بر روی صفحه‌ی تلویزیون نقش می‌بندد. در فیلم ۲۰۰۴ جیم‌کری، *درخشش جاودانه‌ی ذهن بی‌نقص*، دکترها به شناسایی و پاک‌سازی خاطرات دردناک دست می‌زنند.

جان هِینس عصب‌شناس از انستیتو ماکس پلانک در لایپزیک آلمان می‌گوید «این رویایی است که هر کس در این زمینه در سر می‌پروراند. ولی اگر بخواهید چنین دستگاهی بسازید، مطمئنم که لازم است از یک عدد نورون ثبت اطلاعات کنید.»

چون آشکارسازی سیگنال‌های آمده از یک نورون فعلا دست‌نیافتنی است، برخی روان‌شناسان کوشید بهترین کار بعدی را انجام دهند: کاستن از نویز و جداسازی الگوی fMRI ساخته‌شده توسط اشیای منفرد. مثلا شاید شناسایی الگوی fMRI ساخته‌شده توسط واژه‌های منفرد، و سپس ایجاد «واژه‌نامه‌ی اندیشه» امکان‌پذیر باشد.

مثلا مارسل ژوست از دانشگاه کارنگی مِلون توانسته است الگوی fMRI ایجادشده توسط گروهی کوچک و برگزیده از اشیاء (مثلا ابزار نجاری) را شناسایی کند. او مدعی است «ما ۱۲ دسته داریم و می‌توانیم با صحت ۸۰ تا ٪۹۰ تعیین کنیم که کدام یک از ۱۲ سوژه دارد به کدام دسته می‌اندیشد.»

همکار وی تام میچل، دانشمند کامپیوتر، از فنّاوری کامپیوتری، مثلا شبکه‌ی عصبی، برای شناسایی الگوهای مغزی پیچیده‌ی آشکارسازی‌شده با اسکن‌های fMRI همراه با انجام آزمایش‌هایی معین استفاده می‌کند. او می‌گوید «یک آزمایش که انجام آن را دوست دارم عبارت است از یافتن واژه‌هایی که بیش‌ترین فعالیت مغزی تمایزپذیر را ایجاد می‌کند.»

ولی حتا اگر بتوانیم واژه‌نامه‌ای از اندیشه را هم بسازیم فرسنگ‌ها با ساخت «مترجم همگانی» فاصله داریم. برخلاف مترجم همگانی، که

اندیشه را مستقیما از یک ذهن به ذهن دیگری می‌فرستد، مترجم ذهنی fMRI شامل چندین مرحله‌ی خسته‌کننده است: نخست بازشناخت الگوهای معین fMRI، تبدیل آن‌ها به واژه‌های انگلیسی، و سپس بیان این واژه‌ها از زبان سوژه. از این لحاظ چنین وسیله‌ای اصلا هیچ شباهتی به «درهم‌آمیز ذهن» موجود در *پیشتازان فضا* ندارد (ولی خب، بازهم به درد بیماران سکته‌ای می‌خورد).

اسکنرهای دستی MRI

ابعاد بسیار بزرگ ماشین‌های fMRI نیز سنگ دیگری بر سر راه تله‌پاتی عملی است. این دستگاه غول‌آسا که چندین میلیون دلار می‌ارزد، یک اتاق را کاملا اشغال می‌کند و چند تن وزن دارد. قلب ماشین MRI آهنربای دونات شکل بزرگی است به قطر چند متر، که میدان مغناطیسی عظیمی به شدت چند تسلا می‌سازد (این میدان مغناطیسی آن‌چنان شدید است که وقتی به هنگام نصب یکی از آن‌ها برق به طور اتفاقی وصل شد، چندین کارگر با چکش و دیگر ابزار به هوا برخاسته مجروح شدند.)

به تازگی فیزیکدان‌ها ایگور ساووکوف و مایکل رومالیس از دانشگاه پرینستن فنّاوری جدیدی را عرضه کرده‌اند که شاید سرانجام ماشین‌های MRI دستی را به واقعیت درآورد و در نتیجه قیمت ماشین fMRI را با ضریب یک‌صدم کاهش دهد. آنان مدعی‌اند که آهنرباهای بزرگ MRI را می‌توان با مغناطیس‌سنج‌های اتمی ابررسانا که قادر به شناسایی میدان‌های مغناطیسی ظریف‌اند، جایگزین کرد.

نخست ساووکوف و رومالیس حسگری مغناطیسی از بخار داغ پتاسیم معلق در گاز هلیم درست کردند. سپس آنان باریکه‌ی لیزر را برای هم‌راستاسازی اسپین الکترون‌های پتاسیم به کار بردند. بعد آنان میدان مغناطیسی ضعیفی را به نمونه‌ای از آب (برای شبیه‌سازی بدن انسان) اِعمال کردند. سپس تپی رادیویی را درون نمونه‌ی آب فرستادند، که مولکول‌های آب را به جنبش واداشت. «پژواک» حاصل از مولکول‌های جنبنده‌ی آب، الکترون‌های پتاسیم را نیز به جنبش واداشت، که این جنبش

با لیزر دوم آشکارسازی شد. آنان به نتیجه‌ای کلیدی دست یافتند: حتا میدان مغناطیسی ضعیفی هم «پژواکی» می‌سازد که با حسگرهای آنان قابل دریافت است. آنان نه تنها توانستند میدان مغناطیسی عظیم ماشین استاندارد fMRI را با میدانی ضعیف جایگزین کنند، بلکه هم‌چنین توانستند فورا به تصاویر نیز دست یابند (در حالی که ماشین‌های MRI برای ایجاد هر تصویر بیست دقیقه معطل می‌کنند).

سرانجام آنان این نظریه را مطرح کردند که گرفتن عکس MRI می‌تواند به سادگی عکس‌گرفتن با دوربین دیجیتال باشد. (با این حال سنگ‌هایی بر سر راه هست. یک مشکل آن است که هم سوژه و هم ماشین باید در برابر میدان‌های مغناطیسی بیرونی محافظت شوند.)

اگر ماشین‌های دستی MRI به واقعیت بپیوندند، شاید بتوان آن‌ها را با کامپیوتری کوچک جفت کرد که به نوبه‌ی خود می‌شود آن را با نرم‌افزاری قادر به رمزگشایی از عبارت‌ها ، واژه‌ها، یا جملات کلیدی تجهیز نمود. چنین وسیله‌ای به هیچ وجه به پیچیدگی وسایل تله‌پاتی موجود در علمی تخیلی نیست، ولی خب به آن نزدیک خواهد بود.

مغز به عنوان شبکه‌ی عصبی

اما آیا امکان دارد روزی در آینده، ماشین‌های MRI مانند یک تله‌پات واقعی، قادر به خواندن دقیق اندیشه، واژه به واژه، و تصویر به تصویر، باشند؟ چندان معلوم نیست. برخی استدلال کرده‌اند که ماشین‌های MRI تنها خواهند توانست خطوط مبهمی از اندیشه‌ی ما را رمزگشایی کنند، زیرا مغز به هیچ وجه یک کامپیوتر نیست. در یک کامپیوتر دیجیتال، محاسبه مستقر است و از مجموعه قواعد بسیار خشکی پیروی می‌کند. کامپیوتر دیجیتال پیرو قوانین «ماشین تورینگ» است، ماشینی شامل واحد پردازنده‌ی مرکزی (CPU)، ورودی‌ها، و خروجی‌ها. پردازنده‌ی مرکزی (مثلا تراشه‌ی پنتیوم) مجموعه‌ی معینی از دستکاری‌ها را روی ورودی انجام می‌دهد و خروجی را می‌سازد، و بنابراین «اندیشیدن» در CPU مستقر است.

با این حال مغز ما کامپیوتر دیجیتال نیست. مغز ما هیچ تراشه‌ی پنتیومی، CPU، سیستم عامل ویندوزی، و زیرروالی ندارد. اگر شما یک ترانزیستور را از درون CPU کامپیوتر بردارید، به احتمال آن را از کار می‌اندازید. ولی موارد ثبت‌شده‌ای وجود دارد که نیمی از مغز انسان از دست رفته است و نیمه‌ی باقی‌مانده مغز وظیفه را بر عهده گرفته است.

مغز انسان عملا شبیه ماشین یادگیری است، یک «شبکه‌ی عصبی»، که دایماً پس از آموختن وظیفه‌ای تازه، خود را بازنویسی می‌کند. مطالعات MRI تایید کرده‌اند که اندیشه‌ها در مغز، برخلاف ماشین تورینگ، در یک نقطه مستقر نیستند، بلکه در بیش‌تر مغز گستره‌اند، که این ویژگی نوعی شبکه‌ی عصبی است. اسکن‌های MRI نشان داده‌اند که اندیشیدن عملا شبیه به بازی پینگ پونگ است، با روشن‌شدن بخش‌های گوناگون مغز به توالی، با فعالیت الکتریکی چرخنده در گوشه کنار مغز.

چون اندیشه‌ها در سرتاسر مغز بسیار پراکنده و پخش‌اند، شاید بهترین کاری که دانشمندان بتوانند انجام دهند، گردآوری واژه‌نامه‌ی اندیشه‌ها باشد، یعنی برقراری تناظری یک به یک بین اندیشه‌هایی مشخص و الگوهای معین اسکن‌های EEG یا MRI. مثلا گرت پفورت‌شلر مهندس پزشکی اتریشی، به کامپیوتری آموزش داد که با تمرکز بر موج‌های μ یافت‌شده در EEG، الگوهای مغزی و اندیشه‌های خاصی را تشخیص دهد. انگار موج‌های μ با قصد بر انجام حرکت‌های عضلانی معینی مرتبط است. او به بیمارانش گفت که انگشت خود را بلند کنند، بخندند، یا اخم کنند، و سپس کامپیوتر مشخص می‌کرد که کدام موج μ فعال می‌شود. هربار که بیماران فعالیتی ذهنی انجام می‌دادند، کامپیوتر به دقت الگوی μ را ثبت می‌کرد. این فرایندی دشوار و خسته‌کننده است، زیرا باید به دقت موج‌های ساختگی را بیرون گذاشت، ولی سرانجام پفورت‌شلر توانست تناظری بی‌بروبرگرد بین حرکات ساده و الگوهای مغزی معین را به دست آورد.

شاید در طول زمان این کوشش همراه با نتایج MRI بتواند به ایجاد «واژه‌نامه‌ای» جامع از اندیشه‌ها بینجامد. با تحلیل الگوهای معینی در EEG

یا اسکن‌های MRI ، ممکن است کامپیوتر قادر به شناسایی چنین الگوهایی باشد و دست‌کم به طور کلی بگوید که بیمار دارد به چه می‌اندیشد. یک چنین «ذهن‌خوانی» بین موج‌های μ خاص و اسکن‌های MRI، و اندیشه‌های خاص تناظری یک به یک برقرار می‌کند. اما در این‌که این واژه‌نامه قادر خواهد بود واژه‌هایی خاص را از اندیشه‌های شما بیرون بکشد تردید وجود دارد.

فراافکنی اندیشه‌ها

اگر روزی بتوانیم خطوط کلی اندیشه‌های شخص دیگری را بخوانیم، آن‌گاه آیا امکان دارد که برعکس آن را هم انجام دهیم، یعنی اندیشه‌هایمان را به سر یک نفر دیگر انتقال دهیم؟ انگار پاسخ تا حدی مثبت است. موج‌های رادیویی را می‌توان مستقیما به مغز انسان فرستاد تا نواحی‌ای از مغز را تحریک کنند که برای کنترل اعمال مشخصی شناخته شده‌اند.

این مسیر پژوهشی در دهه‌ی ۱۹۵۰ آغاز شد، هنگامی که وایلدر پن‌فیلد جراح اعصاب کانادایی در مغز بیماران صرعی جراحی می‌کرد. او دریافت که وقتی او نواحی معینی از لب گیجگاهی مغز را با الکترود تحریک کند، افراد صداهایی می‌شنوند و تصاویری شبح‌وار می‌بینند. روان‌شناسان می‌دانستند که آسیب‌های صرعی مغز می‌تواند به این منجر شود که بیماران تصور کنند نیروهایی فراطبیعی وجود دارد. (برخی از روان‌شناسان حتا این نظریه را مطرح کردند که برانگیختن این نواحی شاید منجر به تجربیاتی شبه‌عرفانی شود که در بسیاری از ادیان وجود دارد. حتا برخی گمان بردند که شاید ژاندارک، که دست تنها قوای فرانسه را در نبرد علیه انگلیسی‌ها به پیروزی رساند، از چنین آسیبی ناشی از ضربه‌ای به سرش رنج می‌برده است.)

بر اساس این حدس و گمان‌ها، مایکل پرزینگر عصب‌شناس از سادبری اونتاریو در کانادا، کلاه‌خودی با مداربندی خاصی ساخت که موج‌های رادیویی را به مغز می‌رساند تا اندیشه‌ها و عواطفی خاص، مانند احساسات مذهبی، را برانگیزد. عصب‌شناسان می‌دانند که جراحت معینی

در لب گیجگاهی چپ می‌تواند سبب شود که سمت چپ مغز سردرگم شود، و مغز شاید فعالیت در نیم‌کره‌ی راست را به عنوان فعالیت «خویشتن» دیگری تفسیر کند. این جراحت می‌تواند منجر به این تصور شود که شبحی در اتاق حضور دارد، زیرا مغز آگاه نیست که این حضور در واقع بخش دیگری از خودش است. بر حسب باورهای فرد، بیمار شاید این «خویشتن دیگر» را به عنوان دیو، فرشته، فرازمینی، یا حتا خدا تعبیر کند.

در آینده شاید ممکن باشد که سیگنال‌های الکترومغناطیسی را به بخش‌های دقیقی از مغز فرستاد که برای کنترل اعمال خاصی شناخته شده‌اند. با ارسال چنین سیگنال‌هایی در آمیگدالا، شاید بتوان عواطف خاصی را سبب شد. با برانگیختن دیگر نواحی مغز، شاید بتوان تصاویر بصری و اندیشه را ایجاد کرد. البته پژوهش در این راستا تنها در مراحل ابتدایی خود است.

نقشه‌برداری از مغز

برخی دانشمندان از «پروژه‌ی نقشه‌ی نورونی»، شبیه به پروژه‌ی ژنوم انسان که در آن از تمام ژن‌ها در ژنوم انسان نقشه‌ای تهیه شد، هواداری کرده‌اند. پروژه‌ی نقشه‌ی نورونی مکان هر عدد نورون در مغز انسان را مشخص و نقشه‌ای سه بعدی از تمام ارتباطات آن‌ها ارائه خواهد کرد. این پروژه به راستی حیرت‌انگیز خواهد بود، زیرا بیش از ۱۰۰ میلیارد نورون در مغز هست، و هر نورون به هزاران نورون دیگر متصل است. با فرض این‌که چنین پروژه‌ای به پایان برسد، احتمالا می‌توان به نقشه‌ای دست یافت که نشان دهد اندیشه‌های معین چگونه مسیرهای نورونی خاصی را تحریک می‌کنند. به همراه واژه‌نامه‌ی اندیشه‌های به دست آمده با اسکن‌های MRI و موج‌های EEG، شاید به احتمال زیاد بتوان از ساختار نورونی اندیشه‌هایی خاص رمزگشایی کرد، به طریقی که شاید بتوان تعیین کرد کدام واژه‌ها یا تصاویر ذهنی خاص با کدام نورون مشخص در حال فعال‌شدن متناظر است. بدین ترتیب به تناظری یک به یک بین

اندیشه‌هایی خاص، تصویر MRI آن، و نورون‌های خاصی که در ایجاد آن اندیشه در مغز فعال می‌شوند، دست خواهیم یافت.

گامی کوچک در این راستا، گزارش ۲۰۰۶ انستیتو علوم مغزی آلن بود (ایجادشده توسط پل آلن، بنیان‌گذار مشترک مایکروسافت) مبنی بر این‌که آنان توانسته‌اند به نقشه‌ای سه بعدی از نمایانی ژنی درون مغز موش دست یابند، که نمایانی ۲۱,۰۰۰ ژن را در سطح یاخته‌ای به تفصیل مشخص می‌کرد. آنان امیدوارند که این کار را با اطلس مشابه‌ای برای مغز انسان به پیش ببرند. مارک تسیه‌لاوین مدیر انستیتو می‌گوید «به پایان رساندن اطلس مغزی آلن بیانگر برداشتن گامی بزرگ در یکی از مرزهای بزرگ علم پزشکی ـ مغز ـ خواهد بود.» این اطلس برای هرکسی که در آرزوی تحلیل ارتباطات نورونی درون مغز انسان است، غیر قابل چشم‌پوشی خواهد بود، هرچند اطلس مغز با پروژه‌ی نقشه‌ی واقعی نورونی فاصله‌ی بسیار دارد.

خلاصه آن‌که، تله‌پاتی طبیعی، به آن صورتی که اغلب در علمی تخیلی و خیال‌پردازی مطرح می‌شود، امروز ناممکن است، اسکن‌های MRI و موج‌های EEG را می‌توان تنها برای خواندن ساده‌ترین اندیشه‌ها به کار گرفت، زیرا اندیشه‌ها به شیوه‌هایی پیچیده در سرتاسر مغز گسترده می‌شوند. اما این فنّاوری طی دهه‌ها تا سده‌های پیش‌رو چگونه پیشرفت خواهد کرد؟ توانایی علم در بررسی فرایند اندیشیدن رو به گسترشی فزاینده است. با افزایش حساسیت MRI و دیگر وسایل اسکن، علم قادر خواهد بود که با دقت بیش‌تری شیوه‌ای را که مغز با آن به‌توالی اندیشه‌ها و عواطف را پردازش می‌کند، مشخص نماید. با توان کامپیوتری بیش‌تر، باید بتوان حجم داده‌ها را با صحت بالاتری تحلیل کرد. چه بسا واژه‌نامه‌ای از اندیشه بتواند تعداد زیادی از الگوهای اندیشه را رده‌بندی کند، که در آن الگوهای گوناگون اندیشه در صفحه‌ی MRI با اندیشه‌ها و احساسات گوناگون متناظر است. گرچه شاید هیچ‌گاه تناظر یک به یک همه جانبه‌ای بین الگوهای MRI و اندیشه‌ها به دست نیاید، واژه‌نامه‌ی اندیشه می‌تواند به درستی اندیشه‌های کلی درباره‌ی موضوعات مشخص

را مورد شناسایی قرار دهد. الگوهای اندیشه‌ی MRI را به نوبه‌ی خود می‌توان در نقشه‌ای نورونی نگاشت که به دقت نشان می‌دهد کدام نورون برای ایجاد اندیشه‌ای خاص در مغز فعال می‌شود

ولی از آنجا که مغز نه یک کامپیوتر بلکه شبکه‌ای عصبی است، که در آن اندیشه‌ها در سرتاسر مغز گسترده‌اند، سرانجام به سنگی در سر راه‌مان برمی‌خوریم: خود مغز. پس گرچه علم بیش‌تر و بیش‌تر در ژرفای مغز در حال اندیشیدن نفوذ خواهد کرد و از برخی از فرایندهای اندیشیدن ما پرده برمی‌دارد، «خواندن اندیشه‌های شما» با دقت زیادی که در علمی تخیلی وجود دارد ممکن نخواهد بود. با دانستن این نکته، من توانایی خواندن کلی احساسات و الگوهای اندیشه را در امکان‌ناپذیری رده‌ی ۱ جا می‌دهم. توانایی خواندن دقیق‌تر کارکرد درونی ذهن را باید به عنوان امکان‌ناپذیری رده‌ی ۲ دسته‌بندی کرد.

ولی شاید راه مستقیم‌تری برای دستیابی به توان زیاد مغز وجود داشته باشد. به جای استفاده از رادیو، که ضعیف است و به راحتی پراکنده می‌شود، آیا نمی‌شود مستقیما از نورونهای مغز سود جست؟ اگر بله، شاید بتوانیم قدرتی حتا بیش‌تر را به چنگ آوریم: روان‌جنبانی.

از مجموعه **قلمرو علم** منتشر خواهد شد:

۱- چه کسی، چه وقت، چه چیزی را کشف کرد؟
۲-قانون دوم ترمودینامیک
۳- اینشتین عاشق
٤- فرضیه‌ی شگفت‌انگیز
٥- ۱۰۰ دانشمند دوران‌ساز
٦- استیون هوکینگ [ذهنی رها]
۷- جهان از هیچ
۸- چه کسی، چه وقت، چه چیزی را اختراع کرد؟
۹- نابخردی‌های پیش‌بینی‌پذیر
۱۰- منشأ عالم
۱۱- شگفتی های جهان

فیزیک ناممکن‌ها

با ارائه‌ی بینشی هیجان‌انگیز از آن‌چه واقعاً در آینده می‌توانیم امید به داشتن آن داشته باشیم، *فیزیک ناممکن‌ها* ما را به سفری در مرزهای علم و ورای آن می‌برد. همه روزه شاهد آنیم که چیزهایی که روزی از سوی دانشمندان ((امکان ناپذیر)) قلمداد می‌شدند، پا به عرصه‌ی زندگی روزمره‌ی ما می‌گذارند: دستگاه‌های فکس، آسمان خراش‌های شیشه‌ای، خودروهای گازسوز، شبکه‌ی ارتباطی جهانی و قطارهای شناور تندرو. در اینجا نویسنده‌ی بنام در سطح جهان، میچیو کاکو با اطمینان مرزهای امروزین علم را در می‌نوردد و برای نخستین بار از دید یک کارشناس خبره به بررسی علم واقعی فردا می‌پردازد؛ زمینه‌ای که معمولاً قلمرو نویسندگان علمی تخیلی است. او از امکان‌پذیری علمی حرکت دایمی، میدان‌های نیرو، نامریی شدن، توپخانه‌ی پرتویی، پادگرانش و پادماده، دورفرستی، تله‌پاتی، روان جنبانی، روبات‌ها و سای‌بورگ‌ها، تندتر رفتن از نور، سفر در زمان، انرژی نقطه‌ی صفر، حیات فرازمینی، حتا نهان‌بینی پرده برمی‌دارد. وی به ما نشان می‌دهد که چگونه چندتایی از این ایده‌ها عملاً قوانین فیزیک را نقض می‌کنند. هیچ گاه تفاوت بین امکان‌پذیر، نامتحمل، و در شرف وقوع به این روشنی بیان نشده است.

قلمرو علمی تخیلی در کجا پایان می‌پذیرد؟ واقعاً به چه چیزهایی می‌توانیم دست پیدا کنیم؟ کاکو در این کتاب قابل فهم، خواندنی و روشن‌گر می‌گوید ((هر چیزی که امکان‌ناپذیر نباشد، حتمی است!))

فیزیکدان بنام، دکتر میچیو کاکو، صاحب کرسی هنری سیمت در فیزیک نظری در دانشگاه سیتی نیویورک است. او نویسنده‌ی کتاب‌های پرفروش ــ *فوق فضا* و *جهان‌های موازی* از جمله نوشته‌های او هستند ــ و نویسنده‌ی برجسته‌ی دانشگاهی نیز هست، که در مجامع مختلف مورد تقدیر قرار گرفته است. دکتر کاکو در رادیو و تلویزیون هم به اجرای برنامه‌های علمی می‌پردازد.

قیمت: ۱۳۵۰۰ تومان
ISBN 964-5676-92-4
9 789645 676924
انتشارات مازیار