

علم خرد، علم کلان، علم چندملیتی

نویسنده: رابرت پ. کریس
مترجم: ن. موفقیان

عصر ما، عصر رویش بی‌رویه پروژه‌های علمی غول‌آساست. در رأس فهرست این گونه پروژه‌ها باید از ایستگاه فضایی آزادی نام برد که پیش‌بینی شده بود در ۱۹۸۴، ۸ میلیارد دلار هزینه برمی‌دارد و تا سال ۱۹۹۲ سقینه‌ای در مدار خواهد داشت. این پروژه که هنوز هم (در ۱۹۹۳) سفت و سخت به زمین چسبیده است، طبق برآوردهای جدید مستلزم حداقل ۴۰ میلیارد دلار هزینه برای ساخت و ۱۰۰ میلیارد دلار هزینه عملیاتی برای دوره ۳۰ ساله عمر خود است. شتاب‌دهنده عظیم ذرات اتمی S. S. C. که در خارج از «واگن‌هاکی» در حال احداث است، بر اساس برآوردهای کنونی تا حدود سال ۱۹۹۹ به اتمام خواهد رسید و بالغ بر ۸ میلیارد دلار هزینه در بر خواهد داشت. پروژه موسوم به «خزانه ژن انسانی» (جینوم^۲) که در سال ۱۹۸۸ برای تهیه نقشه کامل و بازنمایی کلیه ژن‌های موجود در پیکر آدمی تدارک دیده شد، طرح ۱۵ ساله‌ای است که ۳ میلیارد دلار هزینه برمی‌دارد و برای اجرای آن در حدود نیم دوجین کشور خارجی قول مشارکت داده‌اند. تلسکوپ فضایی هابل که در سال ۱۹۹۰ در مدار قرار گرفت، یک میلیارد و ۵۰۰ میلیون دلار هزینه در بر داشت و ساخت و پرتاب آن به فضا نزدیک به دوازده سال طول کشید. هر پرواز شاتل فضایی تقریباً یک میلیارد دلار هزینه برمی‌دارد. بسیاری دیگر از زمینه‌های علمی دارای پروژه‌های چند ساله، چند رشته‌ای و چند ملیتی هستند که برحسب‌های قیمت آنها به حدود یک میلیارد دلار می‌رسد.

در حدود سه دهه پیش، گرایش به سوی پروژه‌های علمی پرهزینه و بزرگ را در قیاس سطحی با اصطلاح «تجارت کلان»^۱، «علم کلان»^۲ نامیدند. از آن زمان تاکنون، بحث و گفتگوهای پرحرارتی درباره محاسن و معایب این علم وجود داشته است. آیا علم کلان را می‌توان نمایانگر مرحله تازه و پرهیجانی در پیشبرد علم دانست که آمیخته با مخاطراتی تقریباً ناشناخته است و در ضمن خبر از افق محسوسی هم در کیفیت علم می‌دهد؟ یا آنکه، علم کلان در واقع چیزی نیست جز مرحله تازه‌ای از تحول طبیعی دانش بشری؛ مرحله‌ای که مقیاس آن لزوماً تابع پرسش‌هایی است که ما اینک قادر به طرح آنها هستیم و پیش آمدن آن هم نه غیرمنتظره است و نه ناخواسته و برعکس، فرصت‌های بی‌سابقه‌ای را نیز به آدمیان عرضه می‌دارد؟

هر دوی این موضع‌گیری از همان شروع بحث کاملاً به چشم می‌خورد؛ موضع‌گیری اول از جانب دانشمندی که بانی اصطلاح «علم کلان» بود عنوان شد و موضع‌گیری دوم، از سوی یکی از تاریخ‌نگاران علم که به شهرت آن نیز کمک شایانی کرده است.

□ آیا پروژه‌های علمی غول‌آسا و پرهزینه را باید نوعی توسعه امروزین ناسلام دانست؟ شاهکار و سالیوس در مورد کالبدشناسی آدمی را می‌توان تا حدی پیشگام چنین پروژه‌هایی در قرن شانزدهم دانست و در همان حال پروژه‌های چند میلیارد دلاری از نوع شتاب‌دهنده غول‌آسای S. S. C. را شاید بتوان نمونه‌ای از تلاش‌های بین‌المللی لازم برای تداوم علم در آینده به حساب آورد.



خطرها و فرصت‌ها

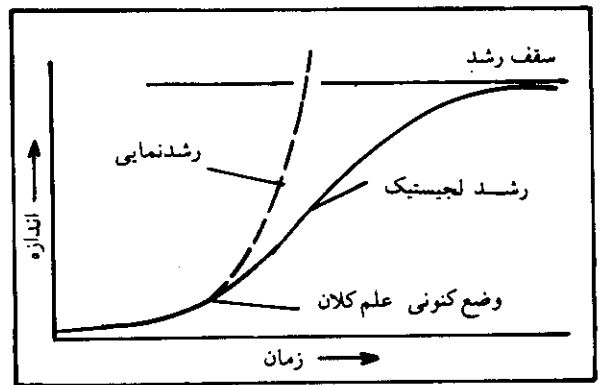
بانی اصطلاح «علم کلان» «الوین واینبرگ»^۵ فیزیکدان زبان‌آور و سنت‌شکنی است که در آن زمان مدیر آزمایشگاه ملی اوک ریج^۶ (تنسی) بود. در چهارم ماه مه ۱۹۶۱، وی اصطلاح مورد بحث را در متن خطابه‌ای در مورد خطرهای بالقوه طرح‌های علمی بسیار بزرگ برای علم و جامعه بر زبان آورد و منظورش در واقع طرح‌هایی مانند شتاب‌دهنده‌های عظیم ذرات اتمی و برنامه‌های دفاعی فضایی بود. تاریخ این سخنرانی که برای یکی از نشست‌های «جامعه راکت سازان آمریکا» در نظر گرفته شده بود، بر حسب تصادف به روزی افتاد که فردای آن قرار بود «آلن شپرد»^۷ به عنوان نخستین امریکایی با موشک آزادی^۸ به فضا پرتاب شود. واینبرگ با به یاد آوردن واکنش افراد حاضر در آن جلسه، خاطرنشان می‌سازد: «در آن زمان چندان توجهی نسبت به من ابراز نمی‌شده. با این حال، وقتی دو ماه بعد، متن سخنرانی او زیر عنوان «تأثیر پروژه‌های علمی غول‌آسا بر ایالات متحده آمریکا» در نشریه علم^۹ به چاپ رسید، کمتر کسی بود که صحت و درستی تفسیرهای واینبرگ را مورد تردید قرار دهد ضمن آنکه، مقاله وی نفوذ گسترده‌ای نیز در جامعه علمی امریکا پیدا کرد. در آن زمان هیچ‌یک از دو نمونه‌ای که واینبرگ از علم کلان ارائه می‌داد هنوز واقعاً پخته و قطعی نشده بود. شتاب‌دهنده‌های پیشرفته ذرات اتمی را هنوز هم می‌توانستند در دانشگاه‌ها بسازند و «پروژه مرکوری» هنوز در مرحله ابتدایی بود. با وجود این، واینبرگ با نوعی واپس‌نگری توانسته بود برخی از مخاطراتی را که این گونه پروژه‌ها و طرح‌های مشابه آنها در پیش داشتند به وضوح تشخیص دهد، و از جمله «پول‌خوری»^{۱۰} (ایجاد هزینه‌هایی بسیار زیادتر از برآوردهای اولیه)، «عوام‌پسندی»^{۱۱} (تصمیم‌گیری درباره شایستگی‌های طرح‌های علمی در مجامع عام و نه در محافل علمی و تخصصی) و «اداره بازی»^{۱۲} (توجه زیاد از حد به اداره سازمان‌های علمی و نه انجام کارهای علمی واقعی). در مجموع، واینبرگ اظهار تأسف می‌کرد از اینکه ادامه چنین روش‌هایی به ضرورت افت کیفیت پروژه‌های علمی را در پی خواهد داشت. وی به صراحت اظهار می‌داشت: «مباحث و مسائل علمی را بیش از پیش در مطبوعات عامه‌پسند مطرح می‌کنند و نه در نشریات علمی و تخصصی و تصمیم‌گیری درباره آنها نیز بیش از پیش در کمیته‌های درسته‌کنگره به عمل می‌آید و نه در اطاق‌های کنفرانس مجامع علمی و فنی. چنین است که به جای ادراک قوی و هوشمندی و زیرکی، چشم فریبی و جلوه‌گری به صورت استاندارد علمی درمی‌آید. سرانجام، واینبرگ از تأثیر سوء پروژه‌های غول‌آسا بر نهادهای اجتماعی، از جمله دانشگاه‌ها سخن می‌گفت: «اعتقاد من بر این است که علم کلان از طریق منحرف ساختن دانشگاه‌ها از وظایف اصلی خودشان و همچنین از طریق تبدیل استادان دانشگاه به گروهی کارمند، متصدی خدمات و یا متصدی تبلیغات، عملاً آنها را به تباهی خواهد کشاند.» واینبرگ مخاطبان خویش را دعوت می‌کرد که مقایسه‌ای بین پروژه‌های علم کلان و اهرام مصر، ساختمان کولوستوم در رم باستان و کاخ ورسای به عمل آورند. واینبرگ معتقد بود که به‌رغم تصورات بسایان و سازندگان این آثار که آنها را مظهر غرور، شکوه و بلندپروازی‌های تمدن خاص خود می‌پنداشتند، در بعضی موارد همین نوع پروژه‌ها تمدن آن دوران را به انحطاط کشانده‌اند و در پایان واینبرگ نتیجه‌گیری می‌کرد که «هدف و مقصد واقعی ما غنی‌تر کردن و گسترش افق‌های زندگی آدمی است.»

با این حال یکسال بعد، موضع‌گیری مشتاقانه‌تری نسبت به علم کلان از سوی یک مورخ علم به نام «دِرک دِ سولا پرایس»^{۱۳} از دانشگاه «ییل آمریکا» اعلام شد. وی یک سلسله سخنرانی‌هایی را که «در آزمایشگاه ملی بروکهاون» (آپتن، نیویورک) ایراد کرده بود، در سال ۱۹۶۳ زیر عنوان علم خرد، علم کلان^{۱۴} منتشر ساخت. پرایس با واینبرگ موافق بود که مقیاس پروژه‌های علمی بزرگ در طی دهه گذشته رشدی «نمایی»^{۱۵} داشته است و حتی خود او نیز پیش‌بینی می‌کرد که طرز کاربرد علم در سال‌های اخیر به احتمال قوی پاره‌ای انحراف‌های فرهنگی را در پی خواهد داشت. برای مثال، وی به گرایش فزاینده‌ای اشاره می‌کرد که برخی خصیصه‌های مثبت دانشمندان مانند عدم احساس مالکیت خصوصی یا ملی نسبت به علم را رفته‌رفته از بین می‌برد. با تمام این احوال، پرایس نیز با غرایز و روش‌های خاص تاریخنگاران این سؤال را مطرح می‌کرد که آیا واقعاً درست است که تحول علم از مقیاس‌های خرد به مقیاس‌های کلان را تا بدین حد خشونت‌بار و همراه‌کننده بدانیم: «آیا همه پروژه‌های کنونی علم کلان به‌طور ناگهانی فرا رسیده‌اند و عمق ریشه‌های تاریخی آنها قابل قیاس با پروژه مانهاتان،^{۱۶} پایگاه موشکی کیپ کاناورال، کشف پنی‌سیلین و اختراع رادار و کامپیوترهای الکترونی نیست؟»

پاسخی که خود پرایس به این پرسش‌ها می‌داد یک «نه» صاف و ساده بود. وی به یاری آمار و مدارک و شواهد دیگر مانند شمار فزاینده نشریه‌های علمی و رشد نیروی انسانی شاغل در فعالیت‌های علمی و فنی استدلال می‌کرد که رشد نمایی علم در سال‌های اخیر در حقیقت ادامه منطقی روندی است که از مدت‌ها پیش شروع شده و به هیچ وجه ناگهانی و بی‌سابقه نیست. وی اظهار می‌داشت: «به آسانی می‌توان نشان داد که رشد نمایی علم به‌طور کلی در حدود دو یا سه قرن است که ادامه دارد.» گذشته از این، توهمی بیش نخواهد بود اگر فکر کنیم که تأثیرات علم بر زندگی مدرن پدیده‌ای تازه است. «علم همواره مدرن و امروزین بوده، همواره به‌طور انفجاری در میان مردم گسترش یافته و همواره در آستانه توسعه‌ای انقلابی قرار داشته است.» با این حال، پرایس با واینبرگ هم‌عقیده است که دگرگونی‌های جدیدی در «فراز راه» علم نهفته است: رشدنمایی در هر فرایند طبیعی هرگز به‌طور نامتناهی ادامه نخواهد یافت و سرانجام، به نقطه اشباع می‌رسد و تا آنجا از سرعت آن کاسته می‌شود تا در نهایت به نوعی رشد «لجیستیک»^{۱۷} عادی مبدل گردد. علم کلان ممکن است نمایشگر لحظه‌ای باشد که رشدنمایی جای خود را به رشد لجیستیک می‌دهد. ولی آنجا که واینبرگ سخن از خطر می‌گوید، پرایس بر فرصت‌ها و امکانات تازه تأکید می‌کند. وی می‌گوید: «علم کلان سرآغاز زمانه‌ای است که در آن همه دانشمندان باید به ضرورت از نظر اجتماعی بیش از پیش مسؤول و فعال باشند. درگیری آنها با مسائل فراعلمی از آن جهت ضرورت می‌یابد که بازسازی درونی کل ساختار اجتماعی علم و همچنین مسائل خارجی علم در خدمت بشریت چنین ایجاب می‌کند.»

در سال‌های اخیر، هواداران و مخالفان علم کلان بارها و بارها بر سر این مطلب به بحث نشسته‌اند و استدلال‌های اولیه واینبرگ و پرایس را با شرایط روز تطبیق داده، آن را بهبود بخشیده‌اند و با ظرافت بیشتری مطرح ساخته‌اند. واقعیت این است که بحث تأثیرات مقیاس بر نحوه کاربرد علم در حال حاضر ضرورتی حتی حادث‌تر از سه دهه گذشته یافته است، زیرا علم در آستانه عصر تازه‌ای قرار گرفته که

(نمودار پایین). منحنی لجیستیکی به وسیله سقفی محدود می‌شود که رشد به سوی آن ادامه می‌یابد ولی با آهنگی به تدریج کندتر و آرام‌تر.



شاید بتوان آن را در قیاس با اصطلاح شرکت‌های چندملیتی، «علم چند ملیتی» نامید. ولی حتی شروع هر گونه ارزیابی استدلال‌های موافق و مخالف مستلزم غوطه‌ور شدن در تاریخچه طرح‌های علمی کلان مقیاس و ماهیت تجربه‌ها و آزمایش‌هاست.

پیشینه‌های قرن شانزدهم

چنان‌که پرایس اشاره کرده است، هر یک از دوره‌های اخیر شاهد ظهور بعضی پروژه‌های علمی «بزرگ» بوده که در نظر معاصران بلندپروازی‌های زیاده‌طلبانه با هزینه تراشی‌هایی جنون‌آمیز جلوه می‌کرده است. برای مثال، کار «آندره یاس و سالیوس»^{۱۸} پزشک نامدار قرن شانزدهم را در نظر بگیرید که در «فلاندر» متولد شد، تحصیلاتش را در پاریس انجام داد و به مقام استادی رسید و سپس، تحقیقاتش را در «پادوا»، «بولونیا» و «پیزا» ادامه داد. تجربیاتی که وی از کالبدشکافی به دست آورده بود او را متقاعد کرد که علم پزشکی نیاز مبرم به کتاب درسی تازه‌ای در زمینه کالبدشناسی آدمی دارد تا به‌طور کامل جان‌نشین نظریه‌ها و روش‌های کهنه جالینوس، پزشک یونانی عهد باستان شود. در سال ۱۵۴۰، وی پژوهش‌های دامنه‌داری را در مورد بدن انسان پایه‌گذاری کرد که سال‌های متمادی وقت و انرژی او را به خصوص از نظر انجام دادن تحقیقات و بررسی‌های دست اول در مورد طرح - به خود تخصیص داد. برای آماده‌سازی و چاپ کتاب جامعی که در این زمینه فراهم آورده بود، به ونیز سفر کرد تا خیره‌ترین و دقیق‌ترین طراح و نقاش ممکن را - که احتمالاً از استادکاران کارگاه تیسین^{۱۹} بود - برای طراحی تصویرهای کتاب کالبدشناسی خود استخدام کند. هدف و سالیوس آن بود که برای نخستین بار تصاویر روشن و دقیقی از اعضا و اندام‌های برونی و درونی بدن انسان، بر اساس تحقیقات عینی خود از کالبدشکافی‌هایی که شخصاً انجام داده بود، تهیه کند و آنها را در کتاب یاد شده به چاپ برساند. بدین منظور، و سالیوس هر کجا که می‌توانست در پی یافتن بهترین چوب‌برها و درودگران پرداخت تا تهیه لوحه‌های چاپی را به آنها سفارش دهد. برای این کار از لوحه‌های ویژه‌ای از چوب درخت گلابی استفاده می‌کرد که با فنون خاص و نیزی به عمل آمده بود و کیفیتی عالی داشت. سرانجام، برای انتشار کتاب، به سراغ یکی از چاپگران

برجسته و مشهور بال (سوئیس) رفت. این سفر حساس که در ماه اوت ۱۵۴۲ صورت گرفت، کار سهل و ساده‌ای نبود، چرا که می‌بایست الواح گرانبهای کتاب ۷۰۰ صفحه‌ای خود را که با آن همه مشقت و مرارت تهیه کرده بود چنان بسته‌بندی و محافظت کند که در آن سفر دراز چند هفته‌ای در جاده‌های کوهستانی آلپ آسیب و لطمه‌ای به آنها نرسد. این اثر عظیم و سالیوس که سرانجام پس از سال‌ها تحقیق و تلاش سرسختانه در سال ۱۵۴۳ با عنوان طولانی «هفت کتاب در رابطه با ساختار بدن آدمی»^{۲۰} به چاپ رسید، نخستین کتاب درسی جامعی بود که در مبحث کالبدشناسی انسان انتشار می‌یافت.

این اثر که از آن پس با عنوان خلاصه شده «فابریکا» (ساختار) شهرت یافت، حاوی هیچ‌گونه کشف زیر و زیرکننده‌ای نبود، هیچ نوع درمان معجزه‌آسایی ارائه نمی‌داد و حتی نتیجه‌گیری‌های چشمگیری هم در بر نداشت. با این وصف، جامعیت، نظم و ترتیب مباحث و جزئیات دقیقی که در این اثر وجود داشت انقلابی بی‌چون و چرا در فنون علم کالبدشناسی و روش‌های تعلیم و تدریس آن پدید آورد. به هیچ وجه روشن نیست که این پروژه عظیم برای و سالیوس چقدر تمام شده و این هزینه سنگین را از چه منبع یا منابعی تأمین می‌کرده است. همین قدر می‌دانیم که در اوایل قرن بیستم، هنگامی که یکی از ناشران بزرگ آلمانی تصمیم گرفت به تجدید چاپ این اثر تاریخی و سالیوس مبادرت ورزد، پس از بررسی‌های اولیه ناچار از انجام کار چشم پوشید چرا که متوجه شد قادر به تأمین هزینه سرسام‌آور چنین پروژه‌ای نیست. به واقع، این طرح که با قیمت سال ۱۹۲۴ بالغ بر ۴۰ هزار دلار هزینه برمی‌داشت، در زمان خود نوعی پروژه انتشاراتی «کلان» به حساب می‌آمد.

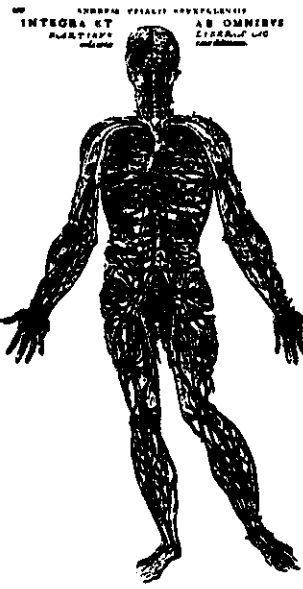
یکی از مدیران سابق پروژه موسوم به «سازمان خزانه ژن انسان»^{۲۱} (جینوم)، در جایی گفته بود که ساختار و سالیوس را می‌توان پیشگام پروژه «جینوم» دانست. ولی بی‌گمان باید راه‌های بس دور و درازی را در عالم ایدئولوژی‌ها پشت سر گذاشت تا بتوان مدعی خویشاوندی معنوی با و سالیوس شد! با این حال، با توجه به جامعیت، خصلت بین‌المللی، بلندپروازی و حتی سطح هزینه دو پروژه «فابریکا» و «جینوم»، مشابهت قائل شدن بین آنها چندان نامعقول به نظر نمی‌رسد.

حال، یکی از پروژه‌های مشهور قرن شانزدهم، یعنی ساختمان رصدخانه معروف منجم دانمارکی «تیکوبراهه»^{۲۲} در جزیره هون (ون^{۲۳} کنونی) را در نظر بگیریم. برای ساختمان این رصدخانه که آن را «اورانبورگ»^{۲۴} نامیدند، قبل از هر چیز می‌بایست در آن جزیره منزوی و دور از مناطق مسکونی، تأسیسات زیربنایی گوناگونی را به وجود آورند؛ از جمله، کارگاه‌ها، یک آسیاب بادی، چاپخانه، آزمایشگاه شیمیایی و نهبانی‌های مختلف. علاوه بر این، تأسیسات زیربنایی، تهیه و انتقال حلقه‌ها و مقاله‌ها و اجسام کروی غول‌آسا و دیگر آلات و افزارهای نجومی پیش از اختراع تلسکوپ و همچنین انواع ماشین‌الات، کوره‌ها، کتاب‌ها و سایر ملزومات را نیز باید در نظر گرفت. نیروی انسانی متخصص را می‌بایست از سرتاسر اروپا استخدام کرد و در آنجا گرد آورد؛ از جمله معماران هلندی، استادکاران دانمارکی، ایتالیایی، آلمانی، کارگران ساده دانمارکی و غیره. در طی دو دهه، تیکوبراهه با استفاده از امکانات فنی این رصدخانه توانست زیج‌های تازه‌ای تنظیم کند که از هر لحاظ بر اطلاعات و داده‌های نجومی موجود در المجسطی بطلمیوس برتری داشت و به همین دلیل شالوده‌های محکمی برای محاسبات مربوط

به نظریه کپرنیک^{۲۵} فراهم آورد - گو اینکه خود تیکوبراهه از تأیید این نظریه اکراه داشت. این داده‌های اطلاعاتی چندان ارزان به دست نیامده بود. مبلغی که تیکوبراهه در هر سال برای این پروژه دریافت می‌داشت تقریباً ۲۴۰۰ دلار بود که به‌طور تقریبی معادل یک درصد کل درآمدهای فردریک دوم پادشاه دانمارک می‌شد. در قیاس با این مبلغ، می‌توان گفت که کل اعتبارات سالانه تخصیص یافته به کل برنامه‌های تحقیقاتی غیرنظامی در ایالات متحده آمریکا، اندکی کم‌تر از یک درصد تولید ناخالص ملی است که از مجموع این اعتبارات ۵ درصد آن به‌طور جاری به پروژه عظیم شتاب‌دهنده S. S. C. تعلق می‌گیرد.

برق، رادیوم، بمب و جزء اینها

در قرن هجدهم، پدیده‌های الکتریکی الهام‌بخش مطالعات و پژوهش‌های گسترده و پرهزینه‌ای بود. دانشمندان انجمن سلطنتی بریتانیای کبیر سیمی ساختند به طول ۳۶۶۶ متر (۱۲ هزار پا) و هدف از آن نیز تعیین سرعت شیئی بود که در آن زمان «سیال الکتریکی»^{۲۶} نامیده می‌شد و به مناسبتی هم با استفاده از آن توانستند جریان برق را از استخر باغ‌های قصر «تولیری»^{۲۷} در پاریس بگذرانند. در عصری که هنوز باطری‌ها و مولدهای غول‌اسای برق اختراع نشده بود، برای ایجاد و ذخیره‌سازی نیروی الکتریکی بسیار زیادی که برای چنین تجربیاتی لازم بود، به دستگاه‌ها و وسایل خارق‌العاده‌ای نیاز داشتند؛ دستگاه‌ها و تأسیساتی که عکس‌ها و تصاویر آنها زینت بخش صفحات دایرةالمعارف‌های آن زمان شده بود. به گفته پرایس «در آن زمان‌ها چنین به نظر می‌رسید که این‌گونه وسایل و ماشین‌الات قابلیت‌های مهندسی علمی را به عالی‌ترین سطح خود رسانده و به فرد انسانی توانایی آن را داده است که پر قدرت‌ترین نیروهای جهان را ایجاد کند، قدرت آذرخش را به مبارزه بطلبد و احتمالاً رمز ماهیت ماده و یا حتی ماهیت حیات را هم کشف کند. ملاحظه می‌شود که در قیاس با این انتظارات و این امیدواری‌ها، رؤیاهایی که ما در مورد شتاب‌دهنده‌های مدرن در سر می‌پرورانیم، به کلی رنگ می‌بازند».



در آغاز قرن بیستم تحقیقات مربوط به پرتوهای (راديو اکتیویته) منابع مالی محققان را حتی بیش از امکانات عادی آنها تحت فشار قرار داد. «پی‌یر و ماری کوری» دو سال از عمر خود را منحصرأ صرف تصفیه کانی‌های حاوی اورانیوم و رادیوم کردند؛ کاری بس سنگین و پر مشقت که حتی زندگی آنها را برای به‌دست آوردن مقدار ناچیزی رادیوم در معرض خطر همیشگی قرار می‌داد: یک واحد رادیوم در برابر ۲۰۰ میلیون واحد سنگ معدن! کاربردهای پزشکی رادیوم، همان‌طور که پیش‌بینی می‌شد، بهای سنگ‌معدن اورانیوم را موشک‌اسا بالا برد، به نحوی که قیمت رادیوم با وزن مساوی به زودی حتی گران‌تر از الماس شد. در ۱۹۲۰، ماری کوری دیگر نمی‌توانست مقدار رادیوم لازم برای مطالعات انستیتوی رادیوم خود را در پاریس تهیه کند. این انستیتو به تحقیقات ناب می‌پرداخت و فقط از دور ارتباط‌هایی با نظام دانشگاهی فرانسه داشت. برای حل این مشکل، سردبیر مجله «زنان آمریکا» حرکت جالبی را در میان زنان امریکایی شروع کرد تا بتواند از طریق کمک‌های مالی آنها لااقل ۱۰۰ هزار دلار لازم برای خرید یک گرم اورانیوم به دست آورد. این حرکت گروهی موفقیت‌آمیز بود و در سال ۱۹۲۱ رادیوم خریداری شده با این پول به دست رئیس جمهوری وقت آمریکا، هرزیدنت «وارن جی. هاردينگ» به ماری کوری تقدیم شد.

در همان حال که هزینه پژوهش‌های مربوط به راديو اکتیویته به‌طورجهشی افزایش می‌یافت، در طی دهه‌های ۲۰ و ۳۰ قرن حاضر در زمینه پروژه‌های دیگر نیز همکاری‌های گسترده و بی‌سابقه‌ای بین دانشمندان و صنایع ضرورت می‌یافت. از جمله این نوع پروژه‌ها می‌توان به توسعه تکنولوژی «ریز موجی»^{۲۸} و پروژه‌های مربوط به نیروگاه‌های «برقابی»^{۲۹} در کالیفرنیا اشاره کرد. در جریان جنگ جهانی دوم، هزینه‌ها و همکاری‌های علمی و فنی به مناسبت پروژه مانهاتان برای ساختن بمب اتمی و پروژه تکمیل رادارهای ریز موجی باز هم افزایش یافت.

در فردای جنگ جهانی دوم، ایجاد و توسعه سریع نظام آزمایشگاه‌های ملی در ایالات متحده آمریکا موجب شد که جهش دیگری نه فقط در اندازه آزمایشگاه‌ها بلکه در ابعاد همکاری‌های متقابل بین علم، تکنولوژی و صنعت پدید آید. طیف همکاری‌های چند جانبه میان این سه نهاد اساسی از حدهای چند موردی تا حدود معمولی گسترش می‌یافت. پژوهش‌های عادی در زمینه فیزیک هسته‌ای و ذرات زیراتمی، حتی آنهایی که به‌طور معمول با تجهیزات و دستگاه‌های نسبتاً کوچک سروکار داشتند، اینک نیازمند به تجهیزاتی بزرگ مانند شتاب‌دهنده‌ها یا راکتورهای هسته‌ای بودند که ساخت آنها مستلزم سرمایه‌گذاری‌های دولت فدرال بود و مشارکت‌های وسیعی نیز از جانب صنایع در تدارک آنها به عمل می‌آمد. کاربرد و حفظ چنین تجهیزاتی نیز به نوبه خود مستلزم تأمین هزینه‌های مربوط به گروه وسیعی از کارکنان پشتیبانی بود.

در واقع، این همان عصری بود که در ۱۹۶۱ و اینبرگ آن را «عصر علم کلان» نامید و در طول سه دهه بعد، حتی علم خرد هم به مراتب پرهزینه‌تر شد. برای مثال، اینک برای کارهای علمی با نیمه هادی‌هایی با کیفیت بالا - که معمولاً «علم خرد» به حساب می‌آیند - به وسایلی مانند ماشین‌های مخصوص «اپیتاکسی»^{۳۰} پرتوهای مولکولی، محوطه‌های محصور موسوم به «اتاق‌های پاک» با پاکیزگی کاملاً استثنایی، لیزرهایی که با مقیاس‌های کوتاه‌مدت کار می‌کند، سیستم‌های «پرتو مجهول»^{۳۱}، میکروسکوپ‌های الکترونی با قدرت

تفکیک اتمی و مواد و مصالحی با حد اعلاى خلوص نیاز است. برای کار در زمینه علومى از این قبیل، معمولاً نیاز به اطلاعاتى داریم که دانشمندان دیگر آنها را به وسیله راکتورهای پژوهشى عظیم آزمایشگاه‌های ملی به دست آورده‌اند؛ مفهوم این کلام آن است که امروزه، حتى علم خرد نیز وابسته به علم کلان است. در روزگار ما، دانشمندان در تار و پود اطلاعاتى پیچیده و به هم پیوسته‌ای فعالیت دارند که اجزای آن از منابع متنوعى به دست آمده است. از این نظر، سعى در تجزیه و تفکیک دستاوردهای علم کلان و علم خرد به قصد مقایسه معنا و مفهوم آنها در حقیقت کارى تصنعى، گمراه کننده و بی‌معنى خواهد بود.

علم کلان در آستانه

علم کلان در زمینه‌های مختلف اشکال گوناگونى به خود می‌گیرد. در نجوم و فیزیک انرژی بالا علم کلان بیش از پیش به تجهیزات سخت‌افزارى عظیم و پرهزینه‌ای گرایش می‌یابد که در هر دوره از فعالیت آنها، آزمایش‌های محدودى را امکان‌پذیر مى‌سازند از قبیل: تلسکوپ فضایی هابل، انواع تلسکوپ‌های رادیویى و نوری مستقر در سطح زمین و شتاب‌دهنده عظیم S. S. C. برعکس، پروژه‌های بزرگی که هدف آنها تأمین مواد و مصالح علمى است رفته‌رفته به صورت تسهیلاتى درمی‌آیند که به‌طور همزمان مواد مورد نیاز مشتریان بسیاری را فراهم مى‌سازند و خدمات گوناگونى را عرضه مى‌دارند. از جمله این گونه مؤسسات مى‌توان «منبع پیشرفته فوتون» در آرگون (ایلی نویز)، آزمایشگاه ملی (با ۶۸ خط تابه‌ای) و طرح مقدماتى «منبع پیشرفته نوترون» در آزمایشگاه ملی اوک ریج (با ۵۰ ایستگاه ابزارى) را نام برد.

در زمینه علوم زیستى، پروژه‌های بزرگ معمولاً به صورت طرح‌های تحقیقاتى مشخصى در مى‌آیند که وظیفه اصلی آنها هماهنگ کردن فعالیت‌های پژوهشگران منفردى است که در سطوح مختلف آزمایشگاه‌های کوچک و با اعتباراتى نسبتاً محدود کار مى‌کنند. با وجود این، هزینه‌های فزاینده و انباشتى چنین پروژه‌هاى نیز ممکن است بسیار کلان باشد. برای مثال، از دیدگاه هزینه نهایی، برنامه‌های تحقیقاتى بیماری‌هایى چون ایدز و سرطان که قاعدتاً خارج از محدوده علم کلان قرار دارند، عملاً پروژه‌هاى چند میلیارد دلارى و چند ساله هستند که بدون اعتبارات مالی دولت فدرال قابل دوام نیستند. تنها در ایالات متحده، هزینه سالانه تحقیقات مرتبط با ایدز تقریباً به ۸۰۰ میلیون دلار مى‌رسد.

علم امروز به یکى دیگر از آستانه‌های خود رسیده است؛ آستانه‌ای که از ورای آن مى‌توان رشد سریع بین‌المللى شدن سرمایه‌گذارى‌ها و تعهدات مالی مربوط به تحقیقات علمى را مشاهده کرد. تاکنون پروژه‌های علم خرد هر از چند گاهى خصلى ملی مى‌یافتند و پروژه‌های علم کلان گاه خصلى ملی و گاه خصلى بین‌المللى داشته‌اند. ولى تازه واردها، یعنی پروژه‌های مربوط به علم چند ملیتى به‌طور معمول خصلى بین‌المللى دارند، زیرا دیگر هیچ کشورى به تنهایی قادر نیست چنین پروژه‌هاى را تدارک ببیند و هزینه آنها را بر عهده بگیرد. علم چند ملیتى به سبب همکاری کشورهاى مختلف در اجرای پروژه‌ها الزاماً مجموعه‌ای از مسائل خاص خود را با عملکرد جارى علم — از جمله، نوسانات نرخ ارزها، محدودیت‌های مربوط به سفرهای خارجى، محدودیت‌های مربوط به تعرفه‌ها و داد و ستدها، مقررات گمرکى، پروانه‌های بهره‌برداری و

■ در حال حاضر، اینکه دانشمندی مدعی شود فلان پروژه ذوق اسافت از نظر ارزش علمى آن قابل توجه است، همان قدر نامعقول خواهد بود که سیاستمداری بگوید این پروژه را باید فقط از زاویه خواص و منافع عمومى آن ارزیابی کرد.

سیاست‌های بین‌المللى — در هم می‌آمیزد.

البته، در گذشته هم در برخی موارد بعضى پروژه‌های بین‌المللى داشته‌ایم. از جمله، مى‌توان به پروژه‌هاىى مانند: ملاقات سایوز — آپولو در فضا و مبادله فضانوردان امریکا، شوروى و یا اروپایى (مرکز اروپایى پژوهش‌های هسته‌ای ۳۲) در سال ۱۹۷۵ و آزمایشگاه فیزیک انرژی بالا که مراکز ستادى آن در ژنو (سوئیس) است و در اوایل دهه ۱۹۵۰ با مشارکت دوازده کشور اروپایى پایه‌گذارى شد، اشاره کرد. ولى تا به حال، برنامه‌های فضایی ایالات متحده امریکا و شوروى سابق تقریباً قادر بوده‌اند که به‌طور مستقل به مرحله اجرا در آیند. از سوى دیگر، با وجود آنکه تعدادى از کشورهای اروپایى به‌طور مشترک توانسته‌اند آزمایشگاه بزرگی به مقیاس جهانى ایجاد کنند و مورد بهره‌برداری قرار دهند، ایالات متحده امریکا به تنهایی قادر بوده است چند آزمایشگاه از این نوع را در خاک خود تأسیس کند. در حال حاضر، همان‌گونه که از تجربه شتاب‌دهنده عظیم S. S. C. برمی‌آید، ایجاد چنین پروژه‌هاى با امکانات تنها یک کشور، دیگر عملى به نظر نمى‌رسد.

پروژه S. S. C. را مى‌توان نمونه مشخصى از علم چند ملیتى دانست. از همان زمان که این پروژه طراحی شد و به تصویب رسید. پیش‌بینى شده بود که برخی کشورهای دیگر نیز به میزان محسوسى در هزینه‌های کار مشارکت داشته باشند. به این ترتیب، برآورد شده بود که از کل ۸ میلیارد و ۲۵۰ میلیون دلار هزینه پیش‌بینى شده، یک میلیارد و ۷۰۰ میلیون دلار آن را کشورهای دیگر به‌طور نقدى یا از طریق کمک‌های جنسى تأمین کنند. این امیدوارى وجود داشت که ژاپن با تقبل مبلغى بین چند میلیون تا یک میلیارد دلار عمده‌ترین شریک خارجى پروژه باشد و کشورهای دیگرى چون روسیه، هند، چین، تایوان و کره جنوبى بقیه هزینه‌های خارجى را تأمین کنند. علاوه بر اینها، ساخت دو «آشکارساز»^{۳۳} آزمایشى پروژه را هم با مشارکت خارجى در نظر گرفته بودند و به همین روش هم به تصویب رسیده بود. کل ۸ میلیارد و ۲۵۰ میلیون دلار هزینه اصلی پروژه شامل تقریباً ۲۵۰ میلیون دلار برای هر آشکارساز بود ولى معادل همین مبلغ نیز مى‌بایست از سوى کشورهای خارجى که قرار بود دانشمندان آنها در آزمایش‌ها شرکت داشته باشند، تأمین شود. بنابراین، مشارکت بین‌المللى برای چنین پروژه‌های بیشتر از قبلى ضرورت‌های مالی است تا از قبلى مسائل سیاسى مانند آنچه در مورد ملاقات فضایی سایوز — آپولو مصداق مى‌یافت و یا از بابت راهبردهای منطقه‌ای مانند مورد «مرکز اروپایى پژوهش‌های هسته‌ای».

علم به عنوان تجسس عقلانى و علم به عنوان عمل اجتماعى

علم چند ملیتى مسأله دیگری را نیز در ارتباط با تأثیرات خارجى بر عملکرد علم به منصه ظهور مى‌رساند. دانشمندان به‌طور معمول بر این باور هستند که عمل اصیل علمى متضمن نوعى استقلال و عینیت‌گرایی نسبت به هر گونه تأثیر اجتماعى است؛ خواه این تأثیر مساعد به حال علم باشد، خواه از کارکرد علم ناشى شده باشد. آنچه

به سبب تحقیقات علمی در زمینه ذرات اولیه، هسته اتم، ساختار کروموزوم، سیستم مصونیت انسانی و یا مبدأ جهان، از پرده برون افتد، در نهایت امر مستقل از انگیزه‌های جامعه‌ای خواهد بود که هزینه‌های تحقیقاتی را بر عهده گرفته است. بی‌گمان، مسائل اجتماعی ممکن است نقش تعیین کننده‌ای در دستیابی دانشمندان به منابع مالی لازم برای اکتشافات آنان داشته باشند، ولی خود اکتشافات مسلماً محصول چنین تأثیراتی نبوده بلکه از طبیعت سرچشمه خواهند گرفت.

از سوی دیگر، تاریخ‌نگاران، جامعه‌شناسان و منتقدان اجتماعی از مدت‌ها پیش به پیامدهای تأثیرات اجتماعی بر علم واقف بوده‌اند و مطالعات گوناگون در این زمینه در طی دهه ۲۰ قرن حاضر با کار افرادی نظیر «بوریس هسن»^{۳۴}، «رابرت مرتن»^{۳۵}، و «تامس کوهن»^{۳۶} به سطح والایی رسید. یکی از پیچیده‌ترین مباحث فلسفه علم در زمان حاضر این است که چگونه می‌توان تأثیر انکارناپذیر عوامل اجتماعی بر علم را با عینیت انکارناپذیر علم (یعنی با درجه استقلال آن از تار و پود جامعه میزبان) آشتی داد. پروژه‌های علم چند ملیتی این موضوع را باز هم حساس‌تر می‌سازند، زیرا بیش از پروژه‌های ملی تحت تأثیر عوامل اجتماعی قرار می‌گیرند. تصمیم‌گیری‌های مربوط به برنامه‌ریزی، اجرا و بهره‌برداری از پروژه‌های علم چند ملیتی، از نخستین مراحل طراحی گرفته تا ریزترین جزئیات عملیاتی، در حال حاضر عمدتاً در محافل سیاسی صورت می‌گیرد تا در محافل علمی. عواملی همچون بلندپروازی‌های سیاسی و مسؤولیت‌های جهانی رهبران، روش‌های ملی عملکردها، حساسیت‌های ملی در مورد دستکاری و نگاهداری مواد پرتوزا (راديو اکتیو) و دیگر مواد تهدیدکننده محیط‌زیست و همچنین ثبات یا فقدان ثبات اقتصادهای ملی، همه و همه بر تصمیم‌گیری‌های مسؤولان پروژه‌های چند ملیتی تأثیر می‌گذارند. هر پروژه علم چند ملیتی در عین حال هم یک پروژه علمی است و هم یک پروژه اجتماعی. آیا حضور فزاینده این عوامل سیاسی، اقتصادی و حتی فرهنگی در تولید علم، عینیت را در معرض خطر قرار می‌دهد؟

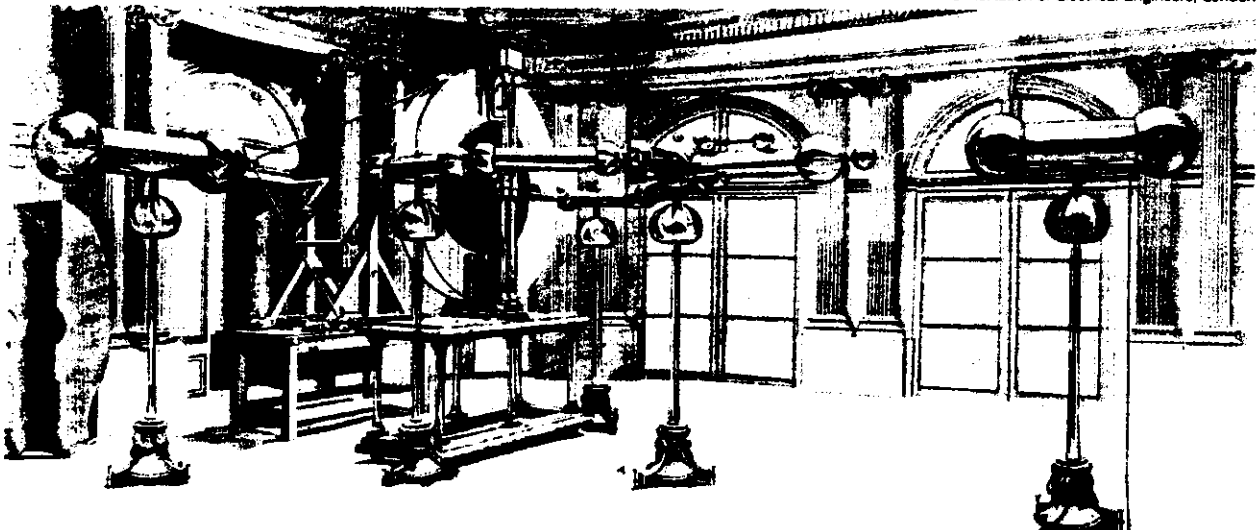
دانشمندان به دلایل مشخص و حرفه‌ای معمولاً از طرح این گونه پرسش‌ها خودداری می‌کنند. ولی این مسأله که در حقیقت چگونگی ارتباط بین علم به عنوان عملی اجتماعی و علم به عنوان نوعی

تجسس عقلانی را مطرح می‌سازد، به طرز جدی اجتناب‌ناپذیر در بحث‌های مربوط به علم چندملیتی به چشم می‌خورد. یکی از راه‌های روشن ساختن مطلب این است که بپذیریم هر تجربه علمی را می‌توان با دو نوع معیار مختلف مورد سنجش قرار داد. نخست با این فرض که تجربه علمی بخشی از یک تحقیق صرفاً عقلانی در زمینه طبیعت است و در نفس خود ارزشمند محسوب می‌شود. دوم، با این فرض که تجربه علمی نوعی رویداد صرفاً اجتماعی است؛ یعنی رویدادی که فلان مقدار پول توزیع می‌کند، فلان مقدار شغل به وجود می‌آورد، موجد بعضی از اتحادها و همکاری‌هاست، ارتباط‌های گوناگونی میان نهادهای مختلف اجتماعی پدید می‌آورد، به جهش‌های تکنولوژی کمک می‌کند و مانند اینها. از چنین دیدگاهی تجربه علمی، صرف نظر از موفقیت یا شکست برنامه‌ای که باعث و بانی آن بوده است، ارزشمند محسوب می‌شود.

آزمایش به عنوان تولید

آزمایش علمی را می‌توان با یک رویداد نمایشی مقایسه کرد. رویداد نمایشی را می‌توان یا از نظر هنری ارزیابی کرد (با توجه به چگونگی اجرای نمایش)، یا از نظر اجتماعی (با توجه به چگونگی تولید آن)؛ یعنی چقدر هزینه در برداشته است، چقدر پول برگردانده است، چند نفر هنرپیشه استخدام کرده است و مانند اینها. با این حال، می‌دانیم که ارزش‌های هنری و اجتماعی چندان ارتباطی با هم ندارند. به همین سان، هر پروژه علمی دارای دو نوع ارزش مختلف است: ارزش پروژه به عنوان اقدامی در خدمت یک تحقیق عینی و عقلانی و ارزش پروژه به عنوان اقدامی در خدمت تولید اجتماعی. مباحثاتی که در مورد علم کلان و علم خرد به راه افتاده است عملاً ارتباطی با ارزش‌های ماهوی غالب پروژه‌های مورد اختلاف ندارد. هیچ‌کس منکر اهمیت یا مطلوب بودن شناخت بیشتر از ماهیت ذرات اولیه یا هسته اتم یا ژن‌های حاکم بر موجودیت انسانی یا تکوین و تحول جهان وجود نیست. چنانچه پروژه‌های از این قبیل را می‌شد در محدوده علم خرد به مرحله اجرا درآورد، مسلماً هیچ‌کس تردیدی نسبت به آنها ابراز نمی‌داشت. در عوض، پروژه‌های علم کلان معمولاً به بحث و گفتگوهای گسترده می‌انجامند؛ چرا که همه دست‌اندرکاران آگاه هستند که صعود در مقیاس تولیدات مورد نیاز

The Institution of Electrical Engineers, London



چنین پروژه‌هایی پیامدهای اجتناب‌ناپذیری در بر خواهد داشت که در وهله نخست می‌توان به افزایش رقابت‌ها برای کسب اعتبارات اشاره کرد و منظور رقابت‌هایی است که بین پروژه‌های علمی مختلف به وجود می‌آید. علت هم این است که وقتی امکانات مالی محدودی وجود داشته باشد، پروژه‌های علمی بزرگ و پرسر و صدا طبعاً سهم زیادی را به خود اختصاص خواهند داد و پروژه‌های دیگر یا حذف می‌شوند یا باید دامنه فعالیت خود را محدودتر سازند. برای مثال، منتقدان پروژه ایستگاه فضایی خاطر نشان ساخته‌اند که مرکز فضایی امریکا (ناسا) با پشتیبانی از این پروژه الزاماً می‌بایست بسیاری از پروژه‌های ارزشمند دیگر مانند سفینه‌های اکتشافی و ماهواره‌های ردیاب را فدا کند. گذشته از این، رقابت فقط بین پروژه‌های گوناگون یک حوزه مبین مثل تحقیقات فضایی، باقی نمی‌ماند بلکه به حوزه‌های علمی و فنی دیگر مانند فیزیک و زمین‌شناسی یا زیست‌شناسی و اقیانوس‌شناسی نیز سرایت می‌کند. از دانشمندی که در زمینه مواد و مصالح جدید فعالیت دارند همواره گله‌مند بوده‌اند از اینکه هزینه‌های بسیار بالای ساخت و راه‌اندازی شتاب‌دهنده S.S.C. در نهایت امر پروژه‌های مربوط به حوزه فعالیت آنها را هم تهدید خواهد کرد. و سرانجام، باید توجه داشت که پروژه‌های عظیم علم چند ملیتی با پروژه‌های غیر علمی مانند توسعه آموزش و پرورش، خانه‌سازی یا دفاع نیز از در رقابت وارد می‌شود.

از سوی دیگر نگرانی‌های مربوط به پیامدهای اجتماعی تولیدات علمی را داریم که در مجموع از این فکر منشأ می‌گیرند که هر چه پیامدهای اجتماعی تولیدات علمی بیشتر و وسیع‌تر باشد، ارزشیابی و نظارت بر پروژه‌های مربوط را باید بیش از پیش بر اساس ارزش‌های اجتماعی و نه صرفاً بر اساس ارزش‌های علمی آنها انجام داد. پس، هرچه مقیاس یک پروژه علمی بزرگتر باشد، جامعه سرمایه‌گذاری افزون‌تری در آن به عمل می‌آورد و هر چه سرمایه‌گذاری جامعه در پروژه‌ای بیشتر باشد، ارزش‌های اجتماعی نفوذ بیشتری بر روی آن اعمال خواهند کرد. به عنوان نمونه، کافی است در نظر بگیریم که چگونه توجه افکار عمومی و مجامع سیاسی به شتاب‌دهنده‌های غول‌اسا بیش از پیش افزایش می‌یابد. در اوایل دهه ۱۹۳۰، شتاب‌دهنده‌های ذرات، دستگاه‌هایی کوچک بودند که به غیر از دانشمندان علاقه‌مند هیچ‌کس دیگر رانمی‌شناخت. با این حال، در ظرف فقط چند سال حجم آنها به اندازه‌ای رسیده بود که نصب و استقرارشان توجه افراد و مقامات محلی را به خود جلب می‌کرد. برای مثال، هنگامی که در اواخر دهه ۱۹۳۰ دانشگاه کلمبیا در نیویورک سیتی کار نصب یک «سیکلوترون مدور» با طوقه مغناطیسی ۳/۷ متری را در زیرزمین دانشکده فیزیک شروع کرد، کارشناسان نظر دادند که برای کار گذاشتن این دستگاه که قادر بود شتاب ذرات را تا حد تقریباً هشت میلیون الکترون ولت انرژی برساند، باید کف محل نصب را با بتون مخصوصی مجهز سازند و به همین ترتیب، مغناطیس‌های الکتریکی دستگاه را هم که بالغ بر ۶۵ تن وزن داشت، به کمک نیروی دریایی امریکا تعبیه کردند. بدیهی است که روزنامه‌های محلی سروصدای فراوانی در مورد این پروژه به راه انداختند و با لحنی ستایش‌انگیز درباره «برثای عظیم»^{۳۷} داد سخن می‌دادند که به زعم آنها جدیدترین «تیربار اتمی» کلمبیا بود.

در طی دهه ۱۹۵۰ یک رشته شتاب‌دهنده‌های عظیم در امریکا ساخته شد مانند «کاسموترون»^{۳۸} با ۳ میلیارد الکترون ولت انرژی در آزمایشگاه ملی «بروکهون»^{۳۹} در ۱۹۵۲، «بیواترون»^{۴۰} با ۶/۲ میلیارد

الکترون ولت انرژی در دانشگاه کالیفرنیا برکلی، در ۱۹۵۴ و «سینکروتون»^{۴۱} با ۳۳ میلیارد الکترون ولت انرژی، باز هم در بروکهن. این دستگاه‌ها عظیم‌تر از آن بودند که دانشگاه‌ها به تنهایی بتوانند ساخت آنها را بر عهده بگیرند و بنابراین همکاری گسترده‌ای با صنایع مورد نیاز بود که این امر نیز طبعاً درگیری‌هایی با مقررات دولتی مربوط به تشریفات مقاطعه‌کاری‌ها و دیگر مسائل مربوط به قراردادها را در پی داشت. با این وصف، تصمیم‌گیری در مورد ساخت و محل نصب آنها هنوز در خارج از سازمان‌ها و مجامع بخش عمومی به عمل می‌آمد و فقط هنگامی که کار به پایان می‌رسید، خبر آن در مطبوعات منتشر می‌شد. ولی اندکی بعد، یعنی در اواسط دهه ۱۹۶۰ شرایط عوض شد و هنگامی که مسأله نصب یک شتاب‌دهنده ۲۰۰ میلیارد الکترون ولتی مطرح شد، کمیسیون انرژی اتمی اعلام کرد که باید در مورد محل نصب دستگاه اظهار نظر کند. نمایندگان کمیسیون ملاقات‌هایی با سیاستمداران منطقه‌ای، روزنامه‌نگاران محلی و حتی با گروهی راهپیمایان مخالف به عمل آوردند، کلیه محل‌های پیشنهادی را مورد بررسی قرار دادند، و گفتگو‌هایی نیز با سازمان‌های جوامع محلی مانند شاخه منطقه‌ای «اتحادیه ملی برای پیشرفت رنگین پوستان» انجام دادند. از آن زمان به بعد، تشریفات مربوط به ساخت شتاب‌دهنده‌های ذرات به مقیاس جهانی به صورت نوعی رویداد سیاسی تمام عیار درآمده است.

شتاب‌دهنده غول‌آسای S. S. C. اینک به صورت مظهر همکاری‌های علمی - اجتماعی روزگار ما درآمده است. هنگامی که کارخانه سازنده مغناطیس‌های پروژه با ظرفیت کامل به فعالیت پردازد، تنها در تگزاس بیش از ۷۰۰۰ شغل مستقیم به وجود خواهد آورد (به جز امکانات اشتغال غیرمستقیم یا مشاغل «شانور»). علاوه بر آن، ۲۲ هزار قرارداد نیز در ۴۵ ایالت منعقد خواهد شد. تگزاس در دور دوم مبارزات انتخاباتی پرزیدنت جرج بوش (۱۹۹۲) از اهمیت خاصی برخوردار بود. از این نظر، تعجب‌آور نیست که در جنگ و گریزهای کنگره و کاخ سفید پروژه مورد بحث به صورت یکی از عوامل کلیدی درآمد و سرانجام پرزیدنت بوش حاضر شد مخالفت خود با ممنوعیت آزمایش‌های هسته‌ای جدید را کنار بگذارد مشروط بر آنکه، در مقابل کنگره نیز از طرح شتاب‌دهنده عظیم S. S. C. پشتیبانی کند و باز هم جای تعجب نیست که پرزیدنت بیل کلینتون نیز از همین پروژه به عنوان بخشی از اصلاحات اقتصادی خود جانبداری کرده است.

آیا ناسا در خلأ عمل می‌کند؟

پروژه ایستگاه فضایی آزادی که هزینه ساخت و راه‌اندازی آن پنج بار بیشتر از S. S. C. است، یکی دیگر از پروژه‌های عظیم عمومی محسوب می‌شود. بر حسب گزارش‌های ناسا، این پروژه ۷۵ هزار شغل جدید ایجاد خواهد کرد و در ۳۷ ایالت، ناحیه کلمبیا و چند کشور خارجی قراردادهای گوناگونی را به مرحله اجرا خواهد گذاشت. این مشارکت خارجی، به هنگام مطرح شدن پروژه در کنگره امریکا، به طور غیرارادی موجب موقعیتی کم‌دی‌وار شد. منظور موقمی است که نماینده دمکرات، «آلن مولوهان»^{۴۲}، در دفاع از پروژه و رد انتقادهای مخالفان اظهار داشت که تعطیل شدن پروژه ایستگاه فضایی عملاً به منزله نقض قراردادهایی خواهد بود که تاکنون با کشورهای خارجی منعقد شده است و سپس در ادامه بحث چنین گفت: «بسیاری از همکاران ما چنان در مخالفت با پروژه ایستگاه

■ در روزگار ما، دانشمندان در تار و پود اطلاعاتی پیچیده و به هم پیوسته‌ای فعالیت دارند که اجزای آن از منابع متنوعی به دست آمده است. از این نظر، سعی در تجزیه و تفکیک دستاوردهای علم کلان و علم خرد به قصد مقایسه معنا و مفهوم آنها در حقیقت کاری تصنعی، همراه کننده و بی‌معنی خواهد بود.

فضایی داد سخن می‌دهند که گویی ناسا در خلأ کار می‌کند؛ خیر چنین نیست. دانشمندان ناخرسند از این نوع دفاع نماینده دمکرات، از خود می‌پرسیند که آیا این گفته مولوهای باعث نخواهد شد که در نوبت بعدی تنگ کردن کمربندها، نمایندگان کنگره هزینه‌های مربوط به دوره بهره‌برداری از پروژه را آماج حملات خود قرار دهند؟

تذکر مولوهای نشان می‌دهد که ایجاد اشتغال و رونق اقتصادهای محلی تنها ارزش‌هایی نیستند که به پروژه‌های علمی کلان تعلق می‌گیرند؛ سیاست بین‌المللی و حیثیت ملی نیز در این عرصه سهم خاص خود را خواهند داشت. واقعیت این است که پروژه ایستگاه فضایی از یک سو به طور منظم در میزگردهای علمی به سبب ارزش علمی ناچیز آن مورد ایراد قرار می‌گرفت و از سوی دیگر، دولت و بسیاری از نمایندگان کنگره به سبب نقشی که همین پروژه از نظر اعتبار و حیثیت ملی ایفا خواهد کرد به شدت از آن دفاع می‌کردند. مزید بر این، هواداران چنین پروژه‌هایی پیوسته از منافع ثانوی آنها برای بخش‌های علمی و تولیدی دیگر سخن می‌گویند - برای مثال، برای تکنولوژی کامپیوتر، علم مواد و مصالح جدید، تولید ابزار دقیق و مانند اینها - و معتقدند که این نوع ارزش‌ها را هم باید به خواص و منافع پروژه اصلی اضافه کرد. در زمینه ارزش‌های ثانوی پروژه‌های علم کلان برای صنایع محلی، نه فقط در امریکا بلکه در حوزه فعالیت «مرکز اروپایی تحقیقات هسته‌ای» نیز مطالعاتی ویژه‌ای از نظر گسترش بازارها و هزینه‌های تولیدی پایین‌تر به عمل آمده است، ولی روش کلی این مطالعات بحث‌انگیز به نظر می‌رسد. این گونه مطالعات به قصد آن به عمل آمده‌اند که ثابت کنند بعضی تولیدات علمی، صرف‌نظر از ارزش علمی آنها، سرمایه‌گذاری‌های اجتماعی مفیدی هم به حساب می‌آیند.

مسأله عمده‌ای که علم چندملیتی مطرح کرده این است که چگونه باید بین ارزش علمی ناب، پروژه‌های مشترک، ارزش‌های اجتماعی مترتب بر آنها - بخصوص هنگامی که ارزش‌های اجتماعی متعددتر و غامض‌تر باشند - سازگاری ایجاد کرد. در حال حاضر، اینکه دانشمندی مدعی شود فلان پروژه غول‌آسا فقط از نظر ارزش علمی آن قابل توجه است، همان قدر نامعقول خواهد بود که سیاستمداری بگوید این پروژه را باید فقط از زاویه خواص و منافع عمومی آن ارزیابی کرد.

بهره‌برداری (هر چه بیشتر) از (هر چه کمتر)

مسائلی که در حال حاضر دانشمندان مایل به یافتن پاسخی برای آنها هستند، از نظر مالی با موانعی روبه‌رو می‌شوند که برطرف ساختن آنها حتی از عهده علم چند ملیتی هم برنمی‌آید. در ژانویه ۱۹۵۴، «انریکو فرمی»^{۲۳}، رئیس انجمن فیزیک امریکا، به مناسبت بازنشستگی خود ضمن خطابه‌ای همین مطلب را به شیوه‌ای طنزآلود مطرح ساخت. وی با نشان دادن نموداری از رشد تدریجی شتاب‌دهنده‌های ذرات، اظهار داشت که هرگاه این روند در آینده نیز همچنان ادامه یابد، حجم و ابعاد این دستگاه‌ها به زودی به حدی

خواهد رسید که ناچار خواهیم شد آنها را در مدار زمین قرار دهیم! با توجه به محدودیت‌های فیزیکی چنین پروژه‌هایی ممکن است دانشمندان در آینده نزدیک ناچار شوند که با ابداع روش‌ها و وسایلی تازه همین مسائل را از راه علم خرد حل کنند.

برای مثال، در زمینه فیزیک ذرات، دانشمندان این کار را دست کم از دو راه انجام می‌دهند: از طریق شتاب‌دهنده‌های تخصصی موسوم به «کارخانه» و از طریق آزمایشگاه‌های زیرزمینی. S. S. C. چنان طراحی شده است که «تابه‌های ذراتی»^{۴۴} را که در جهت مخالف یکدیگر دُوران دارند با ۲۰ تریلیون الکترون ولت به همدیگر بکوبند و در امتداد یک طیف انرژی بسیار گسترده به شکار پدیده‌های حاصل از برخورد بنشینند. ولی اینجا و آنجا در طیف انرژی که به وسیله شتاب‌دهنده‌های قبلی آشکار شده است، گوشه و کنارهایی از مناطق بررسی نشده و بکر وجود دارد که حاوی پدیده‌هایی ناشناخته‌اند و مسلماً جالب توجه خواهند بود و احتمالاً شگفتی‌هایی در خود نهفته دارند. اما هیچکدام از آنها در جریان افزایش‌های پی در پی انرژی مورد مطالعه قرار نگرفته‌اند. می‌توان شتاب‌دهنده‌هایی ساخت که کار اصلی آنها بررسی مناطق «انرژی‌زای» ناشناخته باشد، و به خصوص از طریق ایجاد ذره ویژه‌ای در برخوردها و «همکوبی‌ها»^{۴۵} و سپس، به نظاره تباهی آن نشستن. این گونه شتاب‌دهنده‌ها را «کارخانه» می‌نامند، چون عملاً به تولید انبوه پدیده‌هایی می‌پردازند که مطالعه آنها پاسخ‌هایی برای بعضی مسائل به دست می‌دهد؛ پاسخ‌هایی که در غیر این صورت باید آنها را به وسیله شتاب‌دهنده‌هایی بسیار بزرگ به دست آورد. این «کارخانه‌ها» در حقیقت فرصت‌های مناسب را با ابتکار در هم می‌آمیزند. برای متحقق ساختن «کارخانه‌ها»، فیزیکدانان متخصص در زمینه شتاب‌دهنده‌ها باید دستگاه‌هایی ابداع کنند که «درخشش»^{۴۶}، یا میزان همکوبی ذره‌ها، در آنها حداقل ۱۰۰ برابر شتاب‌دهنده‌های معمولی باشد.

در حال حاضر، چند «کارخانه» در مرحله برنامه‌ریزی است. یکی از آنها کارخانه فی (φ) است که «دافنه»^{۴۷} نامیده می‌شود و برای کار در فراسکاتی (ایتالیا) در نظر گرفته شده است. ذره φ حاصل ۱/۰۲ میلیارد الکترون ولت انرژی همکوبی است و بنابراین مستلزم شتاب‌دهنده‌ای است که بتواند دو تابه ذره‌ای را که هر یک از آنها بیش از ۵۰۰ میلیون الکترون ولت انرژی داشته باشد، به یکدیگر بکوبد. ذره φ حالت خاصی از مکانیک کوانتومی است و تباهی^{۴۸} آن به دانشمندان امکان می‌دهد که بعضی مسائل کلیدی را درباره ماهیت مکانیک کوانتایی و پدیده دیگری به نام نقض CP^{۴۹} (نوعی عدم تقارن خفیف ولی احتمالاً بسیار پرمعنا در رفتار بین ساده و ضدماده) مطرح سازند. ساخت دافنه در اوایل ۱۹۹۳ شروع شده و امید می‌رود در ظرف دو سال تکمیل شود. علت سرعت عمل در ساخت این دستگاه آن است که دانشمندان فراسکاتی خواسته بودند با ساختن دافنه در همان ساختمانی که یک دستگاه در حال کهنه شدن را در خود جای داده بود، عملاً از نوعی «میانبر زمانی» استفاده کنند.

نوع دیگری از «کارخانه‌ها» را می‌توان برای مطالعه منطقی انرژی‌زایی بین ۳/۵ تا ۴ میلیارد الکترون ولت ساخت. این نوع شتاب‌دهنده می‌تواند به تولید انبوه دو نوع ذره مختلف و جالب توجه بپردازد: لپتون^{۵۰} های «تو»^{۵۱} (خویشاوندی‌های سنگین الکترون) و مزون‌های مسحور^{۵۲} (نرون‌های حاوی ذرات بنیادین به نام کوارک^{۵۳} های مسحور) که تباهی نادر آنها دریچه‌ای به سوی

ممکن است در چند دهه آینده نقشی بس مهم و حیاتی ایفا کند -
 نشانه‌ای مشاهده نشدنی از وابستگی‌های متقابل و فزاینده پروژه‌های
 علمی و همچنین چشم‌انداز گسترش یابنده‌ای از وابستگی‌های متقابل
 و روبه‌رشد تحقیقات علمی در کشورهای مختلف به دست می‌دهد. ■

یادداشتها

- 1- Superconducting Super Collider (آبرهمکوب آبره‌ادی)
- 2- Genome
- 3- Big Business
- 4- Big Science
- 5- Alvin Weinberg
- 6- Oak Ridge
- 7- Alan Shepard
- 8- Freedom 7
- 9- Science
- 10- moneyitis
- 11- Journalitis
- 12- administratits
- 13- Derek de Solla Price
- 14- Big science & Little science
- 15- exponential
- ۱۶- منظور پروژه تدارک بمب اتمی در اواخر جنگ جهانی دوم است. - م.
- 17- logistic growth
- 18- Andreas Vesalius
- 19- Titian
- 20- De humani corporis fabrica libri septem
- 21- Human Genome Organization
- 22- Tycho Brahe
- 23- Ven
- 24- Uraniborg
- ۲۵- Copernican theory, منظور نظریه خورشید مرکزی در منظومه شمسی است. - م.
- 26- electric fluid
- 27- Tuileries Palace
- 28- microwave technology
- 29- hydroelectric
- ۳۰- پدیده هدایت متقابل بلورهای مراد مختلف، ناشی از مشابهت‌های بسیار نزدیک در آرایش اتم‌های رویه‌های مشترک. - م.
- 31- x - ray
- 32- Centre Européen des Recherches Nucléaire (CERN)
- 33- detector
- 34- Boris Hessen
- 35- Robert Merton
- 36- Thomas Kuhn
- 37- Big Bertha
- 38- Cosmotron
- 39- Brookhaven
- 40- Bevatron
- 41- synchroton
- 42- Alan Mollohan
- 43- Enrico Fermi
- 44- beam
- 45- collisions
- 46- luminosity
- 47- Daphne
- 48- Decay
- 49- cp violation
- 50- leptons
- ۵۱- Tau, نهمین حرف الفبای یونانی، معادل T در الفبای انگلیسی. - م.
- 52- Charmed mesons
- 53- Quark
- 54- Large Electron - Positron collider
- 55- magnetic monopole
- 56- Neutrino oscillation
- 57- Gran Sasso

پدیده‌های انرژی بالا می‌گشاید. «کارخانه» ای از این نوع (B) مراحل برنامه‌ریزی خود را در ژاپن می‌گذرانند و یکی از آن نیز برای امریکا در مرحله بحث و مذاکره است. در طی دهه ۱۹۸۰، دانشمندان در «مرکز شتاب‌دهنده خطی استنفورد» عظیم‌ترین شتاب‌دهنده خود را به یک «کارخانه Z» بدل کردند (ذره Z در تقریباً ۹۱ میلیارد الکترون ولت ایجاد می‌شود)، ولی این دستگاه عملاً ناکام ماند چرا که خیلی زود به وسیله شتاب‌دهنده بزرگتر مرکز اروپایی تحقیقات هسته‌ای، «همکوب بزرگ الکترون - پوزیترون» ^{۵۴} (LEP)، از میدان خارج شد. در صورتی که «کارخانه» ها مظهر ابتکار و نوآوری در گزینش پدیده‌های جالب توجه برای مطالعه شمرده می‌شوند، آزمایشگاه‌های زیرزمینی نوعی میانبر در انجام آزمایش‌هایی محسوب می‌شوند که به‌طور معمول در سطح مسائل مربوط به پروژه‌های غول‌آسا بدان‌ها نیاز می‌افتد. این آزمایشگاه‌ها از کره زمین به عنوان حفاظی برای دفع پرتوهای کیهانی استفاده می‌کنند. در چنین شرایطی می‌توان به آزمایش‌هایی دست زد که آشکار ساز پدیده‌هایی کاملاً غیرمتعارف هستند؛ پدیده‌هایی که در نبود چنین شرایطی فقط ممکن است به وسیله شتاب‌دهنده‌های بی‌نهایت عظیم و دست نیافتنی آشکار شوند. از جمله این پدیده‌ها می‌توان به تباهی پروتون اشاره کرد که به‌طور نظری پیش‌بینی ولی مشاهده آن هنوز ممکن نشده است و یا «تک قطب مغناطیسی» ^{۵۵} (نوعی ذره فرضی که فقط دارای یک قطب (شمال یا جنوب) است؛ یا نوسان «نوترینو» ^{۵۶}، پدیده مفروضی که به موجب آن نوترینو (یکی از ذره‌های بنیادین که دارای سه نوع متفاوت است) در حال جهش از یک نوع به نوع دیگر مبدل می‌شود. عظیم‌ترین این‌گونه آزمایشگاه‌های زیرزمینی در زیر کوه‌های «گران‌ساسو» ^{۵۷} در ایتالیا ساخته شده است که دانشمندان از دوازده کشور در آنجا به آزمایش‌های مختلفی مشغول هستند.

به سوی وابستگی‌های متقابل چند ملیتی

به همان نسبت که علم چند ملیتی به‌طور مداوم رشد می‌یابد و تحقیقات علمی بیش از پیش به آزمایش‌های غامض و پردامنه‌ای نیاز پیدا می‌کند، انگیزه‌های لازم برای یافتن چنین میانبرهایی نیز افزایش می‌یابد و نتیجه نهایی عبارت از همکاری‌های وسیع‌تر میان دانشمندان جهان و وابستگی‌های متقابل و هر چه بیشتر در زمینه لوازم و ابزارکار و روش‌های عملیاتی به منظور افزایش وسایل و امکانات لازم برای کاوش طبیعت خواهد بود.
 برای مثال، غارهای مصنوعی آزمایشگاه زیرزمینی عظیم گران ساسو در جهت آزمایشگاه «مرکز اروپایی تحقیقات هسته‌ای» - که صدها کیلومتر دورتر از آن قرار دارد - ساخته شده است. این جهت‌بندی از درون غارها قابل تشخیص نیست و در هیچ نقشه‌ای هم منعکس نشده است. فقط طراحان آزمایشگاه ساسو در همان اوایل کار پیش‌بینی کردند که ممکن است در آینده نوعی آزمایش مشترک بین این دو مرکز تحقیقاتی بزرگ ضرورت یابد، خاصه آنکه قرار بود در «مرکز اروپایی تحقیقات هسته‌ای» شتاب‌دهنده بزرگی به تولید نوترینو پردازد و این نوترینوها را می‌توانستند پس از عبور آنها از دل زمین، در آزمایشگاه ساسو به قصد مطالعه نوسان نوترینوها ردیابی کرد و آشکار سازند.
 چنین آزمایشی هنوز به مرحله اجرا درنیامده و بنابراین جهت‌بندی یاد شده در بالا تاکنون فایده‌ای جز برانگیختن کنجکاوی نداشته است. با این وصف، همین نکته کوچک و به ظاهر ناچیز - که