

ارزیابی فلسفی مدل خطی از تمایز علم محض - علم کاربردی

مطالعه‌ای موردی در علم نانو

ابوتراب یغمائی*

چکیده

تقسیم‌بندی علوم به محض و کاربردی سابقه‌ای دویست ساله دارد. در این مدت، فیلسوفان و مورخان علم و فناوری درگیر این مسأله بوده‌اند که چه معیاری این دو نوع علم را از یکدیگر متمایز می‌کند. مدل خطی یکی از قدیمی‌ترین و رایج‌ترین مدل‌هاست که مبتنی بر معیار حاصل از آن، هدف علم محض رسیدن به معرفت است، در حالی که هدف علم کاربردی به کار گرفتن معرفت علمی برای حل مشکلات عملی است. در این مقاله استدلال خواهد شد که مدل خطی برای تمایز علم محض - علم کاربردی در حوزه نانو کارآمد نیست. بنابراین، اگر پیش فرض تمایز علم محض از علم کاربردی درست باشد، رسم تمایز در حوزه مذکور نیازمند مدلی دیگر است.

کلیدواژه‌ها: علم محض، علم کاربردی، مدل خطی، علم نانو، بازنمایی علمی، طراحی.

۱. مقدمه

در مواجهه با نظام‌هایی که تحت نام «علم» گرد هم می‌آیند، تمایزی اولیه آشکار می‌شود. در حالی که برخی از علوم درگیر رسیدن به حقیقت در مورد جهان هستند، برخی دیگر در راستای حل مشکلات عملی گام بر می‌دارند. به عنوان نمونه، زیست‌شناسان تکاملی به دنبال پاسخ به این پرسش هستند که در طول تاریخ حیات، گونه‌های زیستی چگونه تحول می‌یابند، فارغ از این که معرفت حاصل از نظریه‌پردازی‌شان مشکلی را حل کند یا خیر. این

* استادیار فلسفه علم در پژوهشکده مطالعات بنیادین علم و فناوری، دانشگاه شهید بهشتی،
a_yaghmaie@sbu.ac.ir

در حالی است که زیست‌فناوران تلاش می‌کنند تا بر پایه معرفت حاصل از زیست‌شناسی تکاملی و ژنتیک ادامه‌ی حیات موجودات زنده را، مثلاً از طریق اختراع داروی‌های زیستی، بهبود بخشند. اگرچه تمایز میان علوم محض (علمی که در جستجوی حقیقت در مورد جهان یا کسب معرفت هستند) و علوم کاربردی (علمی که در راستای حل مشکلات عملی هستند) امروزه خیلی برجسته خود را نمایان می‌سازد، دو قرن از عمرش سپری می‌شود.^۱ در واقع، ساموئل تیلور کالریج (۱۸۱۸) بود که برای اولین بار و تحت تأثیر کانت (۲۰۰۴، ۱۷۸۶)، p. 4) از شناخت پیشینی و شناخت عقلانی کاربردی، تمایز میان علوم محض (هم‌چون فیزیک) و علوم کاربردی (هم‌چون شیمی و الکترونیسته) را وارد دنیای انگلیسی‌زبان کرد.

اما معیار تمایز میان علوم محض و کاربردی چیست؟ به بیان دقیق‌تر، آیا تمایز میان علوم به ماهیت متفاوت آن‌ها باز می‌گردد یا صرفاً امری ساختی است که از سوی زمینه‌ی شکل‌گیری علوم تحمیل می‌شود.^۲ یعنی آن‌که عوامل بیرونی هم‌چون عوامل تاریخی - فرهنگی - اجتماعی - سیاسی هستند که این تمایز را قوام می‌بخشند. پاسخ‌های متعددی از سوی فلاسفه‌ی علم و دست‌اندرکاران مطالعات علم و فناوری به این پرسش داده شده است که برخی به دسته‌ی اول تعلق دارند (Bunge, 1966; Niiniluoto, 1993, Boon, 2006; Calvert, 2004; Pielke, 2012; Latour, 1987; یکی از مهم‌ترین شروح یا مدل‌ها که تمایز را برآمده از زمینه نمی‌داند، بلکه آن را ناشی از ماهیت علوم می‌پندارد، اصطلاحاً مدل‌خطی از تمایز علم محض - علم کاربردی است (Boon, 2006, p. 30; Roll-Hansen, 2017, p. 15; Douglas, 2014, p. 57). هدف این مقاله ارزیابی مدل مذکور برای تمایزی خاص است؛ این‌که مطابق این مدل، علم نانو محض محسوب می‌شود یا کاربردی. علم نانو در دهه‌های اخیر موجب انقلاب فناورانه شده است. گستره‌ی کاربرد مصنوعات نانوفناورانه، از کشاورزی و صنعت نساجی گرفته تا الکترونیک و داروسازی، چنان وسیع و تأثیرگذاری آن چنان عمیق است که هر مدلی از تمایز میان علم محض و علم کاربردی باید به این پرسش پاسخ دهد که علم نانو به علوم کاربردی تعلق دارد یا علوم محض. در این مقاله استدلال خواهد شد که مدل خطی نمی‌تواند تمایز معناداری در این مورد رسم کند.

ساختار مقاله به این شکل است. در بخش بعدی، پس از مروری مختصر از تاریخ مدل خطی، مؤلفه‌های آن معرفی می‌شوند. بخش سوم به این می‌پردازد که هدف پژوهش در

ارزیابی فلسفی مدل خطی از تمایز علم محض - علم کاربردی؛ مطالعه‌ای موردی در علم نانو ۱۴۱

حوزه‌ی نانو چیست و این امر چگونه حاصل می‌شود. بخش چهارم نشان می‌دهد که مدل خطی برای رسم تمایز در حوزه‌ی نانو ناکارآمد است و بنابراین، اگر تمایز در این حوزه واقعاً وجود داشته باشد، باید شرح دیگری را برای بازنمایی آن به خدمت گرفت.

۲. مدل خطی از تمایز علم محض - علم کاربردی

چند دهه پس از معرفی تمایز میان علوم محض و کاربردی توسط کالریج در اوایل قرن نوزدهم، محترم شمردن علوم کاربردی به واسطه‌ی برآورده کردن منافع اجتماعی - اقتصادی، و سپس با آغاز جدال در بریتانیا بر سر این که آیا علوم کاربردی باید در دانشگاه آموزش داده شوند یا خیر، و اگر آری، آیا آن‌ها مستقل از علوم محض هستند یا خیر، برخی از متفکران انگلیسی‌زبان رویکردی را در مورد رابطه‌ی میان این دو علم پیشنهاد کردند که امروزه آن را با نام مدل خطی می‌شناسیم.^۳ به‌عنوان مثال هاکسلی در مقاله‌ی «علم و فرهنگ» در سال ۱۸۸۰ چنین اظهار می‌کند:

اغلب آرزو می‌کنم که کاش عبارت "علم کاربردی" هرگز درست نمی‌شد. چراکه عبارت مذکور بیان‌گر این است که نوعی معرفت علمی وجود دارد که به استفاده‌ی عملی مربوط می‌شود، و می‌تواند مستقل از نوع دیگر معرفت علمی، که هیچ فایده‌ی عملی ندارد و نامش "علم محض" است، مطالعه شود. مغالطه‌آمیزتر از این دیگر نمی‌شود. آنچه مردم علم کاربردی می‌نامند چیزی نیست جز کاربرد علم محض در طبقه‌ای خاص از مسائل (Kline, 1995, p. 194)

اگرچه علوم کاربردی در اوایل قرن بیستم بار دیگر مستقل پنداشته شدند، پس از جنگ جهانی دوم و با شکل گرفتن بنیاد ملی علم در آمریکا، طفیلی پنداشتن علوم کاربردی نه تنها در فضای دانشگاهی رواج پیدا کرد، بلکه به‌عنوان سیاست غالب علم و فناوری اجرایی شد. شاید یکی از صریح‌ترین اظهارنظرها در این باره بیان ونور بوش در یادداشت مشهور خود علم: مرز بی‌پایان باشد که می‌نویسد: «فرآیندها و محصولات جدید بالغ زاده نمی‌شوند. آن‌ها براساس اصول و مفاهیم جدیدی شکل می‌گیرند که خود نتیجه‌ی پژوهش علمی محض یا پایه هستند. پژوهش علمی زیربنای سرمایه‌ی علمی است» (Bush, 1945, p. 6). یا اینکه: «در این دوران مدرن، تحقیقات پایه طلایه‌دار پیشرفت فناورانه هستند» (Bush, 1945, p. 78). نگاه مذکور در اسناد سیاستی علم و فناوری جدیدتر نیز دیدگاه غالب است (OECD, 2002, p. 31)

اما دیدگاه خطی تنها از سوی دانشمندان علوم طبیعی و سیاست گذاران علم و فناوری مطرح نشده است، بلکه برخی فلاسفه علم و فناوری و دست‌اندرکاران مطالعات علم و فناوری نیز آن را به‌عنوان بازنمای رابطه‌ی علم محض - علم کاربردی پیشنهاد کرده‌اند (Bunge, 1966)؛ Feibleman, 1961). ماریو بونچه در معرفی علم محض و کاربردی می‌نویسد:

«روش و نظریه‌های علمی را می‌توان برای افزایش معرفت به جهان بیرونی و درونی یا افزایش رفاه و قدرت به کار بست. اگر هدف صرفاً شناختی باشد، علم محض حاصل می‌شود؛ اگر هدف اساساً عملی باشد، علم کاربردی به دست می‌آید» (Bunge, 1966, p. 329).^۴

وی در مورد نسبت میان علم محض و علم کاربردی نیز تقدّم را به علم محض می‌دهد: «گاهی اوقات ... چنین ادعا می‌شود که علم کاربردی منشاء علم محض است، به جای آن که برعکس باشد. اما روشن است که باید معرفتی باشد تا به کار گرفته شود» (Bunge, 1966, p. 330).^۵

رول - هانسن نیز در مقاله‌ی اخیر خود اگرچه تمایز میان علوم کاربردی و علوم محض را براساس چهار تفاوت، یعنی تفاوت در نوع معرفت، تفاوت در معیار موفقیت، تفاوت در آثار اجتماعی و تفاوت نهادی، ترسیم می‌کند، علوم کاربردی را حاصل به‌کارگیری (Applying) معرفت حاصل از علوم محض می‌پندارد که در راستای حل مسأله‌ای عملی متحقق می‌شوند (Roll-Hansen, 2017, p. 3). براساس این بیان از مدل خطی و سایر اظهارنظرهایی پیشین که ذکر شد، به نظر می‌رسد که مدل خطی بر دو مؤلفه‌ی اصلی تکیه دارد:

الف) قصدمندی (intentionality): آنچه یک حوزه‌ی علمی را محض (پایه) یا کاربردی می‌سازد، امری قصدی (Intentional) است. به بیان دقیق‌تر، اگر علم در جهت تولید معرفت بدون در نظر گرفتن کاربرد باشد، محض، و اگر در جهت حل مشکل عملی باشد، کاربردی خواهد بود؛

ب) تقدّم (Priority): علم محض بر علم کاربردی تقدّم دارد.

اگر علم را مجموعه‌ای از کنش‌ها در نظر بگیریم که هدف‌اش تولید نظریه و مدل‌های علمی است، می‌توانیم دو قصد یا هدف را به آن نسبت دهیم. اگر هدف از فعالیت علمی تولید نظریه و مدلی باشد که جهان را بازنمایی می‌کند، آن‌گاه علم مذکور محض خواهد

بود. اما اگر هدف نه بازنمایی جهان، بلکه حل مشکل عملی باشد، آن‌گاه کاربردی خواهد بود. علاوه بر آن، علم کاربردی چیزی نیست جز به‌کار گرفتن معرفت حاصل از علم محض. بنابراین، کنشی که هدف‌اش بازنمایی جهان است، بر کنشی که هدف‌اش حل مشکل است، تقدّم متافیزیکی دارد. چون، علم محض می‌تواند موجود باشد، بدون آن‌که علم کاربردی‌ای وجود داشته باشد، در حالی که عکس آن ممکن نیست. ضمن آن‌که تقدّم علم محض بر کاربردی به‌نحو زمانی نیز برقرار است. در ادامه سعی می‌شود نشان داده شود که هیچ‌یک از این دو مؤلفه در مورد علم نانو خوش‌تعریف نیست و بنابراین، مدل خطی نمی‌تواند تمایز میان محض - کاربردی را در حوزه‌ی نانو ترسیم کند، البته اگر چنین تمایزی در این حوزه وجود داشته باشد.^۱ اما پیش از آن لازم است که ویژگی‌های فعالیت علمی در حوزه‌ی نانو مشخص شوند.

۳. ویژگی فعالیت علمی در حوزه نانو

فناوری (یا علم) نانو در دهه‌های اخیر پیشرفت علمی و فناورانه‌ی غیرقابل پیش‌بینی‌ای را رقم زده است. این فناوری نه تنها در خاستگاه خود یعنی فیزیک، بلکه در حوزه‌های دیگری هم‌چون علوم زیستی نیز تحول ایجاد کرده و معنای پژوهش کاربردی و پایه را تغییر داده است. هدف این بخش معرفی فناوری یا علم نانو نیست، بلکه هدف بررسی ویژگی‌های فعالیت علمی در حوزه‌ی نانو است که به‌نظر تغییر ماهوی‌ای را در نوع فعالیت علمی رقم زده است. شایان ذکر است که خود دانشمندان حوزه‌ی نانو نیز به بدیع بودن فعالیت علمی در این حوزه اذعان دارند. به‌عنوان مثال، دانشمند حوزه‌ی نانو اریک درکسلر مفهوم جدیدی را با عنوان «علم کاربردی نظری» (theoretical applied science) معرفی می‌کند تا علومی هم‌چون نانو را در ذیل آن قرار دهد. به‌نظر وی، مدل‌سازی در حوزه‌ی نانو نه در حوزه‌ی علوم مهندسی یا کاربردی است، نه در حوزه‌ی علوم محض. هدف علم کاربردی نظری، تولید ابزارهایی است که می‌توانند به هدفی خاص نائل شوند. تا این‌جا علم نانو گویی علمی کاربردی است. اما مسأله این است که مهندس در هنگام طراحی محصول تحقق فیزیکی آن را به‌عنوان یک قید فیزیکی مورد ملاحظه قرار می‌دهد، در حالی که فعال حوزه‌ی نانو طراحی خود را مقید به تحقق فیزیکی آن نمی‌کند. بنابراین، هم‌چون دانشمند علوم محض، محصول وی نیز فارغ از کاربرد زمان‌مند تولید می‌شود. از طرفی، محصول علوم کاربردی نظری یک تحلیل یا طراحی است، نه معرفت علمی. بنابراین، علوم کاربردی

نظری از علوم محض نیز متمایز هستند (Drexler, 1992, pp. 489-506). اگرچه مقاله‌ی پیش‌رو صرفاً از منظر سلبی به فعالیت علمی نانومقیاس می‌پردازد، نظر درکسلر می‌تواند برای ارائه‌ی تحلیلی ایجابی از ماهیت علم نانو الهام‌بخش باشد.

در ادامه، ابتدا به ویژگی‌های کلی فعالیت علمی در حوزه‌ی نانو اشاره می‌شود. سپس سعی می‌شود با تمرکز بر روی میکروسکوپ تونل روبشی (STM)^۷، که یکی از ابزارهای شناختی اصلی در حوزه‌ی نانو است، این ویژگی‌ها در قالبی انضمامی تصریح شوند.^۸ در رابطه با فعالیت علمی در حوزه‌ی نانو، مجموعه‌ای از ویژگی‌ها وجود دارند که آن را یگانه می‌سازند. با به‌کارگیری چارچوب مفهومی بازنمایی علمی، این ویژگی‌ها را می‌توان به دو عنصر منبع بازنمایی و هدف بازنمایی نسبت داد. این مجموعه ویژگی‌ها در کنار یکدیگر فعالیت علمی در مقیاس نانو را یکتا می‌سازند. در ادامه به این ویژگی‌ها اشاره می‌شود.

۱.۳ منبع بازنمایی در پژوهش نانومقیاس و ویژگی‌های آن

پیش از آن‌که به رابطه‌ی بازنمایی علمی در حوزه‌ی نانو بپردازیم، مناسب است که مفهوم کلی بازنمایی علمی (فارغ از این‌که در چه حوزه‌ای از علم آن را به‌کار می‌گیریم) و عناصر مرتبط با آن را مختصراً معرفی کنیم. همان‌طور که پیش‌تر گفته شد، هدف یک نوع فعالیت علمی می‌تواند تولید نظریه و مدل علمی باشد. نظریه‌ها و مدل‌های علمی در رابطه‌ی خاصی با جهان قرار می‌گیرند که بازنمایی علمی نامیده می‌شود. فارغ از این‌که رابطه‌ی بازنمایی علمی چیست، این اتفاق نظر وجود دارد که اگر نظریه علمی T یا مدل علمی M بازنمای جهان باشد، آن‌گاه T یا M دارای محتوای معناشناختی است که درباره‌ی جهان است. هرچند واقع‌گرایان علمی می‌پذیرند که نظریه‌های علمی در رابطه با بخش مشاهده‌پذیر و مشاهده‌ناپذیر جهان هستند و قرار است این دو بخش را توأمان توصیف کنند، تجربه‌گرایان رابطه‌ی بازنمایی را تا جایی می‌پذیرند که رابطه‌ی بازنمایی، نظریه و جهان مشاهده‌پذیر باشد. بنابراین، اتخاذ موضع واقع‌گرایی یا تجربه‌گرایی تأثیری در پذیرش رابطه‌ی بازنمایی علمی ندارد. نکته‌ی دیگری که در مورد بازنمایی علمی وجود دارد، به عناصر مرتبط با آن مربوط می‌شود. همان‌طور که اشاره شد بازنمایی علمی رابطه است. این رابطه دو رابط دارد: یک سوی آن نظریه‌ها، مدل‌ها، گراف‌ها، معادلات علمی و

امثال آن‌ها هستند و سوی دیگر آن جهان است. به عناصر دسته‌ی اول منبع بازنمایی و به جهان هدف بازنمایی گفته می‌شود.^۹

در حوزه‌ی نانو نیز همانند سایر حوزه‌های علمی رابطه‌ی بازنمایی علمی وجود دارد. در واقع، دانشمندان نانو در پی این هستند (هرچند نه صرفاً) که جهان در مقیاس نانو (از ۱ تا 10^7 متر) را بازنمایی کنند، همان‌طور که کیهان‌شناسان به دنبال بازنمایی جهان در مقیاس کیهانی هستند. در علم نانو علاوه بر نظریه‌های علمی و مدل‌های انتزاعی، که در سایر حوزه‌های علمی نیز حضور دارند، دو منبع دیگر بازنمایی نیز وجود دارند که نقش به‌سزایی در پیشرفت علم و فناوری نانو داشته‌اند: ۱. بازنمایی‌های برآمده از ابزارهای مترولوژیک، خصوصاً STM^{10} و ۲. بازنمایی‌های برآمده از ابزارهای عددی خصوصاً شبیه‌سازی‌های کامپیوتری.^{۱۱} آنچه در رابطه با هدف مقاله، یعنی نشان دادن ناکارآمدی مدل خطی در حوزه‌ی نانو، اهمیت دارد، کارکرد ویژه‌ی STM است.

اگرچه عملکرد STM پیچیده و مبتنی بر پدیده‌ی تونل‌زنی در مکانیک کوانتومی است، آن را می‌توان مختصراً چنین شرح داد. STM یک نوک تک اتمی دارد که روی سطح نمونه‌ی مورد نظر، توسط یک برنامه‌ی کامپیوتری از پیش تنظیم شده، حرکت و آن را روبش می‌کند. میان الکترون در نوک و الکترون‌های سطح نمونه پدیده‌ی تونل‌زنی اتفاق می‌افتد و تغییر در جریان و ولتاژ حاصل از تونل‌زنی ثبت می‌شود. این تغییرات توسط الگوریتم‌های کامپیوتری به ویژگی‌های توپوگرافیک تبدیل می‌شوند و در نهایت مکان تک تک اتم‌ها و مولکول‌ها تعیین و بازنمایی تصویری می‌شود.

نکته‌ی مهمی که در رابطه با STM وجود دارد و آن را ویژه می‌سازد، کارکرد دوگانه‌ی STM است. از یک سو، STM ویژگی‌های فرمی مولکول‌های منفرد، هم‌چون شکل آن‌ها و سطح برخوردشان با سایر مولکول‌ها را بازنمایی می‌کند و از سوی دیگر، اتم‌ها و مولکول‌ها را به صورت منفرد حرکت داده و از این طریق، ترکیبات مصنوعی جدیدی می‌سازد.^{۱۲} بنابراین، STM نه تنها در بازنمایی جهان نانو، بلکه در دست‌کاری^{۱۳} و ساخت آن نیز نقش اساسی دارد.^{۱۴} این ویژگی در ابزارهای پژوهشی علمی بدیع است، چراکه به صورت سنتی ابزار شناخت جهان با ابزار ساخت آن متفاوت بوده است. علاوه بر این، وجود رابطه‌ی دینامیکی میان این دو کارکرد، یعنی بازنمایی و ساخت، اهمیت ویژه‌ای دارد. رابطه‌ی دینامیکی میان این دو ویژگی بدین معناست که STM ابتدا یک کارکرد، مثلاً ساخت شیء را انجام می‌دهد، سپس آن را بازنمایی می‌کند. در مرحله‌ی بعد، در شیء اول دست‌کاری

می‌کند و شیء دوم را می‌سازد، سپس آن را بازنمایی می‌کند و به همین ترتیب این زنجیره پیش می‌رود تا اهداف فعالیت علمی حاصل شوند. در قسمت بعدی مقاله خواهیم دید که چگونه این ویژگی در پژوهش نانومقیاس مرزی را که مدل خطی میان علم محض و علم کاربردی ترسیم می‌کند، محو می‌کند.

۲.۳ هدف بازنمایی در پژوهش نانومقیاس و ویژگی‌های آن

اهداف شناختی علوم عموماً از پیش موجود هستند. به‌عنوان نمونه، زیست‌شناس جانوری جانوران از پیش موجود را هدف قرار می‌دهد و با توصیف‌هایی آن‌ها را بازنمایی می‌کند. اما در حوزه‌ی نانو، اهداف بازنمایی عموماً از پیش موجود نیستند و نیاز به طراحی دارند. بنابراین، هدف بازنمایی در حوزه‌ی نانو برخلاف حوزه‌های دیگر ابتدا طراحی و سپس بازنمایی می‌شود. از همین‌رو، گویی فرآیند طراحی بر فرآیند کسب معرفت تقدم دارد.

به‌صورت سنتی، دانشمندان برای کسب معرفت دست به آزمایش زده و با مداخله در طبیعت توسط ابزار آزمایش به معرفت می‌رسند. به‌عنوان مثال، برای اطلاع از دمای آب لیوان، که از پیش موجود است، دماسنج (به‌عنوان ابزار آزمایش) در درون لیوان قرار می‌گیرد. دماسنج با آب لیوان میان‌کنش گرمایی می‌کند (مداخله در طبیعت) و پس از رسیدن به تعادل گرمایی، ستون جیوه‌ی آن در درجه‌ای خاص قرار می‌گیرد و معرفت از دمای آب با خواندن عدد ثبت شده حاصل می‌شود.

این نمونه‌ای است ساده از مدل کسب معرفت تجربی که در علوم غالب است. همان‌طور که این نمونه‌ی ساده نشان می‌دهد، ابژه‌ی معرفت (یعنی چیزی که قرار است معرفت نسبت به آن حاصل شود) برای کسب معرفت طراحی نمی‌شود. به‌بیان دیگر، در مدل سنتی ابژه‌ی معرفت از پیش موجود است و پژوهش‌گر سعی می‌کند با برقراری رابطه‌ی علی میان آن و ابزار اندازه‌گیری به کسب معرفت بپردازد. در نهایت معرفت می‌تواند در طراحی اشیاء به‌کار گرفته شود. به‌عنوان نمونه، آب را با اطلاع از دمای‌اش می‌توان در ساخت حمام گرمایی استفاده کرد. از همین‌رو، اگر طراحی‌ای نیز در میان باشد، پس از کسب معرفت خواهد بود. اما در حوزه‌ی نانو ابژه‌ی معرفت، که عموماً نانومواد پایین- بعد^{۱۵} (با بعد صفر، یک و دو) هستند، ابتدا طراحی و سپس سعی می‌شود معرفت در مورد آن حاصل شود.^{۱۶} به‌بیان مارکوویچ و شین:

در فرآیندی که "پژوهش از طریق طراحی" نامیده می‌شود، ... جهت تاریخی میان موضوع و سؤال عوض می‌شود. خانواده‌ی مهمی از مواد نانو ساختار توسط اپیتکسیورهای^{۱۷} ساخته می‌شوند که با دقت اشیاء اتم-بُعدی را لایه به لایه تولید می‌کنند. کاروران در این نوع پژوهش نانومقیاس می‌توانند مواردی را که به حس کنجکاوی‌شان می‌خورد، سفارش دهند، که این برخلاف محدودیت شناختی‌ای است که مواد موجود در طبیعت ایجاد می‌کنند (Marcovich & Shinn, 2014, p. 10).

دلیل این‌که چرا ابژه‌ی معرفت ابتدا طراحی می‌شود این است که نانوموادِ پایین - بعد در طبیعت وجود ندارند و نیاز به طراحی دارند. اما این‌که چرا اساساً این اشیاء موجودات جالب توجهی برای کسب معرفت هستند، موضوعی است که در ادامه می‌آید.

اشیاء در مقیاس نانو واجد ویژگی‌های بدیعی هستند که سایر اشیاء فاقد آن‌ها هستند. این امر به چند علت رخ می‌دهد. اول آن‌که اشیاء نانومقیاس در محدوده‌ای قرار دارند که در یک سوی آن قوانین مکانیک کلاسیک و در سوی دیگر آن قوانین مکانیک کوانتومی حاکم هستند.^{۱۸} از همین‌رو، برخی از رفتارهای‌شان ناشی از ویژگی‌های کوانتومی (مثل نیمه‌رسانایی) و برخی ناشی از قوانین مکانیک کلاسیک (مثل فردیت) است.^{۱۹} همین امر باعث می‌شود که ویژگی‌های بدیعی در این مقیاس بروز کنند. همچنین، گفته می‌شود که ویژگی‌های فرمی نانومواد، ویژگی‌های فیزیکی بدیعی را نتیجه می‌دهد. به‌عنوان نمونه، در طبیعت سه فرم کربنی (الماس، گرافیت و زغال سنگ) وجود دارد. فولرین‌ها (Fullerenes) که فرم‌های مصنوعی و سنتز شده‌ی کربنی هستند، ویژگی‌های فیزیکی‌ای هم‌چون نسبت خاصی از وزن به سختی را از خود بروز می‌دهند. نکته‌ای دیگر که در رابطه با اشیاء نانومقیاس اهمیت دارد، طراحی اتم به اتم و مولکول به مولکول برخی از آن‌هاست که سبب کنترل رفتار و بروز ویژگی‌های خودخواسته‌ی بدیعی می‌شود. اپیتکسی پرتو مولکولی (MBE)^{۲۰} روشی است که نانومواد را با ویژگی‌های مطلوب می‌سازد.

تمامی این علل سبب می‌شوند که اشیاء نانومقیاس ویژگی‌های بدیعی داشته باشند؛ ویژگی‌های بدیعی که سبب می‌شوند تا معرفت از آن‌ها اهمیت ویژه‌ای داشته باشد. اگر چنین باشد، طراحی اشیاء نانومقیاس تبیین روشنی پیدا می‌کند: آن‌ها طراحی می‌شوند تا ویژگی‌های بدیعی را از خود بروز دهند. در نهایت نیز معرفت نسبت به آن‌ها از طریق ادوات خاص و روش‌های متمایز حاصل می‌شود.

۴. ناکارآمدی مدل خطی در پژوهش نانومقیاس

در قسمت پیشین به این نتیجه رسیدیم که فعالیت علمی در مقیاس نانو دارای ویژگی‌های منحصر به فردی است. این ویژگی‌ها را می‌توان به صورت خلاصه چنین بیان کرد:

(الف) در پژوهش نانومقیاس، فرآیند بازنمایی شیء نانومقیاس با فرآیند ساخت شیء نانومقیاس همراه است؛

(ب) در پژوهش نانو مقیاس، یکی از ابزار اصلی پژوهش یعنی STM، بازنمایی و طراحی را توأمان انجام می‌دهد؛

(ج) هدف بازنمایی در پژوهش نانومقیاس از پیش در طبیعت موجود نیست و نیاز به طراحی دارد.

در ادامه سعی می‌شود نشان داده شود که این سه ویژگی ناکارآمدی مدل خطی را نتیجه می‌دهند. به یاد داریم که مدل خطی بر دو مؤلفه مبتنی بود: ۱. قصدمندی (قصد افراد است که ماهیت پژوهش را تعیین می‌کند) ۲. تقدّم (پژوهش کاربردی به پژوهش پایه‌ای وابسته است که پیش‌تر معرفت علمی مربوط را تولید کرده است، نه بالعکس). برای نشان دادن ناکارآمدی مدل خطی از تمایز نشان داده می‌شود که هیچ‌کدام از دو مؤلفه در مورد فعالیت‌های علمی در حوزه‌ی نانو برقرار نیستند.

۱.۴ فعالیت علمی در حوزه نانو و قصدمندی

همان‌طور که پیش‌تر نیز اشاره شد، اگر قصد فرد از انجام پژوهش علمی تولید معرفت علمی بدون توجه به کاربرد باشد، فعالیت علمی محض و اگر معطوف به کاربرد، هم‌چون تولید محصولی فناورانه، کاربردی خواهد بود. اما نکته‌ی مهم در مورد پژوهش‌های نانومقیاس این است که هر دو قصد در یکدیگر درهم‌تنیده هستند. دلیل این موضوع اولاً از پیش موجود نبودن ابژه‌ی معرفت و ثانیاً همراه بودن فرآیند طراحی با بازنمایی توسط ابزاری هم‌چون STM است.

در واقع شرط لازم برای این‌که قصد دانشمند از انجام فعالیت علمی پایه از قصد دانشمند از انجام فعالیت علمی کاربردی متمایز باشد، این است که در فرآیندی که تولید معرفت قصد شده است، کاربرد آن معرفت قصد نشده باشد و بالعکس. اما در پژوهش نانومقیاس، هر دو هدف قصد می‌شوند، چراکه فرآیند تولید معرفت نمی‌تواند مستقل از

تولید محصول باشد و بالعکس. برای نشان دادن این منظور در مورد «فعالیت علمی محض»، فرض کنید که هدف دانشمند تولید معرفت در مورد شیء نانومقیاس X است. اما شیء نانومقیاس X موجود نیست. بنابراین، دانشمند باید ابتدا X را توسط ابزاری هم‌چون STM طراحی کند و سپس به بازنمایی آن پردازد تا در مورد آن معرفت کسب کند. بنابراین، دانشمند برای کسب معرفت از ویژگی‌های X بازنمایی و تولید محصول را باید توأمان قصد کند. در این صورت فعالیت علمی مذکور، آن‌چنان که مدل خطی مفروض می‌گیرد، نه ماهیتی محض دارد و نه ماهیتی کاربردی.

علاوه بر این موضوع، در هم‌تنیده بودن زنجیره‌ی بازنمایی و طراحی مدل خطی را با چالش جدی‌تری روبه‌رو می‌کند. فرض کنید دانشمندی برای پی بردن به ویژگی‌های شیء X ، مجبور باشد اشیاء واسطه‌ی Y ، Y' ، Y'' و ... را طراحی (و بازنمایی) کند. در این صورت، نه تنها طراحی X بلکه طراحی (و بازنمایی) اشیاء واسطه نیز باید قصد شوند. بنابراین، قصد کردن برای کسب معرفت به X تنها زمانی معنادار خواهد بود که طراحی شیء X به‌همراه طراحی (و بازنمایی) اشیاء Y ، Y' ، Y'' و ... قصد شده باشند.

نکته‌ی اخیر در مورد «فعالیت علمی کاربردی» نیز وجود دارد. فرض کنید که قصد دانشمند تولید محصول یا بهره‌برداری از شیء نانومقیاس X است. در این صورت، دانشمند با ابزاری هم‌چون STM شروع به طراحی X می‌کند. با توجه به این که شیء X پیش‌تر در طبیعت موجود نیست و در نتیجه معرفت نسبت به آن نیز وجود ندارد، دانشمند باید در حین طراحی به معرفت در مورد آن نیز دست پیدا کند تا طراحی آن مطابق با اهداف از پیش تعیین شده باشد.^{۲۱} این موضوع با توجه به کارکرد دوگانه‌ی ابزاری هم‌چون STM ممکن می‌شود.^{۲۲} پیش‌تر در رابطه با کارکرد STM اشاره شد که این ابزار در حین طراحی شیء، آن را بانمایی هم می‌کند. بنابراین، قصد دانشمند برای طراحی X باید با قصد دانشمند برای بازنمایی آن همراه باشد، که البته با توجه به کارکرد دوگانه‌ی STM اهدافی معقول و سازگار هستند. در این صورت نیز فعالیت علمی مورد نظر، آن‌چنان که مدل خطی مفروض می‌گیرد، نه ماهیتی محض دارد و نه ماهیتی کاربردی.

علاوه بر این، در هم‌تنیده بودن فرآیند بازنمایی و طراحی در پژوهش نانومقیاس دوباره موضوع را برای مدل خطی پیچیده‌تر می‌کند. فرض کنید که طراحی X مستلزم بازنمایی و (طراحی) اشیاء واسطه‌ی Y ، Y' ، Y'' و ... باشد. در این صورت، پژوهش به قصد طراحی

شیء نانو مقیاس X نه تنها مستلزم پژوهش به قصد بازنمایی شیء X ، بلکه مستلزم پژوهش به قصد بازنمایی (و طراحی) اشیاء واسطه‌ای دیگر نیز خواهد بود.

۲.۴ فعالیت علمی در حوزه نانو و تقدّم

مطابق با دومین مؤلفه‌ی مدل خطی، یعنی تقدّم، کاربرد یا بهره‌برداری از معرفت در مورد X (علم کاربردی) مستلزم از پیش موجود بودن معرفت X (علم محض) است. اما همان‌طور که در مورد پژوهش‌های نانومقیاس اشاره شد، محصولات نانو فناوریانه اصولاً از پیش موجود نیستند و نیاز به طراحی دارند. بنابراین، ابتدا باید آن‌ها را طراحی و در حین یا پس از آن، توسط ابزارهایی هم‌چون STM بازنمایی‌شان کرد. بنابراین، فعالیت علمی‌ای که قرار است به معرفت در مورد X بیانجامد نه تنها بر فعالیت علمی‌ای که قرار است به طراحی X بیانجامد، مقدم است، بلکه حداقل هم‌زمان و حداکثر مؤخر بر آن است.

ممکن است اعتراض شود که هیچ‌یک از محصولات فناوریانه از پیش موجود نیستند و بنابراین، در مورد آن‌ها معرفتی وجود ندارد. اما این مستلزم این نیست که در مورد آن‌ها کاربرد بر معرفت تقدّم دارد. در پاسخ به این اعتراض باید گفت درست است که هیچ‌یک از محصولات فناوریانه از پیش موجود نیستند، اما برای عموم آن‌ها معرفت در مورد اغلب ویژگی‌های‌شان وجود دارد. به‌عنوان مثال، معرفت در مورد کارکرد رادیو، که از نظریه‌ی الکترومغناطیس ناشی می‌شود، پیش از طراحی آن نیز وجود دارد. اما در مورد اشیاء نانومقیاس چنین نیست. اشیاء نانو مقیاس واجد ویژگی‌های بدیعی هستند که معرفت به آن‌ها از نظریه‌های مکانیک کوانتومی و کلاسیک قابل حصول نیست و تنها با طراحی آن‌ها حاصل می‌شود. حال این امر می‌تواند ناشی از ناتوانی‌های شناختی باشد یا اساساً در سطحی هستی‌شناختی ریشه داشته باشد. در هر دو صورت، طراحی شیء X مقدم بر معرفت به X نخواهد بود.

همان‌طور که مشاهده می‌کنیم دو مؤلفه‌ی اساسی مدل خطی از تمایز میان علم محض - علم کاربردی، یعنی قصدمندی و تقدّم در حوزه‌ی نانو برقرار نیستند. آموزه‌ی قصدمندی برقرار نیست، چون در فعالیت علمی حوزه‌ی نانو قصد تولید معرفت با قصد کاربرد (که طراحی محصول است) گره خورده است. آموزه‌ی تقدّم برقرار نیست، چون معرفت به شیء نانومقیاس پس از یا همراه با طراحی آن شیء حاصل می‌شود. بنابراین، مدل خطی در حوزه‌ی نانو نمی‌تواند تمایزی نظری را میان علم محض و علم کاربردی ترسیم

ارزیابی فلسفی مدل خطی از تمایز علم محض - علم کاربردی؛ مطالعه‌ای موردی در علم نانو ۱۵۱

کند. در نتیجه، مدل خطی نمی‌تواند این سؤال را که علم نانو به حوزه‌ی علوم کاربردی تعلق دارد یا علوم محض پاسخ دهد.

۵. نتیجه‌گیری

تمایز میان علوم محض و کاربردی شهوداً معتبر است. در حالی که نظام‌هایی هم‌چون فیزیکِ گرانش (به‌مثابه‌ی نمونه‌ای از علوم محض) و مهندسی معدن (به‌مثابه‌ی نمونه‌ای از علوم کاربردی) هر دو علمی هستند، گویی ماهیتاً متمایزند. مدل خطی از تمایز، که ریشه‌های تاریخی آن به قرن نوزدهم باز می‌گردد، یکی از مشهورترین مدل‌ها برای رسم تمایز است. مدل خطی با تکیه بر دو مؤلفه‌ی قصدمندی و تقدّم میان علم محض - علم کاربردی تمایزی ترسیم می‌کند که برای کفایت باید با نمونه‌های موجود از علوم، که شهوداً به طبقه‌ی محض و کاربردی تعلق دارند، مطابق باشد. از همین رو، مناسب است که کفایت آن در مورد یکی از انقلابی‌ترین علوم در دهه‌های اخیر، یعنی علم نانو، به محک بگذاریم. در این مقاله نشان داده شد که مدل خطی نمی‌تواند فعالیت علمی در حوزه‌های نانو را، به‌دلیل داشتن ویژگی‌های بدیع هم‌چون نقش ویژه‌ی طراحی در کسب معرفت و کارکرد دوگانه‌ی ابزارهایی هم‌چون STM در بازنمایی و طراحی، محض یا کاربردی محسوب کند. با احترام به این شهود که میان فعالیت‌های علمی محض و کاربردی واقعاً تمایز وجود دارد، توسل به مدلی دیگر در حوزه‌ی نانو ضروری به‌نظر می‌رسد.

سپاس‌گزاری

بخش‌هایی از این مقاله در نهمین کنگره‌ی اروپایی فلسفه تحلیلی که در مونیخ برگزار شد، ارائه شده است. نویسندگان از مخاطبان سخنرانی که نکات سازنده‌ای را مطرح کردند، سپاس‌گزار است. نویسندگان همچنین از نکات مطرح شده توسط داوران ناشناخته‌ی این مجله عمیقاً تشکر می‌کنند. این مقاله حاصل انجام طرح پژوهشی‌ای است که توسط دانشگاه شهید بهشتی حمایت مالی شده است.

پی‌نوشت‌ها

۱. هرچند تمایز گذاشتن میان علوم محض و کاربردی پدیده‌ای است که به دوران پس از انقلاب علمی مربوط می‌شود، ریشه‌های تاریخی تمایز میان معرفت نظری و معرفت عملی به یونان باستان باز می‌گردد. برای نسبت میان نمونه‌هایی از این دو نوع معرفت در یونان باستان نگاه کنید به (Rihl & Tucker, 2002).
۲. در رابطه با تمایز محض - کاربردی تمایز مشهور علم - فناوری وجود دارد. اگر علم را محصول فعالیت علمی محض و فناوری را محصول فعالیت علمی کاربردی بدانیم، دو تمایز به یکدیگر مربوط خواهند بود. برای آشنایی بیشتر با ادبیات مربوط به تمایز علم - فناوری به (Channell, 2017) مراجعه کنید. نینیلوتو (Niiniluoto, 1993) با جزئیات بیشتری این دو تمایز را بررسی کرده است. در رابطه با مقاله‌ی حاضر باید گفت اگرچه محصولات نانوفناورانه نقش زیادی در ماهیت فعالیت علمی در حوزه‌ی نانو دارند، این مقاله صرفاً قلمرو نانو را به‌عنوان حوزه‌ای از فعالیت علمی بررسی می‌کند، نه در قالبی فناورانه.
۳. برای تاریخ تغییر و تحول تمایز مراجعه کنید به: (Bud, 2012; Douglas, 2014; Kline, 1995; Morrison, 2014).
۴. تأکید اضافه شده است.
۵. تأکید اضافه شده است.
۶. به مدل خطی به‌صورت کلی، یعنی فارغ از این‌که تمایز قرار است در چه حوزه‌ای ترسیم شود، انتقادهایی وارد شده است. به‌عنوان نمونه، کارت‌رایت (Cartwright, 1976) به این اشاره می‌کند که نظریه‌های علوم محض مقید به شرط *ceteris paribus* هستند. بنابراین، به‌کارگیری آن‌ها در مثالی انضمامی نیازمند ملاحظه‌ی این قیود است. از طرفی، چون نظریه‌ای جامع وجود ندارد که همه‌ی این قیود را دربر بگیرد، نمی‌توان نظریه‌های علوم محض را برای حل مسأله‌ای انضمامی به‌کار گرفت. موریسون (Morrison, 2006) هم با تأکید بر این‌که مفهوم به‌کارگیری نمی‌تواند علوم کاربردی را متعین کند، رهیافت‌هایی را نقد کرده است که قصد دارند با توسل به مفهوم به‌کارگیری تمایز را ترسیم کنند.
7. Scanning tunneling microscope
۸. پژوهش‌های حوزه‌ی نانو معمولاً به دو دسته‌ی پژوهش‌های پایین به بالا (bottom-up) و پژوهش‌های بالا به پایین (top-down) تقسیم می‌شوند. در حالی‌که در پژوهش‌های دسته‌ی اول سعی می‌شود با کنار هم قرار دادن ساختارهای جزئی، ساختارهای کلی‌تر ساخته شود، در پژوهش‌های دسته‌ی دوم سعی می‌شود از ساختارهای کلی ساختارهای جزئی‌تر تولید شود. این مقاله صرفاً به دسته‌ی اول پژوهش‌ها می‌پردازد. دلیل این موضوع این است که موفقیت‌های

ارزیابی فلسفی مدل خطی از تمایز علم محض - علم کاربردی؛ مطالعه‌ای موردی در علم نانو ۱۵۳

شگفت‌انگیز حوزه‌ی نانو عمدتاً در این دسته قرار می‌گیرند. برای آشنایی با جزئیات این موفقیت‌های شگفت‌انگیز به (Marcovich & Shinn, 2014) مراجعه کنید.

۹. یکی از پرسش‌های مهم فلسفی که در رابطه با بازنمایی علمی وجود دارد این است که شرایط لازم و کافی برای بازنمایی علمی یا مقوم‌های آن چه هستند. در این رابطه نظریه‌های متعددی وجود دارد. برای آشنایی با مفهوم بازنمایی علمی و نظریه‌های پیرامون آن به (Bueno & Colyvan, 2011; French, 2003; Roman Frigg, 2006, 2010; Roman Frigg & Hartmann, 2006; R. Frigg & 2011; Nguyen, 2016; Suárez 2003; Suárez, 2010) مراجعه کنید. همچنین، ماهیت بازنمایی علمی در حوزه‌ی نانو از سوی فلاسفه مورد بحث قرار گرفته است. به‌عنوان نمونه می‌توان به (Bueno, 2006)، (Lenhard, 2006)، (Winsberg, 2006)، (Winsberg, 2009) اشاره کرد

۱۰. چنین ادعا می‌شود که پژوهش نانومقیاس با اختراع STM آغاز می‌شود (Marcovich & Shinn, 2014, p. 15). بنابراین، STM نقشی حیاتی در ماهیت پژوهش نانومقیاس دارد. چگونگی اختراع STM که خود نمونه‌ای است از اختراع ناخواسته و از این رو شاهدهی برای شرح نلسون از شکل‌گیری موفقیت‌های شگرفت توسط (Mody, 2011) مفصلاً مورد بحث قرار گرفته است.

۱۱. مارکوویچ و شین ابزارهای به‌کار رفته در پژوهش نانومقیاس را در دو گروه ابزارهای مترولوژیک و ابزارهای عددی قرار می‌دهند. ابزارهای گروه اول ابزارهایی هستند که هدفشان شناخت ویژگی‌های فرمی، هم‌چون شکل شیء مورد مطالعه است (Marcovich & Shinn, 2014: Ch. 2). هدف ابزارهای گروه دوم توصیف و پیش‌بینی رفتار اشیاء نانومقیاس است. میکروسکوپ تونل روبشی (STM)، میکروسکوپ نیروی اتمی (Atomic Force Microscope (AFM)) از گروه اول و شبیه‌سازی‌های کامپیوتری از گروه دوم هستند.

۱۲. دونالد ایگلر در سال ۱۹۹۰ مقاله‌ای در مجله‌ی نیچر منتشر کرد که در آن تصویری از کلمه‌ی IBM مندرج بود. در واقع آن تصویری بود از ۳۵ اتم زنون که توسط نوک STM چیده شده بودند (Eigler & Schweizer, 1990). این برداشت که می‌توان تک تک اتم‌ها را به‌میل خود چید و جهان ریزاتمی را کاملاً کنترل کرد، انقلابی در علم و فناوری محسوب می‌شود.

13. Manipulation

۱۴. اتفاقاً این کارکرد دوم است که موجب پیشرفت پژوهش نانومقیاس شده است. دلیل این موضوع وجود میکروسکوپ‌هایی، هم‌چون میکروسکوپ الکترونی است که قدرت تفکیک بالاتری دارند و بنابراین، اهداف خود را بهتر بازنمایی می‌کنند. این نوع میکروسکوپ‌ها علی‌رغم آن‌که از ۱۹۳۰ به بعد موجود بودند، پژوهش نانومقیاس را سبب نشدند. تنها پس از دهه‌ی ۱۹۸۰، یعنی پس از ساخت اولین نمونه‌های STM است که پژوهش نانومقیاس به‌معنای امروزی آن شکل می‌گیرد. بنابراین، کارکرد دوم STM یعنی دست‌کاری جهان و ساخت

مصنوعات است که سهم بیشتری در پیشرفت پژوهش نانومقیاس داشته است (Marcovich & Shinn, 2014, pp. 15-23).

15. Low-dimensional nanomaterials

۱۶. باکی بال‌ها (buckyballs)، نانوتیوب‌ها (nanotubes)، نانوسیم‌ها (nanowires) و نقاط کوانتومی (quantum dots) از جمله مهم‌ترین نانوموادِ پایین- بعد هستند که در دهه‌های آخر قرن بیستم ساخته شدند.

۱۷. منظور کسانی هستند که از روش اپیتکسی (epitaxy) در ساخت نانومواد بهره می‌برند. این روش از جمله روش‌های پایین به بالا است که در آن لایه‌های اتمی بر روی یک پایه نشاندگی می‌شوند.

۱۸. مقیاس نانو از ۱ تا ۱۰۰ نانومتر را شامل می‌شود. در یک سر طیف اشیائی هم‌چون نقاط کوانتومی تا حدود ۳۰ نانومتر حضور دارند که علاوه بر ویژگی‌های کلاسیکی هم‌چون فردیت، ویژگی‌های کوانتومی هم‌چون نیمه‌رسانایی را دارا هستند (Murphy & Coffey, 2002). در سوی دیگر، اجزاء چپ‌های کامپیوترها از مرتبه‌ی ۱۰۰ نانومتر حضور دارند که از خود ویژگی‌های کلاسیکی بروز می‌دهند. در میانه هم اشیائی هم‌چون ویروس‌های سرماخوردگی قرار دارند که از مرتبه‌ی ۱۰ نانومتر هستند.

۱۹. گذار میان مقیاس‌های کوانتومی و کلاسیکی برای توصیف رفتار اشیاء نانومقیاس روشی را با نام «مدل‌سازی چند-مقیاسی» پدید آورده است (Winsberg, 2006).

20. Molecular beam epitaxy

۲۱. در واقع آموزه‌ی تقدم این امر را ضروری می‌کند.

۲۲. به‌عنوان نمونه، می‌توان به ساخت و بازنمایی نقاط کوانتومی با STM اشاره کرد

(Folsch, Martinez-Blanco, Yang, Kanisawa, & Erwin, 2014).

کتاب‌نامه

- Boon, M. (2006). How science is applied in technology. *International Studies in the Philosophy of Science*, 20(01), 27-47 .
- Bud, R. (2012). "Applied Science": A Phrase in Search of a Meaning. *Isis*, 103(3), 537-545 .
- Bud, R. (2014). 'Applied science' in nineteenth-century Britain: public discourse and the creation of meaning, 1817-1876. *History and Technology*, 30(1-2), 3-36. doi: 10.1080/07341512.2014.921416
- Bueno, O. (2006). Representation at the Nanoscale. *Philosophy of Science*, 73(5), 617-628 .

- Bueno, O., & Colyvan, M. (2011). An Inferential Conception of the Application of Mathematics. *Noûs*, 45(2), 345-374. doi: 10.1111/j.1468-0068.2010.00772.x
- Bunge, M. (1966). Technology as Applied Science. *Technology and Culture*, 7(3), 329-347 .
- Bush, V. (1945). *Science: the Endless Frontier*. Washington, DC: US Government Printing Office.
- Calvert, J. (2004). The Idea of 'Basic Research' in Language and Practice. *Minerva*, 42(3), 251-268. doi: 10.1023/B:MINE.0000038307.58765.b4
- Cartwright, N. (1976). How do we apply science? In R. S. Cohen, C. A. Hooker, A. C. Michalos & J. W. Van Evra (Eds.), *PSA 1974. Boston Studies in the Philosophy of Science* (Vol. 32, pp. 713-719): Springer.
- Channell, D. F. (2017). *A History of Technoscience: Erasing the Boundaries Between Science and Technology*: Routledge.
- Coleridge, S. T. (1818). *A Treatise on Method*. London: B. Fellowes.
- Douglas, H. (2014). Pure science and the problem of progress. *Studies In History and Philosophy of Science Part A*, 46, 55-63 .
- Drexler, K. E. (1992). *Nanosystems: molecular machinery, manufacturing, and computation*: John Wiley & Sons, Inc.
- Egler, D. M., & Schweizer, E. K. (1990). Positioning single atoms with a scanning tunnelling microscope. *Nature*, 344(6266), 524-526 .
- Feibleman, J. K. (1961). Pure science, applied science, technology, engineering: an attempt at definitions. *Technology and Culture*, 2(4), 305-317 .
- Folsch, S., Martinez-Blanco, J., Yang, J., Kanisawa, K., & Erwin, S. C. (2014). Quantum dots with single-atom precision. [Letter]. *Nat Nano*, 9(7), 505-508. doi: 10.1038/nnano.2014.129
- French, S. (2003). A Model-Theoretic Account of Representation (Or, I Don't Know Much about Art . . . but I Know It Involves Isomorphism) (*Philosophy of Science*, 70, 1472-1483 .
- Frigg, R. (2006). Scientific representation and the semantic view of theories. *Theoria*, 50, 49-65 .
- Frigg, R. (2010). Models and fiction. *Synthese*, 172, 251-268 .
- Frigg, R., & Hartmann, S. (2006). Models in Science. In E. N. Zalta (Ed.), *Stanford Encyclopedia of Philosophy*: Stanford University.
- Frigg, R., & Nguyen, J. (2016). Scientific Representation In E. N. Zalta (Ed.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Winter 2016 Edition ed.).
- Kant, I., & Friedman, M. (2004 (1786)). *Kant: Metaphysical Foundations of Natural Science*: Cambridge University Press.
- Kline, R. (1995). Construing "technology" as "applied science": Public rhetoric of scientists and engineers in the United States, 1880-1945. *Isis*, 194-221 .
- Latour, B. (1987). *Science in Action: How to Follow Scientists and Engineers Through Society*: Harvard University Press.
- Lenhard, J. (2006). Surprised by a nanowire: Simulation, control, and understanding. *Philosophy of Science*, 73(5), 605-616 .

- Marcovich, A., & Shinn, T. (2014). *Toward a New Dimension: Exploring the Nanoscale*: Oxford University Press, USA.
- Mody, C. C. M. (2011). *Instrumental community: Probe microscopy and the path to nanotechnology*: MIT Press.
- Morrison, M. (2006). Applying science and applied science: What's the difference? *International Studies in the Philosophy of Science*, 20(01), 81-91 .
- Murphy, C. J., & Coffer, J. L. (2002). Quantum Dots: A Primer. *Applied Spectroscopy*, 56(1), 16A-27A .
- Niiniluoto, I. (1993). The aim and structure of applied research. *Erkenntnis*, 38(1), 1-21 .
- Niiniluoto, I. (2014). Values in design sciences. *Studies In History and Philosophy of Science Part A*, 46(Supplement C), 11-15. doi: <https://doi.org/10.1016/j.shpsa.2013.11.002>
- OECD. (2002). *Frascati Manual 2002: Proposed Standard Practice for Surveys on Research and Experimental Development*: OECD.
- Pielke, R. (2012). Basic research as a political symbol. *Minerva*, 50(3), 339-361 .
- Rihll, T. E., & Tucker, J. V. (2002). Practice makes perfect: knowledge of materials in classical Athens. *Science and Mathematics in Ancient Greek Culture*, 274-305 .
- Roll-Hansen, N. (2017). A Historical Perspective on the Distinction Between Basic and Applied Science. *Journal for General Philosophy of Science*. doi: 10.1007/s10838-017-9362-3
- Suárez, M. (2003). Scientific representation: against similarity and isomorphism. *International Studies in the Philosophy of Science*, 172, 225-244 .
- Suárez, M. (2010). Scientific Representation. *Philosophy Compass*, 5(1), 91-101. doi: 10.1111/j.1747-9991.2009.00261.x
- Winsberg, E. (2006). Handshaking Your Way to the Top: Simulation at the Nanoscale. In J. Lenhard, G. Küppers & T. Shinn (Eds.), *Simulation: Pragmatic Construction of Reality* (pp. 139-151). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Winsberg, E. (2009). Models and Theories at the Nano-scale. *Spontaneous Generations: A Journal for the History and Philosophy of Science*, 2(1), 139.