

مفهوم علت در پیشرفت فیزیک^۱

نویسنده: تامس کوون
 برگردان: علی اردستانی
 از کتاب تنش جوهری

چرا باید از یک مورخ علم دعوت شود که برای روان‌شناسان کودک در مورد توسعه و تحول مفهومی‌های علمی در فیزیک سخنرانی کند؟ پاسخ اولیه و آماده‌ی تمام کسانی که با پژوهش‌های ژان پیاژه آشنا کنید، معلوم و مشخص است. تحقیقات هوشمندانه‌ی وی درباره‌ی موضوعاتی مانند درک کودکان از فضا، زمان، حرکت، یا خود جهان، به کرات با دریافت‌های دانشمندان از سنین آغازین شباهت قابل توجهی می‌یابد. اگرچه همانندی‌هایی در مورد مفهوم علت نیز وجود دارد، اما باید به گونه‌ای باشند که هم برای روان‌شناس و هم برای مورخ مفید باشند.

با وجود این، پاسخ، جنبه‌ی شخصی‌تری نیز دارد که شاید فقط برای این مورخ و این گروه از روان‌شناسان کودک مناسب باشد. نخستین بار حدود بیست سال پیش در حول و حوش همین موقع بود که نفع فکری تاریخ علم و مطالعات روان‌شناختی ژان پیاژه را کشف کردم. از آن زمان به بعد این دورشته در ذهن و کارم در تعامل بوده‌اند. بخشی از آن چه در مورد چگونگی پرسش از دانشمندان گذشته می‌دانم، مدیون بازیابی پرسش‌های پیاژه از کودکان هستم. این تاثیر را به روشنی در هنگام نخستین ملاقاتم با الکساندر کویره به خاطر دارم. مردی که بیش از هر مورخ دیگری الگوی^۲ من بوده است. به‌ویژه گفتم این کودکان پیاژه بودند که فهم فیزیک ارستو را از من آموختند. پاسخ وی - این که این فیزیک ارستو بود که به‌ار فهم کودکان پیاژه را آموخته بود - فقط تأکیدی بر اهمیت آموخته‌هایم بود. حتا در این حوزه‌ها - مفهوم علت - که اکنون در مورد آن با هم توافق نداریم، به تأثیرپذیری از پیاژه افتخار می‌کنم.

چنانچه مورخ علم، خواهان توفیق در تحلیل مفهوم علت باشد باید دو جنبه مرتبط به هم این مفهوم را که آن را متفاوت از اکثر مفاهیم می‌سازد، بازشناسی نماید. به‌عنوان مثال در سایر

تحلیل‌های مفهومی نقطه شروع وی باید از کلماتی مانند «علت» و «زیرا» در گفتار و کتب دانشمندان باشد. اما این کلمات، برخلاف مفاهیمی مانند وضعیت، حرکت، وزن، زمان و غیره به‌طور منظم در سخن علمی به‌وقوع نمی‌پیوندد، و هنگامی که حادث می‌شوند سخن خاصی هستند. انسان و سوسه می‌شود بگوید، متعاقب بیاناتی که به دلایلی متفاوت از سوی ام. گریتر^۱ اظهار شد، که اصطلاح «علت» در وهله اول در مجموعه واژگان فرا - علمی و نه علمی فیزیک‌دانان قرار می‌گیرد.

این مشاهده به‌معنی آن نیست که مفهوم علت کم‌اهمیت‌تر از مفاهیم غنی نوعی‌تری مانند: وضع، نیرو یا حرکت است. اما به آن معناست که ابزارهای تحلیل موجود تا اندازه‌ای در هر دو مورد به‌گونه‌ی متفاوتی عمل می‌کنند. در تحلیل مفهوم علت مورخ یا فیلسوف باید بیش از حد معمول به تفاوت‌های ظریف زبان و رفتار، حساسیت نشان دهد. او باید هم وقوع^۲ اصطلاحاتی مانند «علت» و هم شرایط خاصی که موجب چنین اصطلاحاتی می‌گردد مورد مشاهده قرار دهد. همچنین، او باید ابعاد جوهری تحلیل خود را براساس مشاهده‌ی مترنی قرار دهد که، هرچند به‌ظاهر علتی ارائه می‌گردد، هیچ اصطلاحی در آن‌ها اشاره‌ای به این که کدام بخش از کل ارتباط^۳ دال بر علت است، ندارد. قبل از اتمام تحلیل وی، تحلیل‌گری که در این مسیر حرکت می‌کند احتمالاً در مقایسه با وضیت برای نمونه، نتیجه می‌گیرد که مفهوم علت واجد مولفه‌های روان‌شناختی - گروهی و زبانی جوهری می‌باشد.

این بعد از تحلیل مفاهیم علتی با بعد دومی که از ابتدای این کنفرانس ام. پیاز^۴ بر آن تاکید ورزیده است، مرتبط می‌باشد. به‌نظر وی، ما باید مفهوم علت را تحت دو عنوان مضیق و موسع مورد بررسی قرار دهیم. مفهوم مضیق از تصور خودمحورانه‌ی اولیه‌ی کارگزاری فعال مشتق می‌گردد، فردی که فشار وارد می‌سازد یا می‌کشد، نیرویی اصمال می‌کند یا قدرتی را نشان می‌دهد، این مفهوم به‌مفهوم ارستو از علت موثر خیلی نزدیک است. مفهومی که در ابتدا در خلال تجزیه و تحلیل‌های سده‌ی هفدهم از مساله‌ی تضاد^۵ در فیزیک فنی نقش مهمی ایفا می‌کرد. مفهوم موسع، حداقل در نگاه اول، خیلی متفاوت است. ام. پیاز آن را به‌مثابه تصور کلی تبیین توصیف نموده است. به‌منظور توصیف علت یا علل یک واقعه باید دلیل وقوع آن را توضیح داد. علل در تبیین‌های فیزیکی تجلی می‌یابند و تبیین‌های فیزیکی بیش‌تر مربوط به علت است. با این حال، بازشناسی آن دوباره با ذهنیت ذاتی برخی از معیارهای حاکم بر مفهوم علت برخورد می‌یابد. هم مورخ و هم روان‌شناس به‌خوبی آگاهند که رشته کلماتی که تبیین در یک

1. M. Grize

2. occurrence

3. communication

4. M. Piaget

5. collision problem

مرحله در تحول فیزیک یا کورک ارایه می‌کند ممکن است صرفاً به‌سوال‌های پیش‌تری در دیگری برسد. آیا گفتن این که سبب به دلیل جاذبه‌ی گرانشی^۱ بر روی زمین سقوط می‌کند، کافی است یا باید قبل از اتمام پرسش خود جاذبه توضیح داده شود؟ ساختار قیاسی خاصی ممکن است شرط ضروری تبیین علت باشد، اما شرط کافی نیست. بنابراین در هنگام تحلیل علت فرد باید درباره‌ی پاسخ‌های خاصی، بدون نیروی خارجی اضافی، تحقیق کند که به‌بازگشت و رجعت پرسش‌های مربوط به علت پایان خواهد داد.

هم‌چنین هم‌زیستی دو مفهوم علت یکی دیگر از مسائلی را تشدید می‌سازد که در بالا به‌طور گسذرا با آن مواجه شدیم. بنا به دلایلی حداقل جز تاریخی، مفهوم مضیق غالباً اساسی مفروض می‌شود و مفهوم موسع در انطباق و هماهنگی با آن، غالباً ناگهانی، در نظر گرفته می‌شود. تبیین که در مفهوم مضیق علی‌اند همواره مضمن یک کنشگر و یک کنش‌پذیر^۲، علت و معلول بعدی، می‌باشند. اما تبیین‌های دیگری از پدیده‌های طبیعی وجود دارند - در پایین به بررسی تعدادی از آن‌ها می‌پردازیم - که از آن‌ها هیچ حادثه یا پدیده‌ی دیگری، و نه کارگزار فعالی به‌مثابه علت پدیدار نمی‌گردد. با اعلام غیر علی بودن چنین تبیین‌هایی هیچ چیز به‌دست نمی‌آید. آن‌ها فاقد چیزی‌اند که بتوان از آن به‌عنوان علت گمشده تعبیر کرد، هم‌چنین نمی‌توان این‌سوال‌ها را غیر علی اعلام کرد؛ زیرا چنان‌چه تحت شرایط دیگری پرسیده شوند، موجب پاسخ علی موشکافانه‌ای خواهند شد. هرچند در مجموع می‌توان خطی میان تبیین‌های علی و غیر علی از پدیده‌های طبیعی ترسیم نمود، اما این امر محتاج ظرافت‌هایی خواهد بود که در این‌جا مجال آن نیست. هم‌چنین تبدیل چنین تبیین‌هایی، شفاهی یا ریاضی، به‌شکلی که امکان جداسازی وضع اولیه‌ی اموری مانند علت را بدهد سودمند نیست. احتمالاً همواره تبدیل را می‌توان انجام داد، اما نتیجه اغلب محروم‌سازی بیان تبدیل شده از نیروی تبیینی است.

مظهر و تجلی نموداری، چهار مرحله اصلی تحول مفاهیم علی در فیزیک مطالب سابق‌الذکر را مستند و تعمیق خواهد ساخت. تا حدود ۱۶۰۰ م. سنت اصلی در فیزیک، سنت ارستویی بود، و بر همین اساس تحلیل ارستو از علت نیز حاکم بود. با این حال، به‌رغم بی‌اعتباری فیزیک ارستویی طی سالیان بعد، تحلیل وی از علت تا مدت‌مدتی ادامه یافت، و به‌همین دلیل، در شروع واریسی جداگانه‌ای را می‌طلبید. طبق گفته‌ی ارستو، هر تغییری، از جمله به‌دنیا آمدن، واجد چهار علت است: مادی، موثر، صوری و غایی، این‌سوال‌های چهارگانه واجد انواع پاسخ‌هایی‌اند که پژوهشی می‌تواند برای تبیین تغییر ارایه کند. برای مثال، در مورد یک مجسمه، سنگ مرمر علت مادی وجودش است؛ علت موثرش نیروی است که توسط ابزارهای

1. gravitational attraction

2. agent and patient

پیکرتراش بر روی سنگ مرمر صرف شده است؛ علت صوری‌اش شکل مطلوب و آرمانی پیکره‌ی پایان‌یافته می‌باشد، شکلی که از ابتدا در ذهن پیکرتراش بوده است؛ و علت غایی، افزوده‌ای به برخی اشیای زیبا قابل دسترسی برای اعضای جامعه یونانی بود.

در اصول هر تغییری واجد تمام چهار مرحله، یکی از هر نوع، می‌باشد، اما در عمل نوع علتی که موجبات تبیینی ثمربخش را هموار می‌سازد به شدت از حوزه‌ای به حوزه‌ای فرق می‌کند. ارسطوییان در زمان بررسی علم فیزیک به طور معمول فقط دو علت صوری و غایی را مد نظر قرار می‌دادند که به طور منظم به یکی بدل می‌شدند. البته تغییرات ناگهانی^۱، تغییراتی که نظم کیهان^۲ را بهم می‌ریزد بخشی از علل موثر، فشارها و کشش‌ها بودند، اما از آن‌جا که فکر نمی‌شد تغییراتی از این نوع توانایی تبیین بیش‌تری داشته باشند در خارج از فیزیک قرار می‌گرفتند. این موضوع تنها با اعاده و حفظ نظم طبیعی ارتباط می‌یابد، و به‌تنهایی وابسته به علل صوری می‌باشد. بنابراین، سنگ‌ها به دلیل ماهیتشان است که به مرکز جهان سقوط می‌کنند یا شکل تنها در این وضعیت است که می‌تواند جنبه عینی بگیرد. به همین دلیل است که آتش به اطراف شعله می‌کشد؛ و طبیعت ماده‌ی فلکی به واسطه چرخش منظم و ابدی در فضا است که تحقق می‌یابد.

در سده هفدهم چنین تبیین‌هایی از لحاظ منطقی معیوب، بازی کلامی^۳ صرف، همان‌گویی و تحت ارزیابی مداوم هستند. دکتر مولیر که به خاطر توضیح خاصیت خواب‌آلودگی تریاک برحسب تاثیر منفعلانه و پنهانش مورد تمسخر واقع شده بود، امروزه به عنوان یک موضوع پیش پا افتاده خنده‌دار می‌باشد. این استهزا موثر بوده است و اوج آن در سده هفدهم بود. با وجود این، هیچ عیب منطقی در تبیین‌هایی از این نوع وجود ندارد. تا زمانی که مردم، همانند ارسطوییان، قادر به توضیح سطح نسبتاً وسیعی از پدیده‌های طبیعی برحسب تعداد نسبتاً کوچکی از اشکال بودند، تبیین‌ها کاملاً از حیث اشکال رضایت‌بخش بودند. آن‌ها فقط زمانی توتولوژی و همان‌گویی‌اند که هر پدیده‌ی متمایز، مستلزم ابداع شکل متمایزی باشد. تبیین‌های مشابهی هنوز به طور مستقیم در علوم اجتماعی نمایان می‌گردد.

هرچند آن‌ها فاقد توان لازم‌اند، اما مشکل در منطقتشان نیست بلکه در اشکال خاصی است که به کار می‌بندند. در ادامه به طور خلاصه نشان خواهم داد که تبیین صوری اکنون با اثر بخشی فوق‌العاده‌ای در فیزیک عمل می‌کند.

با وجود این، در سده‌های هفدهم و هیجدهم کم‌ترین نقش را به عهده داشت. بعد از گالیله و کپلر، که اغلب به قوانین ریاضی ساده به عنوان علل صوری اشاره می‌کردند که نیازمند تحلیل

بیش‌تری نیست، کل تبیین حالتی مکانیکی یافته بود. تنها انواع قابل پذیرش شکل‌ها¹ و حالات جسمک‌های² نهایی ماده بودند. تمام تغییرات، اعم از حالات یا برخی کیفیات مانند رنگ و درجه، می‌بایست براساس تاثیر فیزیکی یک گروه از ذرات بر روی دیگری فهمیده می‌شد. بنابراین دکارت وزن اجسام را براساس تاثیر سطوح بالایی ذراتشان از اثر مجاور توضیح می‌داد. اکنون علل موثر ارسطو فشارها و کشش‌ها، بر تبیین تغییر مسلط بودند. حتا کارنیوتون، که به‌گونه‌ی وسیعی به‌عنوان تعاملات غیرفیزیکی مجاز میان ذرات تعبیر شده بود، سلطه‌ی علت موثر را کاهش چندانی نمی‌داد. البته، آن مکانیسم سفت و سختی را کنار گذاشت و خود نیوتون به‌طور گسترده از سوی کسانی که ارابه‌ی عمل را به‌مثابه نقض واپس‌گرایانه‌ی استانده‌های موجود تبیین مشاهده می‌کردند، مورد حمله قرار گرفت. (آن‌ها درست می‌گفتند. دانشمندان سده هیجدهم برای هر نوع پدیده‌ای نیرویی جدید معرفی می‌کردند. تعداد کمی این کار را آغاز نمودند.) اما نیروهای نیوتون در تماس با نیروها به‌طور معمول از تمثیل بهره می‌گرفتند. و تبیین به‌طور عمده مکانیکی باقی ماند. به‌ویژه در بخش‌های جدیدتر فیزیک - الکتریسته، مغناطیس، مطالعه‌ی گرما - تبیین در سراسر سده‌ی هیجدهم بیش‌تر بر حسب علل موثر صورت می‌گرفت. با وجود این، در طول سده نوزدهم تغییر که قبلاً در مکانیک آغاز شده بود، به تدریج کل فیزیک را فراگرفت. به‌میزانی که این حوزه حالتی ریاضی می‌یافت، تبیین نیز به‌گونه‌ی فزاینده‌ای به‌نمایش اشکال مناسب و اشتقاق پیامدهایشان وابسته می‌شد. در ساختار، و نه در ذات، تبیین مجدداً همان فیزیک ارسطویی بود. در توضیح پدیده‌ی طبیعی خاصی، فیزیکدان معادله دیفرانسیلی مناسبی می‌نوشت. و از آن، شاید در پیوند با شرایط مرز مشخصی، پدیده‌ی مورد پرسش را استخراج می‌کرد. بنابراین، واقعیت آن است که وی به‌واسطه‌ی توجیه‌گزینش معادلات دیفرانسیلی خود مورد چالش قرار می‌گیرد. اما جهت این چالش به‌سوی فرمول‌بندی خاصی، و نه نوع تبیین، می‌باشد. اعم از این که انتخاب درستی را انجام داده باشد یا نه، آن معادله‌ی دیفرانسیلی است که به‌تبیین آن چه رخ می‌دهد می‌پردازد. و به‌عنوان یک تبیین معادله قابلیت تقسیم بیش‌تری را ندارد. و بدون این در و آن در زدن، نه کارگزار فعالی، و نه علت منفردی را می‌توان به‌طور موقت از نتیجه‌ی آن کسب کرد.

برای مثال، این سوال که چرا مریخ در مدار بیضی شکل حرکت می‌کند، در نظر بگیرید. پاسخ بیانگر قوانین نیوتون مجری در نظام منفردی با دو جسم حجیم است که اثر متقابلی با جاذبه میدانی معکوس دارد. هر کدام از این عناصر برای تبیین جنبه اساسی دارد، اما هیچ کدام

علت پدیده نیستند. و نه هم زمان یا بعد از آن، پدیده تبیین می‌گردند. یا این سوال محدودتر را که چرا مریخ در زمان خاصی در آسمان در وضعیت معینی می‌باشد، در نظر بگیرید. پاسخ از قبل با ارایه‌ی راه حل معادله وضعیت و سرعت در همان زمان اولیه حاصل می‌شود. این شرایط مرزی به توصیف حادثه نخستینی که به واسطه قیاس با واقعه مورد تبیین ارتباط می‌یابد، می‌پردازد. اما این ویژگی خود را که واقعه‌ی نخستین، که بی‌کرائگی و بی‌نهایتی بقیه را می‌توان به جای آن جایگزین نمود، علت وضعیت مریخ در زمان خاص قبلی بوده، از دست می‌دهد. اگر شرایط مرزی علت را عرضه کنند، علت‌ها از جنبه تبیینی و توضیحی خود باز می‌ایستند.

این دو مثال از جنبه دیگری نیز روشن‌گرند آن‌ها پاسخ سوالاتی‌اند که حداقل توسط یکی دیگر از فیزیکدانان، پرسیده نخواهد شد. آن‌چه در بالا به عنوان پاسخ عرضه شد در واقع راه حل مسابلی است که فیزیکدان برای خودش یا برای دانشجویان ارایه می‌کند. اگر ما آن‌ها را تبیین می‌نمایم به دلیل آن است که زمانی که ارایه و درک می‌شوند هیچ سوالی برای پرسیدن وجود ندارد و هر چیزی که فیزیکدان بتواند به عنوان تبیین ارایه دهد از پیش بیان شده است. با وجود این، متون دیگری وجود دارند که سوالات خیلی مشابهی در آن‌ها پرسیده می‌شوند، و در این متون ساختار پاسخ متفاوت است. فرض کنید مدار مریخ بیضوی مشاهده نشده بود و یا وضعیتش در زمان خاصی مطابق با پیش‌بینی راه حل مساله دو - جسمی نیوتونی با شرایط مرزی نبود. بنابراین فیزیکدان می‌پرسید، (یا قبل از آن که این پدیده‌ها به خوبی درک شوند می‌پرسید) چه اشتباهی رخ داده است و چرا تجربه مغایر با پیش‌بینی هایش است؟ و در این مورد پاسخ علت خاصی را مجزا می‌سازد - در این جا جاذبه گرانشی سیاره دیگری. برخلاف مقررات، ناهنجاری‌ها به‌زیانی توضیح داده می‌شوند که در مفهومی محدود علی به حساب می‌آیند. یک بار دیگر شباهت با فیزیک ارسطویی در خور توجه است. علل صوری نظم طبیعت را توضیح می‌دهند، در حالی که نقطه‌ی عزیمت علل موثر از نظم است. با وجود این، در حال حاضر ناسامانی همراه با سامان‌مندی در قلمرو فیزیک قرار دارند.

این مثال‌ها گرفته شده از مکانیک فلکی را می‌توان از بخش‌های دیگر مکانیک، از صرت‌شناسی، الکتروسیسته، نورشناسی، یا ترمودینامیک که در اواخر سده هیجدهم و اوایل سده نوزدهم گسترش یافتند، نسخه‌برداری کرد. اما از قبل نکته‌ی مورد نظر را باید روشن نمود. با وجود این، آن‌چه نیاز به تأکید دارد این است که شباهت به تبیین ارسطویی، تنها جنبه ساختاری دارد. اشکالی که در تبیین‌های فیزیکی سده‌ی نوزدهم به کار می‌رفت تماماً شبیه تبیین ارسطو

نیروند اما در عوض نسخه‌های ریاضی اشکال نیوتونی و دکارتی^۱ بودند که در سده‌ی هفده و هیجده تسلط یافته بودند. با وجود این، محدودیت اشکال مکانیکی فقط تا سال‌های پایانی سده‌ی نوزدهم ادامه یافت. سپس همراه با پذیرش معادلات ماکسول در حوزه‌ی الکترومغناطیسی و شناسایی این که چنین معادلاتی را نمی‌توان از ساختار اتری مکانیکی کسب نمود، فهرست اشکال مورد استفاده‌ی فیزیکدانان در تبیین، رو به فزونی گذاردند.

آن چه در سده بیستم به دست آمد بیش‌تر یک انقلاب در تبیین فیزیکی، نه در ساختار بلکه در ذاتش، است. همکار میهنانم هالباوکس^۲ به‌جزئیات بی‌شماری اشاره نموده است. در این جا من فقط به‌ارایه‌ی تعدادی از تعمیمات خیلی گسترده‌ی مرتبط با آن خواهم پرداخت. حوزه الکترومغناطیس، به‌عنوان یک واحد فیزیکی غیرمکانیکی بنیادی با خواص صوری قابل توصیف در معادلات ریاضی، تنها نقطه‌ی ورود این حوزه به فیزیک بود. فیزیک‌دان معاصر حوزه‌های دیگر را نیز بازشناسی می‌کند، و این رقم هنوز رو به افزایش است. بیش‌تر اوقات آن‌ها برای توضیح پدیده‌هایی به‌کار برده می‌شوند که حتی در سده‌ی نوزدهم شناسایی نشده بودند. اما آن‌ها هم‌چنین در برخی حوزه‌های از پیش ذخیره، به‌طور مثال الکترومغناطیس، نیروها را جابه‌جا نموده‌اند. به‌عنوان مثال آن چه در سده‌ی هفدهم تبیین بود دیگر امروزه تبیین نیست. و تنها حوزه‌هایی، واحد یا نوع جدیدی، نیستند که در معرض تغییر قرار دارند. ماده هم‌چنین به‌خواص صوری به‌لحاظ مکانیکی غیر قابل تصور - چرخش، برابری، غرابت و غیره - نیازمند است که فقط به‌زبان ریاضی قابل توصیف می‌باشد. در نهایت ورود عنصر احتمالی گریانه به‌ظاهر نابود نشدن به فیزیک یک تغییر رادیکال دیگر را در اصول تبیین به‌وجود آورده است. در حال حاضر سوالات خویش‌تراشی درباره پدیده‌های مشاهده‌پذیر وجود دارد. برای مثال زمانی که ذره‌ی آلفا هسته را ترک می‌کند، که به‌گفته فیزیک‌دانان در علم غیرقابل پاسخ‌اند. همانند حوادث منفرد انتشار ذره‌ی آلفا و بسیاری از پدیده‌های مشابه بی‌علت‌اند. هر نظریه‌ای که آن‌ها را تبیین کند، به‌جای الحاق به‌نظریه‌ی کوانتوم آن را سرنگون خواهد نمود. شاید دگرگونی‌های بعدی نظریه‌ی فیزیکی این دیدگاه را تغییر دهد یا پرسش‌سوالات مربوطه را ناممکن سازد. اما در حال حاضر تعداد خیلی کمی از فیزیک‌دانان شکاف علمی را به‌منزله یک عیب تلقی می‌کنند. این واقعیت هم‌چنین به‌ما چیزی درباره‌ی تبیین علی می‌آموزد.

چه نتیجه‌ای از این کلیات موجز به‌دست می‌آید؟ به‌طور خلاصه مطالب زیر را می‌توان برشمرد. هرچند مفهوم محدود علت جزء ضروری فیزیک سده‌های هفدهم و هیجدهم بود،

اما در سده‌ی نوزدهم اهمیت آن کاهش یافت و در سده‌ی بیستم به تقریب آن را از دست داد. انتظار مهم و اساسی، تبیین رویدادهایی می‌باشد که به ظاهر، و نه در واقع نظریه فیزیکی موجود را نقض می‌کنند. آن‌ها با مجزا ساختن علت خاص ناهنجاری، یعنی با یافتن عنصر حذف شده از بررسی راه حل اولیه‌ی مساله، تبیین می‌گردند. با وجود این، به‌جز در این موارد، ساختار تبیین فیزیکی با علل صوری ارستو شباهت دارد. نتایج از تعدادی از خواص ذاتی خاص واحدهای مرتبط با تبیین استنتاج می‌گردد. وضع منطقی این خواص و تبیین‌ها شبیه همان اشکال ارستو است. علت در فیزیک مجدداً در مفهوم گسترده‌تر، یعنی تبیین به علت بدل شده است.

با این همه، هرچند فیزیک مدرن در ساختار علی استدلال‌های خود با فیزیک ارستویی مشابه است اما اشکال خاصی که در تبیین فیزیکی متجلی می‌شود امروزه به‌گونه‌ای رادیکال از فیزیک عهد باستان و سده‌های میانه متمایزاند. حتا در توضیح مختصر بالا نیز می‌توان دو گذار عمده در انواع اشکالی که به‌گونه‌ای رضایت‌بخش در تبیین فیزیکی عمل می‌کنند، مشاهده نمود: از اشکال کیفی (سبکی یا ثقل ذاتی) به اشکال مکانیکی و سپس از مکانیکی به ریاضی. به‌علاوه توصیف مفصل تو گذارهای ظریف‌تری را نشان خواهد داد. با وجود این، گذارهایی از این نوع موجب رشته‌سوالاتی می‌گردد که خواستار توضیح، حتا به‌صورت موجز و دکلماتیک، است. چه چیزی موجب چنین تغییراتی در اصول و ملاک‌های تبیینی می‌شود؟ چه اهمیتی دارند؟ و رابطه‌ی شیوه‌ی تبیینی قدیمی با جدید چیست؟

درباره‌ی سوال اول بر آنم که در فیزیک اصول و ملاک‌های جدید همراه با نظریه‌های جدید متولد شده‌اند که به‌میزان قابل توجهی سربارند. نظریه‌های فیزیکی جدید نظریه‌ی نیوتون، به‌کرات از سوی مردانی که ضمن پذیرش توانایی دیدگاه جدید برای حل مسایل سخت و بفرنج در مجموع معتقد بوده‌اند که آن در مجموع هیچ چیزی را تبیین نمی‌کند رد شده‌اند. به‌علاوه نسل‌های بعدی که برای استفاده از نظریه‌ی جدید پرورش می‌یابند، آن را تبیینی می‌یابند. به‌نظر می‌رسد موفقیت عملی یک نظریه‌ی علمی موفقیت نهایی شیوه تبیینی همراهش را تضمین می‌کند. با این حال، ممکن است حصول به‌نیروی تبیینی مدت مدیدی به‌طول بیانجامد. تجربه بسیاری از معاصرین از مکانیک کوانتوم و نسبیّت نشانگر آن است که اگر چه ممکن است فردی نظریه‌ی جدیدی را با اعتقاد عمیق باور کند اما هنوز فاقد بازآموزی و عادت برای پذیرش آن به‌عنوان تبیینی می‌باشد. این امر فقط با گذر زمان حاصل می‌شود، چنان‌چه تاکنون همواره حاصل شده است.

سربار بودن نظریه‌های جدید شیوه‌های جدید تبیین را بی‌اهمیت نمی‌سازد. رانه^۱ فیزیکدانان برای فهم و توضیح طبیعت شرط اساسی کارشان است. اصول و ملاک‌های موجود تبیین، به‌رغم آنچه موجب انگیزش مسایل می‌گردند، بیش‌تر شرایط انواع راه‌حلی‌هایی را آماده می‌کند که وی توان دسترسی به آن‌ها را دارد. علم هر دوره‌ای را بدون فهم اصول و ملاک‌های تبیینی مورد پذیرش شاغلان آن نمی‌توان فهمید.

نهایتاً، با توجه به‌منصور بودن چهار مرحله در تحول مفاهیم علمی در فیزیک، سوالی که پیش می‌آید این است که آیا می‌توان الگویی کلی را در توالی^۲ آن‌ها مشاهده کرد. آیا مفهومی وجود دارد که در آن اصول و ملاک‌های تبیینی فیزیک مدرن برای نمونه از سده هیجدهم پیشرفته‌تر باشند و اصول و ملاک‌های سده هیجدهم از عهد باستان و سده‌های میانه فراتر روند؟ در یک معنا به‌روشنی پاسخ مثبت است. نظریه‌ی فیزیکی هر یک از این ادوار از گذشتگان خود به‌مراتب توانمندتر و دقیق‌تر هستند. اصول و ملاک‌های تبیینی که به‌گونه‌ای سازنده با نظریه‌ی فیزیک پیوند دارند، باید در پیشرفت مشارکت داشته باشند: توسعه‌ی علم امکان تبیین پدیده‌های پالوده‌تر را فراهم می‌سازد. با این حال، تنها پدیده‌ها، و نه تبیین‌ها، هستند که به‌هر مفهوم صریحی پالوده‌تر شده‌اند. گرانس زمانی که از نظریه‌ای که در محدوده‌ی آن عمل می‌کند جدا می‌گردد، متفاوت از میل ذاتی حرکت به‌سمت مرکز می‌باشد. به‌عبارت دیگر مفهوم یک حوزه از نیرو متفاوت است. با تلقی خود به‌مثابه ابزارهای تبیینی، بدون اشاره به‌حدود نظراتی که به آن‌ها متوسل می‌شوند، به‌نظر می‌رسد نقاط شروع موجه تبیین فیزیکی در آینده از اعصار اولیه پیشرفته‌تر باشد. حتا به‌یک معنا ممکن است انقلاب‌هایی که در شیوه‌های تبیینی رخ می‌دهند واپس‌گرایانه باشند. هرچند شواهد وجود ندارد، اما این نشانگر آن است که همان‌طور که علم توسعه می‌یابد در تبیین‌ها از تعداد فزاینده‌ای از اشکال متمایز غیرقابل تقلیل استفاده می‌گردد. با توجه به تبیین، سادگی علم به‌احتمالی در طول زمان تاریخی کاهش یافته است. واریسی این‌تزه، نیازمند مقاله‌ی دیگری است، اما حتی امکان بررسی آن بیانگر نتیجه‌ای است که برای این‌جا کافی است. خود به‌خود مطالعه ایده‌های تبیینی و علت هیچ شاهد محکمی، در مورد پیشرفت فکر ارایه نمی‌کنند، موضوعی که توسط علم مشتق شده از آن، با وضوح کامل نشان داده می‌شود.