

سلسله مراتب علوم: چه چیزی پایین تر از همه قرار دارد؟

می‌دهد چگونه ویژگی‌های ماده در مقیاس ماکروسکوپی، که مبحث **ترمودینامیک** را تشکیل می‌دهد، از برهم‌کنش‌های ذرات تعیین می‌شود. بنابراین مکانیک آماری که ترمودینامیک را توصیف می‌کند از آن بنیادی‌تر است.

در فیزیک نیز، مانند علوم دیگر، هر نظریه در واقع یک توصیف است. مثلاً از تلفیق قانون‌های حرکت **ایزاک نیوتون** و نیز قانون گرانش عمومی او، نظریه‌ای برای پدیده‌های مکانیکی به وجود

آمده است. این نظریه شامل قانون‌های بسیار دیگر از جمله قانون‌های **یوهانس کپلر** برای حرکت سیاره‌ای و قانون‌های **گالیلئو گالیله** برای سقوط آزاد و فروغلتیدن مستقیم گلوله روی سطح شیب‌دار است. معادله‌های **جیمز کلارک ماکسول** نظریه‌ای برای پدیده‌های الکترومغناطیسی است. دو نظریه **مکانیک کوانتومی** و **نظریه الکتروودینامیک کوانتومی** با هم نظریه‌ای برای ساختار اتم‌ها تشکیل می‌دهند. نظریه **برهم‌کنش قوی ذرات بنیادی** را نظریه **گرومودینامیک کوانتومی** تأمین می‌کند.

هر نظریه، از جنبه بنیادی‌تر طبیعت، برای توصیف جنبه‌ای استفاده می‌کند که به آن میزان بنیادی نیست. به این منظور باید جزء اصلی نظریه مقدم، بنیادی‌تر از نظریه‌ای باشد که توصیف می‌شود. مثلاً قانون‌های بنیادی نیوتون و گرانش که برای همه دستگاه‌های مکانیکی معتبرند، از قانون‌های کپلر که فقط برای منظومه‌های سیاره‌ای و اقمار اعتبار دارند بنیادی‌ترند. یک نظریه فرضی که از قانون‌های کپلر برای بیان قانون‌های نیوتون بهره بگیرد کاملاً مضحک خواهد بود؛ درست همان‌طور که بخواهیم برای توصیف نیروهای بین‌مولکولی از مقاومت مواد استفاده کنیم و از ساختار اتمی برای توصیف الکتروودینامیک کوانتومی بهره بگیریم. جهت تفسیر و توصیف نظریه‌ها، همواره از موضوع بنیادی‌تر به طرف موضوع کمتر بنیادی است.

ولی چرا چنین است؟ شاید در مسیری دایره‌ای حرکت می‌کنیم؟ نظریه A در صورتی از نظریه B بنیادی‌تر است که بتواند نظریه B را توصیف کند. پس تعجب‌آور نیست اگر از نظریه‌های بنیادی‌تر برای توصیف نظریه کمتر بنیادی بهره بگیریم. چون A می‌تواند B را توصیف کند، پس نظریه A را بنیادی‌تر می‌دانیم. ظاهراً موضوع صرفاً مربوط به تعریف است، ولی به نظر می‌رسد که چیزی بیش از تعریف صرف وجود داشته باشد. وقتی یک فیزیک‌دان به دنبال نظریه‌ای برای پدیده‌ای خاص است، همین‌طور این طرف و آن طرف نمی‌رود، بلکه ابتدا توضیحی را می‌یابد که بنیادی‌تر از پدیده مورد نظر اوست؛ زیرا این کار می‌تواند آنچه را که باید توصیف شود به‌درستی بیان کند. جنبه‌ها و دیدگاه‌هایی در طبیعت وجود دارند که بنیادی‌تر بودن آن‌ها واضح و آشکار است.

جو رزن
ترجمه: منیژه شیبانی

چکیده

این مقاله به ساختار سلسله‌مراتب علوم و اهمیت فیزیک در این ساختار سلسله‌مراتبی می‌پردازد. همچنین جنبه‌هایی از پدیده‌های طبیعی را بررسی می‌کند که بنیادی‌تر در نظر گرفته می‌شوند.

کلیدواژه‌ها: بنیادی بودن، ساختار سلسله‌مراتبی، فیزیک

فیزیک بنیادی‌ترین شاخه علوم است که مبنای ساختار سلسله‌مراتب آن را تشکیل می‌دهد. هر جا به توصیفی برای شاخه‌ای از علم نیاز داشته باشیم به‌طور اجتناب‌ناپذیر به فیزیک می‌رسیم. در حالی که فیزیک توانایی توصیف مثلاً شیمی یا زیست‌شناسی را دارد، هیچ شاخه‌ای از علوم قادر به توصیف بنیادی فیزیک نیست. به‌عنوان مثال، برای توجیه و تفسیر نیروهای بین‌اتمی، که نقش مهمی در فرآیندهای شیمیایی دارند، باید از قانون‌های فیزیک استفاده کرد. در زیست‌شناسی درک چگونگی انتشار سیگنال‌ها در آکسون یاخته‌های عصبی در موجودات زنده، که فرآیندی الکتروشیمیایی است، به هر دو شاخه فیزیک و شیمی نیاز دارد، ولی شیمی نیازی به استفاده از زیست‌شناسی ندارد. فیزیک نیز برای توصیف فرآیندهای خود از هر دوی آن‌ها بی‌نیاز است. به این ترتیب در سلسله‌مراتب علوم، فیزیک در سطح بنیادی قرار دارد و شیمی روی آن است و زیست‌شناسی هم پس از شیمی قرار می‌گیرد. پس، شیمی بنیادی‌تر از زیست‌شناسی، و فیزیک بنیادی‌تر از هر دوی آن‌هاست.

در فیزیک نیز میزان بنیادی بودن متفاوت است. ویژگی‌های **توده ماده** را می‌توان با آنچه در سطح میکروسکوپی مشاهده می‌شود توصیف کرد. از ویژگی‌های **اتم‌ها، مولکول‌ها، یون‌ها، الکترون‌ها** و **برهم‌کنش** آن‌ها می‌توان رفتار ماده در سطح ماکروسکوپی را بیان کرد و سرانجام ویژگی‌های **فلزها، مایع‌ها** و غیره را به‌دست آورد. بدین ترتیب از نظر طبیعت اولی مقدم بر تالی قرار می‌گیرد. در ساختار سلسله‌مراتبی فیزیک، **مکانیک آماری** که موضوع آن بررسی مجموعه‌ای از ذرات است نشان



فلسفه علم

فیزیک‌دان در پی یافتن این توصیف است.

چگونه فیزیک‌دان این تفاوت را قائل می‌شود؟ بدیهی است که این کار به تجربه و توان تبیین او بستگی دارد. وقتی او پژوهش‌هایی را جهت ارائه یک نظریه برای پدیده B آغاز می‌کند، پیش‌فرض‌هایی را از جنبه‌های شناخته شده طبیعت در اختیار دارد که می‌توانند پدیده B را توصیف کنند و توصیف نهایی B بی‌تردید از بین آن‌ها به دست می‌آید. وقتی معلوم شد که نظریه B توسط نظریه A توصیف می‌شود، این فقط نشان نمی‌دهد که نظریه A از نظریه B بنیادی‌تر است، بلکه معلوم می‌کند که نظریه A علاوه بر B توان توصیف نظریه‌های دیگر را هم دارد. به عنوان مثال، قانون‌های نیوتون که قوانین کپلر را توصیف می‌کنند، توان توصیف نظریه‌های دیگر را هم دارند و رویدادهای بسیاری را که ما به عنوان مکانیک هر روز با آن‌ها سروکار داریم بیان می‌کنند. قانون‌های نیوتون همه عواملی را که موجب پایداری و استقامت در ساختمان‌ها، اتومبیل‌ها، ورزش و غیره می‌شوند در اختیار می‌گذارند. توان توصیف نیروهای بین اتمی بسیار گسترده‌تر از مقاومت مواد است تا جایی که رفتار گازها و ویژگی مولکول‌ها را هم دربر می‌گیرد. الکترودینامیک کوانتومی چیزی خیلی بیشتر از ساختار اتمی را توصیف می‌کند. این نظریه تا برخی ویژگی‌های ذرات بنیادی نیز گسترش یافته است.

فیزیک نیز مانند علوم دیگر دارای ساختار سلسله‌مراتبی است. جنبه‌هایی از پدیده‌های طبیعی که بنیادی‌تر در نظر گرفته می‌شوند در سطوح پایین‌تر قرار دارند و گروهی که کمتر بنیادی‌اند در سطوح بالاتر قرار گرفته‌اند. فیزیک‌دان برای یافتن نظریه‌ای درباره پدیده‌های طبیعی، همواره آن را در سطوح عمیق‌تر از سطح پدیده‌ای می‌کاود که باید توصیف شود. ساختار علم یک سطح بنیادی دارد که توسط فیزیک اشغال شده است. اما ساختار فیزیک چگونه است؟ آیا فیزیک هم یک سطح بنیادی دارد؟ آیا طبیعت دارای جنبه‌ها و پدیده‌هایی با بنیادی بودن بیشینه است؟ منبع توصیف رویدادها در آن سطح قرار دارد، اما آیا خود آن‌ها نیازی به توصیف یا دست‌کم تعریف علمی ندارند؟ در طی تحول فیزیک سطوح عمیق‌تر مدام کشف شده‌اند. مثلاً در ابتدای قرن بیستم دریافتند که توده ماده از اتم‌ها تشکیل شده است. این کشف سطحی از طبیعت را نمایان ساخت که در سطحی عمیق‌تر از توده ماده قرار داشت. سپس معلوم شد که اتم نیز دارای ساختار متشکل از الکترون‌ها و هسته است و سطح عمیق‌تری کشف شد. طولی نکشید که معلوم شد هسته هم دارای ساختاری ویژه شامل پروتون و نوترون است و باز سطح عمیق‌تری آشکار شد. در حال حاضر، پروتون‌ها، نوترون‌ها (و سایر ذرات بنیادی) را متشکل از **کوارک‌ها** می‌دانند و این خود سطحی عمیق‌تر از پروتون و نوکلئون را نشان می‌دهد. آیا سرانجام به پایان این فرآیند رسیده‌ایم؟ تا این لحظه دلیلی برای این فرضیه نداریم. آیا اصولاً این فرآیند پایانی دارد؟ این یک

پرسش بزرگ است.

در یک تحول موزای، که آن هم در قرن بیستم شکل گرفت، فیزیک از آنچه که تصویر کلاسیک خوانده می‌شد به تصویر کوانتومی فعلی رسید. در دیدگاه کلاسیک، طبیعت موجبیت‌گرایانه رفتار می‌کند و از ماده و میدان‌هایی تشکیل شده است که با هم فرق دارند. رفتار طبیعت نیز موضعی است. بدین ترتیب که رویدادی که در یک محل رخ می‌دهد فقط در نواحی مجاور خود تأثیر می‌گذارد و سپس آن هم بلافاصله در ناحیه بعدی تأثیر می‌کند و این روند همچنان ادامه می‌یابد و منتشر می‌شود. بدون آنکه کنش مستقیم از دور وجود داشته باشد. اثرها در فضا با سرعت محدود منتشر می‌شوند. از سوی دیگر، در تصویر کوانتومی، رفتار طبیعت با روش‌های مبتنی بر احتمال به بهترین نحو تفسیر می‌شود. به‌طور کلی، آنچه تعیین می‌شود گستره‌ای از نتیجه‌های ممکن و احتمال‌های متناظر برخلاف نتیجه معین و منحصربه‌فرد تصویر کلاسیک است. در این تصویر ماده و میدان موجودات متمایزی نیستند، بلکه جنبه‌هایی از یکدیگرند. هر میدان به‌صورت ذره تجلی می‌یابد، و هر ذره هم رفتار میدان‌گونه از خود بروز می‌دهد. همچنین، تصویر کوانتومی طبیعت شامل جایگزیدگی است. شرایط در نقاط مختلف را می‌توان چنان درهم‌آمیخت که توالی تأثیر یکی بر دیگری قابل درک نباشد.

تصویر کوانتومی شناختی عمیق‌تر از تصویر کلاسیک از طبیعت را در اختیار می‌گذارد و در نتیجه سطح عمیق‌تری را آشکار می‌سازد. این سلسله‌مراتب با سلسله‌مراتب ساختار ماده که قبلاً شرح داده شد هم‌ارز است. برای درک سطوح مختلف ساختار ماده باید از تصویر کوانتومی استفاده کرد. به این منظور فیزیک از مکانیک کوانتومی و **نظریه میدان کوانتومی**، شامل اکترودینامیک کوانتومی و کرومودینامیک کوانتومی، که قبلاً گفته شد استفاده می‌کند. آیا طبیعت از سطحی عمیق‌تر از سطح کوانتومی هم برخوردار است؟ به احتمال زیاد چنین است. دلیل آن، چنان‌که خواهیم دید، در **فضا زمان** نهفته است.

در قرن بیستم فیزیک به شکل سومی هم تحول یافت. تا اوایل این قرن **فضا و زمان** مستقل از یکدیگر، و نیز مستقل از ناظر، در نظر گرفته می‌شدند. یعنی فرض بر این بود که فاصله‌ها و بازه‌های زمان برای همه ناظران بدون توجه به وضعیت حرکت‌شان یکسان است. نظریه نسبیت خاص **آلبرت اینشتین** با نشان دادن اینکه برای ناظران در حالت‌های مختلف حرکت، فضا و زمان به نوعی درهم می‌آمیزند و فاصله‌ها و بازه‌های زمانی می‌توانند مقادیر متفاوت داشته باشند، این باور را تغییر داد. نتیجه آن بود که در نظر گرفتن فضا و زمان به‌عنوان «فضا-زمان» بنیادی‌تر از «فضا» و «زمان» جداگانه است. فضا-زمان در سطح سلسله‌مراتبی فیزیک عمیق‌تر از فضا و زمان قرار می‌گیرد.

تا اینجا، فضا، زمان و فضا-زمان به‌عنوان «صحنه» یا «زمینه» رویدادها و فرآیندها به‌کار می‌رفتند. فضا-زمان منفعل و حاوی

فیزیک
بنیادی‌ترین شاخه
علوم است که
مبنای ساختار
سلسله‌مراتب
آن را تشکیل
می‌دهد. هر جا
به توصیفی
برای شاخه‌ای از
علم نیاز داشته
باشیم به‌طور
اجتناب‌ناپذیر به
فیزیک می‌رسیم

ماده، میدان‌ها، برهم‌کنش‌ها و غیره بود و هیچ نقشی در آنچه رخ می‌داد نداشت. اینشتین پس از نسبیت خاص، نسبیت عام خود را مطرح کرد. نسبیت عام که در واقع نظریه‌ای برای گرانش است نقش فعالی به فضا زمان می‌دهد و گرانش را به جای نیرو موضوعی هندسی و تأثیر خمیدگی فضا زمان در نظر می‌گیرد: ماده خمیدگی فضا زمان را تعیین می‌کند و فضا زمان هم متقابلاً با خمیدگی خود حرکت ماده را هدایت می‌کند که نتیجه آن به صورت جاذبه بین دو ماده ظاهر می‌شود. ویژگی فعال فضا زمان به آن نقشی بنیادی تر از فضا و زمان منفعل در طبیعت می‌دهد که سطح سلسله‌مراتبی آن در ساختار فیزیک حتی از فضا زمان منفعل عمیق تر است.

آیا فیزیک به عمق این سلسله‌مراتب رسیده است؟ همگان بر این باورند که نرسیده است و هنوز سطح عمیق تری وجود دارد که باید آشکار شود. نکته آن است که فضا زمان فعال باید مانند بقیه طبیعت موضوع همان اثرهای کوانتومی باشد. در حال حاضر نظریه‌ای وجود ندارد که فضا زمان را به طور موفقیت آمیز وارد تصویر کوانتومی کند. این نظریه یک نظریه کوانتومی گرانش خواهد بود که گرانی کوانتومی نیز نامیده می‌شود. فیزیکدان‌ها منتظر توسعه نظریه‌ای هستند که سطح سلسله‌مراتبی عمیق تر از فضا زمان فعال نظریه کوانتومی را آشکار کند. در این سطح عمیق تر ویژگی‌های طبیعت را به سختی می‌توان تصور کرد. برخی پیش‌بینی‌ها مربوط به آن منفی است، مانند بی‌ارتباط بودن به زمان، بی‌ارتباط بودن به مکان، بدون رابطه علت و معلولی. بنیادی بودن باید در لایه زیرین تصویر فضا زمان و تصویر کوانتومی چه رابطه‌ای باهم دارند و توصیفی برای هر دوی آن‌ها در اختیار بگذارد. توصیفی برای فضا زمان؟ برای نظریه کوانتومی؟ این چیزی است که باید منتظر آن باشیم. اما آیا این سطح عمیق مبنای طبیعت است و یا باز هم اعماق بیشتری وجود دارد؟ این پرسش بسیار بزرگ دیگری است.

یک سلسله‌مراتب دیگر در فیزیک به ابعاد بسیار بزرگ، یعنی به خارج از عالم و شاید فراسوی آن، گسترش یافته است. زمانی بود که زمین مرکز همه چیز در نظر گرفته می‌شد. انقلاب کوپرنیکی که به افتخار نیکلاس کوپرنیک (۱۵۴۳-۱۴۷۳) نام‌گذاری شده است این باور را تغییر داد و زمین را به صورت یکی از چند سیاره در حال گردش به دور خورشید درآورد و خورشید هم به صورت یکی از تعداد بی‌شمار ستارگان موجود در عالم درآمد. ستارگان، خورشید و منظومه شمسی را می‌توان بسیار بنیادی تر از زمین تنها در نظر گرفت. با زمین به عنوان سیاره‌ای در میان سیارات منظومه شمسی و خورشید به عنوان ستاره‌ای در میان ستارگان، خورشید و منظومه

شمسی سطح سلسله‌مراتبی عمیق تر از سطح زمین تنها را تشکیل می‌دهند.

در اوایل قرن بیستم معلوم شد که ستارگان مرئی همه آنچه را که در عالم می‌درخشد تشکیل نمی‌دهند. این ستارگان فقط یک کهکشان، کهکشان راه شیری را به وجود آورده‌اند که خورشید عضوی از آن است. این کهکشان یکی از بی‌شمار کهکشان‌های شناور در فضا است. کهکشان‌های عالم را می‌توان بنیادی تر از کهکشان راه شیری که یکی از اعضای فرعی آن محسوب می‌شود در نظر گرفت. کل کهکشان‌ها در سطح عمیق تر از کهکشان راه شیری قرار می‌گیرند.

در طی قرن بیستم معلوم شد که کهکشان‌ها نیز در خوشه‌هایی گردهم آمده‌اند و خوشه‌ها نیز در ابرخوشه‌ها متمرکز شده‌اند. به این ترتیب یک مقیاس فضایی بزرگ نمایان شد که در آن کهکشان‌ها در مرز نواحی تهی فضا در ورقه‌هایی توزیع شده بودند. ما تمام این ساختار را در سطح سلسله‌مراتبی کهکشان‌ها در نظر می‌گیریم. این سلسله‌مراتب عالم را متشکل از کهکشان و هر چه در آن است از جمله تابش، گرد و غبار، و انرژی تاریک فرضی را در سطح سلسله‌مراتبی عمیق تر از کهکشان‌ها قرار می‌دهد. شاید فکر کنیم که این برای مبنای سلسله‌مراتب خود رضایت بخش به نظر برسد، زیرا آیا عالم شامل تمام چیزهای موجود نیست؟ تلاش‌هایی که اخیراً برای پاسخ به این پرسش به عمل آمده منجر به این شده است که سطح سلسله‌مراتبی حتی عمیق تر نیز وجود دارد. یک فرض آن است که عالم ما یکی از عالم‌هایی است که عالم چندگانه را تشکیل می‌دهند. ایده دیگر وجود ابعاد بیش از چهار بعد فضا زمان است که در عالم دیگر و یا عالم‌های دیگر، یا شاید در یک بعد اضافی، با عالم ما برهم‌کنش دارند. شاید سطح سلسله‌مراتب شامل ابعاد اضافی با سلسله‌مراتب ساختار ماده در سطح عمیق در ارتباط باشد، زیرا ابعاد اضافی برای این ارتباط هم پیشنهاد شده‌اند. به علاوه، شاید یک سطح بعد اضافی با سلسله‌مراتب سطح فضا زمان به سلسله‌مراتب فضا زمان متصل شود.

دیدیم که چگونه بنیادی بودن مباحث فیزیک ما را به سلسله‌مراتب سطوح رهنمون ساخت که ترتیب آن‌ها با توجه به سلسله‌مراتب مختلف به راه‌های گوناگون متناظر با سلسله‌مراتب انجام شد. ما سلسله‌مراتب ساختار ماده، سلسله‌مراتب کوانتومی، سلسله‌مراتب فضا زمان و سرانجام سلسله‌مراتب کیهان‌شناسی را بررسی کردیم. در هیچ کدام از آن‌ها سطح مبنا و پایه مشخص نشد. انجام این مهم مستلزم کار بسیار برای فیزیکدانان است. در هر یک از این سلسله‌مراتب عمیق‌ترین سطح هنوز به توضیح بیشتر نیاز دارد. ارتباط «جانبی» بین سلسله‌مراتب مختلف باید بررسی شود. عظیم‌ترین چالشی که هنوز هدف جاودانه فیزیک را تشکیل می‌دهد آشکار ساختن چیزی است که در زیر همه آن‌ها قرار دارد.