





# بررسی مبادی علوم پایه از منظر منطق تکاملی

«ریاضی، فیزیک، زیست»

جلسه نخست

تاریخ جلسه: ۱۳۸۵/۹/۱

استاد: حجۃالاسلام والمسلمین صدوق

پیاده ویراست و فهرست: حجۃالاسلام موسوی موشح

– مقدمه: معرفی دو محور بحث علوم پایه در دفتر؛ تحول در ریاضیات و فلسفه فیزیک..... ۲

۱. بررسی تطبیقی دسته‌بندی سه‌گانه تشکّل، تموج و تشعشع با فیزیک غرب..... ۲

۱/۱. تعریف تشکّل، تموج و تشعشع به ماده، موج و نور..... ۲

۱/۲. بررسی احتمال تطبیق تشکّل، تموج و تشعشع به ماده، میدان و موج در فیزیک..... ۵

۱/۳. به وحدت رسیدن تمامی اقسام نیرو در فیزیک تحت عنوان جاذبه ..... ۶

۱/۳/۱. تعریف وحدت به وحدت ترکیبی و خروج موضوعی داشتن وحدت بساطتی از منطق مجموعه‌نگری..... ۷

۲. بررسی نظریه نسبیت اینشتین به عنوان رابطه تبدیل تشکّل به تموج و بالعکس..... ۷

۲/۱. تعریف انرژی در فیزیک به توان انجام کار (سبب جابه‌جایی ماده)..... ۸

۲/۲. تعریف انرژی اصلی در هستی به انرژی هسته‌ای بر اساس نسبیت اینشتین ..... ۸

۲/۳. تبدیل نوعی از انرژی به نوعی دیگر؛ هدف بیشتر آزمایش‌های فیزیک ..... ۹

۲/۳/۱. شرح فرآیند تبدیل انرژی الکتریکی به انرژی نوری هم‌فاز..... ۹



## - مقدمه: معرفی دو محور بحث علوم پایه در دفتر؛ تحوّل در ریاضیات و فلسفه فیزیک

□ حجۃالاسلام والمسلمین صدوق: در موضوع علوم پایه بحثی در دفتر فرهنگستان پدید آمده که در دو محور است؛

محور اول تحوّل در ریاضیات به عنوان ابزار محاسبه. ما مجموعه اندیشه شرق و غرب را از منظر متداولوژی که فلسفه ریاضی است به دو بخش منطق انتزاعی و منطق مجموعه‌نگری تقسیم می‌نماییم. در منطق انتزاعی «عدد» مفهوم مستقلی دارد. در منطق مجموعه‌نگری «عدد» و «کم» مفهوم وابسته‌ای را تمام می‌کند. اما در منطق فرهنگستان که به تبع فلسفه آن پدید آمده، هنگامی که از حجیت، معادله و مدل سخن می‌گوید، برای نشان دادن نسبت معادله به معنای عدالت و برابری به تکامل، «عدد جهتی» را تعریف می‌کند، «عددی» را به ما تحويل می‌دهد که قدرت مطالعه «جهت» در معادلات را دارد. این مطلب مهم و بزرگی است که در دفتر تولید شده و به وجود آمده است. این تعریف تکاملی از عدد قدرت تعریف عدد در منطق مجموعه‌نگری را دارد که عیارها هستند در ترکیب و ساخت آلیاژها و عیارها یا همان عدد در منطق مجموعه‌نگری نیز خود قدرت کترول عدد انتزاعی را دارد.

محور دوم در بحث علوم پایه، نقطه‌ای است که فیزیک و ریاضی وحدت پیدا می‌کنند، فلسفه‌ای در این بخش تولید شده که چرایی، چیستی و چگونگی را به هم متقوّم می‌سازد. بنده با توجه به این‌که پنج سال مهندسی مکانیک در دانشگاه شیراز خوانده‌ام<sup>۱</sup> روی این مطلب دقت کردم و معتقدم آن‌چه شما در فلسفه فیزیک دارید تنها چگونگی است.

### ۱. بررسی تطبیقی دسته‌بندی سه‌گانه تشکّل، تموّج و تشعّش با فیزیک غرب

#### ۱/۱. تعریف تشکّل، تموّج و تشعّش به ماده، موج و نور

ما در نظر داریم که تئوری واحد و حاکمی را که در دفتر فرهنگستان بدان دست یافته‌ایم بر آن چگونگی‌ای که شما در دستگاه خود دارید در نسبت بین تشکّل، تموّج و تشعّش نشان دهیم. تشکّل به حالات سه‌گانه مواد یعنی جامد و مایع و گاز می‌گوییم. تموّج جاذبه است، معادل همان امواج که شما می‌گویید. تشعّش همان نور است که ما آن را با تعریفی که داریم از سخن امواج نمی‌دانیم. ما تمام هستی را به تشکّل، تموّج و تشعّش تقسیم می‌نماییم.

غرض ما از بحث این است که با حاکم کردن یک تئوری واحد بر تعاریف موجود در فیزیک و علوم پایه بتوانیم کیفیت تبدیل تشکّل‌ها به تموّج‌ها و از تموّج‌ها به تشعّشات را تحلیل نماییم و این را از راه دقت در تعاریف شما به دست خواهیم آورد.

□ دکتر غلامرضا عبائیانی: در این سه اصطلاحی که شما فرمودید ابهام وجود دارد. ما در فیزیک چیزی به نام میدان یا فیلد داریم که به آن موج می‌گوییم و نور را نیز در همین دسته قرار می‌دهیم. یعنی نور نیز یک «تمایل» است و نوعی موج به حساب می‌آید.

<sup>1</sup>. البته نمی‌خواهم عرض کنم که درک کاملاً تخصصی از علوم پایه دارم، ولی در سطح ارتكاز عمومی دانشگاهی اطلاعاتی دارم که امیدوارم این بحث منشأ این شود که دوباره ذهنیت بنده به سی سال پیش بازگردد و مطالب در ذهنم حاضر شود.

□ احتمالاً در تعاریف شما، تشبع و تموج وحدت داشته باشد.

□ دکتر عبایانی: اگر چه ما در تعریف نور از نظر ماده بودن یا انرژی در بعضی حالات به یک دوگانگی می‌رسیم که نظریه موجی و ذره‌ای را مطرح می‌کنیم، ولی در نهایت ما نور را به عنوان ماهیتی مستقل از موج لحظه نمی‌کیم. آن‌چه ما می‌گوییم این است که نور در بعضی حالات به صورت موج در می‌آید و در حالاتی دیگر به صورت ماده.

پاورقی. ترسیم موضوع بحث به بررسی فرآیند آزمایشگاهی تولید تئوری‌های فیزیک

□ ما دو بحث با شما داریم؛ بحث نخست از نظر تئوری است که فیزیکدان‌ها به نتایجی دست‌یافته‌اند و بحث دوم از نظر آن اتفاقاتی است که در آزمایشگاه‌های فیزیک روی می‌دهد که کاربرد عملی همان تئوری‌هاست. کاربردهایی که نمی‌توان آن‌ها را انکار کرد. به عنوان مثال، ما که از قم به تهران می‌آمدیم، خودروی ما بر اساس مکانیزمی کار می‌کرد و ما را جابه‌جا می‌نمود و نمی‌توان این کارآمدی را انکار کرد. هیچ کس نمی‌تواند بگوید که این خودرو ما را حرکت نمی‌دهد و این قابل انکار نیست. اما این‌که با چه تحلیلی سخن از حرکت این خودرو می‌کنند، ما در خصوص این تحلیل صحبت‌هایی داریم.

□ دکتر عبایانی: یعنی شما در وجود آن شک ندارید، در تحلیل نظری آن شک دارید!

□ در تحلیل نظری و تقدّم و تأخّر این‌که چطور مایع یا گاز تبدیل به الکتروسیته و موج می‌شود.

□ دکتر عبایانی: معیار و مبانی شما در تقدّم و تأخّر چیست؟

□ تقدّم و تأخّر منطقی و این‌که آیا ریاضیات توانسته است این تبدیل را تحلیل نماید. البته فقط در چگونگی این تبدیل، به چیستی و چرایی آن کاری نداریم. با این‌که آیا خدا و ملائکه هستند یا خیر کاری نداریم. اگر هم بعداً باید روی این مفاهیم بحث شود، سر جای خود بحث خواهد شد، ولی ما به آن‌ها فعلًاً کاری نداریم.

ما در این حوزه خاص به دنبال تئوری واحدی هستیم که اگر فیزیکدان‌ها تعریف از فوتون، اتم، الکترون، بار مثبت و منفی و مانند آن ارائه کردن بتوانیم تلائم و هماهنگی این تعاریف با یکدیگر در یک نظام واحد از تشکّل تا تموج و تشبع را بررسی کنیم و این تعاریف را به وحدت برسانیم.

□ مهندس موشح: گمان می‌کنم بحث شما مشابه بحثی است که فیزیکدان‌ها تحت عنوان «وحدت چهار نیرو» بیان می‌کنند.

□ دکتر عبایانی: بحث نیروها یک بحث است، ولی این‌جا بحث کل ...

□ حجۃ‌الاسلام موشح: شما در آزمایشگاه فعالیتی را انجام می‌دهید، سپس آن را تحلیل می‌کنید و می‌گویید: «بنابراین یک بار منفی در اتم باید وجود داشته باشد و جرم آن نیز باید این مقدار باشد که بتواند بار مثبت را خنثی کند و اتم را به تعادل برساند». بحث ما این است که این تحلیل شما چه مکانیزمی دارد. از لحظه‌ای که آزمایشی را انجام می‌دهید تا لحظه‌ای که به یک فرمول یا معادله دست پیدا می‌کنید.

□ یعنی یک بخش کار ما ملاحظه گزارشات شما در آزمایشگاه است. این‌که شما یک کاتالیزورهایی را در یک مجموعه‌ای وارد می‌کنید، حرارت می‌دهید، فعالیت‌هایی را انجام می‌دهید و تصریفاتی در آن می‌کنید و یک فرایندی را به

پیش می‌برید. خروجی این کار را نیز معین می‌کنید که چه چیزی است و چه کارآیی‌هایی دارد.

□ دکتر عبائیانی: معمولاً ما یک مفهوم پایه‌ای در اصطلاحات فیزیکی داریم که می‌گوییم مدل پدیده‌ای فیزیکی را تحلیل می‌کند و تا آنجا این تحلیل مقبول است که پدیده‌ای خلاف آن مشاهده نشده باشد. یعنی به عبارت دیگر قطعی نیست.

□ اساساً در منطق شما قطعیت خط می‌خورد.

□ دکتر عبائیانی: بله. در نگاهی که ما به مدل‌سازی داریم و بر اساس تجربه‌ای که می‌کنیم، یک دسته فرض‌های ساده‌کننده‌ای داریم که از طریق آن‌ها به واقعیت می‌رسیم. لزوماً برای یک شرایط خاص همه مدل‌ها نیاز نیست. حالتی تحت عنوان کفایت مدل مطرح می‌شود. غرض این است که مدلی ارائه شود که بتواند موضوع فعالیت فیزیکی را توضیح دهد. به عبارت دیگر می‌توان با صرف زمان و هزینه بسیار، مدل‌ها را تلفیق کرد و به سطح خیلی بالایی رساند، ولی چنین مدلی پیچیدگی‌ها را آنقدر زیاد می‌کند که ناکارآمد خواهد شد. در یک فرآیند فیزیکی لزوماً همه این مدل‌ها استفاده نمی‌شود، لذا آن مدل جامع را تکه تکه می‌کنیم و از ابتدا که می‌خواهید چیزی را طراحی کنید، با ساده‌ترین مدل این کار را انجام می‌دهید و بعد بسته به نیاز آن را به فرم پیچیده‌تری می‌برید. این کار نیز با تجربه انجام می‌شود.

□ حجۃ‌الاسلام موشح: یعنی شما به دنبال مدل کارآمد هستید. می‌گویید من این آزمایش را انجام می‌دهم و برای این آزمایش این مدل کافی است و دیگر بالاتر نمی‌خواهم بروم.

□ دکتر عبائیانی: مگر آن‌که نیازی باشد. مثلاً ما می‌خواهیم در تحقیقاتی که داریم از مدلی استفاده کنیم، اولین مدلی که به ذهن ما می‌رسد را به کار می‌گیریم و این قابل قبول است. یعنی همیشه ساده‌ترین مدل قابل قبول است و کسی ایراد نمی‌گیرد که مثلاً چرا شما بر اساس «یک به علاوه یک مساوی است با دو» ( $1+1=2$ ) نتیجه گرفته‌اید، چرا انتگرال نگرفتید تا به نتیجه برسید؟ ولی بعد از آن‌که به سمت واقعیت حرکت می‌کنیم، این مدل‌ها تفصیلی‌تر می‌شود.

□ یعنی یک احتمالاتی مطرح می‌شود که در پاسخ دادن به آن‌ها مجبور به استفاده از ریاضیاتی دیگر هستید.

□ دکتر عبائیانی: بله. احتمالاتی که ناگزیر می‌شویم مدل‌های خود را تکمیل‌تر کنیم. مدل‌هایی که ممکن است پایه‌های چندگانه‌ای داشته باشند. به عنوان مثال مدل ما ممکن است، از یک سو، یک پایه (base) در ایتگراسیون (integration) داشته و تجمعی باشد و از سوی دیگر پایه‌ای در دیفرانسیل (differential) داشته و جزئی باشد، ولی در نهایت یک مدل کامل‌تری برای موضوع مورد مطالعه پیدا می‌شود که به ما اجازه می‌دهد تا آنجا که می‌توانیم به واقعیت نزدیک شویم.

□ برای ما تفاوتی نمی‌کند که بخشی وارد بحث شویم و یا متمرکز، ما قدرت ورود و خروج در موضوع را داریم. وارد بحث می‌شویم و اگر دیدیم سوالات مطرح شده جدی است، سطح بحث را بالاتر می‌بریم.

اما در بحث حاکم شدن شوری واحد، چه این‌که امواج و نور را واحد فرض کنیم و دو بخشی (تشکّل و تموج) بگیریم یا تفاوت قائل شویم و سه بخشی آن گونه که ما می‌گوییم (تشکّل، تموج و تشعشع)، مهم این است که ضرورت این بحث روشن شود.

□ حجۃ‌الاسلام موشح: یعنی تمامی موضوعات فیزیک؛ از مکانیک و کوانتم و ترمودینامیک و ... بر همه باید یک

تئوری حاکم شود. ما به دنبال چنین چیزی هستیم. نمی‌شود چند مبنا داشته باشیم.

□ این که می‌گوییم به دنبال یک تئوری واحد حاکم بر تمامی موضوعات فیزیک هستیم، یک وقت از بُعد فلسفی به آن نظر می‌کیم که در این صورت ضرورت دارد شما یک دور فلسفه ما را مطالعه کنید. اما در این مباحثه‌ای که با شما داریم می‌خواهیم در یک فرآیند چند ساله ضرورت علمی وجود این تئوری واحد را از منظر علوم پایه به اثبات برسانیم. ضرورت آن از منظر فلسفه برای خود ما به اثبات رسیده است.

□ دکتر عبائیانی: جایگاه نیروها در این دسته‌بندی کجا است؟ به عبارت دیگر ما ماده را داریم که شما آن را در تشکّل جای می‌دهید، نیرویی نیز داریم که میدان (field)، جاذبه و تمایلات را ایجاد می‌نماید و بعد در نهایت امواج. این مفاهیم بین تشکّل، تموّج و تشعشع در کجا قرار می‌گیرند؟

## ۱/۲. بررسی احتمال تطبیق تشکّل، تموّج و تشعشع به ماده، میدان و موج در فیزیک

□ در تقسیم ما، تشکّل همه حالات ماده را از جامد و مایع و گاز، همه را می‌پوشاند. تموّج هم همین جاذبه‌ها است، نیروهایی که نامرئی است.

□ دکتر عبائیانی: تقریباً معادل همان فیلدی (میدان) است که ما می‌گوییم.

□ احسنت! در مفاهیم شما قابل ترجمه است.

□ دکتر عبائیانی: باز ممکن است آنچه شما به عنوان تشعشع می‌گویید، همان موج واقعی در نظر بگیریم که غیر از میدان است.

□ نظر ما این است که تشعشع را به معنای نور بگیریم، نور در معنای عام آن؛ اعم از نور خورشید، نور لامپ، لیزر و مانند آن.

□ مهندس موشح: نور در فیزیک نوعی امواج است، امواجی از نوع الکترومغناطیس.

□ خوب بر روی این مطلب بعداً بحث می‌کنیم. فعلاً شما دو بخشی (تشکّل و تموّج) بگیرید و فرض ما را نپذیرید.

□ دکتر عبائیانی: نه. در همین تقسیم‌بندی‌ها هم می‌توانیم موضوعات خود را دسته‌بندی کنیم. یعنی ما اگر تموّج را به معنای فیلد (میدان) بگیریم، می‌توانیم موج را تحت عنوان تشعشع قرار دهیم. این نسبیت را ما در فیزیک داریم. فیلد (میدان) یک فضای واقعی و موجود نیست، فقط تمایلات میان مواد را نشان می‌دهد. در حقیقت شرایط اثر کردن نیرو را نشان می‌دهد.

□ یعنی اگر یک درون و بیرون در نظر بگیریم، میدان شرایط عملکرد حرکت ماده است.

□ دکتر عبائیانی: حالتی است که می‌گوییم اگر اتفاق بیافتد، چه اثری دارد. نه این‌که واقعاً وجود داشته باشد. ولی ماده وجود دارد. نور نیز به عنوانی نوعی موج وجود دارد.

□ در مورد نور ما کمی عمیق‌تر نگاه می‌کنیم.

□ دکتر عباییانی: نور را ما در طیف وسیعی می‌بینیم. حرارت جزء نور است، نور معمولی هست، اشعه ایکس، ماوراء بنفش، مادون قرمز، آلفا و... همه این‌ها در دسته امواج الکترومغناطیس قرار دارد و ما آن‌ها را نور می‌دانیم.

یک بحث فیزیکی وجود دارد که در تقسیم نیروها می‌گویند چهار نیروی پایه وجود دارد، این بحث را مهندس موشح بهتر می‌دانند، چون بحثی فیزیکی است و گرایش بندۀ نیمه‌هادی‌ها و الکترونیک است.

□ مهندس موشح: چهار نیروی بینایی در فیزیک که تمامی حالات نیرو را شامل می‌شوند، این‌ها هستند: ① نیروی گشتاور ضعیف، ② نیروی هسته‌ای، ③ نیروی الکترومغناطیس و ④ نیروی گرانش.

□ ما در تمامی این موارد قصد داریم که وارد شویم.

□ دکتر عباییانی: در بحث‌های بینایی علوم پایه، مسیرهای مطالعاتی و پژوهشی خاصی وجود دارد که تلاش می‌کند این مفاهیم را به هم نزدیک نماید و به یک مبنا برساند، اخیراً به دو تا یا سه تا رسانده بودند. دانشمندان فیزیک به دنبال این مطلب هستند.

□ منظور از این چهار نیرو چیست؟

□ دکتر عباییانی: یکی از آن‌ها همین جاذبه زمین است (نیروی گرانش)، یکی دیگر نیرویی است که بین دو قطب یک آهن‌ربا وجود دارد (نیروی الکترومغناطیس)، دیگری نیرویی است که نوترون را با تمام جرم سنگینی که دارد در هسته اتم نگاه می‌دارد (نیروی هسته‌ای).

### ۱/۳. به وحدت رسیدن تمامی اقسام نیرو در فیزیک تحت عنوان جاذبه

□ ما همه این‌ها را چه میکرو باشد و چه ماکرو، تحت عنوان جاذبه می‌آوریم.

□ حجۃ‌الاسلام موشح: فرمول‌های محاسبه هر کدام از این نیروها تفاوت می‌کند.

□ نسبیت را می‌پذیریم که فرمول‌های محاسباتی میان آن‌ها متفاوت باشد، ولی جنس همه آن‌ها جاذبه است.

□ دکتر عباییانی: دانشمندان و فیزیکدان‌ها هنوز به این مطلب نرسیده‌اند. آن‌ها بین چهار یا دو نیروی اصلی...

□ یعنی هنوز به اصل جاذبه نرسیده‌اند؟ این‌که جنس همه این چهار نیرو همان جاذبه است.

□ دکتر عباییانی: جنس آن‌ها را معتقد‌نمود که چهار جنس متفاوت است. اخیراً هم با مطالعاتی که انجام شده در بخش پژوهش‌های علوم پایه به سه جنس بودن این‌ها هم رسیده‌اند که اساساً کار این گروه‌ها رسیدن به این مفاهیم بینایی در علوم پایه است. عملأً هنوز نتیجه این مطالعات به یک جنس واحد نرسیده است. یعنی این‌که ما بتوانیم یک فرمول واحدی ارائه دهیم که نشان دهد جاذبه میان قطب مثبت و منفی آهن‌ربا مشابه جاذبه زمین است، هنوز موفق به این نشده‌ایم.

## ۱/۳/۱. تعریف وحدت به وحدت ترکیبی و خروج موضوعی داشتن وحدت بساطتی از منطق

### مجموعه‌نگری

□ البته ما به دنبال این‌که این چهار نیرو را به وحدت برسانیم و یکی کنیم نیستیم، به دنبال وحدت ترکیبی آن‌ها هستیم. یعنی همه آن‌ها در کنار هم یک وحدت ایجاد کنند. این‌که وحدت به ذره واحد بسیط‌تر ممکن شود، این مربوط به فلسفه شرق است. ما به دنبال آن نیستیم. وقتی بگوییم مرکب است یعنی از دو به بالا، سه، چهار، پنج و ...

□ حجۃ‌الاسلام موشح: ما وقتی می‌گوییم مرکب، شاید از دیدگاه مولکلولی که نانوتکنولوژی با آن مرتبط است واضح‌تر باشد که مهندس اسداللهی روی آن کار می‌کند.

□ دکتر عبائیانی: این مطالب تنها در بخش مفاهیم بنیادی فیزیک بررسی می‌شود و در نانوتکنولوژی به این مطالب توجه نمی‌شود. این بحث در فیزیک نظری و محض طرح می‌شود. در بحث نانو فقط ساخت و به‌کارگیری این مدل‌ها مطرح است. به عبارت دیگر تنها کاربرد است تا مدل‌سازی!

□ فعلاً کاری به مباحث نظری فیزیک نداریم، این‌که به دنبال وحدت نیروها هستند.

## ۲. بررسی نظریه نسبیت اینشتین به عنوان رابطه تبدیل تشکّل به تموّج و بالعکس

□ دکتر عبائیانی: بحث تبدیل شدن ماده به موج یا نور در حقیقت همان نظریه اینشتین (Einstein) است. با نسبیت اینشتین که در قالب فرمول  $E = mc^2$  است، جرم یا همان ماده ( $m$ ) تبدیل به انرژی ( $E$ ) می‌شود، انرژی‌ای که سرعت آن همان سرعت نور ( $c$ ) است.

□ مهندس موشح: این نظریه وحدت ماده و انرژی است و می‌تواند به همان نظریه وحدتی که شما می‌فرمایید ممکن شود.

□ پس بالاخره یک نظمی در حال پیدا شدن است.

□ دکتر عبائیانی: یعنی این فرمول می‌تواند ارتباط این دو (تشکّل و تموّج) با تشعشع را تحلیل کند.

□ حجۃ‌الاسلام موشح: در حقیقت با این فرمول اینشتین تشکّل و تموّج به هم ارتباط پیدا کرده‌اند.

□ از نظر ما هم هوا جرم دارد، هم مایعات و هم جامدات و همه این‌ها در تشکّل جای می‌گیرند. این یک طرف نسبت است. طرف دیگر نسبت چیست؟

□ دکتر عبائیانی: طرف دیگر خود نور است، مطلق نور. به عبارت دیگر نور را بدون جرم در نظر می‌گیریم، یعنی با جرم صفر. فقط انرژی است.

□ مهندس موشح: نور از امواج الکترومغناطیس است و لذا جزء امواج قرار می‌گیرد.

□ حجۃ‌الاسلام موشح: البته این‌جا سرعت نور به عنوان یک ثابت آمده است، یعنی فقط به عنوان یک عدد.

□ دکتر عبائیانی: شاید به عنوان یک ثابت آمده باشد، ولی مهم این است که به چه چیز باز می‌گردد.

□ مهندس موشح: اینجا خود سرعت نور منظور است، زیرا واحد آن همان واحد سرعت است.

## ۲/۱. تعریف انرژی در فیزیک به توان انجام کار (سبب جابه‌جایی ماده)

□ این (c) معنای نور دارد، یعنی چیزی که جرم ندارد. گفتید که  $E$  به معنای انرژی است، تعریف انرژی چیست؟

□ دکتر عبائیانی: انرژی، توان انجام کار است. هر نیرویی که بتواند سبب جابه‌جایی ماده شود.

□ حجۃالاسلام موشح: یعنی می‌فرمایید نیرو همان انرژی است؟!

□ دکتر عبائیانی: بله. یعنی توانایی انجام کار، یعنی آنچه که بتواند ماده را جابه‌جا کند.

□ مهندس موشح: یعنی انرژی، ماهیت همان نیرو است.

□ یعنی انرژی چیزی است که بتواند جرمی را که وزن دارد، یعنی  $mg$  را جابه‌جا نماید، خود جرم نه! پس اگر جابه‌جایی نداشته باشد، یعنی مکان نداشته باشد، نیرو معنا ندارد.

□ حجۃالاسلام موشح: تعاریف انرژی و نیرو با هم برابر نیست! نیرو در حقیقت انرژی فعال است. یعنی انرژی نیروی حرکت را تولید می‌کند.

□ نگفته‌یم برابر است، شاخصه نیرو، تقریباً شاخصه انرژی می‌شود.

□ دکتر عبائیانی: انرژی، نیرو را به کار می‌گیرد. انرژی نیروی به کار گرفته شده است که در جهت خاص است. نیرویی که کار انجام می‌دهد. زیرا لزوماً این گونه نیست که نیرو بتواند کار انجام دهد، تنها زمانی می‌تواند کار انجام دهد که در جهت خودش حرکت ایجاد کند.

□ و گرنم می‌تواند آزاد هم باشد و کار انجام ندهد!

□ مهندس موشح: بله. به این نیروی آزاد دیگر انرژی گفته نمی‌شود.

□ مهندس اسداللهی: پس انرژی پتانسیل چه می‌شود؟! انرژی پتانسیل که حرکت ندارد، انرژی ذخیره شده است!

□ حجۃالاسلام موشح: انرژی پتانسیل هم در حقیقت نیروی درون پیل است، یعنی انرژی ثابت و غیر متحرک نیست.

## ۲/۲. تعریف انرژی اصلی در هسته‌ای بر اساس نسبیت اینشتین

□ پس معنای فرمول اینشتین همین است، انرژی پتانسیل و مانند آن نیست، فقط انرژی در حرکت است؟!

□ دکتر عبائیانی: اساساً انرژی هسته‌ای همین است، جرمی به اندازه چند ده اتم یا مثلاً یک میلی‌گرم که مقدار بسیار ناچیزی از ماده است را از طریق مکانیزمی تبدیل به انرژی می‌کنیم. به جهت این‌که سرعت نور بسیار بالا است، بر اساس این فرمول، مقدار انرژی آزاد شده بسیار زیاد خواهد بود. وقتی هسته اتم را باز کنید مثلاً یک اتم هیدروژن، جرم بسیار کوچکی دارد، ولی وقتی انرژی آن آزاد می‌شود فوق العاده زیاد است.

□ از طریق این فرمول؟ یعنی ضرب در سرعت نور؟

□ دکتر عباییانی: بله. به عبارت دیگر حالت ماده تغییر پیدا کرده و در حقیقت تشعشع ایجاد شده است. وقتی که ماده بشکند، تشعشع ایجاد می‌کند، ذره آلفا و گاما صادر می‌شود که گاما ذره‌ای بدون جرم و از نوع امواج الکترومغناطیس است. پس در حقیقت ماده تبدیل به نور شده است.

□ مهندس موشح: آلفا جرم دارد و در واقع هلیوم مثبت (هسته اتم هلیوم بدون الکترون) است. این رابطه که اینیشتین پیدا کرده است، رابطه بسیار مهمی است. آنچه که شما به عنوان تئوری حاکم بر تشکل، تموّج و تشعشع به دنبال آن هستید در این رابطه یافت می‌شود و این یک نظریه وحدتی بین اینها است. علت قدرت پیدا کردن اینیشتین نیز یافتن همین رابطه است که توانسته است میان این سه که از هم کاملاً مجزا هستند، ارتباط ایجاد کند.

□ دکتر عباییانی: این مطلب، هم از نظر پایه‌ای بسیار اهمیت دارد و هم از نظر کاربردی. از این رابطه ما متوجه می‌شویم که انرژی اصلی ما کجاست، انرژی اصلی ما از سوختن نفت و مانند آن نیست، چون انرژی اندکی به ما می‌دهد. انرژی‌ای که از شکستن هسته اتم به دست می‌آید بسیار بیشتر از آن است.

□ این بحث را ما به عنوان تئوری اینیشتین قبول داریم، اما اگر آزمایشگاه این تئوری را بخواهیم، یعنی فرآیندی که گام به گام به تولید انرژی هسته‌ای انجامیده است. البته برای ما مهم نیست که حتماً فرآیند تولید انرژی هسته‌ای باشد، حتی مکانیزم خودرویی که با آن از قم به تهران آمدۀ‌ایم، در همین نیز اگر فرآیند آزمایشگاهی را نشان دهید برای ما کافی است. اگر انرژی هسته‌ای را انتخاب کردیم، به این علت بوده است که گمان کردیم شاید شما راحت‌تر بتوانید نقشه آن را به ما نشان دهید.

□ دکتر عباییانی: البته تخصص اصلی ما هم انرژی هسته‌ای نیست، بحث نیمه‌هادی‌ها است.

□ مسئله‌ای نیست. در همان بحث نیمه‌هادی‌ها هم یک فرآیند کامل آزمایشگاهی را که به تولید یک تئوری بیانجامد را به ما نشان دهید کافیست. هدف ما این است که یک فلسفه چگونگی را در روش شما بیینیم.

## ۲/۳. تبدیل نوعی از انرژی به نوعی دیگر؛ هدف بیشتر آزمایش‌های فیزیک

□ دکتر عباییانی: رابطه  $E = mc^2$  با آن ذهنیت پایه‌ای که شما در ابتدا مطرح کردید بسیار نزدیک است. ولی اگر بخواهیم یک پدیده فیزیکی دیگری را بررسی کنیم، مانند یک قطعه الکترونیکی یا لیزری چیزی به عنوان تبدیل ماده به انرژی نداریم، ما عملاً تنها شرایط تبدیل یک انرژی به نوع دیگری از انرژی را فراهم می‌کنیم.

□ مهم نیست، همین فرآیند تبدیل انرژی به انرژی نوع دیگر را بررسی می‌کنیم.

□ مهندس موشح: فرآیند لایه‌گذاری برای ساخت دیود لیزری را می‌توانیم به عنوان موضوع بحث قرار دهیم.

□ بله، خوب است. فرآیندی باشد که در ایران داشته باشیم و نخواهیم برای جمع‌آوری اطلاعات آن هزینه کنیم.

## ۲/۳/۱. شرح فرآیند تبدیل انرژی الکتریکی به انرژی نوری هم‌فاز

□ دکتر عباییانی: ما یک مفهوم پایه داریم با عنوان تبدیل انرژی الکتریکی به انرژی نوری و می‌خواهیم ابزاری برای

این کار بسازیم.

## □ آزمایشگاه آن کجاست؟

□ دکتر عبائیانی: آزمایشگاه آن همین جا است، ولی مهم همان مفهوم پایه است.

□ حجۃالاسلام موشح: شما در آزمایشگاه از تحلیل نظری شروع می‌کنید، به این‌که به ما گفته‌اند نیمه‌هادی‌ها این‌گونه کار می‌کنند، سیلیکون چنین خاصیتی دارد، اگر به صورت PNP باشد فلان اتفاق می‌افتد. در آزمایشگاه این مطالب را در عمل اجرا می‌کنید. اما بحث ما این است که چه فرآیند آزمایشگاهی طی شد تا فیزیکدان‌ها به این تحلیل رسیدند.

□ دکتر عبائیانی: آن هم یک مفهوم نظری اولیه داشته است، مبنی بر این‌که می‌توان از انرژی الکتریکی، نور استخراج کرد. این مفهوم اولیه می‌گوید که هر موج الکترومغناطیس سه مؤلفه دارد؛ ① دامنه حرکت، ② فرکانس یا بسامد حرکت، یعنی دوره تناوب موج و ③ فاز یا حالت موج.

□ حجۃالاسلام موشح: امواج الکترومغناطیس ترکیب دو موج است؛ یک موج الکتریکی و یک موج مغناطیسی.

□ دکتر عبائیانی: بله، دو موج هستند، ولی سیکل حرکتی آن‌ها می‌تواند دوگانه باشد. ما به سادگی می‌توانیم تعداد زیادی فوتون نوری با یک فرکانس واحد داشته باشیم، یا با یک دامنه و شدت مشخص، ولی این‌که این‌ها با هم حرکت کنند، این به صورتی نبود که در طبیعت وجود داشته باشد. تنها در محیط مصنوعی تولید می‌شود.

ابتدا فیزیکدان‌ها از نظر تئوری به یک نقطه‌ای رسیدند که روابط با هم نمی‌خواند. این‌شیوه یک مؤلفه‌ای به این رابطه اضافه کرد که مشکل تئوریکی مطلب حل شد. وقتی یک فوتون با ماده برخورد می‌کند، دو حالت ممکن است اتفاق بیافتد؛ یا این نور جذب ماده می‌شود که تبدیل به الکترون و حفره می‌شود و یا این الکترون و حفره‌ها بر روی هم می‌نشینند و لوب (loop) می‌سازند، یعنی یک سیکل بر عکس. از نظر محاسبات نظری در این‌جا حالت خودبه‌خودی، یعنی حالتی که فازهای امواج نوری یکی نیست، با آن‌چه که جذب می‌شود، سر به سر نمی‌شود. این‌جا بود که پس بردن یک مؤلفه‌ای به نام فاز وجود دارد و فوتون‌هایی وجود دارند که فاز یکسان دارند، این فوتون‌ها لیزر (laser) یا **stimulated edition** نام گرفت.

این مطلب از نظر پایه فیزیکی در روابط و فرمول‌ها آمد، ولی ساختاری که بتواند چنین پدیده‌ای را ایجاد کند، ده‌الی بیست سال بعد تولید شد. آزمایش‌های بسیاری انجام شد تا توانستند در لوله‌ای شیشه‌ای مانند لامپ مهتابی شرایطی را ایجاد کنند که درصدی از نورهای تولیدی به صورت هم‌فاز باشند. این اولین دستگاه مولّد لیزر بود که از نوع لیزر گازی می‌باشد.

در این لیزر یک انرژی به گازهای موجود در لامپ داده می‌شود و آن‌ها را به اصطلاح تحریک کرده و انرژی‌شان را بالا می‌برد. وقتی این تحریک از یک حد مشخصی بگذرد، حالت اتفاق می‌افتد که در آن حالت تعداد جاهای خالی الکترون بیشتر از جاهای پر می‌شود و این فرصت را فراهم می‌آورد که همه الکترون‌ها با هم پایین بیایند و انرژی خود را آزاد نمایند. در این حالت همه فوتون‌ها می‌توانند با هم منتشر شوند و درصد زیادی از آن‌ها هم‌فاز باشند. به این ترتیب یک بیم (beam) لیزر پدید می‌آید.

بعد از این نوع لیزر، کریستال‌ها مورد توجه قرار گرفتند. یعنی لیزرهای جامد مانند بلور یا قوت تولید شدند. در یاقوت نیز توانستند همین شرایط را ایجاد کنند. در لیزر گازی با تخلیه الکتریکی در یک میدان الکتریکی تحریک ایجاد می‌شود، لذا لیزر به صورت یک پرتو در طول موج مشخصی از نور که این طول موج به ذات آن گازها باز می‌گردد ایجاد می‌شود، ولی در یاقوت نور را آن قدر به درون کریستال پمپ می‌کنند که دیگر نمی‌تواند نور را جذب کند، بعد از قطع کردن نور، وقتی الکترون‌ها پایین می‌آیند، با هم حرکت می‌کنند و نور تولید می‌شود. در این روش مناسب با نوع پمپی که وجود دارد، می‌توان یک بیم یک‌دست با تپش‌های مشخص به دست آورد و یا یک تپش و یک پالس به تنهایی.

در یک دیود (diode) این شرایط را به صورت دیگری فراهم کرده‌اند. مبنای هر دو روش قبلی این بود که ما باید یک سایت (site) پر انرژی داشته باشیم، با یک سایت کم انرژی. همین مطلب را در نیمه‌هادی ما با اسم الکtron و حفره می‌شناسیم.

□ حجۃ‌الاسلام موشح: یعنی در یک سمت تراکم الکترون است و در سوی دیگر کمبود الکترون، اتم‌هایی که الکترون را می‌پذیرند.

□ دکتر عبائیانی: در هر اتم تعداد مشخصی جا برای الکترون وجود دارد، به عنوان مثال سیلیکون چهار جای خالی برای الکترون دارد. اگر بتوان انرژی دو عدد از این الکترون‌ها را بالا برد، هنگام بازگشت می‌توانند نور لیزر تولید کنند. البته این بستگی به طبیعت ماده دارد، در بعضی موارد ممکن است جواب دهد و در بعضی موارد خیر. الکترون قابل حمل و نقل است، در دیود تعداد الکترون را در بخشی از قطعه افزایش داده و در سوی دیگر کاهش الکترون ایجاد می‌کنیم تا حالتی متعادل و شرایط خاصی در این قطعه ایجاد شود. در محیطی کوچک‌تر از دهم میکرومتر فضایی ایجاد می‌شود که الکترون و جای خالی الکترون مجاور هم قرار می‌گیرند. اگر در این محیط کوچک به صورت مداوم الکترون جابه‌جا شود، این انتقال نور تولید می‌کند.

بنابراین در حقیقت ما نیاز به شرایطی داریم که این جابه‌جایی الکترون را ایجاد کند، ابزاری که برای این کار می‌سازیم لیزر گازی، لیزر حالت جامد و لیزر دیودی یا نیمه‌هادی است.

□ إن شاء الله همین فرآیند را به صورت کامل و آزمایشگاهی مورد بررسی قرار می‌دهیم.

□ دکتر عبائیانی: آن‌چه که به تولید لیزر نیمه‌هادی انجامیده است تنها یک مفهوم پایه در فیزیک بوده است که تبدیل انرژی الکتریکی به نوری را توضیح می‌دهد. در آزمایشگاه فقط روش ساخت این دیود مطرح است.

□ ما به هر دوی این بحث‌ها احتیاج داریم. ابتدا این مفهوم پایه‌ای که توضیح دادید را باید کاملاً بفهمیم و سپس روش ساخت آن را.

□ دکتر عبائیانی: برای ساخت دیود نیمه‌هادی از یک بستر کریستالی استفاده می‌شود، موادی مانند نمک طعام که ساختار کریستالی دارند. فیزیکدان‌ها پس از تلاش‌های بسیاری که کردند توانستند سیلیکونی که از شین به دست می‌آید و برای ساخت شیشه از آن استفاده می‌شود را به نحوی تغییر دهند که به صورت کریستال درآید. یعنی چینش مولکول‌های آن منظم بوده و مانند شیشه نامنظم نمی‌باشد.

بر اساس دانش کریستالوگرافی این کریستال‌ها طبقه‌بندی می‌شوند. در طبیعت شش الی هفت نوع چینش مختلف کریستالی وجود دارد که هر کدام ویژگی خاص خود را دارند. سیلیکون یکی از انواع این کریستال‌ها است و بستر قطعات

الکترونیکی است. لذا وقتی می‌گوییم الکترونیک، ۹۵ درصد از قطعات الکترونیکی ساختارهای کریستالی از این دست هستند.

رفتار نوری سیلیکون رفتار مناسبی برای تولید نور لیزر نیست، بنابراین با تولید ترکیبات هم‌خانواده با سیلیکون از گروه ۳ و گروه ۵ (در جدول مندیلیوف) کریستال‌هایی ساختند که باز هم خواص نیمه‌هادی داشت، مانند ایندیوم و فسفر، یا مثلاً گالیوم و آرسنیک، یا گالیوم و نیتراید. ترکیبی که این مواد می‌دهند بازسازی همان شبکه سیلیکون است، غیر از این‌که به صورت یک در میان از خانواده ۲ و ۵ هستند، ولی شبکه کاملاً منظم است. شبکه سیلیکون متقاض است، زیرا همه آن سیلیکون است، اما تقارن در این مواد ترکیبی اندکی به هم می‌خورد و خواص نوری بیشتری از خود ایجاد می‌کنند.

حال برای این‌که بتوانیم از این ماده دیود بسازیم باید ابتدا یک ساختار کریستالی از این دست داشته باشیم و پس از آن باید بتوانیم درصد الکترون را در این محیط کنترل کنیم؛ جایی داشته باشیم که الکترون زیاد داشته باشد و جایی که الکترون آن کمتر از حد طبیعی باشد. این را سیلیکون نوع P یا سیلیکون نوع N می‌گوییم. نوع N سیلیکونی است که تعداد الکترون آن بیشتر از ظرفیت طبیعی ماده است (**Negative**) و نوع P سیلیکونی است که الکترون کمتری از حد طبیعی خود دارد (**Positive**). با افزودن مقداری ناخالصی به سیلیکون که قدرت الکترون دهی داشته باشند، می‌توان سیلیکون نوع N تولید کرد و با افزودن ماده‌ای به شبکه کریستالی که الکترون‌های درون سیلیکون را بکشد، سیلیکون نوع P تولید می‌شود که تعداد جای خالی الکترون (**hole**) در آن زیاد است.

در مدل‌سازی ما به این جای خالی یک ماهیت متناسب می‌کنیم و می‌گوییم این جای خالی خود یک عنصر است به نام حفره!

در ساخت دیود، برای این‌که شرایط P و N ایجاد شود، روش‌های مختلفی وجود دارد. یکی از این روش‌ها تزریق یک ماده به درون سیلیکون است، به این ترتیب که دمای سیلیکون بالا می‌رود تا جنبش مولکول‌های درون شبکه زیاد شود، سپس گازی حاوی آن ماده ناخالصی را کنار آن قرار می‌دهیم. با گذشت زمان این گاز در سیلیکون نفوذ می‌کند. این نخستین روشی است که می‌توان با آن P و N درست کرد.

روش دیگر این است که ماده ناخالصی را با انرژی زیاد به سیلیکون بکوبیم و به درون آن بفرستیم (**implant**). ماده حاوی الکترون یا حفره با انرژی زیاد به سیلیکون برخورد می‌کند، سپس به این مجموعه حرارت می‌دهند تا در هم فرو رود.

روش سوم این است که به صورت لایه‌لایه سیلیکون و ماده افروزنی را کنار هم قرار دهیم. تکنولوژی آن قدر پیشرفت کرد و کنترل‌پذیری ماده آن‌قدر زیاد شد که توانستند لایه‌ای حاوی چند اتم را روی لایه‌ای دیگر بنشانند. در حین چینش لایه‌ها بر روی یکدیگر هر بار نوع ماده را عوض می‌کنند. این روش اکنون به حدی رسیده است که ما می‌توانیم اتم روی اتم بگذاریم و ساختاری را که به صورت طبیعی از طریق روش کریستال به دست می‌آورдیم را اکنون می‌توانیم با ابزارهایی که در اختیار داریم مشخص ساخته و به صورت مصنوعی تولید نماییم.

هر کدام از این روش‌ها محیطی به وجود می‌آورد که می‌توان با اتصال P و N به قطب مثبت و منفی پیل و فشار الکترون به دیود یک جریان الکتریکی در آن ایجاد کرد و چون محیط نیز مناسب برای تولید نور است، نور لیزر از آن منتشر می‌شود. این می‌شود ساختار لیزر نیمه‌هادی. بنابراین بعد از ساخت نیمه‌هادی ما نیاز به اتصالاتی مناسب داریم که

بتوانیم آن را به جریان الکتریکی متصل نماییم. مجموعه‌ای از موج‌برهای میکرونی نیز به نیمه‌هادی متصل می‌شود تا نور تولید شده به بیرون هدایت شود.

تمام این قطعات به صورتی ساخت‌یافته کنار هم قرار می‌گیرند، مانند بیسکویت ویفر که حالتی لایه‌لایه دارد. این ابزار شرایط تبدیل انرژی الکتریکی به انرژی نوری را در اختیار ما می‌گذارد.

□ فرآیند تولید چنین دیودی چقدر طول می‌کشد؟

□ دکتر عبائیانی: حدود یک هفته.

□ حجۃ‌الاسلام موشح: البته بعد از یک هفته یک دیود تنها نمی‌دهد، صد یا هزار دیود تولید می‌کند.

□ دکتر عبائیانی: بله، یک مجموعه‌ای از دیود را تحويل می‌دهد.

□ مهندس موشح: در اینجا آزمایشگاه ما ظرفیت صد دیود در هر تولید را دارد.

□ آیا روشی ساده‌تر از این وجود دارد مثلاً در یک روز به تولید دیود بیانجامد؟

□ دکتر عبائیانی: زمانی کمتر از یک هفته بستگی به سطح تکنولوژی دارد. تکنولوژی مورد استفاده ما در این حد است.

□ مهندس موشح: اصل فرآیند تولید دیود که رشد کریستال است در ده دقیقه انجام می‌شود! اما شستن مواد اولیه و پولیش (polish) آنها، کلیه اموری که بر روی مواد اولیه انجام می‌شود تا آن را آماده تولید دیود نماید و در نهایت گذاشتن آن بر روی دستگاه، این فعالیت‌ها زمان بر است. روشن شدن دستگاه به تنهایی چهار ساعت زمان می‌برد.

□ منظور ما تمام فرآیند تولید است. از ابتدا تا انتها.

□ مهندس موشح: از ابتدا تا انتهای فرآیند تولید دیود در آزمایشگاه ما یک هفته به طول می‌انجامد، ولی با توجه به این‌که زیرلایه آماده استفاده می‌کنیم. زیر لایه را از خارج تهیه می‌کنیم. مواد تولید دیود که فوق خالص است را نیز خریده‌ایم.

□ در مورد موادی که خریداری کرده‌اید تنها گزارش دهید که چه زمانی تولید آن‌ها زمان برده است، ولی اصل مطالعه ما بر روی فرآیند موجود در آزمایشگاه شما است. من هم اکنون به دنبال این هستم که یک فرآیند از ابتدا تا انتها که در اینجا انجام می‌شود را توضیح دهید تا سؤالاتم در ذیل آن مطرح شود. به این ترتیب من فکر می‌کنم و سؤالاتی که در دستگاه خودم دارم را می‌نویسم.

در این جلسه دکتر عبائیانی همین فرآیندی که در آزمایشگاه انجام می‌دهید را با بیان تئوریکی مطرح کردند. لیزر چه تعاریفی دارد و چگونه تولید می‌شود، چگونه ساختار آن شکل می‌گیرد، چگونه شدت جریان از آن عبور می‌کند. در مورد یک امر عینی ایشان تئوری‌ها را طرح کردند. این می‌شود مدل نظری تولید لیزر نیمه‌هادی. اکنون این مدل نظری را در عینیت برای ما پیاده کنید. به این ترتیب که مثلاً بگویید ما یک دستگاه داریم که در مدت چهار ساعت گرم می‌شود، مشخص کنید که این دستگاه چیست و چه می‌کند. بعد بگویید یک مواد دیگری داریم، این مقدار به آن نور می‌تابانیم ...

- حجۃالاسلام موشح: یعنی روش عملیاتی آن توضیح داده شود.
- احسنت!
- مهندس موشح: پس باید به آزمایشگاه برویم و از نزدیک تمام فرآیند را مشاهده کنید.
- در ابتدا برای ما با اسلاید یا روشن‌های مشابه فرآیند کامل را توضیح دهید، بعد ممکن است سوالاتی برای ما مطرح شود که نیاز به حضور در آزمایشگاه باشد.
- برای این منظور ما هفته‌ای یک بار از وقت شما برای این بحث استفاده می‌کنیم.