



## به یاد عبدالسلام

فرهاد اردلان

مرکز تحقیقات فیزیک نظری و ریاضیات و

دانشگاه صنعتی شریف

یکی از بزرگترین فیزیکدانان معاصر و بزرگترین فیزیکدان مسلمان قرون اخیر، استاد عبدالسلام، در ماه آذر امسال درگذشت. اهمیت عبدالسلام در تاریخ علم معاصر به دو دلیل است: اول اینکه در کشف و تدوین یکی از مهمترین نظریه‌های فیزیک جدید، در مقوله فیزیک ذرات، نقش اساسی داشته است، دوم اینکه بانی یک کوشش شدید و مؤثر در ترویج علم در دنیای در حال توسعه و به‌ویژه در کشورهای مسلمان منطقه ما بوده است.

عبدالسلام که در ۱۹۲۶ در یکی از شهرهای کوچک پاکستان فعلی به دنیا آمد، در چهارده سالگی وارد دانشگاه دولتی لاهور شد و پس از دوره مقدماتی دانشگاه، در دانشگاه کیمبریج انگلستان ادامه تحصیل داد و دکترایش را در ۱۹۵۲ دریافت کرد. دوسه سال در پاکستان استاد دانشگاه بود، سپس به انگلستان بازگشت و تا پایان عمر استاد امپریال کالج بود. عبدالسلام جایزه نوبل ۱۹۷۹ در فیزیک را مشترکاً با استیون واینبرگ (Steven Weinberg) و شلدن گلاشو (Sheldon Glashaw) دریافت کرد.

عبدالسلام از ۱۹۶۴ تا ۱۹۹۴ رئیس مرکز بین‌المللی فیزیک نظری (ICTP) در تریست ایتالیا بود. در این مقام اخیر است که فعالیتهای اجتماعی عبدالسلام ظاهر می‌شود. او با تجربه دانشجویی و سپس استادی چندساله در پاکستان به خوبی به مشکلات پرداختن به علم در دنیای در حال توسعه آگاه بود و مدام در فکر رفع این مشکلات بود. به روایت او، جویندگان علم در قرون وسطی از غرب به شرق سفر می‌کردند و در دنیای اسلام هزار سال پیش علم می‌آموختند، و اکنون مسیر معکوس را می‌پیمایند؛ هر چه در این امر تسهیل بیشتری شود تجدد علمی در منطقه ما بیشتر ممکن خواهد شد. با کوشش و درایت بی‌نظیر شخص او بود که سازمانهای بین‌المللی (به‌ویژه یونسکو) با ایجاد یک مرکز پژوهش فیزیک نظری موافقت کردند، که به دلایل خاص این مرکز در ۱۹۶۴ در تریست ایتالیا بنا شد.

عبدالسلام در این مرکز با پژوهشگران دنیای در حال توسعه پدیده و با مهربانی برخورد می‌کرد و در هر فرصت در صدد کمک به ایشان بود. وی دو بار به ایران سفر کرد: بار اول قبل از انقلاب به دانشگاه صنعتی شریف برای طرح یک مرکز پژوهشی در فیزیک نظری در ایران، و بار دوم پس از انقلاب. او به فرهنگ ایران علاقه خاصی داشت و تحولات ایران را به‌دقت دنبال می‌کرد. در حقیقت ایجاد مرکز تحقیقات فیزیک نظری و ریاضیات به میزان قابل توجهی مدیون اوست و ناشی از نمونه‌برداری آگاهانه از تجربه ICTP. در سالهای جنگ که تماس با دنیای فیزیک در خارج بسیار دشوار بود عبدالسلام سخاوتمندانه این تماس را ممکن ساخت.

بعدهم دیگر عبدالسلام، نقش وی در کشف و شکل‌بندی نظریه

الکترومغناطیس است، که بابت آن جایزه نوبل ۱۹۷۹ را دریافت کرد. نظریه الکترومغناطیس که متضمن وحدت دو نیروی الکترومغناطیسی و هسته‌ای ضعیف است حاصل پژوهشهای جامعه فیزیک در دو دهه ۱۹۵۰ و ۱۹۶۰ است که عبدالسلام، واینبرگ، و گلاشو نقش اساسی در شکل‌گیری آن داشتند.

برای سهولت درک این وحدت یادآوری مختصری از چگونگی کشف وحدت دو نیروی الکتریکی و مغناطیسی در قرن گذشته مفید است. بشر قرن‌ها با پدیده‌های برق و مغناطیس آشنا بود. در عصر جدید نیز نیروی الکتریکی میان اجسام باردار چون کهر با مورد مطالعه علمی دقیق قرار گرفته بود و این پدیده به‌صورت کمی در قالب معادله کولن شناخته شده بود. به همین‌گونه نیروی مغناطیسی میان اجسام آهن‌ر با مطالعه شده بود و اطلاعاتی کمی در مورد این نیرو در دست بود. ولی تا اواسط قرن نوزدهم میلادی دلیلی وجود نداشت که این نیروها را مرتبط دانست و یا وجودی از یک نیروی واحد تلقی کرد، تا آنکه در آزمایشهایی با جریان برق معلوم شد که در اطراف سیمی که برق در آن جاری است آثار نیروی مغناطیسی ظاهر می‌شود. این آزمایشها و مطالعات نظری مربوط به آنها به نظریه الکترومغناطیسی ماکسول انجامید.

اکنون می‌دانیم که در اطراف هر بار الکتریکی یک میدان الکتریکی  $E$  به‌وجود می‌آید و در اطراف هر جریان الکتریکی یک میدان مغناطیسی  $B$  ظاهر می‌شود، و این دو از دسته واحدی از معادلات ماکسول پیروی می‌کنند. برای اینکه ارتباط این دو میدان را به‌طور شهودی دریابیم وضعیت ساده‌ای را در نظر بگیریم که یک ذره باردار در حال حرکت باشد. این ذره متحرک در واقع یک جریان الکتریکی به‌وجود می‌آورد و این جریان، مطابق آنچه گفته شد، یک میدان مغناطیسی می‌سازد. از طرفی اگر در دستگاه مختصاتی بنشینیم که با ذره باردار حرکت می‌کند (به عبارت دیگر اگر سوار ذره باردار شویم)، آنگاه در آن دستگاه مختصات جریانی در کار نیست و فقط یک میدان الکتریکی  $B$  ناشی از وجود ذره باردار «ساکن» را مشاهده خواهیم کرد. به این ترتیب، با سوار و پیاده شدن از «قطار» مذکور می‌توان میدانهای الکتریکی و مغناطیسی را به هم تبدیل کرد. این «تبدیل» میدانها به هم یک نوع «تقارن» تعریف می‌کند، یعنی دو میدان  $E$  و  $B$  وجود مستقل ندارند و تحت تبدیلات فوق یعنی همان «سوار» شدن بر و «پیاده» شدن از قطارهای مختلف، که به تبدیلات لورنتس مشهور است— به یکدیگر تبدیل می‌شوند. بنا بر این چنین استنتاج می‌کنیم که  $E$  و  $B$  دو روی یک سکه‌اند، سکه‌ای که آن را میدان الکترومغناطیسی  $F$  می‌نامیم. پس  $F$  تحت تبدیلات گروه لورنتس تغییر می‌کند و «مؤلفه»های دوگانه آن، یعنی  $E$  و  $B$ ، به هم تبدیل می‌شوند.

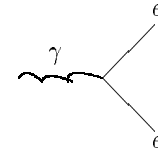
این درس مهمی است که از ارتباط میدانهای الکتریکی و مغناطیسی در چارچوب وحدت نظریه الکترومغناطیس می‌آموزیم، و این درسی است که به‌نحوی در کشف اخیر وحدت نیروهای الکترومغناطیسی و هسته‌ای ضعیف به‌وسیله عبدالسلام و همکارانش به‌کار گرفته شده است.

ولی نیروی هسته‌ای فقط در ابعاد بسیار کوچک هسته‌ای عمل می‌کند و لذا مبحث وحدت این نیرو با نیروی الکترومغناطیسی فقط در حیطه ابعاد



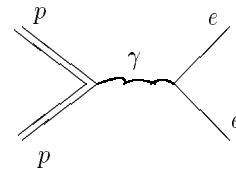
بسیار کوچک موضوعیت دارد و مقوله‌ای است در میدانهای کوانتومی.

اکنون بیش از نیم قرن است که می‌دانیم میدانهای الکترومغناطیسی کوانتومی که منشأ ساختار اتمی و مولکولی اجسام اند از طریق مبادله فوتون شکل می‌گیرند و مقوله الکترومغناطیسی کوانتومی در واقع برهم‌کنش ذرات باردار، چون الکترون و پروتون، است با فوتون. این برهم‌کنش را به‌طور نمادی می‌توان به‌صورت  $A \cdot J$  نوشت، که در آن  $A$  فوتون را می‌نماید و  $J$  جریان بار الکتریکی را؛ به زبان نمودار فاینمن، این ارتباط به‌صورت شکل ۱ است.



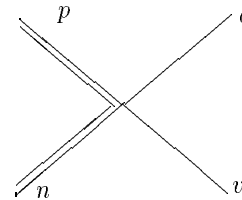
شکل ۱.

در این شکل، خط صاف علامت جریان الکتریکی است (مثلاً از آن الکترون  $e$ )، و خط موج علامت فوتون  $\gamma$ . به این زبان نیروی میان دو ذره باردار، مثلاً یک الکترون با یک پروتون، را می‌توان به‌صورت شکل ۲ نمایش داد.



شکل ۲.

مطالعات آزمایشی و نظری دهه‌های ۱۹۳۰ تا ۱۹۵۰ نیز روشن کرده بود که برهم‌کنش‌های هسته‌ای ضعیف را می‌توان با نمودار فاینمن شکل ۳ نشان داد.



شکل ۳.

در اینجا  $e$ ،  $p$ ،  $n$  و  $\nu$  به ترتیب نشانه‌های الکترون، پروتون، نوترون، و نوترینو هستند.

با کمی دقت معلوم می‌شود که فرق دو نمودار ۲ و ۳ در دو چیز است: اولاً بار الکتریکی در هنگام برهم‌کنش تغییر می‌کند - مثلاً پروتون  $p$  و نوترون  $n$  بار متفاوتی دارند و الکترون  $e$  و نوترینوی  $\nu$  هم همین‌طور. مهم‌تر از آن اینکه در شکل ۳ از فوتون یا مشابه آن خبری نیست.

خیلی زود به فکر نظریه پردازان فیزیک رسید که شاید به دلیل بُرد کم نیروی هسته‌ای ضعیف، در اینجا هم یک نوع «فوتون» - سنگین  $W$  (مبادله می‌شود) که به خاطر سنگینی آن مشاهده نشده است.

اکنون ما می‌دانیم این حدس درست است، ولی در ابتدا مشکلات نظریه میدانهای کوانتومی این حدس را در حد حدس نگه داشت و اجازه نداد تبدیل به یک نظریه تمام و کامل شود. قضیه از این قرار است که در محاسبات میدانهای کوانتومی تقریباً همیشه انتگرالهای مربوط به یک واکنش فیزیکی واقعی واگرا می‌شوند و نظریه، مگر در مواردی خاص، بی‌معنا می‌شود؛ نظریه کوانتومی الکترومغناطیسی از این موارد است، و جایگزینی «فوتون سنگین» -  $W$  به جای فوتون بی‌جرم  $\gamma$  از این موارد نیست. پس اگر  $W$  جرم نداشت مسأله واگرایی انتگرالها حل می‌شد و از طرف دیگر یک تقارن بسیار زیبا ظاهر می‌شد - درست مثل تقارن لورنتس در مورد میدانهای  $E$  و  $B$ . منتها در اینجا این تبدیلات از نوع لورنتس نیستند بلکه بیشتر شبیه تبدیلات دوران در فضای سه‌بعدی اند که  $\gamma$  و  $W^+$  و  $W^-$  در حکم سه مؤلفه یک بردار سه‌بعدی اند؛ پس اگر چنین تقارن دورانی‌ای میان این سه ذره بی‌جرم وجود داشته باشد، انگار که نیروهای الکترومغناطیسی و ضعیف هسته‌ای قابل تبدیل به هم‌اند، به این ترتیب که ذرات فوتون  $\gamma$  و فوتونهای سنگین  $W^+$  و  $W^-$  سه مؤلفه یک موجود واحد می‌شوند که می‌توان مثلاً آن را به‌صورت بردار  $\vec{W}$  نشان داد. منتها حالا دیگر این دوران ما دوران در مکان سه‌بعدی معمولی نیست بلکه دوران سه‌بعدی در یک دنیای فرضی اصطلاحاً «داخلی» است.

همان‌طور که گفتیم، این تصویر زیبای نیروهای وحدت داده‌شده الکترومغناطیسی و هسته‌ای ضعیف دو نقص داشت: یکی اینکه  $W$ ها جرم دارند، و دیگر اینکه نظریه میدان با  $W$ ی جرم‌دار بیمار است و انتگرالهایش واگرا. هر دو مشکل با یک پیشنهاد جسورانه که از پدیده‌های دنیای فیزیکی در ابعاد بزرگ و به‌ویژه از فیزیک ماده چگال الهام گرفته بود برطرف شد: این پدیده‌ای شناخته‌شده است که وقتی یک مایع که از تقارن دورانی برخوردار است بر اثر برودت به بلور تبدیل شود تقارنش را از دست می‌دهد - مانند آب و تبدیل آن به یخ و برف و غیره. خوب؛ حالا اگر در یک دنیای ابتدایی جرم  $W$ ها صفر باشد و تقارن دورانی داخلی مربوط صادق باشد و نظریه سالم باشد، دنیای فعلی نتیجه یک سرمای شدید است که حاصلش شکستن تقارن دورانی ابتدایی و جرم‌گرفتن فوتونهای  $W^+$  و  $W^-$  می‌باشد، و همه چیز درست در می‌آید.

این، به اختصار، داستانی است که رخ داد. آزمایشی این پیشنهاد جسورانه و تبعات آن را به محک زد و تأیید کرد. حاصل کار دو جایزه نوبل فیزیک بود: در ۱۹۷۹ برای گلاشو و واینبرگ و عبدالسلام، و در ۱۹۸۳ برای کارلو روبیا (Carlo Rubbia) و سیمون وان در میر (Simon van der Meer) برای کشف  $W$ ها.

در شکل فعلی نظریه الکتروضعیف نحوه شکستن تقارن دورانی داخلی مذکور از طریق جهت‌گیری ذره مادی دیگری است به نام هیگز (به‌خاطر دانشمندی انگلیسی) که شتاب‌دهنده‌های بزرگ دنیا در جستجوی آن هستند. به‌علاوه، به‌خاطر ظرافتی که خارج از حوصله این بحث است، تقارن نظریه الکتروضعیف قدری بیشتر از دوران فوق‌الذکر است؛ این باعث یک نوع



تا کی فرزندان با استعداد این آب و خاک‌ها را باید تحویل داد به آن طرف‌ها و از دور پس از مرگشان فاتحه خواند: یک نسل دیگر؟ دو نسل؟ یک قرن دیگر؟ دو قرن؟ تا کی؟

در جایی دیگر در همین صفحات من مثال سه مرکز تحقیقات موفق دنیا — پرینستن، لاندائو، و تاتل — و زندگی سه دانشمند طراز اول آنها — ویتن، پولیاکف، و سین — را آوردم. بعد جوانان با استعداد جوای علم فیزیکمان را مقایسه کردم با این سه بزرگ‌مرد. امیدیهایی ما به همان خوبی‌اند، و بعد ما رهایشان می‌کنیم به حال خود که یا بمانند و با بی‌مهریمان بسازند، و یا بروند و سعی کنند در آنجاها عبدالسلام شوند. گفتم که آن قدرها هم مشکل نیست که ما فضایی بسازیم که این نهالها را در آن نشو و نما دهیم و شاهد ویتن‌ها، پولیاکف‌ها، سن‌ها، و بالاخره عبدالسلام‌های ایرانی در داخل ایران باشیم. فقط همت لازم است.

والسلام.

فوتون دیگر به نام  $Z$  می‌شود که به دلیل شکست تقارن دارای جرم است. این ذره نیز کشف شده است.

در این سالها شتاب دهنده‌های بزرگ جهان در اروپا و آمریکا در جستجوی ذره هیگز هستند. در کار آشکارسازی جفتهای «فوتون»های سنگین  $Z$  و  $W$  و مطالعهٔ برهمکنش‌های میانشان‌اند، در پی یافتن همزادهای ابرتقارنی ذرات متعارف‌اند، و در دنیای فیزیک به‌طور کلی در پی کشف وحدت بزرگتری میان هر چهار نیروی الکترومغناطی و ثقل‌اند. دهه‌های آینده شاهد کشفیات جدید در این حیطة خواهد بود و دانشمندانی چون عبدالسلام از دنیای در حال توسعه به اروپا و آمریکا مهاجرت خواهند کرد و نامشان در میان این کاشفان خواهد آمد. عبدالسلام را پاکستان نتوانست در مراحل نهایی دانشگاه آموزش دهد و نتوانست در دل خود نگاه دارد؛ این داستان غم‌انگیز فقط در مورد پاکستان نیست و همهٔ ما را پوشاست.

## سخنرانیهای گریگورچوک در مرکز

### توابع رشد کامل گروههای هذلولوی

نظریهٔ توابع رشد گروههای متناهی‌تولیدشده را جان میلنر ابداع کرده است. این نظریه کاربردهای فراوانی دارد.

دانستن این مطلب مهم است که تابع رشد گروه داده‌شده‌ای تحت چه شرایطی گویاست. یکی از روشهای نیرومند اثبات گویا بودن این تابع و محاسبهٔ آن مبتنی بر ایدهٔ استفاده از دستگاههای بازنویسی است. در ریاضیات اخیراً مفاهیم تابع رشد کامل و تابع رشد عملگری معرفی شده‌اند؛ این توابع نسبت به توابع معمولی رشد حاوی اطلاعات بسیار بیشتری در مورد گروه هستند.

در این سخنرانی در بارهٔ گویا بودن تابع رشد کامل گروههای هذلولوی بحث می‌شود و روش محاسبهٔ تابع رشد کامل گروه رویه — که مبتنی بر روش استفاده از کلمات ممنوعه است — توصیف می‌شود. مسائل مربوط به همگرایی سری رشد عملگری گروهها نیز بررسی می‌شود.

### اتوماتون و گروه

در نظریهٔ گروهها اتوماتونها کاربردهای متنوعی دارند.

فرض می‌کنیم  $G$  یک گروه و  $A$  مجموعه‌ای متناهی باشد.

۱. طبقه‌بندی مسئله کلمه. فرض می‌کنیم  $A$  یک مولد  $G$  باشد، و زبان مسئله کلمه  $W(G)$  را روی  $A$  در نظر می‌گیریم. مسئله کلمه  $G$  منظم یا مستقل از متن یا حساس به متن یا ... نامیده می‌شود اگر  $W(G)$  چنین باشد.

روستیسلاو ایوانویچ گریگورچوک، استاد مؤسسهٔ ریاضی استکف در روسیه، به دعوت دکتر محمد جلوداری ممقانی، استادیار دانشگاه علامه طباطبائی، و از محل تک‌پروژهٔ ایشان در روزهای بیست و پنجم مهر و دوم و سوم آبان امسال در مرکز سخنرانی کرد. اخبار از راهنماییهای دکتر ممقانی در ترجمهٔ خلاصهٔ این سخنرانیها سپاسگزار است.

### در بارهٔ مسائلی از فون نویمان، دی، و میلنر، و سؤالات دیگری در نظریهٔ مجانبی گروهها

در این سخنرانی در بارهٔ رهیافتهای فون نویمان و دی به مسئلهٔ توصیف ردهٔ  $AG$  — ردهٔ گروههای رام (amenable) — بحث می‌شود.

مسئلهٔ فون نویمان این است: آیا  $AG$  با ردهٔ  $NF$  — متشکل از گروههای فاقد زیرگروههایی آزاد با دو مولد — برابر است؟ مسئلهٔ دی این است که آیا  $AG=EG$ ؟ در اینجا  $EG$  ردهٔ همهٔ گروههای رام مقدماتی است، یعنی کوچکترین رده‌ای از گروهها که حاوی گروههای جابه‌جایی و متناهی است و تحت توسیع و حد مستقیم بسته است.

تاریخچه‌ای از حل این مسائل عرضه خواهد شد. سخنران مسئلهٔ دی را در ۱۹۸۳ با پاسخ منفی حل کرده است؛ راه حل مبتنی است بر پاسخ مسئلهٔ میلنر در مورد رشد گروهها.

پس از حل این مسائل، به‌طور طبیعی این سؤال مطرح شد که آیا این احکام در مورد گروههای متناهی‌نمایش داده‌شده درست است یا نه. سخنران مسئلهٔ دی را در مورد این رده از گروهها حل کرده است، و در انتظار پاسخ مسائل فون نویمان و میلنر است.