

# فیلز بور



فیلز بور که در تاریخ ۷ اکتبر ۱۸۸۵ در کپنهاگ دینیه به جهان گشود یکی از مهمترین دانشمندان قرن بیستم به شمار می‌رود. او قبل از جنگ جهانی اول و با استفاده از نظریه کوانتم توانست اولین تصویر دقیق و موفق از چگونگی عملکرد اتم‌ها را بسازد. او در دهه بیست از این تصویر برای توضیح جدول تناوبی عناصر استفاده کرد. بور پس از آن پیشرفت‌های جدید و انقلابی، نظریه کوانتم را به سنگ بنای فیزیک مدرن تبدیل کرد. بسور نقش مؤثری نیز در تفسیر فیزیک کوانتمی به عهده داشت و تفسیر کپنهاگ که هنوز هم پایه و اساس ترجمان نظریه کوانتم به زبان روزمره می‌باشد یادگار آن دوره است. وی در پروژه مانهاتان یعنی ساخت اولین بمب اتمی شرکت داشت. اما در دهه پنجاه سعی کرد تا کنترل سلاح‌های اتمی را به دست آورد و تلاش‌های او در جهت تسرویح استفاده‌های صلح‌آمیز از انرژی اتمی باعث شد تا اولین جایزه اتم در خدمت صلح ایالات متحده در سال ۱۹۵۷ نصیب وی شود.

بور در خانواده‌ای روشنفکر و تحصیل کرده پرورش یافت. پدرش، کریستیان بور، استاد فیزیک‌پولوزی دانشگاه کپنهاگ بود؛ برادر کوچکتر و دوست تمام عمرش، هارالد ریاضیدانی برجسته بشمار می‌رفت؛ و پسرش، آنگ، راه پدر را در پیش گرفت و همانند وی رئیس مؤسسه فیزیک نظری و برنده جایزه نوبل در رشته فیزیک شد.

فیلز بور در نخستین سالهای فعالیت‌های علمی خود بیش از آنکه استعدادهای درخشان بروز دهد، دقت نظر و باریک‌بینی خود را ظاهر کرده، این مسئله را بخصوص می‌توان در اندازه‌گیری مشکل و طاقت‌فرسای کشش سطحی آب در سال ۱۹۰۶ و سپس تجزیه و تحلیل حرکات الکترون‌های فلزات، پروژه‌ای که به‌خاطر آن در سال ۱۹۱۱ به افتخار دریافت درجه دکترا نایل آمد، مشاهده کرد. پس از تکمیل این کار و سپس عزیمت به کمبریج و بعد در ماه مارس ۱۹۱۲ به دانشگاه منچستر بود که بور آنچه را که بعدها ویژگی خاص پرخورد او با مسایل علمی را تشکیل می‌داد، به منصف ظهور رسانید.

نبوغ خاص او، که در آن عصر تنها لازمه پیشرفت در فیزیک اتمی به شمار می‌رفت، عبارت بود از اشتیاق بور به سرهم کردن عقاید مختلف از منابع مختلف و تشکیل «مدلی» تخیلی از اتم (گروهی از مساعدلات و نه‌اویس فیزیکی) که حداقل در خطوط کلی با آنچه از مشاهدات عملی در مورد کارکرد واقعی اتم به دست آمده بود هماهنگی و مطابقت داشت. زمانی که بور ایده‌ای کلی از آنچه جریان داشت به دست می‌آورد می‌توانست با استفاده از نظریه‌های مختلف اجزاء را به نحو مناسب‌تری با هم جور کند و به سمت ایجاد تصویر کاملی به پیش برود. با توجه به اطلاعات ناقص و ناگافی فیزیک‌دانان در مورد اتم این تنها طریقی بود که می‌توانست در دهه دوم قرن بیستم کاربرد داشته باشد.

الکترون که ما در حال حاضر می‌دانیم جزئی از اتم را

فیلز بور (سمت راست) به همراه اینشتین در پرو کمبل، به سال ۱۹۳۰. اینشتین اعتقاد داشت که قوانینی بر جهان حاکم است که از الکترون تا سیارات را در برمی‌گیرد و تا آخر عمر نیز علاقه‌ای به پذیرفتن نظریه کوانتم نداشت که می‌گوید حرکات دقیق یک الکترون تنها را نمی‌توان پیش‌بینی کرد. او یکبار اظهار داشت «خداوند زیرک است اما پسند اندیش نیست.» و در زمانی دیگر گفته بود «خداوند با طاس بازی نمی‌کند.» که گفته می‌شود بور در پاسخ به وی گفته است «برای خدا تعیین تکلیف نکن.»

میلیمتر را در نظر بگیرید که در مرکز گنبد کلیسای سنت پتر (به قطر ۳۵ متر) قرار دارد و به وسیله ابری از ذرات میکروسکوپی گرد و خاک که در داخل گنبد پراکنده هستند در بر گرفته شده باشند. سرسوزن نماینده هسته و ذرات غبار نماینده الکترون‌ها هستند. اتم‌ها عمدتاً شامل فضاهایی خالی هستند.

اما در ابتدای سال ۱۹۱۲، تصویر راتر فورد از اتم هنوز جای بحث و مجادله فراوان داشت. بخصوص با توجه به این مطلب که بارهای متضاد الکتریکی یکدیگر را جذب می‌کنند. فیزیکدانان نمی‌توانستند این مسئله را توضیح دهند که چرا الکترون‌های هر اتمی بلافاصله به داخل هسته کشیده نمی‌شود و در طی این روند مقداری انرژی (تشنج) آزاد نمی‌کنند. این جا بود که بسور به صحنه آمد و طبیعتاً به علت علاقه فزاینده‌اش به معمای اتمی به سمت منچستر و کار با گروه راتر فورد کشیده شد. ساده‌ترین تصویر اتم که در نتیجه فعالیت‌های راتر فورد ترسیم شد چیزی شبیه منظومه شمسی بود که در آن هسته اتم در قلب منظومه و در جای خورشید قرار می‌گرفت و الکترون‌هایی که به دور آن در گردش بودند، در جای سیارات قرار می‌گرفتند. این تصویر بسیار ساده فکراته بود، اما به هر حال اولین گام به سمت شناخت اتم محسوب می‌شد. تمام اطلاعات و دانسته‌های فیزیکدانان در مورد ذرات باردار مدار اتم به آنها می‌گفت که این ذرات می‌باید انرژی الکترو مغناطیسی (نور، اشعه ایکس

تشکیل می‌دهد، در سال ۱۸۸۷ کشف شده بود و تا سال ۱۹۱۱ طول کشید تا اینکه فیزیکدان نیرزیلندی ارنست راتر فورد (۱۸۷۱-۱۹۳۷) بر اساس آزمایش‌هایی که در منچستر به عمل آورد اعلام کند که هر اتمی می‌باید دارای هسته کوچکی باشد که تمامی بار مثبت و جرم اتمی در آن متمرکز شده، در حالیکه الکترون‌ها ابری از ذرات دارای بار منفی را تشکیل می‌دهند که گرد هسته را فرا گرفته‌اند. آزمایش‌های بعدی نشان دادند که نظریات او صحیح بوده‌اند - هسته فقط یک صدهزارم اندازه اتم را تشکیل می‌دهد. به عنوان نمونه هسته‌ای به قطر  $10^{-13}$  سانتیمتر در میان ابر الکترونی به قطر  $10^{-8}$  سانتیمتر جای می‌گیرد. برای درک بهتر این اعداد، سرسوزنی به قطر تقریبی یک

# نابغه عملگرا

نوشته جان گریبین

یا امواج رادیویی) ساطع کرده و به صورت ساریچی به سمت داخل حرکت کنند. پس اشتباه فاحشی در مدل وجود داشت. بور مشکل را حل کرد. او نظریات کاملاً متفاوتی از جریانات فیزیک آن روز را برگزید و روی مدل اتمی راترفورد پیاده کرد.

این نظریه که از آثار ماکس پلانک فیزیکدان آلمانی (۱۸۵۸ - ۱۹۴۷) در آغاز قرن جدید ناشی می‌شد عبارت از این بود که تشعشعات الکترومغناطیسی (نور یا سایر اشکال آن) فقط به وسیله اتمی که دارای واحدهای مجزا باشد انتشار می‌یابد یا جذب می‌شود. این واحدهای مجزا را کوانتم می‌نامند. دستگاه خودکار توزیع کننده اسکاس در پانک من در لندن نیز تقریباً به صورت مشابهی عمل می‌کند. این دستگاه فقط بر اساس واحد پنج پوندی پول در اختیار من می‌گذازد. یعنی من می‌توانم بیست پوند یا چهل و پنج پوند پول دریافت کنم. اما نمی‌توانم یک پوند یا ۳۷ پوند از آن بگیرم. بور اظهار داشت که الکترون‌های «در گردش» به دور هسته اتم نمی‌توانند به صورت ساریچی به سمت داخل حرکت کنند چون در این صورت ناچارند به طور مداوم انرژی ساطع کنند. نظریه کوانتم می‌گوید که آنها فقط مقدار معینی انرژی می‌توانند آزاد کنند و برای ابتکار الکترون می‌باید به صورت «همزمان» از یک مدار به مدار دیگر «پایه» دست مانند آنکه سربخ ناگهان به مدار زمین بجهد. بور عنوان می‌کند که مدارات ثابتی بر حسب میزان ثابت انرژی وجود دارند که می‌توان آنها را به پله‌های یک نردبان تشبیه کرد. اما چیزی میان دو مدار موجود نیست و الکترون نمی‌تواند حرکت حلزونی به سمت هسته داشته باشد. زیرا ایسن عمل مستلزم تشعشع مقادیر جزئی انرژی است.

نیلز بور عادت داشت که در شروع درس به شاگردان بگوید «هر جمله‌ای را که من می‌گویم نباید به عنوان یک جمله خبری بلکه به عنوان یک جمله سئوالی در نظر بگیرید» در عکس زیر او را در سال ۱۹۲۶، در انستیتوی نیلز بور بوئر، کپنهاگ، در حال صحبت با دو نفر دیگر از برندگان جایزه نوبل در رشته فیزیک یعنی ورنر هایزنبرگ (وسط) و ولفگانگ پائولی (سمت راست) مشاهده می‌کنید.

اما آنچه بور مطرح می‌کرد ظاهراً عملی نبود. کسل نظریه مدار بر اساس فیزیک کلاسیک، قوانین نیوتن عمل می‌کند. نظریه سوقیت الکترون بر حسب میزان ثابت انرژی (که بعدها به سطوح انرژی معروف شد) از نظریه کوانتم سرچشمه می‌گیرد. مدلی که نیلز بور از کنار هم گذاشتن قسطمانی از نظریات مختلف ساخته پرسود نمی‌توانست به این سؤال که اتم چگونه کار می‌کند پاسخ بدهد. اما بهر حال نقطه شروعی بود برای پیشرفت‌های بور طی ده سال بعد.

پیشرفت‌های بور در کپنهاگ ادامه یافت. مقامات برای تشویق بور به بازگشت انستیتوی جدیدی ایجاد کردند و در سال ۱۹۲۰ بور به ریاست مؤسسه برگزیده شد و آن را به یکی از بزرگترین مراکز علمی و محل گرد همایی فیزیکدانان نظری سراسر جهان و تبادل آراء عقاید در مورد اسرار کوانتم و اتم تبدیل کرد. در اوایل دهه بیست بور به بزرگترین موفقیت فردی خود دست یافت و توانست نظریه اتمی خود را که حداقل به صورتی کلی علم شیمی را توضیح می‌داد ارائه کند.

دانشمند سیریلی دیمتری مندلیف (۱۸۰۷ - ۱۸۸۲) در دهه شصت قرن نوزدهم توانست طبقه‌بندی عناصر را به انعام برساند. او نشان داد که عناصر را می‌توان بر حسب افزایش وزن اتمیشان در جدولی طبقه‌بندی کرد. به صورتی که عناصری با خواص مشابه در ستون‌های جدول و زیر یکدیگر قرار گیرند. اما برای این موضوع که چرا عناصری با جرم اتمی کاملاً متفاوت دارای خواص شیمیایی مشابهی هستند توضیحی وجود نداشت. تا آنکه بور نظریه اتمی خود را در سال‌های پس از جنگ جهانی اول تکمیل کرد. برای بور و معاصرینش کاملاً روشن بود که خواص شیمیایی عناصر تقریباً به طور کامل به تعداد الکترون‌های آنها بستگی دارد و اینها به تعداد پروتون‌ها (ذراتی با بار مثبت) و در نتیجه به جرم اتمی مربوط می‌شود. اما الکترون‌ها خود چه‌ر اتمی هستند که اتم به جهان نشان می‌دهد. دست‌هایی که بوسیله آنها اتم‌ها با یکدیگر به تبادل می‌پردازند. پس چرا اتم لیتیم که سه الکترون دارد، می‌باید از لحاظ شیمیایی با اتم سدیم و پتاسیم که به ترتیب یازده و نوزده اتم دارند مشابهت داشته باشند؟ یک بار دیگر بور بدون آنکه منتظر شود تا فیزیک پایه برای این مشکل پاسخی بیابد مدل فرضی اتم را تهیه

کرد تا بتواند این مشاهدات را توضیح دهد.

«مدار اتم الکترون‌های هر اتم را می‌باید مسافت پوسته‌های پیاپی که یکی در داخل دیگری قرار گرفته فرض کرد نه مانند مدار سیاراتی که به دور خورشید می‌گردند. در حقیقت بور عنوان می‌کرد که درونی‌ترین مدار پسا پوسته فقط جای دو الکترون را دارد. او به هیچ وجه در مورد اینکه چرا این مدار چنین است نگرانی به خود راه نداد؛ بلکه این محدودیت را از آن جهت برگزید که مطابق مشاهدات الگوی خواص شیمیایی عناصر باشد. دومین لایه ظرفیت هشت الکترون دارد. پس اتمی که برای مثال شش پروتون در هسته خود دارد برای آنکه بتواند از نظر الکترونی خنثی باشد احتیاج به شش الکترون دارد و آنها را به نحوی تقسیم می‌کند که دو الکترون در لایه اول و چهار الکترون در لایه دوم قرار بگیرند. اما اتمی با یازده الکترون (سدیم) دو الکترون را در لایه اول، هشت تا را در لایه دوم که لایه اشباع شده می‌باشد و بالاخره مابقی را در لایه جدیدی قرار می‌دهد. این الگو مشابهت فراوانی با الگوی لیتیم دارد که دارای دو الکترون در لایه داخلی و فقط یکی در لایه دوم است. اگر پتاسیم را هم در نظر بگیریم که دارای سه لایه اشباع شده (دو، هشت، و هشت الکترون در لایه‌ها) و یک الکترون تک در لایه چهارم است. بر تصویر فوق منطبق است.

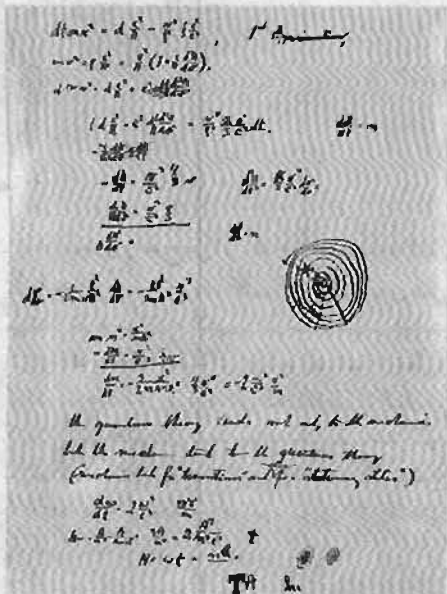
مسئله اساسی در شیمی در وهله نخست، تعداد الکترون‌های لایه خارجی است. بور کار خود را با اتم‌های سنگینتر و تعداد الکترون بیشتر ادامه داد و توانست رابطه میان عناصر جدول تناوبی مندلیف را بر حسب ساختمان

نیلز بور (سمت چپ) در بیک نیکی کنار رودخانه، در سال ۱۹۲۳ که پشت به پشت ارنست راترفورد ننسته است. در این زمان او برای دریافت دکترای افتخاری در علوم به کمبریج رفته بود. در سال ۱۹۱۱، راترفورد با اعلام نظریه هسته‌ای اتم (به مقاله مراجعه کنید) بزرگترین خدمت را به علوم ایفا کرد. در هنگام کارها راترفورد در دانشگاه منچستر بود که نیلز بور مفاهیم نظری مدل هسته‌ای اتم را پروراند و آن را با نظریه کوانتم فیزیکدان آلمانی ماکس پلانک در هم آمیخت.



اتمی آنها توضیح دهد، او اگر چه هیچ ایده‌ای نداشت که چرا لایه‌های را که دارای هشت الکترون است می‌ساید «اشباع شده» دانست، اما بهر حال از این اصل استفاده کرد و چگونگی ترکیب اتم‌ها با یکدیگر را مشخص کرد. بور توانست هیچ اصلی را از نظر ریاضی اثبات نکند - او فقط می‌دانست که می‌باید این چنین باشد. اینشتین در یادداشت‌های زندگی نامه خود که در سال ۱۹۴۹ به چاپ رسید در مورد بور و نظریه کوانتم چنین نوشته است «اینکه چنین منبای نامطمئن و پرتناقضی بتواند سردی مانند بور را که از غریزه و نبوغ بی‌همانندی برخوردار است قادر سازد تا قوانین اصلی خطوط طیفی و لایه‌های الکترونی اتم‌ها را که دارای اهمیت فراوانی برای علم شیمی هستند کشف کند، تا به امروز هم برای من به صورت یک معجزه باقی مانده است.»

در سال ۱۹۲۷، جایزه نوبل در رشته فیزیک به بور اعطا شد؛ در همان سال عنصر ناشناخته‌ای که وجودش بر اساس تئوری اتمی بور پیش‌بینی شده بود، کشف شد و بنام هفنیوم نامگذاری شد. اما تا سال‌های ۱۹۲۶ و ۱۹۲۷ طول کشید تا فیزیکدانان بالاخره توانستند این نظریه را بر پایه‌های مطمئن‌تری استوار دارند و قوانینی را کشف کنند که مشخص می‌کرد چرا الکترون‌ها بدینگونه عمل می‌کنند چرا تعداد الکترون‌های هر لایه محدود است. تکمیل فرضیه کوانتم مفاهیمی را مطرح ساخت که هنوز هم عجیب و نامأنوس جلوه می‌کند. دیگر نمی‌توان الکترون را ذره‌ای خرد تصور کرد، چون الکترون ماهیتی است که می‌تواند در آن واحد هم موج و هم ذره باشد. هر گونه آزمایشی برای پیدا کردن ذره مسلماً نشان می‌دهد که الکترون مثل یک ذره عمل می‌کند - اما اگر آزمایشی برای اندازه‌گیری خواص موجی آن ترتیب دهید، الکترون درست مانند امواج عمل خواهد کرد. «واقعاً» قضیه از چه قرار است؟



این سند که دست خط نیلز بور می‌باشد، محاسبه‌ای است در مورد آهنگ تفسیر شعاع و تواتر یک الکترون که در یک دایره حرکت می‌کند.

در اواخر دهه بیست فیزیکدانان نظریه کاملی در دست داشتند. یک رشته معادلات قائم بالذات که عملکرد اتم‌ها، الکترون‌ها و تشعشعات را مشخص می‌کرد. مشکل عمده این بود که این نظریه بی‌معنی می‌نمود. بار دیگر بور به کمک آمد. او معتقد بود که احتیاجی نیست که این نظریه معنی داشته باشد. تنها چیزی که در دست است نتایج آزمایشها است، و تا زمانی که بتوانیم پیش‌بینی کنیم که نتیجه آزمایش چه خواهد شد، دیگر لازم نیست نگران باشیم که ذرات (یا امواج) زمانی که ما به آنها نمی‌نگریم چه می‌کنند. البته این ساده کردن فلسفه‌ای است که بنام «تفسیر کپ‌ماک» شناخته شده و در مورد نظریه کوانتم بحث می‌کند، اما مختصر و ساده.

به مدت بیش از نیم قرن پس از آسوزشهای بور، فیزیکدانان‌ها از نظریه کوانتم برای توضیح رفتار مولکول‌ها که شامل مولکول‌های زیست‌شناختی مانند DNA نیز می‌شود، طرح ایستگاه‌های انرژی اتمی (و بمبها)، ساخت کامپیوترهای حالت جامد، ساعت‌های رقمی و لیزر استفاده می‌کنند. تا به امروز هیچکس «نمی‌داند» ذرات دنیای کوانتمی واقعاً چه شکلی دارند، و زمانی که تحت کنترل آزمایشهای ما نیستند چه «می‌کنند». اما تمام آزمایشهایی که در طی نیم قرن گذشته انجام شده‌اند نتایجی به بار آورده‌اند که مطابق پیش‌بینی‌های نظریه کوانتم بوده است.

بزرگترین پیروزی بور را بدون شک توضیحاتش در مورد جدول تناوبی عناصر تشکیل می‌دهند؛ و برخورد عملگر ایانه او در مورد تناقضات نظریه کوانتم که می‌گوید تا زمانی که این نظریه درست عمل می‌کند چندان مهم نیست که بدانیم چرا مؤثر واقع می‌شود، نسلی از محققان را تحت تأثیر قرار داده و هم‌چنان نیز دانشمندان زیادی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. اما حتی بعد از دهه بیست هم وی به عنوان یکی از نخستین پیشنهادکنندگان تأسیس مرکز تحقیقات هسته‌ای در اروپا (سرن) در سال ۱۹۵۲ خدمات شایانی به خصوص به درک شکافت هسته‌ای کرده است. وی به تاریخ ۱۸ نوامبر ۱۹۶۲، چند هفته پس از هفتاد و هفتمین سال تولدش، در شهر کپنهاگ و در آرامش کامل دیده از جهان فرویست.

جان گریپین فیزیکدان قضایی و نویسنده علوم انگلیسی، عضو سابق واحد تحقیقات سیاست‌های علمی دانشگاه ساسکس، انگلستان و مشاور فیزیک مجله نیوساینسیت، او کتاب‌های فراوانی در مورد نجوم، ژئوفیزیک و تئوریات جوی نوشته است. آخرین کتاب او بنام در جستجوی گربه شرو وینگر (۱۹۸۴) به بحث در مورد پیشرفت فیزیک کوانتمی می‌پردازد.

## نیروانای هسته‌ای

نیروی الکتریکی در کنار یکدیگر باقی می‌مانند. بلورهای پلمست آمده همان نمک معمولی است که ما روی غذایمان می‌پاشیم. از طریق دیگری نیز می‌توان به این نتیجه رسید. یک جفت الکترون می‌تواند مابین دو اتم مشترک باشند و بدینوسیله پیوندی شیمیایی به وجود آورند. برای مثال می‌توان از ترکیب هیدروژن و کربن برای تشکیل متان نام برد. هر اتم کربن «محتاج» چهار الکترون دیگر است تا مدار خارجی خود را تکمیل کند؛ هر اتم هیدروژن نیازمند فقط یک عدد الکترون است تا تنها مدار خود یعنی مدار داخلی را که صرفاً دو الکترون می‌گیرد، اشباع کند. پس چهار اتم هیدروژن طوری دور یک اتم کربن قرار می‌گیرند که در هفت الکترون شریک می‌شوند و هر اتم به شکلی خیالی در موقعیت دلخواه، یعنی دارای مدارای با الکترون‌های اشباع شده بر گرد آن، قرار می‌گیرد.

بناباه دلایلی اتم‌ها همیشه در جستجوی وضعیتی هستند که آخرین مواد خارجی خود را به صورت بسته یا اشباع درآورند. برای اتمی مانند سدیم ساده‌ترین راه رسیدن به این وضعیت از اد کردن آخرین الکترون خارجی خود است و در نتیجه مدار قبلی را که هشت الکترون دارد و بسته است بدون هر گونه پوشش خارجی باقی می‌گذارد. برای اتمی مانند کلسیم که در مدار خارجی خود هشت الکترون دارد، ساده‌ترین راه دست‌یابی به نیروانای شیمیایی یافتن یک الکترون و اضافه کردن آن به مجموعه خریدن است. پس سدیم و کلسیم مشتاقانه نسبت به یکدیگر عکس‌العمل نشان می‌دهند. هر اتم سدیم یک الکترون از دست می‌دهد و دارای باری مثبت می‌شود با هر اتم کلسیم یک الکترون به دست می‌آورد و دارای باری منفی می‌شود. اتم‌های باردار (یون‌ها) خود را به صورت بلوری متشکل آرایش می‌دهند و به‌وسیله

