

درسه که از کشف نوترون می آموزیم

محمدرضا خوش بین خوش نظر

کارشناس گروه فیزیک دفتر برنامه ریزی و تألیف کتاب های درسی

اشاره

در بسیاری از کتاب های درسی وجود نوترون بدیهی شمرده شده است. برای نمونه در کتاب مبانی فیزیک [۱]، در بخش فیزیک هسته ای پس از شرح آزمایش معروف رادرفورد - که به ردّ نظریه کیک کشمشی تامسون انجامید - به سادگی گفته می شود که هسته اتم از پروتون و نوترون ساخته شده است. در کتاب فیزیک پیش دانشگاهی [۲] نیز چنین آمده است: «در زمان کشف هسته اتم، تنها ذره های زیراتمی شناخته شده، الکترون و هسته هیدروژن معمولی (پروتون) بودند. بعدها با کشف نوترون معلوم شد که هسته، از پروتون و نوترون ساخته شده است.»

به هر حال، نوترون تا سال ۱۹۳۲ کشف نشده بود و تاریخچه کشف آن، از هر دو دیدگاه تاریخی و علمی، شامل نکته های جالبی است که باید مورد بررسی قرار گیرد.

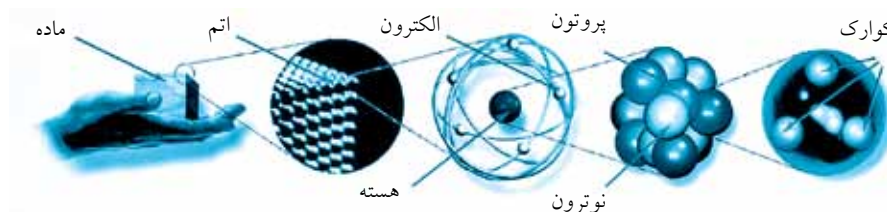
مقدمه

شاید جنبه های علمی و تحلیلی کشف نوترون بیشتر مناسب درس فیزیک هسته ای و مورد توجه دانشجویان رشته های فیزیک و شیمی به نظر برسد اما جنبه تاریخی آن می تواند هم برای معلمان فیزیک و شیمی و هم برای دانش آموزان جالب باشد.

در کتاب های فیزیک پایه نگاه سرسری به نوترون و نادیده گرفتن کشف آن تاحدودی پذیرفتنی است اما اینکه در درس فیزیک هسته ای دانشجویان رشته فیزیک نیز پرداختن به چگونگی کشف نوترون نادیده گرفته می شود، قابل پذیرش نیست. برای نمونه، در کتاب مایهوف پس از یک مقدمه بسیار کوتاه درباره ساختار اتم، برخی واژه های هسته ای مانند نوکلئون، نوکلئید، ایزوتوپ، ایزوتون و... تعریف می شوند و مدرس نیز ناگزیر به پیروی از آن در تدریس است. [۳]

بررسی کتاب شیمی (۲) و آزمایشگاه دوره متوسطه نیز - که در آن به کشف نوترون اشاره شده است - اطلاعات بیشتری را دربر نمی گیرد اما حسن آن این است که دست کم عنوان می کند این رادرفورد بود که برای نخستین بار از وجود ذره ای به جز پروتون در هسته اتم سخن گفت. [۴]

کلیدواژه ها: نوترون، فرمیون، بوزون، پایستگی انرژی، پایستگی تکانه، تاریخ علم



شاگردش، جیمز چادویک، هم در میان گذاشت. در واقع، چنین پرسشی نمی تواند دور از ذهن باشد؛ زیرا می دانیم در جریان واپاشی بتا، برخی از هسته ها از راه نشر الکترون دستخوش واپاشی می شوند. رادرفورد بنابر استدلال هایی

چرا الکترون در هسته اتم وجود ندارد؟

این پرسش جالب را می توان در یک کلاس فیزیک هسته ای مطرح کرد. پرسشی که در عین سادگی پاسخ آن، ذهن رادرفورد را سال ها به خود مشغول کرده بود؛ تا جایی که آن را با



ارنست رادرفورد



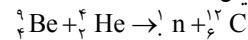
جیمز چادویک

فضایی محبوس شده باشد، با استفاده از اصل عدم قطعیت هایزنبرگ، $\Delta x \Delta p \geq \hbar/2$ ، می توان سرعت الکترون ها را محاسبه کرد. با استفاده از $\Delta x \approx 2 \times 10^{-15} \text{ m}$ به $\Delta x \geq 3 \times 10^{-10} \text{ m/s}$ می رسیم که بسیار بزرگ تر از سرعت نور است و بدین ترتیب اصل موضوع نسبیت خاص نقص می شود.

با وجود این استدلال های محکم، جامعه علمی آن روزگار در جست و جوی پشتوانه ای تجربی برای این اندیشه ها بود که در ادامه به آن می پردازیم.

تاریخچه کشف نوترون: پیامدهای آزمایشگاهی

این قسمت در واقع بخشی است که می توان آن را در کلاس های مقدماتی نیز مطرح کرد. کشف نوترون پیامد نتیجه یک واکنش هسته ای بود که در سال ۱۹۳۰ توسط والتر بوث^۱ و شاگردش اچ. بکر^۲ در بمباران بریلیم با ذرات آلفای حاصل از چشمه پلوتونیم مشاهده شد. آزمایشی که بعدها، پس از کشف نوترون، به صورت این واکنش بیان شد:



آن ها این آزمایش را با لیتیم و بور نیز انجام دادند و به تابش های پرانرژی ای رسیدند که آن ها را پرتوهای γ می پنداشتند، و نه نوترون که هنوز کشف نشده بود. در سال ۱۹۳۲ فردریک ژولیو کوری^۳ و ایرن ژولیو کوری^۴ دریافتند که وقتی این تابش بر پارافین - که دارای مقدار زیادی هیدروژن است - می تابد، پروتون هایی با انرژی حدود ۶ MeV گسیل می شوند. به هر حال، این پدیده در آغاز چیزی شبیه اثر کامپتون در نظر گرفته شد؛ یعنی به نظر می رسید پرتو γ بر اثر برخورد با پروتون پارافین، آن را به بیرون پرتاب می کند. ولی بررسی قانون های پایستگی انرژی و تکانه نشان می داد که در این صورت پرتو γ باید دارای انرژی بسیار زیادی باشد که امکان پذیر نیست. تعبیر مناسب این آزمایش ها را جیمز چادویک در سال ۱۹۳۲ مطرح کرد. او ضمن تکرار آزمایش کوری ها با ذره آلفا و بریلیم نشان

که در ادامه به آن می پردازیم، به وجود ذره ای خنثی و هم جرم با پروتون، در هسته اتم پی برد و شاید از این رو بتوان او را کاشف نظری نوترون دانست اما چنان که در کتاب شیمی (۲) هم آمده است، از آنجا که استدلال های او با شواهد آزمایشگاهی همراه نبود، مورد تأیید جامعه علمی آن زمان قرار نگرفت.

تحلیل رادرفورد

آ - مسئله اسپین

برای سادگی کار، ${}^1_0\text{n}$ را در نظر می گیریم. ذره هایی که اسپین غیر صحیح دارند، یعنی می توان مضرب فردی از $\hbar/2$ را به اسپین آن ها نسبت داد، فرمیون نامیده می شوند و از آماری معروف به آمار فرمی - دیراک پیروی می کنند. پس پروتون و الکترون هر دو فرمیون به شمار می روند. در مقابل، ذره هایی با اسپین صحیح، یا مضرب زوج از $\hbar/2$ را بوزون می نامند. این ذره ها از آمار بوز - اینشتین پیروی می کنند. بنابراین، سامانه ای که تعداد فرمیون ها در آن زوج باشد، باید بوزون در نظر گرفته شود و سامانه ای شامل تعدادی فرد از فرمیون ها را باید فرمیون در نظر گرفت. اگر وجود نوترون ها را در نیتروژن نادیده بگیریم، به فرض اینکه هسته از پروتون و الکترون ساخته شده است، باید ۱۴ پروتون و ۷ الکترون در هسته ${}^{14}_7\text{N}$ وجود داشته باشد. پس این هسته باید از $21 = 14 + 7$ فرمیون تشکیل شده باشد که در مجموع، یک سامانه فرمیونی ایجاد کند؛ در حالی که بنابر تجربه های طیف نگاری، هسته ${}^{14}_7\text{N}$ ، بوزون است.

از سوی دیگر، آزمایش نشان می دهد که اسپین کل این هسته برابر صفر است که این، برای هسته ای شامل ۲۱ فرمیون امکان پذیر نیست.

ب - اصل عدم قطعیت هایزنبرگ

این بار ذره آلفا را به عنوان نمونه در نظر بگیرید که در نوید نوترون باید از ۴ پروتون و ۲ الکترون تشکیل شده باشد. قطر ذره آلفا $2 \times 10^{-16} \text{ m}$ است. اگر الکترون در چنین

کتاب شیمی (۲) و آزمایشگاه
اطلاعات بیشتری را
در برنمی گیرد، اما حسن آن
این است که دست کم عنوان
می کند این رادرفورد بود
که برای نخستین بار از وجود
ذره ای به جز پروتون در هسته
اتم سخن گفت

رادرفورد بنابر استدلال هایی
به وجود ذره ای خنثی و هم
جرم با پروتون، در هسته اتم پی
برد و شاید از این رو بتوان او را
کاشف نظری نوترون دانست



برگ اشتراک مجله های رشد

نحوه اشتراک:

شما می توانید پس از واریز مبلغ اشتراک به شماره حساب ۳۹۶۶۲۰۰۰ بانک تجارت، شعبه سه راه آزمایش کد ۳۹۵، در وجه شرکت افست از دو روش زیر، مشترک مجله شوید:

۱. مراجعه به وبگاه مجلات رشد؛ نشانی: www.roshdmag.ir و تکمیل برگه اشتراک به همراه ثبت مشخصات فیش واریزی.

۲. ارسال اصل فیش بانکی به همراه برگ تکمیل شده اشتراک با پست سفارشی (کپی فیش را نزد خود نگه دارید).

• نام مجله های درخواستی:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

• در صورتی که قبلاً مشترک مجله بوده اید، شماره اشتراک خود را ذکر کنید:

.....

امضا:

• نشانی: تهران، صندوق پستی امور مشترکین: ۱۶۵۹۵/۱۱۱

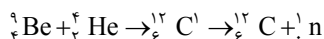
• وبگاه مجلات رشد: www.roshdmag.ir

• اشتراک مجله: ۰۲۱-۷۷۳۳۶۵۶ / ۷۷۳۳۵۱۱۰ / ۷۷۳۳۹۷۱۳-۱۴

• هزینه اشتراک یک ساله مجلات عمومی (هشت شماره): ۱۲۰۰۰۰ ریال

• هزینه اشتراک یک ساله مجلات تخصصی (چهار شماره): ۸۰۰۰۰ ریال

داد که تمام نتایج تجربی با این فرض که یک ذره بی بار، به شدت نافذ و با جرمی نزدیک به جرم پروتون گسیل می شود، سازگار است:



با توجه به پایداری انرژی و تکانه، چنین ذره ای با انرژی تقریبی ۶ MeV گسیل می شد و بر اثر برخورد رودررو با پروتون حتی می توانست تمام انرژی جنبشی خود را به آن منتقل کند و به حال سکون درآید. به این ترتیب، چادویک نظر استاد خود را تأیید کرد و در سال ۱۹۳۵ به دلیل کشف نوترون برنده جایزه نوبل در فیزیک شد. آنچه شرح داده شد، در تأیید نظر تاریخ نگارانی است که کشف نوترون توسط چادویک را اندکی ساده انگارانه می دانند. تعبیر چادویک بر وجود نوترون - برخلاف آنچه برای نمونه در کتاب شیمی (۲) آمده است - تنها حاصل طراحی آزمایشی هوشمندانه توسط چادویک نبوده است بلکه باید آن را پیامد کارها و آزمایش های رادرفورد، بوث، بکر، فردریک و ایرن ژولیو کوری نیز دانست. در واقع، چادویک بر شانه بزرگان ایستاده بود.



والتر بوث



ایرن و فردریک ژولیو - کوری

1. Bothe, W.G., 2. Becker, H., 3. Joliot - Curie, F.
4. Joliot - Curie, I.

* ایرن کوری دختر ماری و پیر کوری مشهور است و فردریک ژولیو دستیار ماری کوری بود که با ایرن آشنا شد. آنها پس از ازدواج نام های خانوادگی خود را برهم افزودند و بدین ترتیب نام خانوادگی هر دو ژولیو - کوری شد. دختر آن دو، هلن نیز - که با نوه لانژون مشهور ازدواج کرد - یک فیزیکدان است و تا زمان نگارش این مقاله زنده است.

1. Fundamentals of Physics, Halliday, Resnick and Walker, 9th ed., 2011, ch. 42.

۲. فیزیک دوره پیش دانشگاهی، رشته علوم ریاضی، سال ۱۳۹۰.

۳. مایر هوف، والتر ارنست؛ مبانی فیزیک هسته ای، ترجمه محمد فرهاد رحیمی، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۸۵.

۴. شیمی (۲) و آزمایشگاه، رشته های علوم تجربی - ریاضی فیزیک، سال ۱۳۹۱.