

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

آشنایی با پرتو درمانی از دیدگاه فیزیکی

مؤلف:

اکرم اسلامی باباحیدری

دانش آموخته‌ی مهندسی هسته‌ای دانشگاه امیرکبیر

انتشارات ارسطو

(سازمان چاپ و نشر ایران - ۱۴۰۲)

نسخه الکترونیکی این اثر در سایت سازمان چاپ و نشر ایران و اپلیکیشن کتاب رسان موجود می باشد

chaponashr.ir

سرشناسه: اسلامی باباحیدری، اکرم، ۱۳۶۵-
عنوان و نام پدیدآور: آشنایی با پرتودرمانی از دیدگاه فیزیکی / مولف اکرم اسلامی
باباحیدری.

مشخصات نشر: ارسطو (سامانه اطلاع رسانی چاپ و نشر ایران)، ۱۴۰۲.
مشخصات ظاهری: ۲۲۸ص.: مصور، جدول، نمودار.
شابک: ۱-۱۲۳-۳۳۹-۶۲۲-۹۷۸-۱۹۵۰۰۰ ریال

وضعیت فهرست نویسی: فیپا

یادداشت: کتابنامه: ص. ۲۲۷ - ۲۲۸.

Medical physics

Nuclear medicine

Medical radiology

موضوع: فیزیک پزشکی

پزشکی هسته‌ای

پرتوشناسی پزشکی

رده بندی کنگره: R۸۹۵

رده بندی دیویی: ۶۱۰/۱۵۳

شماره کتابشناسی ملی: ۹۲۶۶۸۸۵

اطلاعات رکورد کتابشناسی: فیپا

نام کتاب: آشنایی با پرتو درمانی از دیدگاه فیزیکی

مولف: اکرم اسلامی باباحیدری

ناشر: ارسطو (سامانه اطلاع رسانی چاپ و نشر ایران)

صفحه آرای، تنظیم و طرح جلد: پروانه مهاجر

تیراژ: ۱۰۰۰ جلد

نوبت چاپ: اول - ۱۴۰۲

چاپ: زبرجد

قیمت: ۱۸۵۰۰۰ تومان

فروش نسخه الکترونیکی - کتاب‌رسان:

<https://chaponashr.ir/ketabresan>

شابک: ۱-۱۲۳-۳۳۹-۶۲۲-۹۷۸

تلفن مرکز بخش: ۰۹۱۲۰۲۳۹۲۵۵

www.chaponashr.ir



انتشارات ارسطو



رسول خدا فرمودند: آن که دردها را آفریده برای آنها درمان نیز آفریده است، پس خود را مداوا کنید؛ چه خداوند هیچ دردی را فرو نفرستاد مگر این که برای آن شفایی هم نازل کرده است و فقط مرگ را هیچ درمانی نیست.

تقدیم به پدر و مادرم که تعبیرعظیم ایثار و صبر و بزرگ منشی‌اند

و

تقدیم به همسرم به پاس عاطفه‌ی بی‌انتها و حمایت بی‌نظیرش...

و

تقدیم به فرزندانم

امیر حسین سرو قامت به پاس امید بی‌انتها و گرمابخشش

یاسمین زهرای زیبایییم به پاس پرسش‌های تمام نشدنی‌اش

محمد حسین پر شعفم به پاس شیطنت‌های انرژی‌بخشش

و

تقدیم به

تمامی جوانان و نوجوانان ایران زمین که با کفش آهنین دنیا را فتح خواهند نمود.

فهرست مطالب

شماره صفحه	عناوین
۱۳	مقدمه
۱۵	فصل ۱
۱۷	ساختار اتم و هسته
۲۵	واژه شناسی هسته اتم
۲۶	نمایش نوکلیدها
۲۷	شعاع اتمی (<i>Nuclear Radi</i>)
۲۸	جرم اتمی
۲۸	خاصیت مغناطیسی هسته اتم
۳۱	انواع نوکلید
۳۳	ایزوتوپ
۳۸	ساماندهی نوکلیدها
۴۲	نیروی هسته ای
۴۴	انرژی بستگی هسته ای (<i>Nuclear Binding Energies</i>)

۴۸	راديو ايزوتوپ
۵۵	واپاشی پرتوزا (Radioactive Decay)
۵۹	اندازه گیری راديو اکتیویته
۶۰	کاربردهای ایزوتوپهای راديو اکتیو
۶۱	حالت‌های برهمکنش تابش با ماده
۶۴	اثر فوتوالکتریک چیست؟
۶۸	اثر کامپتون
۷۵	فصل ۲
۷۷	ماهیت پرتو ایکس
۷۸	تاریخچه اشعه ایکس
۸۰	منابع پرتو ایکس و تاثیرات آن
۸۱	اصول فیزیکی تولید پرتو
۸۵	ساخت اشعه ایکس
۸۸	فیلامان
۹۱	پدیده ترمیونیک (Thermionic Emission)
۹۴	اثر پاشنه (Heel Effect)
۹۶	مدار فیلامان و منبع انرژی الکتریکی
۹۸	متالیزه شدن تیوب ایکس ری
۹۸	مفهوم فضای بار و اثر فضای بار
۹۹	سرپوش کانونی (Focusing Cup)

۱۰۱	..... انواع فیلامان ها در لامپ اشعه ایکس	۱۰۱
۱۰۱	..... محفظه سربی و نقش آن در تیوب ایکس ری	۱۰۱
۱۰۳	..... عمر تیوب ایکس ری	۱۰۳
۱۰۳	..... کاتد مولد اشعه ایکس ری	۱۰۳
۱۰۴	..... آند مولد اشعه ایکس ری	۱۰۴
۱۰۵	..... آند ثابت	۱۰۵
۱۰۶	..... بررسی آند چرخان	۱۰۶
۱۱۰	..... کابل های ولتاژ بالا	۱۱۰
۱۱۰	..... افزایش طول عمر تیوب اشعه ایکس ری	۱۱۰
۱۱۱	..... مشخصات یاتاقان ها در آند های چرخان	۱۱۱
۱۱۲	..... محفظه خلاء شیشه ای یا فلزی در تیوب های ایکس ری	۱۱۲
۱۱۳	..... روغن	۱۱۳
۱۱۴	..... ولتاژ اشباع	۱۱۴
۱۱۵	..... تابش ترمزی (برمشترا لانگ) و خواص ذره ای بودن نور	۱۱۵
۱۱۶	..... مشخصات و پارامترهای تیوب اشعه ایکس ری	۱۱۶
۱۱۷	..... فصل ۳	۱۱۷
۱۲۴	..... مکانیسم فعالیت پرتو	۱۲۴
۱۲۵	..... تفاوت بین انواع رادیوتراپی	۱۲۵
۱۲۸	..... آشنایی با دستگاههای پرتودرمانی	۱۲۸

فصل ۴	۱۳۵
مروری بر پزشکی هسته‌ای و درمان بیماریها	۱۳۷
تکنیک‌های نوین رادیوتراپی	۱۳۹
<i>IMRT</i> چیست؟	۱۴۳
کاربرد کلینیکی <i>IMRT</i>	۱۴۹
گاما نایف	۱۵۰
سایبرنایف	۱۵۱
فصل ۵	۱۵۹
مقدمه‌ای بر تصویر برداری پزشکی	۱۶۱
تصویر برداری در پزشکی هسته‌ای	۱۶۲
توموگرافی تابش پوزیترون (<i>PET</i>)	۱۶۳
توموروگرافی با استفاده از تابش تک فوتون (<i>SPECT</i>)	۱۶۹
تصویر برداری قلبی عروقی	۱۶۹
اسکن استخوان	۱۷۰
سی تی اسکن	۱۷۰
رادیوداروهای پزشکی هسته‌ای و تصویربرداری	۱۷۲
تجهیزات لازم برای عکسبرداری	۱۷۶
رادیوداروها و چشمه‌های رادیواکتیو در پزشکی هسته‌ای	۱۷۶
تفاوت بین سی تی و ام آر آی	۱۷۸

فصل ۶	۱۸۳
براکی تراپی یا پرتو درمانی داخلی چیست؟	۱۸۵
دلایل انجام براکی تراپی	۱۸۵
مراقبت‌های قبل از براکی تراپی	۱۸۶
انواع روش‌های درمان با براکی تراپی	۱۸۷
نتایج براکی تراپی	۱۸۹
مراحل براکی تراپی در بیمارستان	۱۹۰
تعیین پارامترهای دزیمتری	۱۹۲
کاربردهای براکی تراپی	۲۰۱
آشنایی با روش مونت کارلو در شبیه سازی براکی تراپی	۲۰۵

فصل ۷ ... ۲۱۱

حفاظت از پرتو اشعه <i>Radiation</i>	۲۰۹
کمیت‌ها و واحدها در حفاظت در برابر اشعه	۲۰۹
اثرات تابش اشعه بر بدن	۲۱۲
اثرات تابش	۲۱۸
حفاظت در برابر پرتوگیری خارجی	۲۲۰
نتیجه	۲۲۶
منابع	۲۲۷

مقدمه

احتمالاً در بیمارستان یا حداقل در فیلم‌های تلویزیون بیمارانی را دیده‌اید که برای درمان سرطان‌شان تحت پرتو درمانی قرار می‌گیرند و یا اینکه پزشکان برای تشخیص بیماری‌ها دستور عکس برداری *PET* را صادر می‌کنند.

یا حتماً تاکنون اسم دستگاه‌های سی تی اسکن و ام آر آی را شنیده‌اید. همه اینها قسمتی از علم پزشکی هستند که به طور خاص به آن پزشکی هسته‌ای می‌گویند. در پزشکی هسته‌ای برای مشاهده اعضای بدن و درمان بیماریها از مواد رادیواکتیو استفاده می‌شود. در پزشکی هسته‌ای برای تشخیص و درمان بیماریها، هم فیزیولوژی (بررسی عملکرد) و هم آناتومی بدن بررسی می‌شود.

خوب، حالا می‌خواهیم برخی از تکنیک‌هایی را که در پزشکی هسته‌ای استفاده می‌شود توضیح دهیم. و ببینیم که پرتوها چطوری به پزشکان کمک می‌کنند تا اعماق بدن انسان را ببینند و چگونه می‌توان از پرتوها در درمان استفاده کرد.

ابتدا بعضی از مفاهیم و قوانین فیزیک بیان می‌شوند و در مورد قوانین و اصول هسته‌ای صحبت می‌شود و سپس به کاربرد آنها در تشخیص و درمان پرداخته می‌شود.

در این کتاب سعی شده مطالب تا حد امکان برای دانشجویان و علاقه‌مندان به صورت ساده بیان گردد.

این کتاب مناسب علاقه‌مندان و دانشجویان رشته‌ی فیزیک، فیزیک هسته‌ای، پزشکی، رادیوتراپی، پزشکی هسته‌ای و مهندسی هسته‌ای خواهد بود.

از آنجا که قطعا این کتاب خالی از عیب نخواهد بود خواهشمند است انتقادات و پیشنهادات خود را از طریق آدرس زیر به بنده اعلام نمایید:

Eslami6770@gmail.com

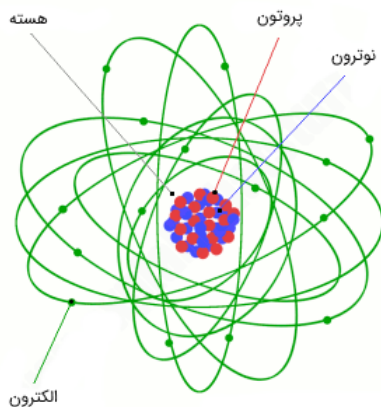


فصل ۱

ساختار اتم و هسته

هسته اتم یا نوکلید (Nuclid) به زبان ساده

همه‌ی ما می‌دانیم مواد اطراف ما از اتم درست شده اند و اتم‌ها از الکترون‌ها، پروتون‌ها و نوترون‌ها ساخته شده‌اند. الکترون‌ها خود ذرات بنیادی هستند که بر اساس دیدگاه شبه کوانتومی بور، در مدارهایی با انرژی مشخص و گسسته به دور هسته اتم گردش می‌کنند. از دیدگاه فیزیک کوانتومی، مکان الکترون‌ها به طور دقیق مشخص نبوده و تنها می‌توان احتمال حضور را تخمین زد. به مکان‌هایی که احتمال حضور الکترون در آن‌جا نسبت به دیگر مکان‌ها بیشتر است، اوربیتال می‌گویند.



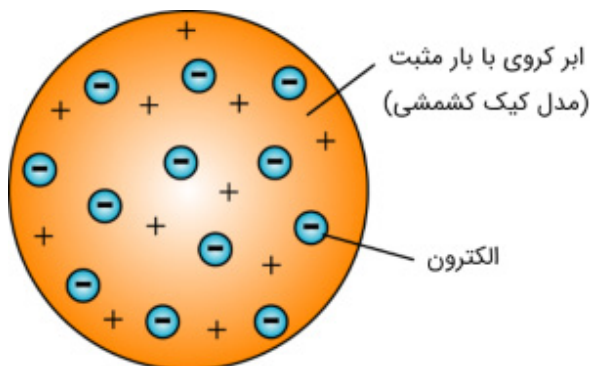
شکل (۱): شماتیکی فرضی از ساختار اتم اساس مدل شبه کوانتومی بور

پروتون‌ها و نوترون‌ها در هسته‌ی اتم جای می‌گیرند. پروتون‌ها و نوترون‌ها ذراتی بنیادی نبوده و خود از ذرات کوچک‌تری موسوم به کوارک تشکیل شده‌اند. در ادامه‌ی بحث در نظر داریم تا با زبانی ساده، کمی بیشتر به مقوله هسته اتم (*Atomic Nucleus*) یا نوکلید (*Nuclide*) بپردازیم.

کشف هسته اتم

الکترون با بار الکتریکی منفی در حدود سال ۱۸۹۷ توسط تامسون (*J. J. Thomson*) کشف شد. در آن زمان دانشمندان و محققان ذهنیت دقیقی از ساختار اتم نداشتند. از آنجایی که اتم در حالت عادی از لحاظ الکتریکی خنثی بود، دانشمندان پیش‌بینی می‌کردند که اتم باید دارای ذراتی با بار الکتریکی مثبت باشد تا بار الکتریکی منفی الکترون‌ها را خنثی کند.

در آن زمان مدل اتمی کیک کشمش‌ی تامسون که بیان می‌کرد بارهای مثبت و منفی به تعداد مساوی و به طور تصادفی در حجم اتم پراکنده شده‌اند را قبول داشتند.



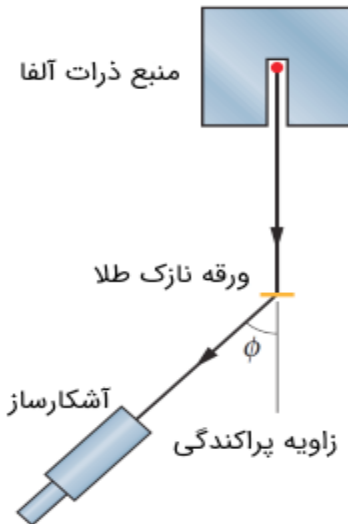
شکل (۲): مدل اتمی تامسون موسوم به کیک کشمش‌ی

آزمایش ورقه طلا

در حدود سال ۱۹۱۱ رادرفورد (*Ernest Rutherford*) به همراه همکارانش آزمایش جالب توجهی انجام دادند که منجر به کشف هسته اتم شد. امروزه در اکثر مراجع، آزمایش مذکور به آزمایش ورقه طلا موسوم است. در آن زمان مشخص شده بود که عناصر خاصی موسوم به رادیواکتیو وجود دارند که خودبه‌خود ذراتی را تابش و خود به عناصر دیگری تبدیل می‌شوند. یکی از این عناصر اتم رادون (*Radon*) بود که ذرات پرنرژی آلفا (α) را تابش می‌کند و خود به عنصر دیگری تبدیل می‌شود.

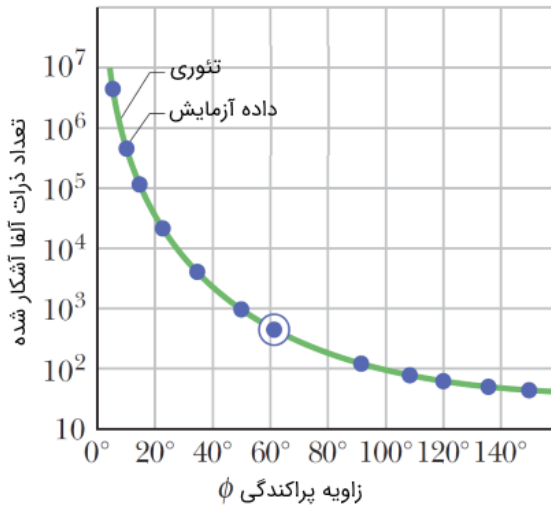
امروزه می‌دانیم که ذرات آلفا، در واقع هسته اتم هلیوم هستند. به عبارت دیگر اتم هلیوم با عدد اتمی ۲ که الکترون‌های خود را از دست داده باشد، ذره آلفا را تشکیل می‌دهد. ذرات آلفا حدود ۷۳۰۰ مرتبه از الکترون سنگین‌تر بوده و دارای بار الکتریکی e^{2+} هستند.

به طور خلاصه، رادرفورد و همکارانش مطابق با شماتیک شکل (۴)، یک محفظه شیشه‌ای حاوی گاز رادون را به عنوان منبع تولید ذرات آلفا در نظر گرفتند.



شکل (۳): شماتیکی از طرح بمباران ورقه نازک طلا با ذرات آلفا

ذرات آلفا پراثرژی به سمت ورقه نازکی از طلا هدایت می‌شدند. رادرفورد و همکارانش با محاسبه میزان زاویه پراکندگی ذرات آلفا (α) به نتایج بسیار جالب توجهی دست یافتند. میزان پراکندگی ذرات آلفا برحسب تعداد ذرات آلفای مشاهده شده را می‌توان در نمودار زیر نشان داد.



شکل (۴): میزان پراکندگی ذرات α برحسب تعداد ذرات α آشکار شده

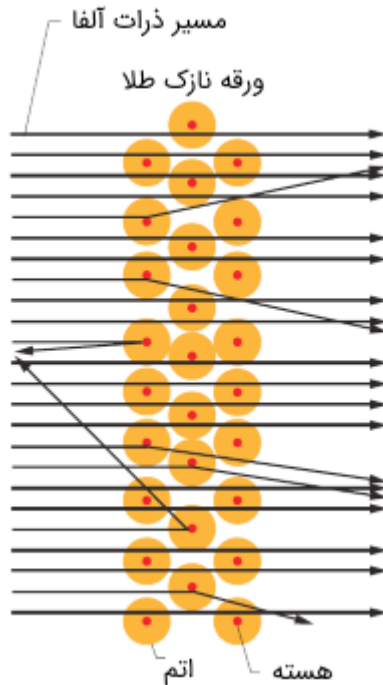
مطابق با نمودار شکل فوق، ۳ نتیجه بسیار مهم زیر را می‌توان اتخاذ کرد:

- تعداد بسیار زیادی از ذرات آلفا (α) با زاویه بسیار کم یا بدون آنکه تغییری در مسیر خود ایجاد کنند، از ورقه نازک طلا عبور کردند. این امر بدین منزله است که بیشتر حجم اتم را فضای خالی تشکیل می‌دهد.
- تعداد قابل توجهی از ذرات آلفا (α) با میزان زاویه قابل توجهی پراکنده می‌شوند. از آنجا که ذرات آلفا دارای بار الکتریکی مثبت هستند، می‌توان نتیجه گرفت که این پراکندگی به دلیل نیروی دافعه بین بار مثبت اتم

و ذرات آلفا (α) است. همچنین بارهای مثبت اتم، در مکان یا محدوده کوچکی قرار دارند.

- تعداد کمی از ذرات با زاویه‌ای حدود 180° درجه به سمت عقب پراکنده می‌شوند. این امر که مهم‌ترین نتیجه آزمایش ورقه طلا را تشکیل می‌دهد، بیان می‌کند که جرم سنگینی که بیشتر جرم اتم را شامل می‌شود، در نقطه‌ای متمرکز قرار دارد.

به طور خلاصه از نتایج فوق بر می‌آید که بیشتر وزن اتم در مرکز آن با بار الکتریکی مثبت قرار گرفته است. شکل زیر، شماتیکی از رفتار ذرات آلفا (α) را به هنگام برخورد با ورقه نازک طلا نشان می‌دهد.



شکل (۵): شماتیکی از رفتار ذره آلفا به هنگام شلیک به ورقه نازک طلا

رادرفورد بر اساس نتایج آزمایش مذکور، مدل اتمی خود را ارائه کرد که البته دارای نارسایی‌هایی نیز بود. با آنکه از مدل اتمی رادرفورد، اتم ناپایدار نتیجه می‌شد، اما دیدگاه وی آغازی بر مدل شبه کوانتومی بور و مدل موفق و دقیق کوانتومی است.

مدل اتمی رادرفورد به این صورت بیان می‌شود:

اتم ساختاری است که از لحاظ الکتریکی خنثی بوده و بخش قابل توجهی از جرم اتم در فضایی کوچک در مرکز اتم، موسوم به هسته با بار الکتریکی مثبت متمرکز شده است. به عبارت دیگر حجم هسته با جرم زیاد در مقابل حجم کل اتم بسیار کوچک بوده و بیشتر حجم اتم را فضای خالی تشکیل می‌دهد. دقت داشته باشید که مدل اتمی رادرفورد در سال ۱۹۱۱ صحبتی از پروتون و یا نوترون نکرده و تنها وجود هسته اتم را پیش‌بینی می‌کند.

- الکترون‌ها با بار الکتریکی منفی به دور هسته بار مثبت در مسیرهایی دایره‌ای و ثابت موسوم به مدار در حال گردش هستند. مجموع بار مثبت هسته با مجموع بار الکترون‌ها برابر بوده تا یکدیگر را خنثی کنند. نیروی الکترواستاتیکی قوی، الکترون‌ها و هسته را در کنار یکدیگر نگه می‌دارد.

لازم به ذکر است که یکی از نارسایی‌های مهم مدل اتمی رادرفورد، ناپایدار بودن اتم براساس نظریه الکترومغناطیس ماکسول بود. نظریه الکترومغناطیس کلاسیک بیان می‌کند که ذرات باردار در حال حرکت، انرژی خود را به صورت موج الکترومغناطیسی تابش می‌کنند. حال بنابر مدل اتمی رادرفورد که بیان می‌کند، الکترون با بار الکتریکی منفی به دور هسته اتم در حال چرخش است، باید تابش کرده و پس از اتمام انرژی، در نهایتاً به سمت هسته سقوط کند.



شکل (۶): بنابر نظریه الکترومغناطیس کلاسیک، اتم در مدل اتمی رادرفورد ناپایدار است.

کشف پروتون

از لحاظ تاریخی کشف پروتون را نیز می‌توان به رادرفورد نسبت داد. پس از آزمایش موفق ورقه طلا در سال ۱۹۱۱، رادرفورد ثابت کرد که هسته اتم هیدروژن در هسته‌های اتم‌های دیگر نیز وجود دارد. در تاریخ علم، غالباً این نتیجه رادرفورد را کشف پروتون در نظر می‌گیرند.

رادرفورد با شلیک ذرات پرنرژی آلفا به هوا که غالب آن از اتم‌های نیتروژن تشکیل شده است، توانست توسط آشکارسازها اثراتی از هسته اتم هیدروژن را آشکار کند. پس از تکرار این آزمایش با نیتروژن خالص، رادرفورد دریافت که هسته‌های اتم هیدروژن تنها می‌توانند از اتم‌های نیتروژن نتیجه شده باشند. به عبارت دیگر، اتم‌های نیتروژن باید حاوی هسته اتم هیدروژن باشند.

لازم به ذکر است که آزمایش فوق را می‌توان نخستین آزمایش و واکنش هسته‌ای در تاریخ دانست. در این آزمایش، اتم‌های نیتروژن توسط بمباران ذرات آلفا دچار تجزیه هسته‌ای شده و پس از جدا شدن هسته اتم هیدروژن (همان پروتون)، تبدیل به اکسیژن ۱۷ می‌شوند.

از آنجایی که رادرفورد می‌دانست هیدروژن ساده‌ترین و سبک‌ترین عنصر واحد سازنده دیگر عناصر در جهان است، تصمیم گرفت نامی خاص را به هسته اتم هیدروژن اختصاص دهد. رادرفورد بیان کرد که هسته اتم هیدروژن، به عنوان سبک‌ترین عنصر، تنها دارای یک ذره است. در نتیجه نام یونانی پروتون به معنی نخستین را برای آن انتخاب کرد.

لازم به ذکر است که ایزوتوپ اتم هیدروژن H که به وفور در طبیعت یافت می‌شود (پایدارترین)، تنها دارای یک پروتون و یک الکترون است. اتم هیدروژن نوترون نداشته و ایزوتوپ‌های آن به نام‌های دوتریوم D و تریتم T دارای نوترون هستند. ایزوتوپ H به پروتون نیز معروف است.

کشف نوترون (Neutron)

رادرفورد با انجام آزمایش‌هایی بیشتر متوجه شد که جرم هسته اتم، تقریباً دوبرابر تعداد پروتون‌های آن است. از آنجایی که بار الکتریکی پروتون‌ها مثبت بوده و یک اتم در حالت عادی خنثی است، رادرفورد پیشبینی کرد که ذراتی با جرم هم‌اندازه پروتون و از لحاظ الکتریکی خنثی باید در هسته اتم وجود داشته باشند تا کمبود جرم هسته اتم را جبران کنند.

در حدود سال ۱۹۳۲ میلادی، جیمز چادویک (*Chadwick*) آزمایشی ترتیب داد و اتم‌های برلیوم را با ذرات پرنانرژی آلفا بمباران کرد. با انجام این آزمایش وی متوجه شد که ذراتی پرنانرژی با عمق نفوذ بالا از اتم‌های برلیوم به بیرون ساطع می‌شوند

که در میدان الکترومغناطیسی نیز منحرف نمی‌شوند.

چادویک ابتدا فرض کرد که احتمال ذرات ساطع شده مذکور از جنس امواج الکترومغناطیسی با انرژی بالا ایکس یا گاما هستند. اما با اندازه‌گیری سرعت ذرات مذکور، متوجه شد که سرعتشان در حدود یک دهم سرعت نور است. چادویک بر اساس مشاهدات خود، این ذرات را که جرمی هم‌اندازه پروتون دارند و از لحاظ الکتریکی نیز خنثی هستند، نوترون نامید. منشأ نوترون‌های آزاد شده، هسته اتم است.

واژه‌شناسی هسته اتم

در فیزیک و مهندسی هسته‌ای غالباً به هسته اتم، نوکلید (*Nuclide*) یا نوکلئید یا نوکلاید می‌گویند. به بیانی ساده نوکلید، اتمی با ساختار ویژه از هسته است (اتم بدون الکترون). یک عنصر شیمیایی می‌تواند چند نوکلید مختلف با تعداد نوترون‌ها و ترازهای انرژی مختلف داشته باشد. دقت داشته باشید که نوکلیدهای یک عنصر شیمیایی دارای تعداد پروتون یکسان بوده و تنها در تعداد نوترون‌ها با یکدیگر متفاوت هستند. لازم به ذکر است که نوکلید (نوکلئید)های مختلف یک عنصر، در واقع ایزوتوپ‌های یکدیگر هستند.

همان‌طور که در بخش قبل بیان کردیم، هسته اتم از پروتون‌ها و نوترون‌ها تشکیل شده است. در فیزیک هسته‌ای، به پروتون و نوترون‌های تشکیل دهنده یک هسته اتم، نوکلئون (*Nucleons*) می‌گویند.

به تعداد پروتون‌های موجود در هسته هر اتم، عدد اتمی (Z) می‌گوییم. عدد اتمی، هویت هر اتم را مشخص می‌کند، یعنی از روی تعداد پروتون‌های یک اتم می‌توان فهمید که آن اتم متعلق به چه ماده‌ای است. مثلاً اتم هیدروژن همیشه در هسته خود فقط یک پروتون دارد. پس، هر اتمی که در هسته خود ۱ پروتون داشته

باشد، حتماً اتم هیدروژن است.

نمایش نوکلیدها

جهت نمایش هسته اتم یا همان نوکلیدها، از همان نماد شیمیایی موجود در جدول طبیعی عناصر به همراه عدد جرمی A استفاده می‌کنند. غالباً به صورت استاندارد جهانی، عدد جرمی A را به صورت اندیسی در بالا و سمت چپ نماد شیمیایی هسته اتم می‌نویسند.

$$A = Z + N$$



همچنین به تعداد نوترون‌های یک هسته اتم یا نوکلید، عدد نوترونی (N) می‌گویند.

عدد جرمی، مجموع عدد اتمی (Z) و عدد نوترونی (N) است. تعداد پروتون‌های یک هسته اتم یا نوکلید، به عدد اتمی یا عدد پروتونی موسوم است.

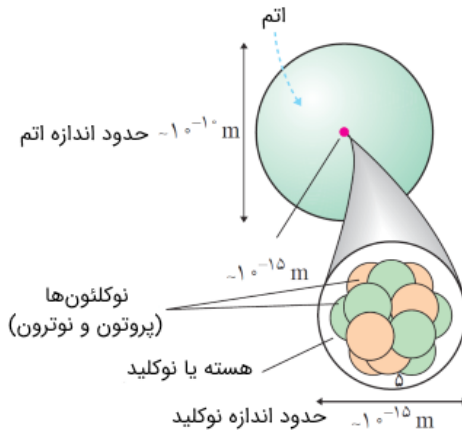
$$A = Z + N$$

شعاع اتمی (Nuclear Radi)

ابعاد هسته اتم یا نوکلیدها در مرتبه فمتومتر (*femtometer*) است. در فیزیک هسته‌ای هر یک فمتومتر را اصطلاحاً یک فرمی (*fermi*) می‌گویند.

ساختار و اندازه هسته اتم یا نوکلیدها را می‌توان با بمباران کردن آن‌ها توسط الکترون‌ها پر انرژی (حداقل ۲۰۰ مگا الکترون ولت) محاسبه کرد. این مقدار انرژی زیاد از این لحاظ است که طول موج دوبروی وابسته به ذرات، کوچکتر از ساختار هسته اتم یا نوکلید شود.

هسته اتم یا نوکلیدها همانند خود اتم‌ها سطح مشخص و خوش تعریفی ندارند. با این اوصاف آزمایش‌های پراکندگی الکترون‌های پر انرژی از هسته اتم یا نوکلیدها این امکان را به ما می‌دهند که هسته اتم را همانند خود اتم‌ها کروی فرض کنیم. شعاع موثر (*effective radius*) هسته اتم یا نوکلید با استفاده از روابط فیزیکی قابل اندازه‌گیری است.



شکل (۷): حدود ابعاد اتم و هسته اتم

جرم اتمی

فیزیکدانان جرم تقریبی الکترون، پروتون و نوترون‌ها با دقت خوبی محاسبه کردند. همان‌طور که می‌دانید جرم پروتون و نوترون حدود ۲۰۰۰ برابر جرم یک الکترون است. با این اوصاف جرم یک اتم را غالباً جرم هسته یا جرم نوکلید آن تشکیل می‌دهد.

از آنجایی که جدا کردن تمامی الکترون‌های یک اتم بسیار دشوار است (یا شاید نشدنی برای اتم‌های سنگین)، محاسبه دقیق جرم هسته اتم یا نوکلید امکان‌پذیر نبوده و تنها می‌توان به صورت تقریبی آن را تعیین کرد.

در علوم پایه فیزیک و شیمی، غالباً جرم اتمی را با واحد جرم اتمی (*atomic mass units*) بیان می‌کنند. در این سیستم، یک دوازدهم جرم اتم کربن ۱۲ را واحد یا یکای جرم اتمی می‌نامند همان‌طور که بیان کردیم، محاسبه دقیق جرم هسته اتم یا جرم یک نوکلید به دلیل حضور الکترون‌ها امکان‌پذیر نیست.

خاصیت مغناطیسی هسته اتم

هسته اتم یا نوکلیدها نیز دارای اسپین (*spin*) یا تکانه زاویه‌ای هسته‌ای ذاتی هستند و گشتاور مغناطیسی هسته‌ای ذاتی وابسته دارند. تکانه زاویه‌ای هسته از نظر بزرگی تقریباً برابر با تکانه زاویه‌ای الکترون‌ها در اتم است.

اسپین

اتم‌ها در اثر گرفتن انرژی، تابش می‌کنند. این تابش ناشی از این است که الکترون‌های اطراف هسته، انرژی می‌گیرند و بعد این انرژی را به صورت یک فوتون با طول موج معین باز می‌تابانند. اما خود این طیف در مجاورت میدان

الکترومغناطیسی، به چند طول موج جدا از هم تفکیک می‌شود. علت این است که الکترون‌ها در اتم، اندازه حرکت زاویه‌ای هم دارند. اشترن و گرلاخ نشان دادند که الکترون‌ها علاوه بر این اندازه حرکت زاویه‌ای، خاصیت دیگری هم دارند که فقط در حضور میدان مغناطیسی آن را بروز می‌دهند. به دلیل شباهت این خاصیت به اندازه حرکت زاویه‌ای، نام آن را «اندازه حرکت زاویه‌ای ذاتی» یا اسپین نهادند. بعدها ثابت شد که علاوه بر الکترون، باقی ذرات بنیادی هم اسپین دارند. مهم‌ترین ویژگی اسپین این است که یک خاصیت کاملاً کوانتومی است و مشابه کلاسیک ندارد. ذراتی که اسپین نیم صحیح دارند (یک دوم، سه دوم، ...) فرمیون می‌نامند، مثل الکترون، پروتون، نوترون و... این ذرات تشکیل دهنده ماده هستند. در مقابل ذراتی که اسپین صحیح دارند (صفر، ۱، ۲ و...) بوزون گفته می‌شوند، مثل فوتون، مزون، گلوتون و... این ذرات حامل نیروها هستند.

ایزواسپین و نیروی هسته‌ای

هنگامی که نوترون توسط چادویک کشف شد، این واقعیت مسلم شد که علاوه بر نیروی گرانش و الکترومغناطیسی، حداقل یک نیروی دیگر در طبیعت وجود دارد و این نیرو است که عامل پیوند نوکلئون‌ها (پروتون‌ها و نوترون‌ها) درون هسته است. زیرا در صورت عدم وجود این نیرو، در اثر دافعه شدید بارهای مثبت پروتون‌ها بر هم، هسته از هم می‌پاشد. از این مثال برمی‌آید که اولاً این نیرو باید جاذبه‌ای باشد تا در مقابل دافعه پروتون‌ها بایستد و ثانیاً برد آن باید خیلی کوتاه باشد و از ابعاد هسته بیشتر نباشد. زیرا نیروی الکترومغناطیسی (در مدل بوهر) آرایش الکترون‌ها در مدارهای اتمی را به خوبی توضیح می‌داد. اما واقعیت مهم و جالب‌تر این است که باید برای این نیرو، پروتون و نوترون به یک شکل دیده شوند و فارغ از اختلاف بار الکتریکی این دو ذره یک شکل باشند. هایزنبرگ با استفاده از این واقعیت و با ایده گرفتن از نظریه اسپین، مفهوم ریاضی جدیدی به نام «ایزوتوپ اسپین» یا ایزواسپین

را معرفی کرد. او پیشنهاد کرد که همان طور که در حضور میدان الکتریکی خطوط طیفی یکی هستند و با ظهور میدان مغناطیسی به چند خط دیگر شکافته می شوند، نوکلئون‌ها (پروتون و نوترون) هم در حقیقت در مقابل نیروی هسته ای یک ذره هستند اما هنگام ظهور نیروهای الکترومغناطیسی به دو ذره با ایزواسپین متفاوت تبدیل می شوند.

نیروی هسته‌ای قوی

یوکاوا فیزیکدان ژاپنی در سال ۱۹۳۵ برای توضیح نیروی هسته‌ای گفت: این نیرو باید در اثر مبادله ذره ای به نام پیون (مزون پی) بین نوکلئون‌ها به وجود بیاید. چون این ذره نسبتاً سنگین است، اصل عدم قطعیت هایزنبرگ ایجاب می کند که برد این نیرو کوتاه باشد، به این ترتیب ایده مبادله ذره، توانست تمام ویژگی های نیروی هسته ای را توضیح بدهد. پیون‌ها هم مثل نوکلئون‌ها برای نیروی هسته ای یک ذره به شمار می روند اما ایزواسپین آنها یک است یعنی در مقابل نیروی الکترومغناطیسی ۳ حالت پیون با بار مثبت و با بار منفی و خنثی را دارند. یک پروتون، با از دست دادن یک پیون مثبت به نوترون تبدیل می شود و این پیون مثبت خود یک نوترون دیگر را به پروتون تبدیل می کند. دوتا نوترون یا دوتا پروتون هم می توانند با هم پیون خنثی (صفر) مبادله کنند. یک نوترون هم با از دست دادن یک پیون منفی به پروتون تبدیل می شود و این پیون منفی با یک پروتون دیگر، یک نوترون تولید می کند. به این ترتیب با مبادله این ذرات، نوکلئون‌ها در هسته پایدار می مانند.

نیروی هسته‌ای ضعیف

یکی از ویژگی‌های بارز نوترون نیم عمر آن است. نوترون در حالت آزاد پس از ۱۸ دقیقه متلاشی و به یک پروتون و یک الکترون تبدیل می شود. این مدت بسیار طولانی تر از تمام پدیده‌هایی است که با نیروی قوی سروکار دارد. نیروهای