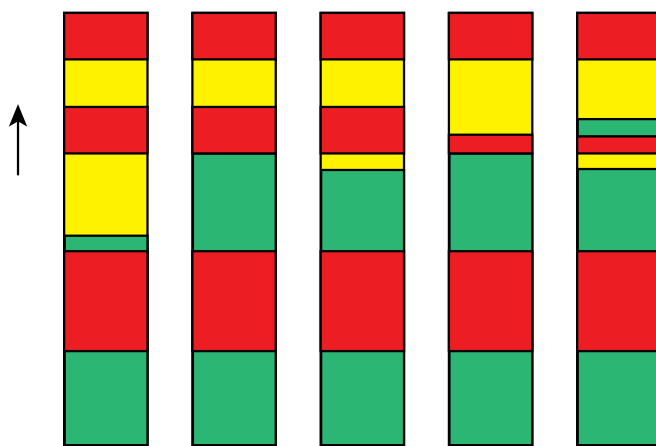


شکل ۲۲

۱- شکل ۲۲، طرح واره اشغال نوارهای انرژی مجاز توسط الکترون ها برای یک عایق (نارسانا)، فلز (رسانا)، نیمه فلز و نیم رسانا را در دمای اتاق نشان می دهد. در هر مورد مشخص کنید که این نوارها مربوط به چه نوع ماده ای است، (توجه: فاصله بین نوارها به طور منطقی رعایت نشده است).

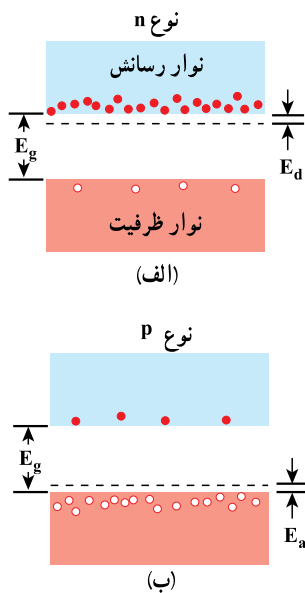


شکل ۲۳

۲- شکل ۲۳ نمایش طرح واره ای از نوارهای انرژی برای موادی است که رسانایی الکتریکی گوناگون دارند. نواحی سبز از الکترون پر شده اند، نواحی قرمز نوارهای ممنوع و قسمت زرد نوارهای مجاز خالی اند. با توجه به شکل مشخص کنید که هریک از این نوارها مربوط به: نیم رسانا در دمای اتاق، نیم رسانا در دمای پایین، عایق، فلزها و یا رسانای ضعیف عایق یا نیم رسانا هستند.

۳- با توجه به شکل و جعبه کلمات، متن زیر را کامل کنید.

نوع P - ظرفیت - حفره ها - الکترون - بیشتر - آلاینده - رسانش



شکل ۲۴

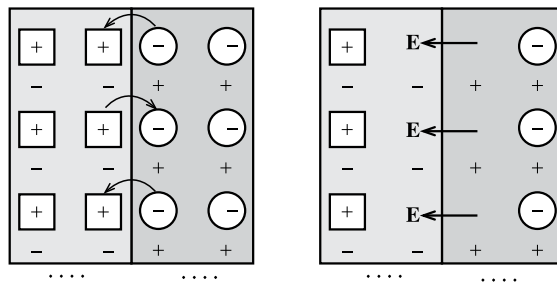
در یک نیم رسانای آلاینده نوع n، ترازهای انرژی الکترون های دهنده در فاصله کوچکی زیر نوار قرار دارند. چون الکترون های دهنده می توانند به آسانی به نوار رسانش برانگیخته شوند، پس تعداد بسیار زیادی در نوار رسانش وجود دارد. نوار ظرفیت شامل همان تعداد کم به اندازه پیش از اضافه کردن آلاینده است. در یک نیم رسانای آلاینده، ترازهای پذیرنده در فاصله کمی در بالای نوار ظرفیت قرار دارند. پس تعداد بسیار بیشتری حفره در نوار وجود دارد. نوار رسانش شامل همان تعداد کم الکترون ها به اندازه پیش از اضافه کردن است. نسبت حامل های اکثریت به حامل های اقلیت هم در نیم رسانای نوع n و هم در نیم رسانای نوع p، بسیار از مقداری است که این نمودار نشان می دهند.

The diagram consists of five vertical bars, each composed of stacked colored blocks. From left to right, the bars are:

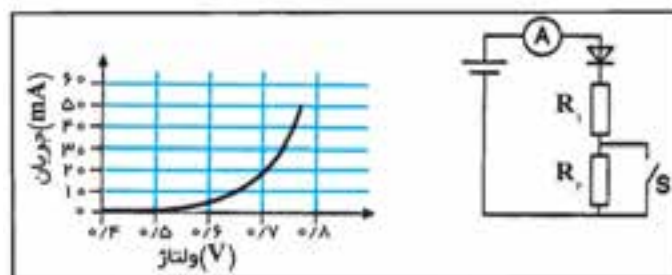
- Bar 1: Green (bottom), Red, Thin Green, Yellow, Red, Yellow, Red (top).
- Bar 2: Green (bottom), Red, Green, Red, Yellow, Red (top).
- Bar 3: Green (bottom), Red, Green, Thin Yellow, Red, Yellow, Red (top).
- Bar 4: Green (bottom), Red, Green, Thin Red, Yellow, Red, Red (top).
- Bar 5: Green (bottom), Red, Green, Yellow, Thin Red, Yellow, Red (top).

An upward-pointing arrow is located to the left of the first bar.

۵- در زیر شکل های ۲۶، با توجه به نوع نیم‌رسانا، حرف های p یا n قرار دهید.



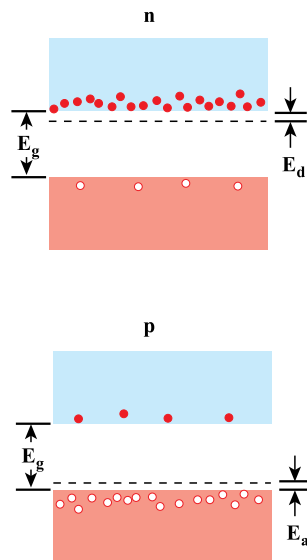
۶- شکل زیر نمودار جریان-ولتاژ مشخص برای دیود در مدار را نشان می‌دهد. نیروی محرکه باتری $2/5\text{ V}$ است. وقتی که کلید S بسته می‌شود جریان در مدار 5 mA است. با استفاده از نمودار، اختلاف پتانسیل دو سر دیود در این جریان را پیدا کنید. با محاسبهٔ اختلاف پتانسیل دو سر دیود، اختلاف پتانسیل دو سر R_p و مقاومت آن را حساب کنید. وقتی که کلیدی باز می‌شود، جریان در مدار 1 mA است. در این حالت R_p را حساب کنید. وقتی که S بسته می‌شود توان مصرف شده در دیود را محاسبه کنید.



۷- ولتاژ عملیاتی یک نوع دیود نورگسیل ۱/۷ ولت است و برای درخشندگی کامل به جریان ۲۰mA نیاز دارد. اگر این LED به یک منبع تغذیه ۶V متصل شود، مقدار مقاومتی را که باید به طور متوالی به دیود متصل کرد حساب کنید.

۸- با توجه به شکل‌های داده شده و جعبه کلمات متن زیر را کامل کنید.

مقید، حفره، آلومینیوم، کووالانس، خالص، پنج



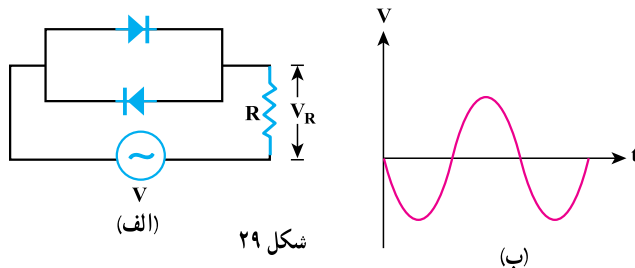
شکل ۲۸

شکل (الف) نمایشی مسطح از ساختار شبکه سیلیسیم (خالص) را نشان می‌دهد. هر یون سیلیسیم توسط یک پیوند (کووالانس) دو الکترون به چهار نزدیک‌ترین همسایه خود جفت شده است که با یک جفت نقطه بین دو خط تیره موازی نشان داده شده است. الکترون‌ها به پیوند، و نه به اتم‌های مجزا تعلق دارند و تشکیل یک پیوند یک ظرفیتی نمونه را می‌دهند.

شکل (ب) یک اتم سیلیسیم جایگزین یک اتم فسفر (۵) ظرفیتی شده است. «الکترون اضافی» به شکل ضعیفی فقط به مغزیونی خود (مقید) است و به سادگی می‌تواند به نوار رسانش بالا برود. جایی که مجاز است در سرتاسر حجم شبکه حرکت کند.

در شکل (پ) یک اتم سیلیسیم با یک اتم (آلومینیوم) ۳ ظرفیتی جایگزین

شده است. اکنون حفره‌ای در یکی از پیوندهای کووالانسی و بنابراین، در نوار ظرفیت نمونه وجود دارد. این حفره می‌تواند هنگامی که الکترون‌های پیوندهای مجاور برای پر کردن آن حرکت می‌کنند، به سادگی در سرتاسر شبکه حرکت کند در این جا (حفره) به سمت راست حرکت می‌کند.

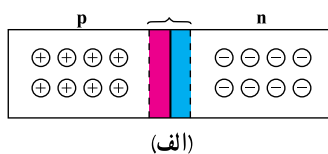


شکل ۲۹

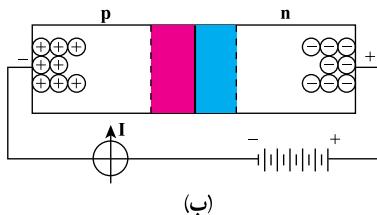
۹- شکل ۲۹ الف مداری شامل دو

دیود، یک مقاومت و یک منبع تغذیه جریان متناوب را نشان می‌دهد. اگر نمودار تغییرات ولتاژ ورودی به صورت شکل ب باشد، نمودار تغییرات ولتاژ دو سر مقاومت را رسم کنید.

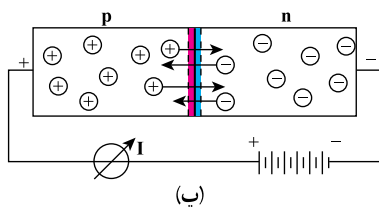
ناحیه تهی



(الف)



(ب)



(پ)

شکل ۳۰

۱۰- شکل ۳۰ دیودی را در سه

وضعیت مختلف نشان می‌دهد. هر سه حالت را با یکدیگر مقایسه و نوع پیش ولت را برای هر وضعیت تعیین کنید.

۸-۸- ساختار هسته اتم

نگاهی دوباره به مفهوم

با کاوش درون اتم، در مرکز آن هسته را می‌یابیم که فقط $\frac{1}{10^{15}}$ از حجم آن را اشتغال کرده است، اما نیروی الکتریکی لازم برای متصل کردن اجزای اتم را تأمین می‌کند. اگر جاذبه کولنی ناشی از هسته وجود نداشت، دافعه متقابل الکترون‌ها به متلاشی شدن اتمی می‌انجامید. چه چیزی مانع متلاشی شدن خود هسته، تحت تأثیر نیروی دافعه بارهای مثبت می‌شود؟

شباهت‌های بسیاری بین ساختار اتمی و ساختار هسته‌ای وجود دارد که مطالعه خواص هسته را تا اندازه‌ای راحت‌تر می‌کند، هسته‌ها تابع قوانین مکانیک کوانتومی‌اند. آنها دارای حالت‌های پایه و برانگیخته‌اند و در گذار بین حالت‌ها فوتون‌هایی (به نام پرتوهای گاما) گسیل می‌کنند.

۸-۸- ساختار هسته اتم

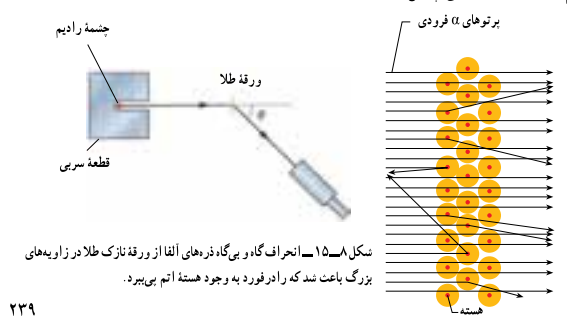
کشف پروتوزایی در سال ۱۸۹۶ میلادی (۱۲۷۵ ه.ش) آغازی برای بی‌پردن به وجود هسته اتم بود. این کشف به شناخت کنونی ما از اتم انجامید و اطلاعاتی را در اختیار ما قرار داد که پیامدهای آن تأثیری ژرف بر جامعه بشری داشت.

کشف هسته اتم

چند سال پس از آنکه اینشتین اثر فوتوالکتریک را توجیه کرد، ارنست رادرفورد آزمایشی را انجام داد که معلوم کرد اتم تقریباً از فضای تهی تشکیل شده و بیشتر جرم آن در بخش مرکزی به نام هسته متمرکز شده است.

در این آزمایش، باریک‌های از ذره‌های دارای بار مثبت (ذره‌های آلفا) گسیل شده از چشمه‌ای پروتوزا بر ورقه‌ای نازک از طلا فرو می‌آمدند (شکل ۸-۱۵). چون ذره‌های آلفا بسیار سنگین‌تر از الکترون‌ها هستند، انتظار می‌رفت که این ذره‌ها بدون برخورد با مانع از ورقه طلا بگذرند. در عمل نیز اغلب این ذره‌ها بدون انحراف یا با انحراف مختصر از ورقه می‌گذشتند و در برخورد با صفحه فلز تورسان، در پشت آن، جرقه‌های نورانی تولید می‌کردند. با این همه، برخی از این ذره‌ها در هنگام خروج از ورقه در زاویه‌های بزرگ منحرف می‌شدند و حتی تعدادی از آنها به عقب برمی‌گشتند! رادرفورد می‌گفت: «مثل آن بود که گلوله توپی را به ورقه نازکی از کاغذ شلیک کنید و با شگفتی مشاهده کنید که پس از برخورد گلوله، توپ بازگردد.»

این ذره‌ها باید با چیز پرجرمی برخورد کرده باشند؛ اما با چه چیزی؟ رادرفورد استدلال کرد که ذره‌های بدون انحراف باید از قسمت‌هایی از ورقه گذشته باشند که تهی بوده باشند، در حالی که ذره‌های با انحراف شدید از مرکزهایی بسیار چگال و دارای بار مثبت منحرف شده بودند. او نتیجه گرفت که هر اتم باید دارای هسته‌ای چگال و دارای بار مثبت باشد.



۲۳۹

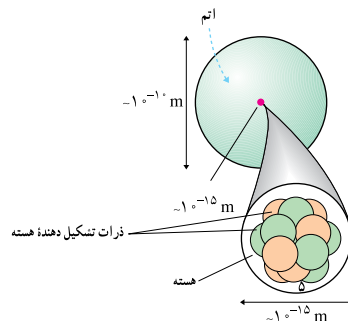
فعالیات پیشنهادی

از دانش‌آموزان می‌خواهیم بگویند که چگونه فیزیکدانان کشف کردند، بیشترین بخش جرم اتم (۹۹/۹ درصد) در هسته کوچکی در مرکز اتم متمرکز است و بقیه اتم عمدتاً خالی است و همچنین هسته از چه اجزایی تشکیل شده است؟

کوچکتر تقسیم می‌کنند. کوچکترین قطعه‌ای که می‌توانست از هسته جدا شود، پروتون بود، و بنابراین رادرفورد نتیجه گرفت که همه هسته‌ها، حاوی پروتون‌اند. اما جرم هسته‌ها بیشتر و بار آنها کمتر از مقداری است که با توجه به تشکیل آنها از پروتون انتظار می‌رود؛ باید در هسته نوعی ذرات خنثی یا ترکیب الکتریکی خنثایی از ذرات با بار مخالف وجود داشته باشد. معمای جزء خنثای هسته تا سال ۱۹۳۲ که چادویک نوترون را کشف کرد حل نشده باقی ماند؛ نوترون ذره‌ای با جرم برابر جرم پروتون و بار الکتریکی صفر است. این کشف به دیدگاه جدیدی از هسته، به صورت اجتماع به هم فشرده پروتون‌ها و

توجه: دانش‌آموزان با آزمایش رادرفورد در درس شیمی آشنا شده‌اند و انتظار می‌رود بتوانند به این سؤال پاسخ دهند. اولین آزمایش‌های رادرفورد در بمباران اتم‌ها با باریکه‌ای از ذرات آلفا، نشان داد که هسته اتم خیلی کوچک اما حاوی بخش اعظم جرم اتم است. بنابراین هسته خیلی چگال است و باید از ذرات سنگینی که تنگ هم قرار گرفته‌اند درست شده باشد. رادرفورد، در آزمایش‌های بعدی خود، باز هم با استفاده از باریکه ذرات آلفا به عنوان کاوشگر، در صدد کشف ساختار هسته برآمد. او متوجه شد که اگر پرتابه‌ها انرژی کافی برای نفوذ به داخل هسته داشته باشند، غالباً آن را به دوباره یا دو هسته

بررسی‌های رادرفورد نشان داد که ابعاد هستهٔ اتم در حدود 10^{-15} m (۱ اتمومتر یا فرمی) و در حدود صد هزار مرتبه کوچکتر از ابعاد اتم (10^{-10} m) است (شکل ۱۶-۸).



شکل ۱۶-۸- مقایسه ابعاد هسته اتم و اتم

فعالیت ۴-۸

در یک زمین ورزشی ناحیه‌ای را مشخص کنید که ابعاد آن به همان اندازه کوچکتر از ابعاد زمین باشد که ابعاد هسته کوچکتر از ابعاد اتم است.

در زمان کشف هستهٔ اتم فقط ذره‌های شناخته شدهٔ زیر اتمی، الکترون و هستهٔ هیدروژن معمولی (پروتون) بودند. بعدها با کشف نوترون معلوم شد که هسته از پروتون و نوترون ساخته شده است.

تعداد پروتون‌های هسته با Z مشخص می‌شود و آن را «عدد اتمی» می‌نامند. چون اتم به لحاظ الکتریکی خنثی است، Z تعداد الکترون‌های اتم نیز هست. تعداد نوترون‌های هسته را با N نشان می‌دهند و آن را «عدد نوترونی» می‌نامند. مجموع عدد اتمی و عدد نوترونی یعنی Z+N را «عدد جرمی» می‌نامند و آن را با A نشان می‌دهند.

$$A = Z + N$$

(۱-۸)

۲۴۰

در فیزیک هسته‌ای هر هسته را با نماد شیمیایی مربوط به آن و A و Z را به صورت زیر مشخص می‌کنند.

A_ZX

مشخص کردن N ضروری نیست؛ زیرا می‌توان آن را از تفاضل A و Z به دست آورد. همین‌طور در بسیاری موارد Z را هم ذکر نمی‌کنند؛ زیرا نماد شیمیایی معروف آن است؛ مثلاً:

$${}^1_1\text{H} \text{ یا } {}^1_0\text{H} = \text{هسته اتم هیدروژن}$$

$${}^{16}_8\text{O} \text{ یا } {}^{16}_0\text{O} = \text{هسته اتم اکسیژن}$$

$${}^{56}_{26}\text{Fe} = \text{هسته اتم آهن}$$

ایزوتوپ‌ها: ویژگی‌های هر اتم را تعداد الکترون‌های آن اتم مشخص می‌کند. اما ویژگی‌های هسته را تعداد پروتون‌ها و نوترون‌های آن تعیین می‌کند؛ بنابراین، تعداد هسته‌های متفاوت موجود در طبیعت بسیار بیشتر از تعداد اتم‌های متفاوت است. اتم‌های با تعداد پروتون معین و تعداد نوترون‌های مختلف را ایزوتوپ (هم‌بکان) می‌نامند؛ زیرا همگی در جدول مندلیف یک خانه را اشغال می‌کنند. ایزوتوپ‌ها دارای خواص شیمیایی یکسان و خواص هسته‌ای کاملاً متفاوت‌اند. این تفاوت ویژگی‌های هسته‌ای ایزوتوپ‌های مختلف را می‌توان با توجه به دو ایزوتوپ اورانیم-۲۳۵ و اورانیم-۲۳۸ به خوبی نشان داد. ${}^{235}\text{U}$ به راحتی شکافته می‌شود و می‌توان از آن در راکتورهای هسته‌ای به عنوان سوخت استفاده کرد. ${}^{238}\text{U}$ این ویژگی را ندارد و چون به راحتی شکافته نمی‌شود نمی‌توان از آن مستقیماً به عنوان سوخت هسته‌ای استفاده کرد. هر عنصر هم دارای ایزوتوپ‌های پایدار و هم پرتوزاست. عناصری هم وجود دارند که ایزوتوپ پایدار ندارند؛ مانند: رادون. از برخی ایزوتوپ‌های پرتوزا به عنوان ردیاب در موارد مختلف پزشکی، کشاورزی و صنعت استفاده می‌کنند. چون این ایزوتوپ‌های پرتوزا از نظر شیمیایی تفاوتی با ایزوتوپ‌های پایدار ندارند، پس رفتار آنها هنگام جذب در بدن یا گیاهان مانند ایزوتوپ‌های پایدار است و چون پرتوهایی را از خود گسیل می‌دارند، می‌توان محل و تراکم آنها را به دقت مشخص کرد.

جدول ۳-۸

| نام ذره | بار (کولن) | جرم (kg) | شعاع (fm) |
|---------|------------------------|------------------------------|---------------------|
| الکترون | -1.6×10^{-19} | $9.1 \times 10^{-31} = m_e$ | کوچکتر از 10^{-5} |
| پروتون | $+1.6 \times 10^{-19}$ | $1.67 \times 10^{-27} = m_p$ | ۱/۲ |
| نوترون | صفر | $1.68 \times 10^{-27} = m_n$ | ۱/۲ |

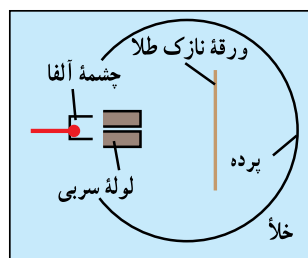
۱- اتمومتر

۲۴۱

هلیوم‌اند. اکنون می‌دانیم که آنها شامل دو پروتون و نوترون هستند.

پراکندگی ذره آلفا (α): گایگر و مارسدن ترتیبی دادند

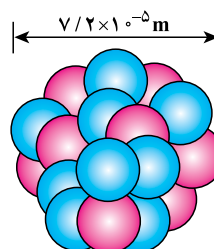
تا ذره‌های آلفا پس از شلیک به یک ورقه نازک طلا توسط پرده‌ای آشکار شوند، به طوری که هنگام برخورد ذره‌های آلفا به آن یک جرقه نور بیرون می‌آید. (شکل ۳۲)



دستگاه پراکندگی آلفا

شکل ۳۲

نوترون‌ها، منجر شد (شکل ۳۱).



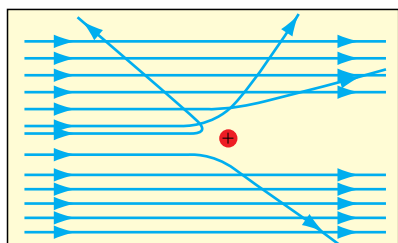
شکل ۳۱

آزمایش رادرفورد: تا سال ۱۹۱۱ که ارنست رادرفورد

از دو پژوهشگر دیگر به نام‌های گایگر و مارسدن، درخواست کرد تا آزمایشی را انجام دهند از ساختار اتم اطلاعات کمی در دست بود. همان‌طور که در فصل بعد خواهید دید، اتم‌های معین ذره‌های آلفا (α) بیرون می‌دهند. در زمان آزمایش پراکندگی رادرفورد، اینها را ذره‌های مثبتی می‌دانستند که جزئی از اتم

داشته باشند تا بتوان این واقعیت را که بیشتر ذره‌های آلفا بدون انحراف می‌گذرند توجیه کرد.

رادرفورد پاسخ این معما را در هسته اتم یافت، او پیشنهاد کرد بیش‌تر جرم اتم در یک نقطه بسیار کوچک در مرکزی به نام هسته متمرکز است. اکنون می‌دانیم که هسته شامل پروتون و نوترون است و الکترون‌ها به صورت ابری در فضای اتم قرار دارند.



شکل ۳۳- از هر ۸۰۰۰ ذره آلفا در حدود یک ذره بازوئیه بیش از 90° منحرف می‌شود

با شمارش جرقه‌ها، آنها تعداد ذره‌های آلفایی را که در خط مستقیم عبور کرده بودند با تعدادی که در زاویه‌های مختلف منحرف شده بودند، مقایسه کردند. نتایج آزمایش پراکندگی ذره آلفا شگفت‌آور بود. گاهی مشاهده کرد که بخش عمده‌ای از ذره‌های آلفا هنگام عبور از ورقه طلا به مقدار کمی منحرف می‌شوند، اما تعداد بسیار کمی از آنها با زاویه‌های بزرگ منحرف می‌شوند. شکل ۳۳ طرحی از این مشاهده‌ها را به دست می‌دهد.

رادرفورد می‌دانست که ذره‌های آلفا جرمی برابر اتم‌های سبک دارند. پس آن چیزی که ذره‌های آلفا را منحرف می‌کند به جرمی بیش از اتم سبک نیاز دارد. او می‌دانست که بارهای منفی یعنی الکترون‌ها، جرم بسیار کمی برای انحراف ذره‌های آلفا دارند؛ در نتیجه انحراف باید ناشی از بارهای مثبت درون اتم باشد. این بارهای مثبت باید فاصله‌های به نسبت زیادی بین خود

فعالیت ۸-۴

برای اینکه بتوان به این پرسش، پاسخ دقیق‌تر داد، بهتر است، صورت آن تغییر کند. در یک زمین ورزشی دایره‌ای شکل به قطر 100 متر، ناحیه‌ای را مشخص کنید که ابعاد آن به همان اندازه کوچک‌تر از ابعاد زمین باشد که ابعاد هسته کوچک‌تر از ابعاد اتم است. پاسخ: اگر دایره‌ای به شعاع 100 متر داشته باشیم که نشان دهنده اتم باشد، باید دایره‌ای کوچک به شعاع $10^{-3} \text{ m} = 10^{-5} \times 10^0$ ، یعنی یک میلی‌متر رسم کنیم تا مقیاس بین اتم و هسته، درست در نظر گرفته شود.

پیکربندی الکترونی آنها دقیقاً یکسان است اما، جرم اتم‌های یک عنصر شیمیایی ممکن است متفاوت باشد، زیرا تعداد نوترون‌های آن‌ها ممکن است برابر نباشد. از این رو، تعداد پروتون همه اتم‌های کربن ۶ است، اما بعضی اتم‌ها ۶ نوترون و بعضی ۷ نوترون، و بعضی ۸ نوترون دارند، و به همین ترتیب. اتم‌هایی که تعداد پروتون‌های آنها برابر اما تعداد نوترون‌های آنها متفاوت است را ایزوتوپ می‌گویند. کربن یازده ایزوتوپ شناخته شده دارد که عبارت‌اند از ^1C ، ^2C ، ^3C ، ^4C ، ^5C ، ^6C ، ^7C ، ^8C ، ^9C ، ^{10}C ، ^{11}C ، ^{12}C ، ^{13}C ، ^{14}C ، ^{15}C ، ^{16}C ، ^{17}C ، ^{18}C ، شاخص‌های بالای نماد شیمیایی (مثلاً شاخص «۱۲» در « ^{12}C ») نشان دهنده مجموع تعداد پروتون‌ها و تعداد

هسته‌ها از پروتون‌ها و نوترون‌ها ساخته شده‌اند. عموماً این دو جزء تشکیل دهنده هسته را نوکلئون گویند. مقایسه این ذرات با الکترون آموزنده است. جرم پروتون و نوترون در حدود 1800 برابر جرم الکترون است. ابعاد پروتون و نوترون حدود 10^{-15} متر و الکترون m است.

تعداد پروتون‌ها در هسته اتم (خنثای) هر عنصر معین برابر تعداد الکترون‌های آن، یعنی برابر عدد اتمی عنصر است. به عنوان مثال، هسته اتم کربن متشکل از ۶ الکترون و ۶ پروتون است.

خواص شیمیایی همه اتم‌های یک عنصر شیمیایی معین، مانند کربن، دقیقاً یکسان است، زیرا تعداد الکترون‌های آنها و

آن‌طور که در هوا یافت می‌شود، نه تنها حاوی ایزوتوپ‌های ^{12}C و ^{13}C ، بلکه محتوی مقدار خیلی کمی (در حدود $10^{-12} \times 100\%$) ایزوتوپ ^{14}C است، سایر ایزوتوپ‌های کربن در طبیعت وجود ندارد، بلکه تنها به‌طور مصنوعی در تبدیل‌های هسته‌ای عناصر در رآکتور هسته‌ای یا در شتابدهنده‌ها تولید می‌شوند.

همه عناصر شیمیایی هر کدام چندین ایزوتوپ دارند. هیدروژن سه ایزوتوپ، هلیوم ۵ ایزوتوپ، لیتیم ۶ ایزوتوپ دارند و به همین ترتیب.

جدول زیر برخی از مشخصات نوکلئون‌ها و الکترون را نشان می‌دهد.

| نام ذره | بار (کولن) | جرم (kg) | جرم (u) | شعاع (fm) | انرژی معادل (Mev) |
|---------|-----------------------------|------------------------------|------------|----------------------|-------------------|
| الکترون | $-1/6 \times 10^{-19} = -e$ | $9/1 \times 10^{-31} = m_e$ | $0/00055$ | کمتر از $0/001$ فرمی | $0/511$ |
| پروتون | $+1/6 \times 10^{-19} = +e$ | $1/67 \times 10^{-27} = m_p$ | $1/007276$ | $1/2$ | $938/28$ |
| نوترون | صفر | $1/68 \times 10^{-27} = m_n$ | $1/008665$ | $1/2$ | $939/57$ |

مثال پیشنهادی

هسته‌ای ۱۹ پروتون و ۲۱ نوترون دارد. الف) با استفاده از جدول تناوبی عناصر، نماد قراردادی این هسته چیست؟ و عدد جرمی آن چه مقدار است؟

ب) بار الکتریکی هسته آن را به دست آورید ($e = 1/6 \times 10^{-19} \text{C}$).

پ) بار الکتریکی این اتم را به دست آورید.

پاسخ: الف) این هسته ۱۹ پروتون دارد؛ بنابراین عدد اتمی آن، Z به ۱۹ است. با استفاده از جدول تناوبی عناصر، عنصر شیمیایی با عدد اتمی ۱۹، پتاسیم با نماد شیمیایی K است و عدد جرمی عبارت است از:

$$A = N + Z = 21 + 19 = 40$$

و نماد این هسته عبارت است از $^{40}_{19}K$

ب) $Ze = +19 \times 1/6 \times 10^{-19} \text{C} = +3/04 \times 10^{-18} \text{C}$ بار الکتریکی هسته

پ) بار الکتریکی اتم در حالت معمولی صفر است. زیرا تعداد الکترون‌های این اتم نیز ۱۹ است و بار آن نیز $-3/04 \times 10^{-18} \text{C}$ می‌باشد.

مثال پیشنهادی

در موارد زیر نماد هر هسته را مشخص کنید.

(الف) ایزوتوپ هلیوم به جرم ۴ (عدد جرمی ۴)

(ب) ایزوتوپ قلع با ۶۶ نوترون

(پ) ایزوتوبی با عدد جرمی ۲۳۵ که دارای ۱۴۳ نوترون است.

پاسخ: (الف) با توجه جدول تناوبی عناصر، متوجه می‌شویم که $Z=2$ است، پس $N=A-Z=2$ می‌باشد.

بنابراین نماد آن: ${}^4_2\text{He}$ یا ${}^4\text{He}$ خواهد بود.

(ب) در این جا نیز با توجه به جدول تناوبی عناصر می‌دانیم که برای قلع (Sn) $Z=50$ است و چون $N=66$ داده

شده است، پس $A=Z+N=116$ می‌باشد. بنابراین نماد ${}^{116}_{50}\text{Sn}$ یا ${}^{116}\text{Sn}$ است.

(پ) با توجه به داده‌های $A=235$ و $N=143$ می‌دانیم که $Z=A-N=92$ است. با استفاده از جدول تناوبی

عناصر، بی می‌بریم که این عنصر اورانیوم می‌باشد و نماد آن عبارت است از: ${}^{235}_{92}\text{U}$ یا ${}^{235}\text{U}$

مثال پیشنهادی

(الف) چگالی هسته اتم هیدروژن ${}^1_1\text{H}$ را به دست آورید. (ب) اگر بتوان هسته‌ای به شعاع ۱ cm ساخت، جرم

آن چه مقدار می‌شود؟

پاسخ: هسته اتم فقط از یک پروتون تشکیل

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{m_p}{\frac{4}{3}\pi R^3} = \frac{1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}}{\frac{4}{3}\pi (1 \times 10^{-15} \text{ m})^3} = 2 \times 10^{17} \text{ kg/m}^3 = 2 \times 10^{14} \text{ g/cm}^3$$

$$m = \rho V = 2 \times 10^{17} \times \frac{4}{3}\pi (1 \times 10^{-2})^3 = 8 \times 10^{11} \text{ kg}$$

یعنی در حدود جرم کره‌ای به شعاع ۱ Km از ماده معمولی.

نیروی هسته‌ای: دیدیم که ابعاد هسته بسیار کوچک است (در حدود 10^{-15} m). همین‌طور گفتیم که بیشتر جرم اتم در هسته متمرکز شده است. با توجه به این نکته می‌توان چگالی هسته را به راحتی محاسبه کرد. با محاسبه آن به مقدار تقریباً 10^{17} g/cm^3 می‌رسیم که به صورتی باورنکردنی بزرگ است (چگالی آب 1 g/cm^3). موضوع وقتی شگفت‌انگیزتر می‌شود که توجه کنیم نیروی کولنی شناخته شده بین پروتون‌های دارای بار مثبت رانشی است. پس اصلاً انتظار نداریم که دستگاه متشکل از ذرات دارای بار هم‌نام پایدار باشد تا چه رسد به این که تا این حد هم چگال باشد. البته نیروی گرانشی موجود بین اجزای هسته ریاضی است اما، نیروی گرانشی بسیار ضعیف‌تر از نیروی کولنی است؛ پس نمی‌تواند عامل پایداری هسته و چگال بودن آن باشد.

این موضوع وجود نیروی جدیدی را در طبیعت مطرح کرد که به نیروی هسته‌ای قوی مشهور شد. این نیرو، با نیروی شناخته شده کولنی و گرانشی تفاوت بسیار دارد؛ زیرا اولاً، بسیار قوی‌تر از این نیروهاست؛ چون اجزای هسته را به رغم نیروی رانشی بین پروتون‌های آن به صورت بسیار فشرده در کنار هم نگه می‌دارد. دوم اینکه، این نیرو، برخلاف نیروهای کولنی و گرانشی، کوتاه‌برد است؛ زیرا در ابعاد اتمی (10^{-15} m)، دیگر اثری از آن مشاهده نمی‌شود و اتم به کمک نیروی کولنی بین هسته دارای بار مثبت و الکترون دارای بار منفی بررسی می‌شود.

فعالیت ۵-۸

با مراجعه به کتاب‌های فیزیک ۲ و ۳ با استفاده از جدول ۳-۲ نیروهای گرانشی و الکتریکی بین دو پروتون را که به فاصله ۲ از یکدیگر قرار دارند، محاسبه کنید.

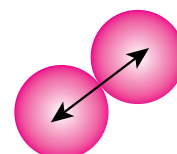
پایداری هسته‌ها: دیدیم که در هسته علاوه بر نیروی رانش کولنی بین پروتون‌ها، نیروی ربایش هسته‌ای بین کلیه اجزاء هسته اتم از پروتون‌ها و نوترون‌ها نیز حکمفرماست. از دید نیروی هسته‌ای، تفاوتی بین پروتون و نوترون وجود ندارد. از این رو آنها را با نام عام «نوکلون» نیز می‌نامند. پس وقتی می‌گوییم نوکلئون منظوریان پروتون یا نوترون است و آنها از نظر نیروی هسته‌ای تفاوتی ندارند. نیروی هسته‌ای گرچه بسیار قوی بوده اما کوتاه‌برد است؛ بنابراین، هر نوکلئون فقط به نوکلئون‌های مجاور خود نیروی هسته‌ای وارد می‌کند. اما، نیروی کولنی گرچه دارای شدت کمتری است اما بلند برد است و هر پروتون به تمام پروتون‌های موجود در هسته نیروی رانشی وارد می‌سازد؛ بنابراین، به

فرض می‌کنیم دو پروتون کاملاً به هم چسبیده باشند. با توجه به شعاع پروتون از جدول (۸-۳)، فاصله مرکز دو پروتون $2 \times 10^{-15} \text{ m}$ است.

$$F_g = G \frac{m_p m_p}{r^2} = 6.67 \times 10^{-11} \frac{(1.67 \times 10^{-27})^2}{(2 \times 10^{-15})^2} = 3.7 \times 10^{-35} \text{ N}$$

$$F_e = K \frac{q_p q_p}{r^2} = 9 \times 10^9 \frac{(1.6 \times 10^{-19})^2}{(2 \times 10^{-15})^2} = 4 \times 10^{-10} \text{ N}$$

$$\frac{F_e}{F_g} = \frac{4 \times 10^{-10} \text{ N}}{3.7 \times 10^{-35} \text{ N}} = 1.08 \times 10^{25}$$



شکل ۳۴

دانستنی ۸-۸

چگالی هسته

در این دانستنی در مورد حجم، جرم و چگالی هسته، بحث مقدماتی ساده‌ای انجام می‌شود و سپس رابطه تناسب بین شعاع هسته و عدد جرمی استخراج می‌گردد. برای اطلاعات بیشتر به CD همراه و یا سایت گروه فیزیک مراجعه کنید.

می‌شود). این نیروی اضافی را نیروی هسته‌ای (نیروی هسته‌ای قوی) می‌گویند.

نیروی قوی در گستره فاصله‌های میان نوکلئونی از تقریباً $1 \times 10^{-15} \text{ m}$ تا تقریباً $2 \times 10^{-15} \text{ m}$ جاذبه است. در این گستره، نیروی قوی خیلی بزرگتر از نیروی الکتریکی است؛ یعنی در حدود 10^6 برابر آن است. نیروی قوی در فاصله‌های میان نوکلئونی کمتر از $1 \times 10^{-15} \text{ m}$ دافعه است؛ یعنی نوکلئون‌ها مغزه سختی دارند که مانع از نفوذ بیشتر می‌شوند. برای فاصله‌های بزرگتر از تقریباً $2 \times 10^{-15} \text{ m}$ ، نیروی قوی ناگهان کاهش می‌یابد و سرانجام ناپدید می‌شود. از این رو، برعکس نیروی الکتریکی که به تدریج محو می‌شود و تا فاصله‌های دور اثر آن باقی می‌ماند، نیروی قوی به سرعت قطع می‌شود و برد آن کوتاه است.

نیروی هسته‌ای: چون فاصله متوسط میان پروتون‌ها در هسته خیلی کوتاه است، نیروی دافعه الکتریکی میان آنها خیلی بزرگ است. نیروی دافعه الکتریکی دو پروتون مجاور که فاصله مرکز تا مرکز آنها از یکدیگر تقریباً $2 \times 10^{-15} \text{ m}$ است از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{(1.6 \times 10^{-19})^2}{(2 \times 10^{-15})^2} = 5.8 \text{ N}$$

این نیرو تقریباً ۴ برابر وزن کتاب است؛ و چون فقط بر جرم 10^{-27} kg کیلوگرمی وارد می‌شود، اندازه آن فوق‌العاده بزرگ است. اگر یک نیروی بزرگتر برای اتصال پروتون‌ها و نوترون‌ها وجود نداشته باشد، این نیرو به شدت پروتون‌ها را از هم دور خواهد کرد. (نیروی دافعه متقابل پروتون‌ها سبب انفجار هسته

فعالیت ۴-۸

با توجه به شکل ۸-۱۷ و با بحث در گروه خود به پرسش‌های زیر پاسخ دهید.
 الف) خط راست خط‌چین به چه مقدارهای N ، Z و A مربوط می‌شود؟
 ب) آیا نسبت تعداد نوترون به تعداد پروتون برای هسته‌های پایدار مختلف ثابت است یا تغییر می‌کند؟ اگر تغییر می‌کند این تغییر چگونه است؟
 ب) ایزوتوپ‌های مختلف یک عنصر را چگونه می‌توان با استفاده از شکل تشخیص داد؟

اکنون با استفاده از راکتورهای هسته‌ای و شتاب‌دهنده‌ها می‌توان ایزوتوپ‌های مختلف را به طور مصنوعی تولید کرد. همان‌طور که قبلاً هم توضیح دادیم این ایزوتوپ‌ها کاربردهای روزافزونی در پزشکی برای تشخیص و درمان، در کشاورزی برای بررسی چگونگی جذب مواد در گیاهان، و در صنعت برای ردیابی جریان‌ها و کنترل کیفیت دارند.

انرژی بستگی هسته: اندازه‌گیری‌های دقیق نشان می‌دهد که جرم هسته از مجموع جرم پروتون‌ها و نوترون‌های تشکیل دهنده‌اش اندکی کمتر است. این موضوع در مورد آنها نیز کاملاً صدق می‌کند. به طوری که جرم اتم هم از مجموع جرم هسته و الکترون‌های آن کمتر است اما این تفاوت جرم برای هسته بیشتر است؛ اگر جرم هسته X را با M_x و جرم پروتون را با M_p و جرم نوترون را با M_n نشان دهیم، خواهیم داشت:

$$M_x < ZM_p + NM_n \quad (۲-۸)$$

اگر اختلاف جرم دو طرف رابطه بالا را با ΔM نشان دهیم، خواهیم داشت:

$$\Delta M = ZM_p + NM_n - M_x \quad (۳-۸)$$

این اختلاف جرم طبق رابطه معروف اینشتین:

$$E = mc^2 \quad (۴-۸)$$

به انرژی تبدیل می‌شود. این انرژی را «انرژی بستگی» می‌نامند و آن را با B نشان می‌دهند. پس داریم:

$$B = \Delta mc^2 = [ZM_p + NM_n - M_x]c^2 \quad (۵-۸)$$

در موقع تشکیل هسته X از Z پروتون و N نوترون این انرژی آزاد می‌شود و برای جدا کردن هسته به اجزای تشکیل دهنده‌اش، این انرژی را باید مصرف کرد.

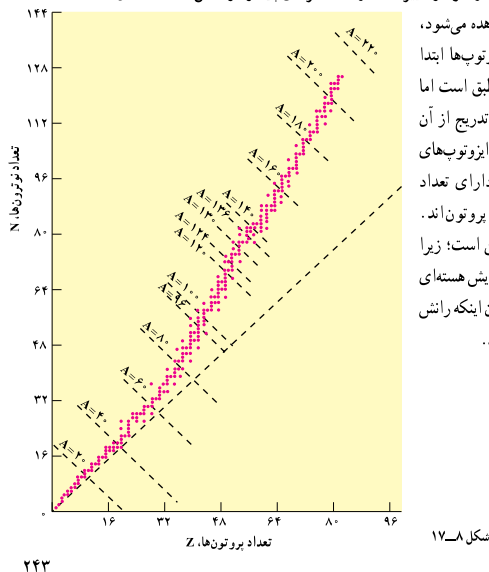
۲۴۴

تدریج با زیاد شدن تعداد پروتون‌ها در هسته نقش نیروی کولنی بارز می‌شود و اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. این موضوع سبب ناپایداری هسته می‌شود. همان‌طور که قبلاً گفتیم، اغلب ایزوتوپ‌های عناصر، ناپایدارند. ایزوتوپ‌های ناپایدار با گذشت زمان واپاشیده می‌شوند و سرانجام به ایزوتوپ‌های پایدار تبدیل می‌شوند.

واپاشی برخی از ایزوتوپ‌ها بسیار سریع صورت می‌گیرد، در حالی که واپاشی بعضی از آنها به قدری کند است که از زمان تشکیل زمین تاکنون هنوز کاملاً از بین نرفته‌اند.

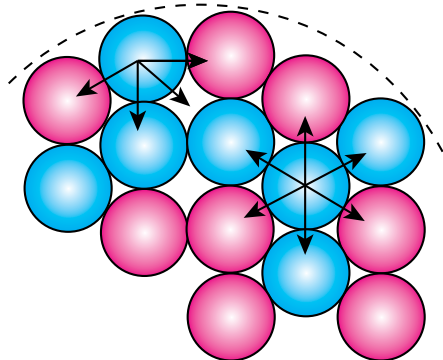
عدد اتمی عنصرهای طبیعی موجود در طبیعت $1 \leq Z \leq 92$ است. عناصر با $Z > 92$ را به طور مصنوعی در آزمایشگاه تولید می‌کنند و به آنها «عناصر فرا اورانیومی» می‌گویند. همین‌طور عدد نوترونی عنصرهای موجود در طبیعت $0 \leq N \leq 146$ است.

خط $N=Z$ و نمودار تغییرات N و Z عنصرهای پایدار در شکل ۸-۱۷ نشان داده شده است.



همان‌طور که مشاهده می‌شود، خط پایدار ایزوتوپ‌ها ابتدا بر خط $N=Z$ منطبق است اما با زیاد شدن Z به تدریج از آن منحرف می‌شود و ایزوتوپ‌های پایدار سنگین‌تر دارای تعداد نوترون بیش از پروتون‌اند. دلیل آن نیز روشن است؛ زیرا نوترون به هسته راپاشی هسته‌ای اضافه می‌کند بدون اینکه رانش کولنی داشته باشد.

حدودی شبیه به مولکول‌ها در یک قطره آب رفتار می‌کنند؛ این مولکول‌ها نیز می‌توانند آزادانه در داخل قطره حرکت کنند، اما همین که به سطح قطره نزدیک شوند، نیروهای میان مولکولی آنها را به عقب بر می‌گردانند. این شباهت میان هسته‌ها و قطره‌های آب مبتنی بر شباهت قوانین نیروست.



شکل ۳۵- نیروهای وارد بر نوکلئون در سطح هسته و در داخل هسته.

برای این که نیرو بر نوکلئون‌ها اثر کند، نوکلئون‌ها باید باهم در تماس، یا تقریباً در تماس باشند، یعنی نیروی قوی فقط بر نزدیکترین همسایگان نوکلئون‌ها اثر می‌کند.

در نتیجه کوتاه بُرد بودن نیروی قوی، هیچ نیروی خالصی بر نوکلئون‌هایی که در عمق هسته قرار دارند وارد نمی‌شود؛ هر نوکلئون فقط با نزدیکترین همسایگانش بر هم کنش دارد، و چون این همسایگان نوکلئون را با نیروی یکسان در تقریباً همه جهت‌ها می‌کشند نیروی خالص وارد بر نوکلئون صفر یا تقریباً صفر است (شکل ۳۵). اما همسایگان نوکلئونی که در سطح هسته است فقط در ناحیه داخل هسته قرار دارند و بنابراین یک نیروی خالص به طرف داخل هسته به آن وارد می‌کنند (شکل ۳۵). یعنی به طور کلی نوکلئون‌ها کمابیش آزادانه در داخل هسته حرکت کنند، اما وقتی به سطح هسته نزدیک می‌شوند نیروهای قوی آنها عقب می‌کشد و مانع از فرار آنها می‌شود. یعنی نوکلئون‌ها در هسته تا

هسته به صورت قطره مایع

در این دانشتنی در مورد اینکه «می توان هسته را تقریباً قطره ای از شارۀ هسته ای تراکم ناپذیر با چگالی یکنواخت در نظر گرفت» مطالبی آورده شده است. برای دسترسی به متن کامل به CD همراه و یا سایت گروه فیزیک مراجعه نمایید.

تبدیل هسته ای عناصر

در این دانشتنی در مورد نقش نیروی قوی در تبدیلات هسته ای و همچنین استحاله هسته ؛ مطالبی آورده شده است. برای دسترسی کامل به CD همراه و یا سایت گروه فیزیک مراجعه نمایید.

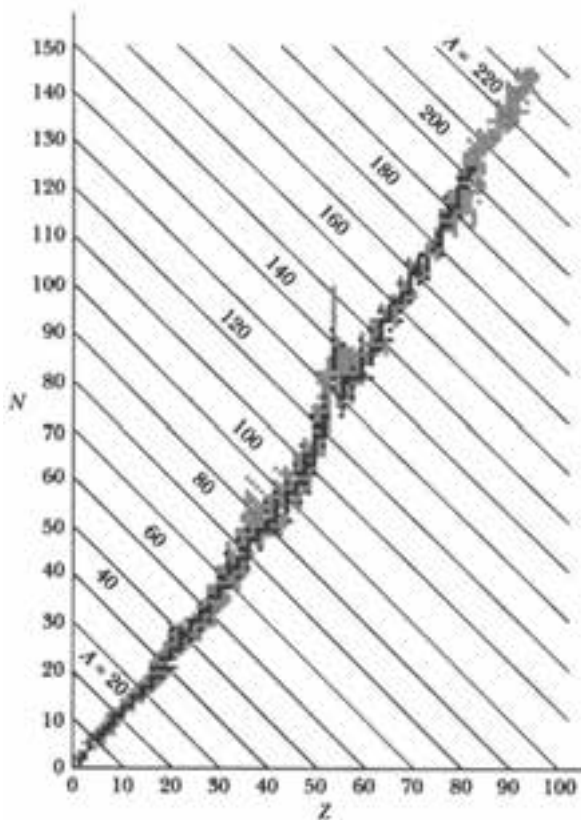
پایداری هسته ها : در هر هسته پایدار، نیروی دافعه

الکتریکی میان پروتون ها را نیروهای قوی جاذبه کنترل می کنند. برای این که توازن میان نیروها حاصل شود حضور نوترون ها در هسته سودمند است: هر چه تعداد نوترون های هسته بیشتر باشد اندازه هسته نیز بزرگتر و در نتیجه فاصله متوسط میان زوج پروتون ها نیز بیشتر است؛ به عبارت دقیقتر، نوترون ها در هسته اثر دافعه نیروی الکتریکی را رقیق می کنند. در نتیجه، تعداد نوترون های همه هسته های پایدار، به استثنای هیدروژن و یک ایزوتوپ هلیوم، حداقل برابر تعداد پروتونهای آنهاست؛ تعداد نوترون های هسته های سنگین، مانند اورانیم، خیلی بیشتر از تعداد پروتون های آنهاست.

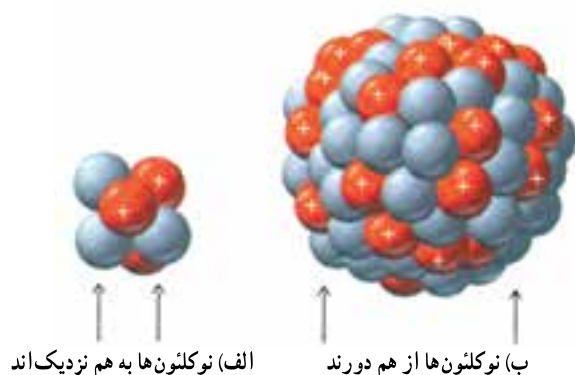
شکل ۳۶ نمودار تعداد نوترون ها بر حسب تعداد پروتون ها است

(N بر حسب Z). در این نمودار نقطه های روشن نشان دهنده هسته های پایدار و نقطه های سیاه نشان دهنده هسته های ناپایدار یا ایزوتوپ های پرتوزا هستند. توجه کنید که فراتر از بیسموت ($Z=83$) هیچ هسته پایدار وجود ندارد. اما در بالاتر از این هسته چند ایزوتوپ با طول عمر خیلی طولانی وجود دارد؛ بنابراین، این هسته ها تقریباً پایدارترند و به طور طبیعی یافت می شوند.

توجه : نمودار ۸-۱۷ کتاب درسی تنها ایزوتوپ های پایدار را نشان می دهد و ایزوتوپ های ناپایدار را نشان نمی دهد.



شکل ۳۶- نمودار پروتون ها (Z) بر حسب تعداد نوترون ها (N) برای هسته های پایدار (نقطه های روشن) و هسته های ناپایدار (نقطه های سیاه)



شکل ۳۷

شکل ۳۷، دو هسته سبک و سنگین را نشان می‌دهد. بر اساس نیروی جاذبه هسته‌ای و دافعه الکتریکی، توضیح دهید چرا هسته‌های سبک‌تر پایدارترند.
پاسخ: الف) در هسته سبک تمام نوکلئون‌ها به هم نزدیک‌اند؛ در نتیجه، در معرض جاذبه نیروی هسته‌ای قوی قرار دارند. ب) نوکلئون‌های واقع در دو طرف هسته‌ای بزرگتر چندان به هم نزدیک نیستند، در نتیجه، جاذبه نیروی هسته‌ای قوی برای آنها بسیار ضعیف‌تر است. حاصل پایداری کمتر هسته بزرگ است.

فعالیت ۸-۶

پاسخ: الف) خط راست خط چین که از مبدأ گذشته است، مربوط به شرایطی است که در آن عدد نوترونی با عدد اتمی برابر است ($N=Z$). در این حالت عدد جرمی برابر است با: $A=Z+N=2Z=2N$. همان‌گونه که از شکل پیداست، برای هسته‌های پایدار سبک، تعداد نوترون و پروتون تقریباً برابر است و به همین دلیل این ایزوتوپ‌ها بر روی خط $N=Z$ یا حوالی آن قرار دارند.

ب) شکل نشان می‌دهد با افزایش عدد اتمی، ایزوتوپ‌های پایدار از خط $N=Z$ فاصله می‌گیرند و به طرف بالای خط پراکنده می‌شوند. یعنی تعداد نوترون‌های آنها، نسبت به پروتون‌های آنها، زیاد می‌شود. علت این امر آن است که برای هسته‌های پایدار سنگین، انرژی دافعه الکتریکی (کولنی) به سرعت افزایش می‌یابد، به طوری که نوترون‌های اضافی باید انرژی بستگی اضافی برای پایداری را تأمین کنند. به این دلیل برای تمام هسته‌های سنگین $N>Z$ است. ب) برای تشخیص ایزوتوپ‌های پایدار مختلف یک عنصر با عدد اتمی Z ، کافی است از عدد اتمی مورد نظر بر روی محور Z ها، خطی به موازات محور N ها، رسم کنیم. عناصری که این خط با آنها تلاقی می‌کنند، ایزوتوپ‌های مختلف یک عنصر هستند.

با توجه به شکل ۸-۱۷، به پرسش‌های زیر پاسخ دهید.
الف) چگونه می‌توانیم، ایزوتوپ‌هایی که دارای یک عدد نوترونی هستند را بر روی شکل مشخص کنیم؟
ب) چگونه می‌توانیم ایزوتوپ‌هایی را که دارای یک عدد جرمی هستند، تعیین کنیم.

پاسخ: الف) برای تعیین ایزوتوپ‌هایی که دارای یک عدد نوترونی (مثلاً $N=9/6$) هستند، کافی است بر روی محور N ‌ها و از عدد مورد نظر (۹۶) خطی به موازات محور Z ‌ها رسم کنیم. عناصری که توسط این خط قطع می‌شوند، ایزوتوپ‌هایی هستند که دارای عدد نوترونی یکسانی می‌باشند.

ب) فرض کنید می‌خواهیم ایزوتوپ‌هایی که دارای عدد جرمی 8° هستند را شناسایی کنیم، بدین منظور بر روی محور Z ‌ها یا N ‌ها، عدد 8° را پیدا کرده و به عدد 8° در محور دیگر وصل می‌کنیم. کلیه عناصری که توسط این خط قطع می‌شوند، ایزوتوپ‌هایی هستند که عدد جرمی آنها 8° است.

برای به دست آوردن انرژی آزاد شده در فرایندهای هسته‌ای کافی است اختلاف جرم دو طرف واکنش برحسب u را در $931/5$ ضرب کنیم تا انرژی برحسب MeV به دست آید.
در فرایندهای هسته‌ای اصل پایستگی جرم و انرژی به تنهایی برقرار نیستند بلکه در این فرایندها مجموع جرم و انرژی در برهم کنش پایسته می‌ماند.

مثال ۲-۸

هسته دوتریم را که از یک پروتون و نوترون تشکیل شده است، «دوترون» می‌نامند.
جرم اتمی 2H برابر $2.014102u$ است. انرژی بستگی آن را محاسبه کنید.
پاسخ: ابتدا جرم هسته دوتریم را حساب می‌کنیم.

جرم یک الکترون - جرم اتم دوتریم = جرم هسته دوتریم

$$m({}^2H) = M({}^2H) - M(e) \\ = 2.014102u - 0.000549u \\ = 2.013553u$$

به این ترتیب انرژی بستگی هسته دوتریم برابر است با

$$B = [m_p + m_n - m({}^2H)]c^2 \\ = [1.007825u + 1.008665u - 2.013553u] \times 931.5 = 2.22MeV$$

تمرین ۱-۸

انرژی بستگی 4He را به دست آورید. جرم اتمی 4He برابر $4.002603u$ است.

۲۴۶

توجه داریم که در فرایندهای هسته‌ای معمولاً جرم محصولات فرایند از جرم ذرات اولیه اندکی کمتر است. این تفاوت جرم طبق رابطه $E=mc^2$ به انرژی تبدیل می‌شود. چون این اختلاف جرم در c^2 ضرب می‌شود، اختلاف جرم بسیار مختصر سبب تولید انرژی قابل ملاحظه می‌شود.

یکای جرم اتمی: در واکنش‌های هسته‌ای، با تبدیل جرم به انرژی سروکار داریم و جرمی که به انرژی تبدیل می‌شود، بسیار کوچک است؛ بنابراین، نمی‌توان از یکاهای متداول جرم چون کیلوگرم و گرم استفاده کرد. یکای مورد استفاده در فیزیک هسته‌ای یکای جرم اتمی است که آن را با u نشان می‌دهند

و عبارت است از $\frac{1}{12}$ جرم اتم کربن ${}^{12}C$ که آن را طبق تعریف $1.66054 \times 10^{-27}kg$ در نظر می‌گیرند. برحسب این یکا، جرم پروتون $1.007276u$ ، جرم الکترون $0.000549u$ و جرم نوترون $1.008665u$ است.

مثال ۱-۸

الف) یکای جرم اتمی را برحسب کیلوگرم محاسبه کنید.

ب) اگر $1u$ تبدیل به انرژی شود، این انرژی معادل چند الکترون ولت است؟

پاسخ

می‌دانیم که یک مول از هر ماده حاوی تعداد ذرات (اتم، مولکول یا هر چیز دیگر)

مساوی زیر است:

$$N_A = 6.022137 \times 10^{23}$$

پس یک مول کربن یعنی $12kg$ نیز حاوی همین تعداد اتم کربن است؛ پس:

$$1u = \frac{1}{12} \left(\frac{1}{6.022137 \times 10^{23}} \right) (12kg) = 1.66054 \times 10^{-27}kg$$

حال انرژی معادل این جرم برابر است با:

$$E = 2.99792458 \times 10^8 m/s$$

$$E = 1u \times c^2$$

$$= (1.66054 \times 10^{-27}kg) (2.99792458 \times 10^8)^2 = 1.49 \times 10^{-11}J$$

می‌دانیم که

$$1J = 6.24151 \times 10^{18} eV = 6.24151 \times 10^{11} MeV$$

پس، انرژی معادل جرم $1u$ برابر است با:

$$E = 931.5 MeV$$

۲۴۵

$$m = E/c^2$$

که در آن E انرژی و c سرعت نور است. از رابطه بالا می‌توان جرم هم‌ارز انرژی بستگی را با تفاضل جرم یک هسته از کل جرم ذره‌های جدا از هم به دست آورد. این اختلاف را کاستی جرم می‌گویند.

انرژی بستگی هسته: اگر شما با جمع‌آوری پروتون‌ها

و نوترون‌های جدا از هم هسته کوچکی بسازید، در این فرایند انرژی آزاد می‌شود. این انرژی انرژی بستگی نامیده می‌شود.

اگر شما بخواهید بار دیگر ذره‌های سازنده هسته را از هم جدا کنید، باید این مقدار انرژی را فراهم کنید.

انرژی بستگی هم مانند انواع انرژی‌ها دارای جرم m

است که از رابطه زیر به دست می‌آید:



(الف)

(ب)

شکل ۳۸- جرم هسته برابر مجموع اجزای تشکیل دهنده آن نیست. (الف) پاره‌های شکافت هسته سنگینی چون اورانیوم سبک‌تر از هسته اورانیوم اند. (ب) دو پروتون و دو نوترون آزاد سنگین‌تر از وقتی هستند که به شکل هسته هلیوم با هم ترکیب شوند.

فعالیت ۷-۸

با استفاده از طیف موج‌های الکترومغناطیسی در فصل ۲، نوع تابش گسیل‌شده از هسته را مشخص کنید.

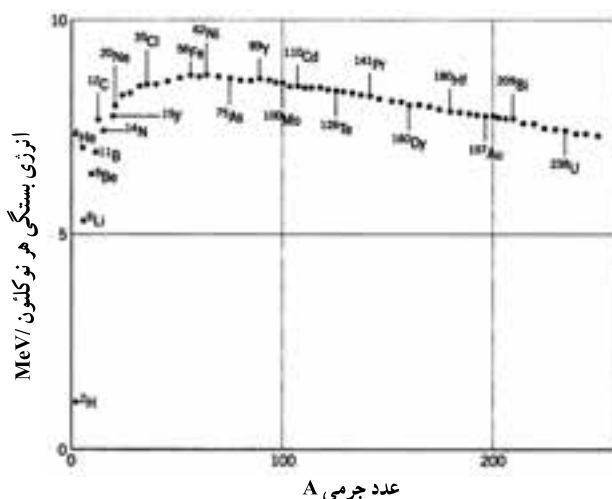
همان‌گونه که دیدیم، انرژی واکنش شیمیایی در حدود چند الکترون ولت و انرژی لازم برای برانگیختگی هسته‌ها معمولاً در محدوده کیلوالکترون ولت تا میلیون الکترون ولت است؛ از این رو، هسته‌ها در واکنش‌های شیمیایی برانگیخته نمی‌شوند.

۹-۸- پرتوزایی

همان‌طور که قبلاً گفتیم، تحول‌هایی در فیزیک که به پیدایش فیزیک جدید و گسترش فیزیک هسته‌ای انجامید با کشف پدیده پرتوزایی شکل گرفت. در سال ۱۸۹۶ میلادی، هانری بکرل به صورت

۲۴۷

دارند، اما در نمودار از عدد جرمی 60 تا 100 تغییرات نسبتاً کمی در انرژی بستگی هر نوکلئون مشاهده می‌شود.



مثال پیشنهادی

انرژی بستگی ایزوتوپ ${}^{56}_{26}\text{Fe}$ را به دست آورده (B) و سپس انرژی بستگی به ازای هر نوکلئون، B/A را برای این ایزوتوپ، حساب کنید. جرم اتمی ${}^{56}_{26}\text{Fe}$ ، 55.934939u است.

پاسخ: ابتدای جرم هسته ${}^{56}\text{Fe}$ را به دست می آوریم.

جرم ۲۶ الکترون - جرم اتم آهن = جرم هسته آهن

$$m({}^{56}\text{Fe}) = 55.934939\text{u} - 26 \times 0.000549\text{u} = 55.920665\text{u}$$

$$B = [Zm_p + Nm_n - m({}^{56}_{26}\text{Fe})] \times 931/5$$

$$= [26 \times 1.007276 + 30 \times 1.008665 - 55.920665] \times 931/5 = 492/3\text{Mev}$$

$$\frac{B}{A} = \frac{492/3\text{MeV}}{56} = 8.79\text{MeV نوکلئون}$$

مثال پیشنهادی

انرژی بستگی ${}^{238}_{92}\text{U}$ را به دست آورده (B) و سپس انرژی بستگی به ازای هر نوکلئون ($\frac{B}{A}$) را برای این ایزوتوپ محاسبه کنید. جرم اتمی اورانیوم ۲۳۸، 238.050785u است.

پاسخ:

جرم ۹۲ الکترون - جرم اتم اورانیوم ۲۳۸ = جرم هسته اورانیوم

$$= 238.050785\text{u} - 92 \times 0.000549\text{u} = 238.000277\text{u}$$

$$B = [Zm_p + Nm_n - m({}^{238}_{92}\text{U})] \times 931/5$$

$$= [92 \times 1.007276\text{u} + 146 \times 1.008665\text{u} - 238.000277] \times 931/5 = 180.2\text{Mev}$$

$$\left(\frac{B}{A}\right) = \frac{180.2\text{MeV}}{238} = 0.757\text{MeV نوکلئون}$$

دانشنی ۸-۱۱

انرژی بستگی و منحنی B/A بر حسب A

در این دانشنی در مورد نمودار B/A بر حسب A توضیحاتی داده می شود. برای اطلاعات بیشتر به CD همراه و یا سایت گروه فیزیک مراجعه نمایید.

دانشنی ۸-۱۲

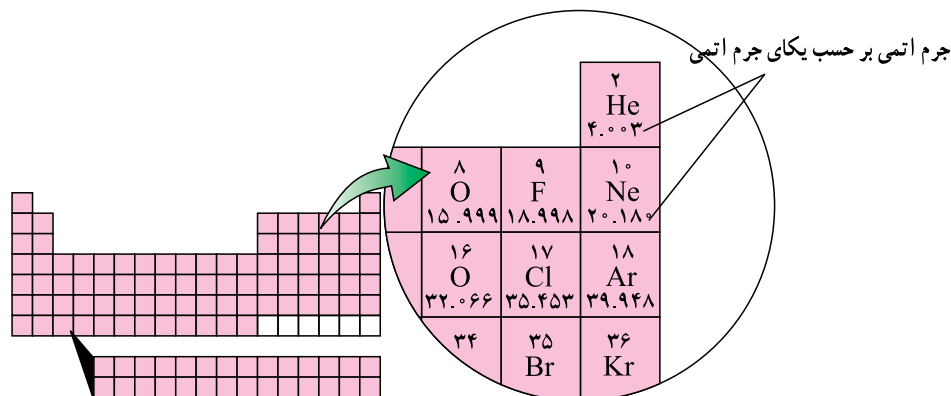
شکستن اتم ها

در این دانشنی در مورد؛ نحوه شکستن هسته ها، هدف های ثابت و آشکارسازهای ذره، مطالبی آورده شده است. برای دسترسی کامل به CD همراه و یا سایت گروه فیزیک مراجعه نمایید.

بیشتری آزاد می‌کند.

توجه: جرم‌های اتمی در جدول‌های تناوبی بر حسب یکاهای جرم اتمی است. مقدار جرم هر عنصر در این جدول، میانگین جرم‌های اتمی ایزوتوپ‌های مختلف است.

با محاسبه B/A پی می‌بریم که بستگی هسته ${}^56\text{Fe}$ به نسبت از هسته ${}^{238}\text{U}$ بیشتر است. انرژی بستگی به ازای هر نوکلئون برای ${}^56\text{Fe}$ از ${}^{238}\text{U}$ بیشتر است. به عبارت دیگر اگر مقدار زیادی پروتون و نوترون داشته باشیم، گردآوری آنها به صورت هسته‌های ${}^56\text{Fe}$ ، نسبت به جمع کردن آنها به صورت هسته‌های ${}^{238}\text{U}$ انرژی



شکل ۴۰

هلیوم، دارای جرم اتمی 4.003u است و جرم اتمی نئون، 20.18u ، است. این مقادیر از میانگین گیری فراوانی ایزوتوپ‌ها در سطح زمین به دست آمده است.

پرسش پیشنهادی

اگر جرم پروتون‌های منزوی بزرگتر از 1.0000u است، چرا جرم ۱۲ تا از آنها در هسته کربن بزرگ‌تر از 12.0000u نیست؟

پاسخ: وقتی نوکلئونی را از هسته جدا می‌کنیم، روی آن کار انجام می‌دهیم و این نوکلئون انرژی به دست می‌آورد. وقتی این نوکلئون دوباره وارد هسته می‌شود، روی محیط اطراف کار انجام داده و انرژی از دست می‌دهد. از دست دادن انرژی به معنی از دست دادن جرم است. مثل این است که هر نوکلئون هنگام پیوستن به ۱۱ نوکلئون دیگر برای تشکیل ${}^{12}\text{C}$ جرم خود را تا 1.0000u کم می‌کند. اگر این نوکلئون را دوباره بیرون بکشید، به جرم اولیه می‌رسید (در واقع، $E=mc^2$)

تمرین ۸-۱

جرم دو الکترون - جرم اتم هلیوم = جرم هسته هلیوم

$$m(\text{He}) = M(\text{He}) - 2m_e$$

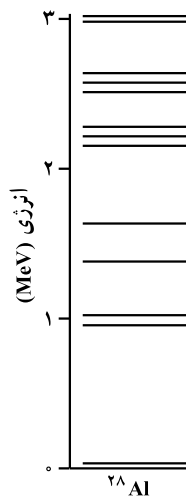
$$= 4.002603\text{u} - 2 \times 0.000549\text{u} = 4.001505\text{u}$$

انرژی بستگی هسته هلیوم برابر است با

$$B = [2m_n + 2m_p - m(\text{He})]c^2$$

$$= [2 \times 10^{-8} \times 1.66 \times 10^{-27} \text{ u} + 2 \times 10^{-8} \times 1.66 \times 10^{-27} \text{ u} - 4 \times 10^{-8} \times 1.66 \times 10^{-27} \text{ u}] \times 931.5 \text{ MeV/u}$$

$$= 0.031345 \text{ u} \times 931.5 \text{ MeV/u} = 29.19 \text{ MeV}$$



شکل ۴۱- ترازهای انرژی برای نوکلئید ^{28}Al ، که از آزمایش‌های واکنش هسته‌ای نتیجه شده است.

ترازهای انرژی هسته‌ای: انرژی هسته‌ها، مثل انرژی اتم‌ها کوانتیده است. یعنی، هسته‌ها فقط می‌توانند در حالت‌های کوانتومی گسسته، هر یک با انرژی کاملاً متمایزی، وجود داشته باشند.

شکل ۴۱، برخی از ترازهای انرژی را برای هسته ^{28}Al که یک هسته نسبتاً سبک محسوب می‌شود، نشان می‌دهد. توجه داشته باشید که مقیاس انرژی به جای الکترون-ولت (eV) که برای اتم‌ها به کار گرفته می‌شود، بر حسب میلیون الکترون-ولت (MeV) است. هرگاه هسته‌ای از یک تراز به تراز با انرژی پایین‌تر گذار پیدا کند، فوتون گسیل شده به‌طور نوعی در ناحیه پرتو گامای طیف الکترومغناطیسی قرار دارد.

فعالیت ۸-۷

با توجه به اینکه اختلاف انرژی ترازهای نوکلئون‌ها در هسته‌های سنگین از مرتبه کیلو الکترون‌ولت (10^3 eV) و هسته‌های سبک از مرتبه مگا الکترون‌ولت (10^6 eV) است، می‌توانیم طول موج تابش گسیل شده در هسته‌ها را به‌دست آوریم:

$$\Delta E = h \frac{C}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{hc}{\Delta E} = \frac{4.14 \times 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s} \times 3 \times 10^8 \text{ m/s}}{\Delta E}$$

$$\text{برای هسته‌های سنگین: } \lambda = \frac{1/2 \times 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{eV}}{1 \times 10^3 \text{ eV}} = 1/2 \times 10^{-10} \text{ m}$$

$$\text{برای هسته‌های سبک: } \lambda = \frac{1/2 \times 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{eV}}{1 \times 10^6 \text{ eV}} = 1/2 \times 10^{-13} \text{ m}$$

با استفاده از شکل ۹-۲ یا جدول ۱-۲، متوجه می‌شویم، تابش‌هایی با این طول موج‌ها در محدوده پرتوهای

گاما هستند.

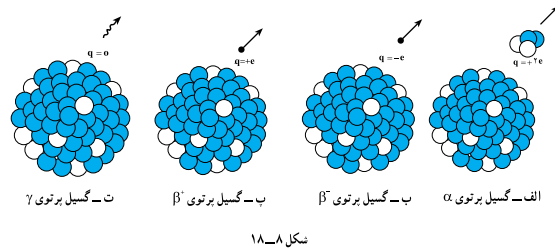
۹-۸- پرتوزایی

نگاهی دوباره به مفهوم:

نامری گسیل می‌کنند که می‌توانند از ورقه‌های کدر بگذرند و بر صفحه عکاسی اثر بگذارند. در تحقیقات بعدی معلوم شد که اورانیم و سایر مواد پرتوزا سه نوع پرتو گسیل می‌کنند که عبارت‌اند از: پرتوهای آلفا (α)، پرتوهای بتا (β)، و پرتوهای گاما (γ).

پرتوزایی را هانری بکرل در سال ۱۸۹۶ کشف کرد. او تصادفاً متوجه شد که نمونه‌هایی از کانی‌های اورانیم پرتوهایی

کاملاً تصادفی متوجه شد که سنگ معدن اورانیم پرتوهای نافذی را از خود گسیل می‌دارد. هسته‌های پرتوزا ناپایدارند و با گذشت زمان خود به خود و بدون تأثیرپذیری از شرایط خارجی، پرتوهای را گسیل می‌دارند و به تدریج به هسته‌های پایدار تبدیل می‌شوند. همان‌گونه که در شکل ۱۸-۴ نشان داده شده است، هسته‌های پرتوزا با گسیل یکی از پرتوهای زیر واپاشیده می‌شوند.



۱- واپاشی آلفا: در این نوع واپاشی که در هسته‌های سنگین صورت می‌گیرد، هسته A_ZX با گسیل ذره α (${}^4_2\text{He}$) متشکل از دو پروتون و دو نوترون و می‌باشد (شکل ۱۸-۸ الف).



هسته X را «هسته مادر» و هسته Y را «هسته دختر» می‌نامند؛ هسته Y محصول واپاشی دارای عددجرمی $A-4$ و عدد اتمی $Z-2$ است. این واپاشی با آزاد شدن انرژی همراه است که این انرژی بین محصولات واپاشی تقسیم می‌شود و بخش عمده آن را ذره α به همراه می‌برد. ذره‌های آلفا سنگین و دارای دو بار مثبت‌اند. ژرد این ذره‌ها بسیار کوتاه است و به سرعت جذب می‌شوند ولی اگر این ذره‌ها از راه تنفس یا دستگاه گوارش وارد بدن شوند، باعث آسیب شدید به بافت‌های بدن می‌شوند، بنابراین، باید مواظب بود که مواد آلفا گسیل هرگز وارد بدن نشوند.

۲- واپاشی بتا: این متداول‌ترین نوع واپاشی در هسته‌هاست. در این واپاشی هسته ناپایدار با گسیل الکترون یا پوزیترون (ذره‌ای دارای جرم برابر جرم الکترون و بار مخالف آن) به هسته جدیدی تبدیل می‌شود (شکل ۱۸-۸ ب و پ).

۲۴۸

واپاشی β^- بسیار شگفت‌انگیز است؛ زیرا الکترون قبلاً در هسته وجود ندارد و در حین واپاشی به وجود می‌آید. در فرایند واپاشی همراه با گسیل الکترون یک نوترون در هسته تبدیل به پروتون و الکترون می‌شود. فرایند را می‌توان به صورت زیر نوشت:



در فرایند گسیل پوزیترون β^+ یک پروتون به نوترون و پوزیترون تبدیل می‌شود که می‌توان آن را به صورت زیر نوشت:



محصول این نوع واپاشی هسته جدیدی است که عدد اتمی آن برخلاف مورد گسیل الکترون که عدد اتمی هسته دختر یک واحد بیشتر از هسته مادر است، یک واحد از هسته مادر کمتر است.

۳- واپاشی گاما: در این نوع واپاشی، هیچ یک از عددهای جرمی و اتمی هسته تغییر نمی‌کند بلکه هسته‌ای که در حالت برانگیخته است، با گسیل پرتو گاما به حالت پایه می‌رسد (شکل ۱۸-۸ ت). این فرایند را می‌توان به صورت زیر نشان داد:



اغلب هسته‌ها پس از گسیل ذره‌های آلفا و بتا در حالت برانگیخته هستند و با گسیل پرتو گاما به حالت پایه می‌رسند؛ بنابراین، گسیل پرتو گاما اغلب با گسیل آلفا و بتا همراه است. پرتو گاما همان ویژگی‌های پرتو X را دارد ولی از آن پراثری‌تر است و می‌تواند در ماده بیشتر نفوذ کند.

در تمام فرایندهای واپاشی اصول پایستگی زیر برقرار است:

۱- مجموع بار الکتریکی در دو طرف رابطه‌ها (۱۸-۷ تا ۱۸-۹) یکسان است.

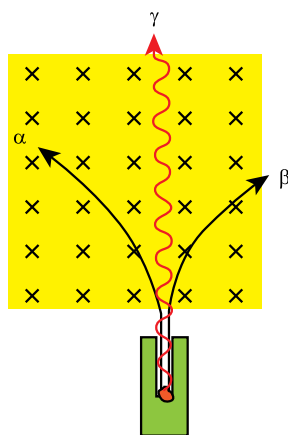
۲- مجموع عددهای جرمی در دو طرف رابطه‌های بالا یکسان است.

مثال ۳-۸

در واپاشی هسته اورانیم - ${}^{238}_{92}\text{U}$ یک ذره آلفا گسیل می‌شود. معادله این

۱- در واپاشی بتا ذره دیگری (که نوترون یا پادنوترون نام دارد و با نماد \bar{n} نشان داده می‌شود) را نیز باید در نظر گرفت که در اینجا برای سادگی از آن صرف‌نظر شده است.

۲۴۹



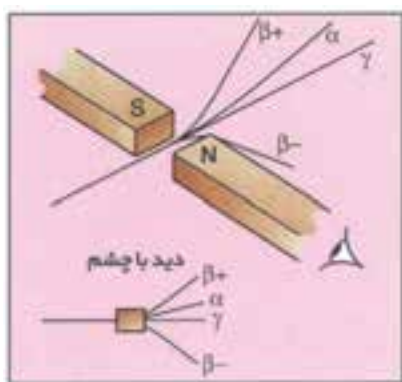
شکل ۴۲- پرتوهای آلفا، بتا، و گامای گسیل شده از یک چشمه پرتوزا. وقتی این پرتوها (در جهت عمودی بر صفحه کاغذ) وارد یک میدان مغناطیسی شوند، پرتوهای آلفا و بتا در جهت‌های مخالف منحرف می‌شوند، و پرتو گاما، بدون انحراف پیش می‌رود.

ماده پرتوزا گسیل می‌کند؛ انرژی این فوتون‌های پرتو - گاما نوعاً 10^6 برابر انرژی فوتون‌های پرتو X است.

«تولید» و گسیل این الکترون‌های سریع و هسته‌های هلیوم

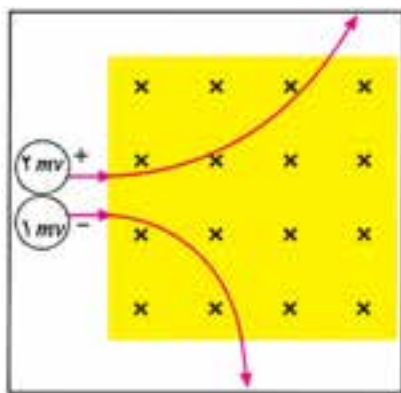
قدرت نفوذ پرتوهای آلفا از بقیه کمتر است؛ این پرتوها را می‌توان با یک برگ کاغذ ضخیم متوقف کرد. قدرت نفوذ پرتوهای بتا بیشتر است؛ این پرتوها می‌توانند از یک برگ سرب یا از یک صفحه آلومینیومی بگذرند. پرتوهای گاما نافذترین پرتوها هستند و می‌توانند از یک دیوار ضخیم بتونی بگذرند. وقتی این سه نوع پرتو وارد یک میدان مغناطیسی شوند، پرتوهای آلفا و بتای منفی در جهت‌های مخالف هم منحرف می‌شوند، و پرتوهای گاما بدون انحراف به راه خود ادامه می‌دهد (شکل ۴۲). این آزمایش ساده نشان می‌دهد که پرتوهای آلفا بار مثبت، و پرتوهای بتا بار منفی دارند و پرتوهای گاما خنثی هستند.

بکرل، با آزمایش‌های مفصل‌تر، ثابت کرد که پرتوهای بتا الکترون‌های سریع (یا پوزیترون) هستند. چند سال بعد رادرفورد ماهیت پرتوهای آلفا را بررسی و نشان داد که این پرتوها هسته‌های هلیوم هستند. از این رو، الکترون‌ها و هسته‌های هلیوم، به گونه‌ای، در داخل نمونه اورانیم یا سایر مواد پرتوزا تولید و با سرعت زیاد گسیل می‌شوند. پرتوهای گاما فوتون‌های پرانرژی هستند که



شکل ۴۴- رفتار تابش‌ها در میدان مغناطیسی

بیشتر ذره‌های باردار، باری برابر یا مخالف بار الکترون دارند، بنابراین در یک میدان مغناطیسی معین جهت و شعاع انحنای مسیرها گواه مستقیمی از بار و تکانه ذره‌ها به دست می‌دهد (شکل ۴۵). مشخصه‌های دیگر، یافتن ویژگی‌های دیگر را ممکن می‌سازد. ذره بدون بار، ردی از خود بر جای نمی‌گذارد اما می‌تواند توسط جدایی یا پیچش در ردی‌های دیگر آشکار شود (شکل ۴۶).



شکل ۴۵- ذره با تکانه بیشتر، کم‌تر منحرف می‌شود.

e^+
 e^-
الف) ذره‌های سریع یک رد منحنی نازک به جا می‌گذارند.

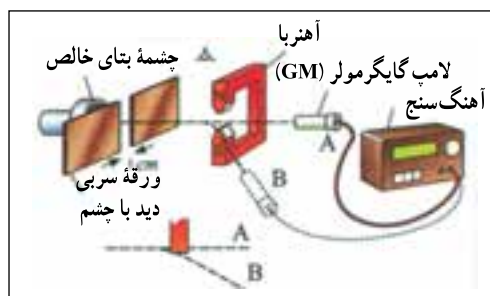
ب) ذره‌های آهسته یا ذره‌های سنگین باعث یونش بیش‌تر در یک فاصله کوتاه‌تر و در نتیجه رد ضخیم‌تر می‌شوند.

شکل ۴۶- مشخصه‌های ردی ذره دیده شده در یک میدان مغناطیسی که به درون صفحه وارد می‌شوند.

هسته‌های ماده پرتوزا بر اثر واکنش‌های واپاشی هسته‌ای صورت می‌گیرد.

انحراف تابش با میدان‌های مغناطیسی :

یک چشمه بتا را در فاصله ۱۰ cm از یک لامپ گایگر مولر (GM) قرار دهید و سپس مطابق شکل ۴۳ آن‌رایی را بین آنها بگذارید. به تغییر در شمارش توجه کنید.
- برای یافتن ذره‌های منحرف شده، لامپ GM را در وضعیتی که با خط چین نشان داده شده است، حرکت دهید.
- آزمایش را به نوبت با چشمه‌های آلفا و گاما تکرار کنید.



شکل ۴۳- انحراف تابش بتا

شکل ۴۴ انحراف تابش‌های مختلف را در میدان مغناطیسی نشان می‌دهد. برای بررسی جهت انحراف ذره‌ها لازم است از قاعده دست چپ فلمینگ استفاده کنید. هر دو ذره α و β^+ مثبت‌اند. جهت حرکت آنها، جهت جریان است. آنها به طرف بالا منحرف می‌شوند. تابش β^- در جهت مخالف منحرف می‌شود. ذره‌های α که نسبت به ذره‌های β بسیار سنگین‌ترند جهت انحرافشان به زحمت دیده می‌شود و روی نمودار بیش از حد معمول آن است.

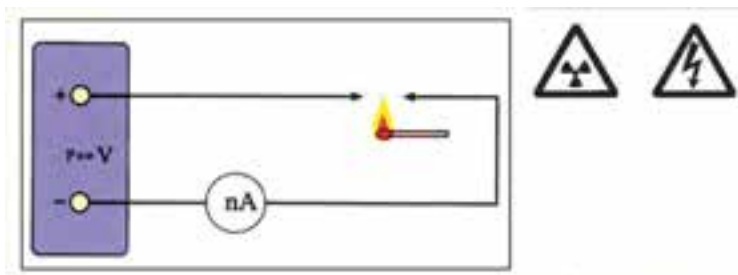
ب) ذره‌ها از طریق برخوردی یونیده انرژی جنبشی از دست می‌دهند. به این ترتیب رد، انحنای بیش‌تر و ضخیم‌تری پیدا می‌کند.

ت) یک واپاشی در یک ذره باردار و یک ذره خنثی سنگین که به دو ذره باردار مخالف و امی باشد.

۱- واپاشی آلفا

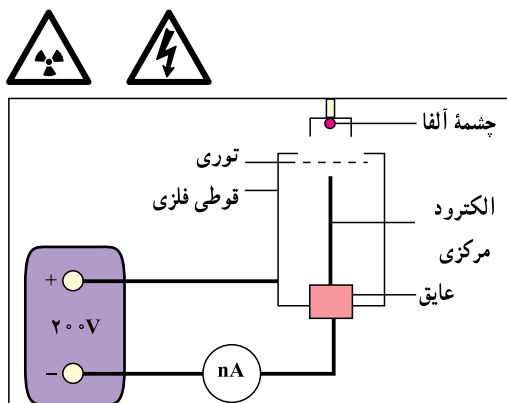
رسانایی هوا

— مداری مطابق شکل ۴۷- ببینید. مولد ولتاژ بالا بارها را در مدار به حرکت درمی آورد و نانوآمپرسنج جریانی را که در مدار شارش می کند اندازه می گیرد. بدون وجود شعله کبریت، جریان از گاف هوا عبور نمی کند.



شکل ۴۷- اندازه گیری جریان عبوری از گاف هوا

— چشمه آمرسیوم را نزدیک توری بگیرید تا یک جریان یونش در مدار ایجاد شود (شکل ۴۸). سپس چشمه را آنقدر از توری دور کنید تا جریان متوقف شود، به این ترتیب شما می توانید فاصله ای را که تابش آلفا در هوا طی می کند پیدا کنید.



شکل ۴۸- آشکارسازی یون های تولید شده توسط تابش آلفا

— دوباره چشمه را نزدیک توری نگه دارید. یک ورقه نازک کاغذ بین چشمه و توری محفظه قرار دهید و فاصله ای را که تابش آلفا می تواند از طریق کاغذ طی کند، بررسی کنید. **برد تابش آلفا:** تابش آلفا به شدت یونیده کننده است.

— حال شعله کبریت را در گاف هوا بگیرید و نانوآمپرسنج را مشاهده کنید.

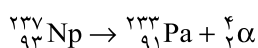
— سپس یک چشمه پرتوزای آمرسیوم به گاف هوا نزدیک و نانوآمپرسنج را مشاهده کنید.

وقتی شعله کبریت را در گاف هوا در مدار شکل ۴۷ بگیرید، آمپرسنج عبور جریانی را در مدار نشان می دهد. شعله باعث رسانا شدن هوا می شود. وقتی چشمه پرتوزا را نزدیک گاف قرار می دهیم، همین اتفاق می افتد و هوا رسانا می شود.

شعله هوا را یونیده می کند. شعله انرژی را برای آزاد شدن الکترون ها به اتم های هوا می دهد. به این ترتیب الکترون های آزاد منفی و یون های آزاد مثبت ایجاد می شوند. تابش ناشی از آمرسیوم نیز هوا را یونیده می کند؛ به همین دلیل تابش یونیده کننده نامیده می شود. تابش گسیل شده توسط آمرسیوم را تابش آلفا (α) می نامند.

بررسی تابش آلفا (α)

— اتاقک یونش یک گاف هوای محصور است که می توان آن را برای بررسی تابش به کار برد. هر تابشی که وارد محفظه شود و هوا را یونیده کند، جریانی در مدار به وجود می آورد و آمپرسنج آن را می خواند.



شکل ۵۰- آشکارسازهای دود شامل یک چشمه آمريسيوم هستند. ذره‌های دود تابش آلفا را متوقف می‌کنند و زنگ به‌کار می‌افتد.

وقتی یک ذره آلفا در پایان مسیرش متوقف می‌شود، دو الکترون را می‌گیرد و به اتم هلیوم تبدیل می‌شود. واپاشی آلفا درون زمین دلیلی برای وجود هلیوم در ذخایر گاز طبیعی است.

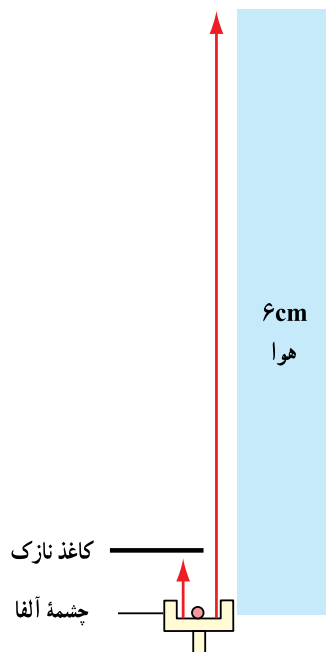
۲- واپاشی بتازا

لامپ لایگر- مولر: برای ایجاد جریانی قابل اندازه‌گیری لازم است تعداد زیادی یون در اتاقک یونش ایجاد شود. لامپ لایگر- مولر (شکل ۵۱) هر یونشی را که در آن رخ دهد، خواه شامل یک تک زوج یون باشد یا چندین یون، آشکار می‌کند. برای هر یونشی، تپ جریانی از درون لامپ می‌گذرد و توسط شمارنده‌ای که به آن وصل است ثبت می‌شود. لامپ‌های لایگر- مولر آشکارسازهای ضعیفی برای تابش آلفا هستند، زیرا حتی پنجره انتهایی نازک آن ذره‌های آلفای بسیاری را متوقف می‌کند. اما لامپ‌های لایگر- مولر می‌توانند تابش‌های نافذتر ولی یونیده‌کننده کمتری را آشکار کنند که اتاقک‌های یونش نمی‌توانند آن را آشکار کنند.



شکل ۵۱- لامپ لایگر- مولر

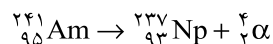
این تابش تعداد زیادی یون در هر میلی‌متر در طول مسیرش ایجاد می‌کند. اما برد تابش آلفا محدود است. همان‌طور که در شکل ۴۹ نشان داده شده است، این تابش توسط ۵ تا ۶ سانتی‌متر هوا با یک ورقه نازک کاغذ متوقف می‌شود. شکل ۵۰ یک آشکارساز دود را نشان می‌دهد که توسط ذره‌های دود با متوقف کردن تابش آلفا به‌کار می‌افتد.



شکل ۴۹- ذره‌های آلفا توسط کاغذ نازک یا ۶ cm هوا متوقف می‌شوند.

ذره‌های آلفا شامل دو پروتون و دو نوترون هستند. این همان هسته هلیوم-۴ (${}^4_2\text{He}$) است. وقتی اتمی با گسیل ذره آلفا وامی‌پاشد، دو پروتون و دو نوترون گسیل می‌کند (شکل ۴-۱۷-الف)

امريسيوم با گسیل ذره آلفا وامی‌پاشد. عدد پروتونی به اندازه ۲ و عدد جرمی به اندازه ۴ کاهش می‌یابد. اتم به نپتونیم تبدیل می‌شود این اتم دیگر امريسيوم نیست.

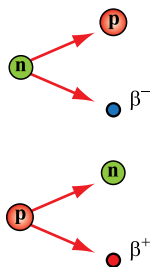


نپتونیم با گسیل یک ذره آلفا دیگر به پروتکتینیوم-۲۳۳

وامی‌پاشد:

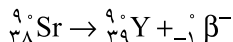
بررسی تابش بتای منفی

تبدیل می‌شود. پروتون در هسته می‌ماند و الکترون با تندی زیادی بیرون می‌آید که ذره بتا- منفی است. ذره‌های بتا- منفی الکترون‌های سریعی هستند که از هسته گسیل می‌شوند. وقتی واپاشی بتا رخ دهد، عدد جرمی ثابت می‌ماند.



شکل ۵۳- واپاشی‌های β^- و β^+

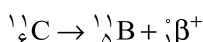
عدد اتمی یک واحد افزایش می‌یابد، تعداد نوترون‌های یک واحد کمتر می‌شود و یک الکترون گسیل می‌شود. استرانسیوم^{۹۰} بنابر معادله زیر به ایتريوم^{۹۰} تبدیل می‌شود.



واپاشی بتای مثبت (β^+): واپاشی بتا- مثبت (β^+)، نوع دیگر واپاشی است که به ندرت در طبیعت رخ می‌دهد، اما غالباً در هسته‌های مصنوعی رخ می‌دهد. در واپاشی بتا- مثبت، پروتون در هسته به نوترون و پوزیترون تبدیل می‌شود. پوزیترون یک ذره پادماده است. جرمی برابر الکترون دارد، ولی بار آن مثبت است. در واپاشی بتا، نوترون در هسته می‌ماند و ذره بتا- مثبت با سرعت زیادی خارج می‌شود.

وقتی واپاشی بتا- مثبت رخ می‌دهد، عدد جرمی ثابت می‌ماند. تعداد نوترون‌ها یک واحد افزایش و تعداد پروتون‌ها یک واحد کاهش می‌یابد و یک پوزیترون گسیل می‌شود. شکل ۵۳ واپاشی‌های β^- و β^+ را نشان می‌دهد.

کربن-۱۱ با واپاشی بتای مثبت بنابر معادله زیر به بور-۱۱ و می‌پاشد.

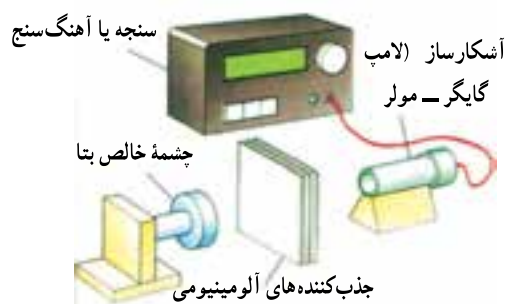


استرانسیوم^{۹۰} یک گسیلنده بتای منفی است. یک چشمه استرانسیوم^{۹۰} را روی یک پایه دستی نصب کنید و آن را نزدیک یک لامپ گایگر-مولر قرار دهید و آهنگ شمارش را اندازه بگیرید.

در فاصله‌های مختلف از لامپ، آهنگ شمارش را اندازه بگیرید. نموداری از آهنگ شمارش بر حسب فاصله رسم کنید.

چشمه بتا- منفی را در فاصله ۳cm از لامپ گایگر-مولر قرار دهید و آهنگ شمارش را اندازه بگیرید. تکه‌ای کاغذ بین چشمه و لامپ قرار دهید و آهنگ جدید را اندازه بگیرید.

سپس مجموعه‌ای از ورقه‌های نازک آلومینیومی بین چشمه و لامپ وارد کنید. نموداری از آهنگ شمارش بر حسب تعداد ورقه‌های آلومینیومی را رسم کنید.



شکل ۵۲- بررسی تابش بتا

ویژگی‌های تابش بتای منفی (β^-): واپاشی بتا- منفی (β^-) به شدت کمتر از تابش آلفاست، به همین جهت آشکار کردن آن توسط یک اتاقک یونش بسیار دشوار است. با این حال، تابش بتا- منفی مسافتی بیش از ۳cm را در هوای می‌کند و از چند میلی‌متر آلومینیوم عبور می‌کند.

در واپاشی بتا- منفی نوترون در هسته به پروتون و الکترون

دانستنی ۸-۱۳

واپاشی آلفا و بتا

در این دانستنی در مورد؛ واکنش واپاشی آلفا و همچنین واکنش واپاشی بتا، مطالب دقیق‌تری آورده شده است. برای دسترسی کامل به CD همراه و یا سایت گروه فیزیک مراجعه نمایید.