www.MrSafety.blogfa.com

Akbari.Jafar@gmail.com

مقدمه

علم پرتوشناسی توسط ویلهلم کنراد رونتگن در هشتم نوامبر ۱۸۹۵ با کشف پرتو ایکس بنا نهاده شد.

- یک سال بعد از آن هانری بکرل، پرتوزایی اورانیوم را کشف کرد.
- تا مدت زیادی کاربرد پرتوها فقط در زمینه پزشکی بود.
- پیشرفت تکنولوژی و شکست و پیوند اتمها باعث تحولات عظیمی در کاربرد پرتوها در صنعت و بخش انرژی و.... گردید.
- وسعت کاربرد پرتوها، تماسهای وسیع و خطرناک با این عامل را برای نسل بشر به ارمغان آورد.
- اثرات سوء پرتوها ، مخصوصاً در حوداث و انفجارات چهره خود را نشان داد.
- سود ومزایای کاربرد پرتوها آنقدر زیاد بوده و هست که نمی توان از استفاده آن چشم پوشید، مضافاً بر اینکه انسان بطور طبیعی نیز در معرض پرتوهای کیهانی و پرتوهای تابش شده از منابع طبیعی نیز قرار داشته، لذا سازمانهای حفاظتی شکل گرفته و در خصوص روشهای مختلف حفاظت از پرتوها به فعالیت پرداختند.
- **ساختمان اتم**
- هراتم دارای دو قسمت زیر میباشد :
- هسته (با شعاعی حدود 10E-12 سانتی متر).
- ابر الکترونی (از الکترونهای متحرک و شعاع مدار الکترونی 10E-8 سانتی متر).
- طبق مدل اتمی بوهر نحوه قرار گرفتن هسته و الکترونها مانند سیستم خورشیدی است.
- جرم الکترونها نسبت به هسته بسیارکم و برابر 9.1x10E-31 (تقریباً میتوان گفت تمام جرم اتم در هسته متمرکز است).
- بار الکتریکی الکترونها منفی و بار الکتریکی هسته مثبت (در شرایط عادی اتم از نظر بار الکتریکی خنثی است).
- ذرات تشکیل دهنده یک اتم توسط نیروهای الکتروستاتیکی به هم مربوط میباشند.
- بین هسته و الکترونها بعلت تفاوت بارالکتریکی شان نیروی جاذبه وجود دارد.
- نیروی گریز از مرکز ناشی از حرکت الکترونها روی مدار باعث بقاء الکترونها در مدارهای خود گشته و اجازه نمی دهد الکترونها بسمت هسته حرکت کنند.

- بدیهی است هرچه الکترون به هسته نزدیک تر باشد نیروی الکتروستاتیکی جذب به مرکز بیشتر خواهد بود، لذا بایستی نیروی گریز از مرکز نیز بیشتر باشد. که این سرعت و نهایتاً انرژی بالاتری را می طلبد که خود ایجاد کننده سطوح مختلف انرژی در اطراف هسته می گردد.
- بین الکترونها نیز نیروئی وجود دارد که آنها را در فواصل معینی نسبت به هم نگه می دارد (حرکات اسپینی).
- به این جهت الکترونها دارای سه نوع حرکت می باشند (انتقالی، دورانی ونوسانی).
- نوع اتمها از نظر ذرات تشکیل دهنده هسته و تعداد الکترونها با هم فرق میکند.
- هر اتم با عدد اتمی Z (تعداد الکترون یا پروتون) مشخص می شود.
- خواص شیمیائی هراتم مربوط به الکترونهای موجود در آن است.
- **هسته اتم:**
- در هسته دو نوع ذره اساسی و مهم به نامهای پروتون و نوترون وجود دارد.
- پروتون دارای بار مثبت و جرم آن 1.6725E-27 کیلوگرم است.
- نوترون از نظر بار الکتریکی خنثی است و جرم آن 1.6748E-27 کیلوگرم است.
- لذا نوترون وپروتون از نظر جرم تقریباً با هم برابر و حدود ۱۹۰۰ برابر جرم الکترون است.
- کمیت دیگری که درساختمان اتم مطرح است عدد جرمی (A) است که مجموع پروتونها و نوترونهای هسته است.

ذرات بنیادی دراتم

- ذرات بنیادی اتم عبارتند از الکترون ، پروتون ، نوترون، فوتون ، مزون و... که حدود ۲۰ پارتیکول و آنتی پارتیکول جزء ذرات بنیادی اتم می باشند.

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

سرعت نور

- **مشخصات ذرات:**

- الف: بر حسب جرم در حال سکون : (یعنی تقریبا در عمل می توان جرم الکترون را با سرعت دادن تقریبا تا اندازه ۵۰ برابر افزایش داد)

- فوتونها : جرم در حال سکون آنها صفر است.

- لپتونها : جرم نزدیک به صفر دارند مانند نوترینو.

- مزونها : معروفترین آنها مزون π که پیون و همچنین مزون K که کائون گفته می شود.

- باریونها : مانند پروتون بوده و جرمی کمی بیشتر از آن دارد.

- هیپرونها

ب: بر حسب بار الکتریکی : مثبت، منفی و خنثی

ج: از لحاظ اسپینی : 0, ½ ,1+

د: از لحاظ عمر متوسط :

پروتون و الکترونها پایدار

نوترون نا پایدار (نیمه عمر ۱۲ دقیقه)

سایر ذرات بنیادی نیمه عمر بسیار کم (در حدود 1E-6 ثانیه و یا کمتر دارند)

- مدارهای الکترونی

- الکترونها بر روی مدارهای مختلفی می چرخند.

- تعداد مدارها در اتمهای مختلف متفاوت است.

- لایه های الکترونی نسبت به نزدیکیشان به هسته عبارتند از: K,L,M,N,O,P,Q.

- الکترونها بر روی مدارهای مختلف دارای انرژی معینی هستند (انرژی همبستگی Binding Energy

- هر چه الکترون در مدارهای داخلی تر قرار گیرد انرژی همبستگی بیشتری خواهد داشت.

- تعداد الکترون در هرمدار از اصل پاولی تبعیت میکند و تعداد آن ۲، ۸، ۱۸، ۳۲ و... می باشد.

هسته و ساختار آن

- هسته متشکل از پروتونها و نوترونها است که آنها را نوکلئونها می نامند؛ که خود از ذرات بنیادی به نام کوارک تشکیل شده اند.
- **نیروی هسته ای :**
- وجود پروتونها در داخل هسته به معنی وجود یک نیروی الکتروستاتیک دافعه می باشد.
- علت قرار گیری این ذرات کنار همدیگر ، علیرغم وجود نیروی دافعه فوق ، وجود یک نیروی قوی بین نوکلئونها می باشد که به آن نیروی هسته ای میگویند.
- نیروی هسته ای از کاهش جرم ذرات موجود در هسته (تبدیل جرم به انرژی) ایجاد می گردد. بعبارتی همواره مجموع جرم نوکلئونهای تشکیل دهنده هسته بیش از جرم هسته است. این کاهش جرم (انرژی معادل این جرم) تأمین کننده نیروی هسته ای می باشد.
- نیروی هسته ای از نوع جاذبه با برد کوتاه (در حدود ابعاد هسته) و مستقل از بار الکتریکی می باشد. لذا نیروی بین نوکلوئونها یعنی p-p ، n-n و p-n یکسان می باشد.

ترازهای انرژی ذرات

- یکی از مدلهای ساده و مفید جهت ارائه ساختار هسته، ساختاری است شبیه به آرایش الکترونها در لایه های مختلف انرژی.
- در این مدل نوکلوئونها در لایه های مختلف انرژی قرار دارند (لازم به ذکر است که حرکت الکترونها در مدار در مدل اتمی را به مدل هسته ای نمیتوان تعمیم داد)
- در مدل هسته ای بایستی ترازهای انرژی را با حداکثر تعداد در هر تراز انتخاب نمود.
- در مورد هسته ها می توان آرایش به ترتیب ۲، ۸ ، ۲۰ ، ۵۰ ، ۸۲ و... را در نظر گرفت.
- در برخی تئوریها محل قرارگیری نوترونها و پروتونها را در لایه های مجزا می دانند.
- اگر هسته ای دارای لایه های پر باشد، پایداری آن افزایش می یابد. مانند هسته هلیوم که دو پروتون و دو نوترون دارد (علت اینکه در فروپاشی عناصر آلفا دهنده هسته هلیوم بصورت یک ذره خارج میشود همین پایداری می باشد)

- بر طبق این مدل هر ذره در هسته دارای جایگاه انرژتیک خاص است.
- در حالت عادی معمولاً همه هسته ها در حالت پایه قرار دارند
- در صورتی که به دلیلی جایگاه انرژتیک ذرات موجود در هسته تغییر کند، هسته به حالت بر انگیخته در می آید.
- **طبقه بندی هسته ها**
- معمولاً هسته را با نماد اتم یعنی ${}^{A}_{Z}X$ نشان میدهند.
- مثلاً ${}^{32}_{15}P$ ${}^{31}_{15}P$, نشانگر دو هسته عنصر فسفر میباشد.

الف: طبقه بندی بر اساس تساوی اعداد پروتونی، نوترونی و جرمی :

- ایزوتوپها : هسته هائی هستند که تعداد پروتونهای آنها یکسان است مثل :

- **ایزوتوپهای هیدروژن**

${}^{3}_{1}H,\ {}^{2}_{1}H,\ {}^{1}_{1}H$

ایزوتوپهای اورانیوم

${}^{233}_{92}U,\ {}^{234}_{92}U,\ {}^{235}_{92}U,\ {}^{238}_{92}U$

- ایزوتونها:هسته هائی هستند که تعداد نوترونهای آنها یکسان است. مثل :

${}^{3}_{1}H,\ {}^{4}_{2}He$

${}^{13}_{6}C,\ {}^{14}_{7}N$

- ایزوبارها: هسته هائی هستند که عدد جرمی آنها برابر ولی مقدار پروتونها و نوترونهای متفاوتی دارند. (خواص شیمیائی متفاوتی دارند)

مثل :

${}^{3}_{1}H,\ {}^{3}_{2}He$

${}^{24}_{12}Mg,\ {}^{24}_{11}Na$

- ایزومرهای آینه ای: تعداد پروتونهای یک هسته با تعداد نوترونهای هسته دیگر مساوی است. مثل:

${}^{3}_{2}He,\ {}^{3}_{1}H$

${}^{14}_{7}N,\ {}^{13}_{6}C$

ایزومرهای هسته ای:

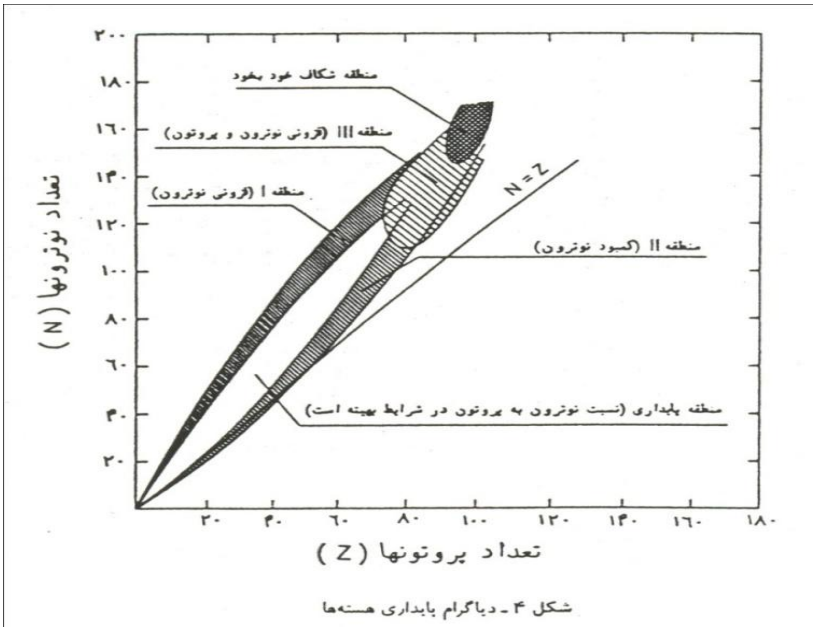
- عدد جرمی و عدد اتمی یکسان ولی خواص هسته ای (از نظر نیمه عمر و ترازهای انرژی)متفاوت است.
- ایزومر با انرژی بالاتر در یک حالت metastable بوده و با نوشتن m پس از عدد جرمی مشخص میشود. مثلاً ${}^{99m}_{43}Tc$ (با نیمه عمر ۶ ساعت) و ${}^{99}_{43}Tc$ (با نیمه عمر 2.1E5 سال) ایزومرهسته ای یکدیگر هستند.

ب: طبقه بندی بر اساس پایداری (ناپایداری) هسته

- ✓ هسته هایی که بدلیل ترکیب ناپایدار پروتونها و نوترونها و یا ایزومرهای با انرژی بالاتر پایدار نیست، دستخوش واپاشی میشوند. اینگونه هسته ها ذاتاً ناپایدار بوده و با گذشت زمان تغییر نموده و به هسته های جدیدی تبدیل می شوند.
- ✓ هسته های پایدار آن دسته از هسته هایی هستند که برای همیشه ثابت هستند (حداقل برای 1E21) بدون توجه به اینکه الکترونهای اتم آنها ممکن است تغییر وتحول پیدا کنند. (تعدادی از عوامل موثر در پایداری هسته ها در صفحات ۲۱ تا ۲۳ کتاب ارائه شده است)

- نمودار Segre

- از رسم تعداد نوترونها بر حسب تعداد پروتونها نمودار زیر که به نمودار سگره معروف است، حاصل می شود.



شکل ۴ ـ دیاگرام پایداری هسته‌ها

مواد رادیواکتیو

- رادیواکتیویته خاصیت هسته بعضی از اتمهایی است که خود بخود از آنها انرژی ساطع می شود.
- هسته اتمهای رادیواکتیو دائماً در حال دگرگونی و تجزیه هستند.
- ایزوتوپهای ناپایدارو ایزومرهای هسته ای ، مواد رادیواکتیو را تشکیل می دهند.
- رادیو نوکلوئیدهای موجود در محیط را از نظر منشأ آنها میتوان به دو گروه کلی نقسیم نمود :

۱. رادیونوکلوئیدهای مصنوعی Man-Made Radio nuclides

۲. رادیو نوکلوئیدهای طبیعی Natural Radio nuclides

گروه اول به خواست و اراده انسان تولید می شوند (همچون محصولات شکافت هسته). مانند : $^{137}Cs, ^{131}I, ^{85}Kr, ^{106}RU, ^{95}Zr$

$^{242}Cm, ^{241}Am, ^{239}Pu, ^{90}Sr, ^{144}Ce$

- **رادیو نوکلوئیدهای طبیعی**

کلیات

- رادیو نوکلوئیدهای طبیعی در غلظتهای کم و بیش یکسان در سطح کره زمین منتشر می باشند.
- برخی نقاط جهان دارای غلظتهای بیشتر از نرمال می باشند.
- انسان نیز نقش مؤثری در افزایش رادیونوکلوئیدهای مناطق مختلف دارد.
- علاوه بر فعالیت های هسته ای از جمله مواردی که در آلایندگی محیط زیست به رادیو نوکلوئیدها مؤثر است عبارتند از:

۱. نیروگاههای سوختهای فسیلی (عمدتاً ذغال سنگ) که در بسیاری موارد ذغال سنگها حاوی این رادیو نوکلوئیدها بوده و خاکستر منتشره محیط را آلوده به این رادیونوکلوئیدها می نماید.

۲. کودهای فسفر دار (دارای غلظت قابل اهمیتی از اورانیوم می باشند).

۳. گاز طبیعی (به ویژه در منازل) بدلیل انتقال گاز رادن ۲۲۲ از اعماق زمین به سطح.

۴. مصالح ساختمانی (برخی از آنها غنی از رادیونوکلوئید ها می باشند).

- موادی هستند که از بدو خلقت کره خاکی در طبیعت وجود داشته و یا حاصل پدیده های طبیعی در عالم می باشند.
- این رادیونوکلوئیدها را به دو دسته تقسیم بندی می کنند:

۱. رادیو نوکلوئیدهای اولیه (Primordial radionuclide)

۲. رادیونوکلوئیدهای دارای منشأ کیهانی (Cosmogenic Radionuclide) : حاصل برخورد پرتوهای کیهانی (Cosmic rays) با هسته اتم عناصر موجود و در اتمسفر زمین بوده و بطور مستمر تولید می شوند. مهمترین این رادیو نوکلوئیدها ترتیوم و کربن ۱۴ می باشد.

رادیو نوکلوئیدهای اولیه

- این را دیونوکلوئیدها دارای منشأ تحت الارضی بوده و به آنها رادیونوکلوئیدهای تحت الارضی (Terrestrial) نیز می گویند و بدو شکل وجود دارند:

۱. انفرادی Singly occurring Radionuclide

۲. زنجیره ای (مهمترین آنها زنجیره اورانیوم ۲۳۸ و توریوم ۲۳۲ است)

دو عنصر شناخته شده بطور انفرادی در طبیعت یافت می شوند :

۱. پتاسیم ۴۰ که یک ماده رادیو اکتیو است و بطور متوسط در بدن انسان ۱۶۰۰ پیکو کوری به ازاء هر کیلوگرم وجود دارد. در صخره و خاک بین ۲ تا ۳۰ پیکوکوری بر گرم وجود دارد. نیمه عمر این ماده ۱.۲۶ میلیارد سال است که دربین رادیونوکلوئیدهای اولیه موجود کمترین میزان نیمه عمر را دارا میباشد. ۹۰٪ پتاسیم ۴۰ در اثر تجزیه و تابش بتای منفی به کلسیم ۴۰ پایدار و بقیه با تابش آلفا و گاما (با انرژی 1.46 Mev) به آرگون ۴۰ تبدیل می شود.

۲. روبیدیوم ۸۷ نیز یک ماده رادیو اکتیو است که بطور انفرادی در طبیعت وجود دارد. نیمه عمر آن ۴۸ میلیارد سال است. در صخره و خاک بمیزان ۳ پیکوکوری بر گرم و در بدن انسان به میزان ۲۳۰ پیکو کوری بر کیلوگرم موجود است. این عنصر از نظر تشعشعات اهمیت زیادی ندارد؛ زیرا هنگام تجزیه، بتای ضعیفی تابش نموده و سرانجام به استرانسیوم ۸۷ تبدیل میشود.

- در حال حاضر سه سری از این مواد در طبیعت وجود دارند که به زنجیره های :

۱. 238U (سری اورانیوم) (معروف به سری 4n+2)

۲. 235U (سری اکتینیوم) (معروف به سری 4n+3)

۳. 232T (سری توریوم) (معروف به سری 4n)

معروف می باشند. البته یک سری زنجیره ای دیگر نیز متصور است که در حال حاضر در طبیعت موجود نمی باشد :

241PU (سری نپتونیوم) (معروف به سری 4n+1)

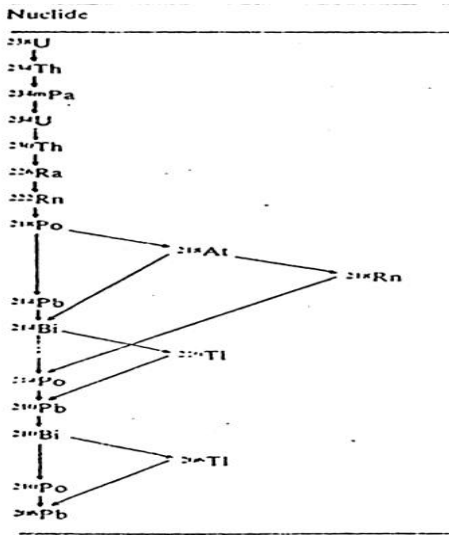
سری نپتونیوم

- 241PU که سر سلسله این گروه است دارای نیمه عمری معادل ۱۳ سال است که طبیعتاً اگر در ابتدای پیدایش کره زمین وجود داشته تاکنون از بین رفته است.

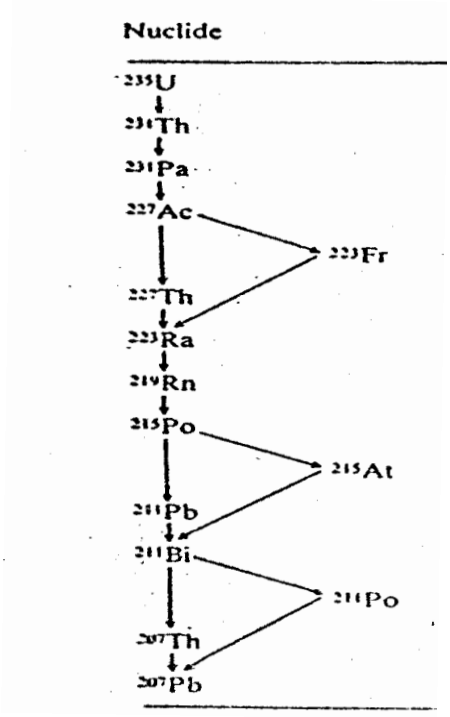
البته این ماده را از بمباران نوترونی 239PU می توان تولید کرد.

- دراز عمرترین ایزوتوپ در سری نپتونیوم ایزوتوپ 237NP است که نیمه عمری معادل ۲.۲ میلیون سال است که از عمر زمین بسیار کمتر است و این ماده نیز تا کنون از بین رفته است.

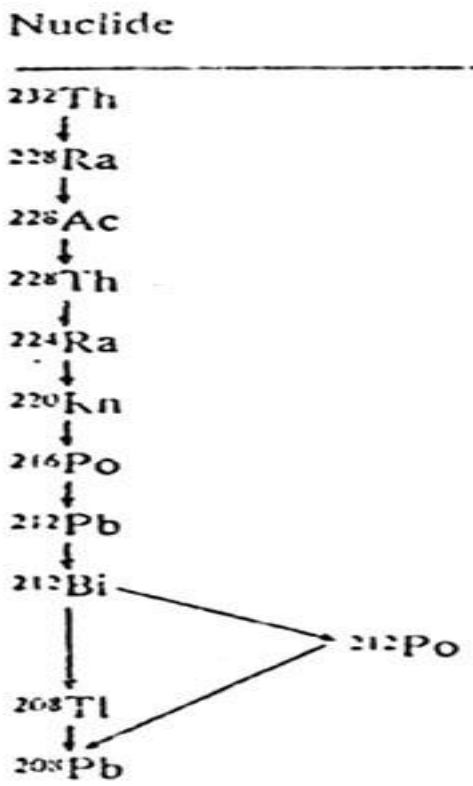
سری اورانیوم ۲۳۸



سری 235U (سری اکتینیوم)



- **سری 232Th (سری توریوم) فراوانترین ماده رادیواکتیو طبیعی**



- **خصوصیات مشترک سه سری زنجیره ای موجود**

- همگی از یک عنصر سنگین با نیمه عمر بالا و تابش کننده آلفا شروع می شوند (که این در خصوص سری نپتونیوم که تابش کننده بتاست و نیمه عمر پائینی دارد، صادق نیست)

- یکی از عناصر و اولادهای هر یک از سه سری یک گاز است (رادن، اکتینیوم و تورون). سری نپتونیوم هیچ گازی ندارد.

- هر سه سری نهایتاً به عنصر سرب (۲۰۶، ۲۰۷، ۲۰۸)پایدار میرسند(عدد اتمی سرب ۸۲ است) (سری نپتونیوم به عنصر پایدار بیسموت ۲۰۹ با عدد اتمی ۸۳ می رسد) .

رادیونوکلوئیدهای دارای منشاء کیهانی

د?نوکلوئ		دروژن ?۳	وم ?ل?بر۷	کربن ۱۴	م ?سد۲۲
مه عمر?ن		۱۲.۲ سال	۵۳ روز	۵۷۳۰ سال	۲.۶ سال
در واحد زمان ? تول?تعداد اتمها(?ثان) در واحد سطح کره ن?زم(متر مربع?سانت)		۰.۲۵	۰.۰۸	۲.۵	۰.۰۰۰۰۰۱
?زان وفور جهان?م(?مگا کور)		۳۴	۱	۳۰۰	۰.۰۱
ع درصد وفور?توز	استراتوسفر و تروپوسفر	۸	۷۲	۲	۲۷
	سفر?ن و ب?سطح زم	۲۷	۸	۴	۲۱
	انوسها?اق	۶۵	۲۰	۹۴	۵۲

مواد رادیو اکتیو مصنوعی

- رادرفورد در سال ۱۹۱۹ از طریق بمباران ازت با ذرات آلفا، اتم دیگری (اکسیژن) را تولید کرد. $^{14}_{7}N+^{4}_{2}\alpha \rightarrow ^{17}_{8}O+p$
- عنصر حاصل ایزوتوپ پایدار اکسیژن بود.
- اما بعد ها با تابش آلفا به آلومینیوم ماده ای ایجاد شد که رادیو اکتیو بود. $^{27}_{13}Al+^{4}_{2}\alpha \rightarrow ^{30}_{15}P+n$
- فسفر ۳۰ رادیواکتیو بوده و نیمه عمر آن ۲.۵۵ دقیقه است.
- مواد رادیو اکتیو مصنوعی را رادیوایزوتوپ نیز می نامند.
- طرق تهیه رادیو ایزوتوپها
- الف: واکنشهای هسته ای:

اثر فوتون:

برخورد فوتونهای قوی به هسته عناصرگاهی سبب خروج نوترون و یا افزایش سطح انرژی هسته شده و تولید ایزوتوپ ناپایدار و یا ایزومر هسته ای عنصر را می نماید. بازده این واکنش خیلی کم و از لحاظ عملی قابل استفاده نمی باشد.

ذرات باردار:

ازذرات سریع باردار مثل آلفا، پروتون و دوترون استفاده کرده و آنها را در شتاب دهنده سرعت داده و بعد عنصر هدف را بمباران می کنند.

امروزه دستگاه هایی وجود دارد که انرژی ذرات را تا چندین میلیارد الکترون ولت بالا می برد.

$$^{12}_{6}C + p \rightarrow ^{13}_{7} N + \gamma$$

$$^{23}_{11}Na + ^{2}_{1} H \rightarrow ^{24}_{11} Na + p$$

$$^{25}_{12}Mg + ^{4}_{2} \alpha \rightarrow ^{28}_{13} Al + p$$

- واکنشهای هسته ای با نوترون : استفاده از نوترون رایجترین طریقه برای تولید رادیوایزوتوپ ها است. بازده عمل با نوترونهای حرارتی بمراتب بیشتر است.

$$^{32}_{16}S + n \rightarrow ^{32}_{15} P + p$$

$$^{130}_{52}Te + n \rightarrow ^{131}_{53} I + \beta^{-} + \gamma$$

$$^{197}_{79}Au + n \rightarrow ^{198}_{79} Au + \gamma$$

فسفر ۳۲ اشعه بتای پرانرژی تابش کرده، ید ۱۳۱ و طلای ۱۹۸ هردو رادیواکتیویته بتا و گاما دارند.

ب: واکنشهای انشقاق: از انشقاق اورانیوم و استحاله های متوالی بعدی قریب ۲۰۰ رادیوایزوتوپ تولید می شود. از عناصر مهم می توان ایزوتوپهای ید، استرانسیوم وباریم، سزیم وگازهای رادیواکتیو نام برد.

- **کمیات مهم در مواد رادیو اکتیو**

۱. نیمه عمر(نشان دهنده نوع ماده رادیو اکتیو)

۲. اکتیویته (نشان دهنده مقدار ماده رادیو اکتیو)

- **نیمه عمر**

- انرژی اضافی موجود در هسته های ناپایدار (ایزومرهای هسته ای و ایزوتوپهای ناپایدار) بتدریج بصورت پرتو پونساز از ساختمان اتم خارج می شود. این عمل آنقدر ادامه پیدا میکند تا عنصر به حالت پایدار می رسد.

- زمان دقیق فروپاشی هیچ عنصری قابل تعیین نیست بلکه باید برای این امر از روشهای احتمالی استفاده کرد.

- مدت زمانی که در طی آن تعداد نیمی از اتمهای ناپایدار تجزیه شوند را نیمه عمر میگویند.

- بعنوان مثال اگر تعداد یک میلیون ذره اتم طلا ۱۹۸ داشته باشیم، بعد از ۲.۷ روز تعداد این اتمها به ۵۰۰ هزار کاهش مییابد.

- نیمه عمر بعضی عناصر کوتاه است همچون گاز تورون (۵۴.۵ ثانیه) و بعضی عناصر همچون اورانیوم ۲۳۸(۴.۵ میلیارد سال) نیمه عمر های بلندی دارند.

نیمه عمر

- اگر بعد ازگذشت زمان Δt تعداد ΔN ذره تجزیه شوند، خواهیم داشت:

$$\Delta N = -\lambda N \Delta t \Rightarrow \int \frac{dN}{N} = \int -\lambda dt$$

$$\Rightarrow L_n N = -\lambda t + c$$

- اگر در لحظه t=0 میزان C را برابر $L_n N_0$ قرار دهیم، خواهیم داشت:

$$L_n N = -\lambda t + L_n N_0 \Rightarrow L_n N - L_n N_0 = -\lambda t$$

$$L_n\left(\frac{N}{N_0}\right) = -\lambda t \Rightarrow \frac{N}{N_0} = e^{-\lambda t}$$

- **نیمه عمر**

- طبق تعریف نیمه عمر داریم:

$$N = \frac{N_0}{2} \Rightarrow T = T_h$$

$$\Rightarrow \frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda T_h} \quad and \quad e^{-0.693} = 0.5$$

$$-\lambda T_h = -0.693$$

$$\Rightarrow \lambda = \frac{0.693}{T_h}$$

- **نیمه عمر**

$$N = N_0 e^{-\lambda t}, \quad \lambda = \frac{0.693}{T_h}$$

$$\Rightarrow N = N_0 e^{\frac{-0.693 \times t}{T_h}}$$

$$\Rightarrow N = \frac{N_0}{\left(e^{0.693}\right)^{t/T_h}} \Rightarrow N = \frac{N_0}{2^{t/T_h}}$$

اکتیویته

- تعداد هسته هائی که در واحد زمان تجزیه می شوند را فعالیت یا اکتیویته یک ماده رادیواکتیو می نامند.
- هر چه مقدار ماده بیشتر باشد طبیعتا مقدار تجزیه آن بیشتر خواهد بود.
- واحد های اکتیویته عبارتند از کوری Ci و بکرل
- کوری Ci: آن مقدار ماده رادیو اکتیو که بتواند در یک ثانیه 3.7×10^{10}فروپاشی انجام دهد را یک کوری می گویند. همانطور که مشخص است کوری واحد بزرگی است و معمولا واحد های کوچکتر آن مثل میلی کوری و میکرو کوری استفاده میشود.
- بکرل Bq: آن مقدار ماده رادیو اکتیو که بتواند در هر ثانیه یک فروپاشی انجام دهد را یک بکرل میگویند. این واحد درواقع واحد فعالیت در سیستم MKS است که واحد های بزرگتر آن همچون کیلوبکرل و مگا بکرل نیز معمولا استفاده می شوند.
- ساده است که بخاطر بسپاریم که هر کوری 3.7×10^{10}بکرل است.

- **اکتیویته**

$$\Delta N = -\lambda N \Delta t$$

$$A = \frac{\Delta N}{\Delta t} = \lambda N \implies A = \lambda N_0 e^{-\lambda t},$$

اکتیویته اولیه

$$A_0 = \lambda N_0 \implies A = A_0 e^{-\lambda t}$$

$$or$$

$$A = \frac{A_0}{2^{t/T_h}}$$

- **تمرین**

۱. هرگاه ۲۲.۶ گرم رادیوم – ۲۲۶ در اختیار داشته باشیم و پس از ده سال میزان ۰.۰۹۶ گرم از آن تجزیه شود. نیمه عمر رادیوم را محاسبه کنید؟

۲. اکتیویته ۲۲.۶ گرم رادیوم چند کوری، میکروکوری ، میلی کوری و بکرل است؟

۳. اکتیویته ماده فوق الذکر پس از ۱۰ سال به چه میزان خواهد رسید؟

۴. اگر بخواهیم اکتیویته این ماده نصف شود باید چند سال صبر کنیم؟

۵. اگر یک کوری از ماده مورد نظر لازم داشته باشیم چند گرم از این ماده را باید تهیه کنیم؟

۶. نیمه عمر اورانیوم -۲۳۸ ، ۴.۵ میلیارد سال است . چه میزان از این ماده اکتیویته یک کوری دارد؟

پرتو

- شکلی از انرژی است که قادر است در محیط یونسازی، تحریک و یا ایجاد گرما نماید.
- این شکل از انرژی می تواند بشکل موج (الکترومغناطیس) و یا ذره در محیط منتشر شده و انرژی خود را منتقل نماید.
- این دوشکل پرتو از لحاظ انرژی، محاسبات و نحوه انتشار، برخوردها و همچنین مکانیسمهای صدمه رسانی با یکدیگر متفاوت هستند.
- **پرتوهای ذره ای**
- اگر ذرات موجود در ساختمان اتم (الکترونها، پروتونها و یا نوترونها و ..) از ساختمان اتم خارج شوند، پرتو ذره ای نامیده میشود.
- انرژی در پرتوهای ذره ای از رابطه انرژی جنبشی $E_c = \frac{1}{2} mv^2$ بدست میآید (چون این دسته از پرتوها دارای جرم و همچنین سرعت هستند)
- انرژی فوق را میتوان از حاصلضرب بار الکتریکی e در اختلاف پتانسیل v نیز بدست آورد. بهمین دلیل یکی از واحدهای مهم در این دسته از پرتوها اکترون ولت میباشد.
- ev(الکترون ولت): آن میزان انرژی است که یک الکترون در یک اختلاف پتانسیل ۱ ولت خواهد داشت.

$$ev = 1(v) \times 1.6 \times 10^{-19}(C) = 1.6 \times 10^{-19}(J) = 1.6 \times 10^{-12}$$

پرتوهای ذره ای

- انرژی مورد نیاز ذرات جهت پرت شدن به بیرون از ساختمان اتم را معمولاً هسته تامین میکند. در واقع میزان انرژی اضافی و یا عدم تعادل انرژی در هسته بنحوی با انتقال آن به ذره ای و خارج نمودن آن از اتم متعادل می گردد.
- انرژی هسته ای موجود در هسته با کاهش جرم ذرات موجود در آن مخصوصاً نوترون تامین می گردد. میزان کاهش جرم در هسته با استفاده از رابطه انشتین به انرژی تبدیل می گردد. لذا در صورتی که میزان کاهش جرم موجود در هسته مشخص باشد؛ می توان میزان انرژی هسته ای را تعیین نمود.
- **پرتوهای ذره ای (میزان انرژی پیوندی هسته)**

- بررسی پایداری یک هسته مستلزم مطالعه انرژی همبستگی ذرات هسته می باشد که همانطور که گفته شد عبارتست از اختلاف بین مجموع جرمهای پروتونها، نوترونها و الکترونهای مربوط به اتم و جرم حقیقی هسته.

- جرمهای حقیقی در نشریاتی مانند جدول ایزوتوپها در Science Data Books قابل دسترسی هستند.

- در این جداول نام ماده، شماره در جدول مندلیوف، ایزوتوپها، میزان فراوانی ، جرم (بر حسب واحد جرم اتمی) نیمه عمر وجود دارد.

- واحد جرم اتمی (u): یک دوازدهم جرم اتم کربن -۱۲ بوده و مقدار آن $u = 1.660566 \times 10^{-27}\ kg$ می باشد.

پرتوهای ذره ای (میزان انرژی پیوندی هسته)

- هسته ای را که دارای z پروتون و N نوترون است در نظر میگیریم جرم هسته ای همیشه از مجموع قسمتهای اجزاء تشکیل دهنده هسته کمتر است:

$$M_{nuc} < Z_{mp} + N_{mn}$$
$$M_{atom} < Z_{mp} + N_{mn} + Z_{me}$$

- مقدار اختلاف جرم همان انرژی بستگی (BE) است. هرچه مقدار انرژی لازم برای شکافتن هسته بیشتر باشد ، هسته به همان اندازه پایدارتر خواهد بود. میزان انرژی را با استفاده از رابطه انشتین میتوان بدست آورد:

$$E(Mev) = 931.502 \times \Delta m(u)$$

E=انرژی بر حسب میلیون الکرتون ولت

U=اختلاف جرم بر حسب واحد جرم اتمی

$$m_e = 5.485803 \times 10^{-4}\ u$$
$$m_p = 1.007276\ u$$
$$m_n = 1.008665\ u$$

مثال

- میزان انرژی بستگی در هسته اتم فسفر ۳۱ را بدست آورید:

- از جدول رادیوایزوتوپها جرم اتم هیدروژن، نوترون و ... قابل حصول است. لذا داریم:

$15.115375\,u$ جرم ۱۵ اتم هیدروژن

$16.138640\,u$ جرم ۱۶ نوترون

31.256015 جرم محاسباتی اتم فسفر ۳۱

$30.99376\ u$ جرم واقعی اتمی فسفر ۳۱

$0.262260\ \ u$ اختلاف جرم محاسباتی و واقعی

$244.2957\ \ Mev$ انرژی بستگی هسته

پرتوهای ذره ای (میزان انرژی پیوندی به ازاء هر نوکلئون)

- انرژی بستگی به ازاء هر نوکلئون جهت اندازه گیری پایداری از اهمیت وسژه ای برخوردار است و تا حدودی آنرا میتوان به پتانسیل یونسازی تشبیه نمود. در واقع این کمیت مقدار انرژی لازم جهت جدانمودن یک نوکلئون از هسته میباشد.

$$BE_{each\ Nuc} = \frac{BE}{A}$$

- بنابر این برای فسفر ۳۱ خواهیم داشت: $BE_{each\ Nuc} = \frac{244.159}{31} = 7.88\ \ Mev$
- بجز هلیوم ، کربن و اکسیژن برای سایر مواد میزان انرژی به ازاء یک نوکلئون بین ۷.۵ و ۹ مگا الکترون ولت قرار می گیرد.

پرتوهای ذره ای بدو دسته تقسیم می شوند:

- **پرتوهای ذره ای باردار**: ذرات در حال حرکت و یا منتشر شده از اتم حاوی بار الکتریکی هستند مثل الکترون یا پروتون
- **پرتوهای ذره ای بدون بار**: ذرات در حال حرکت و یا منتشر شده از اتم دارای بار الکتریکی نمی باشند همچون نوترون

پرتوهای ذره ای باردار

- این پرتو ها شامل :

- پرتو آلفا
- پرتو بتا منفی (نگاترون)
- پرتو بتای مثبت (پوزیترون)
- پرتو پروتون
- الکترون

پرتو آلفا

- هسته ایزوتوپ هلیوم (۲ تا پروتون + ۲ تا نوترون).
- جرم بالائی دارد.
- توسط هسته عناصر(ایزوپهای ناپایدار) سنگین تابش می شود.
- پرتوئی تک انرژی است (هر ذره تابش کننده آلفا دارای یک آلفای با انرژی خاص می باشد).
- انرژی بالائی دارد.
- دو واحد بار الکتریکی مثبت دارد.
- قدرت یونش ویژه بسیار بالائی دارد.
- انرژی خود را در یک مسیر کوتاه از دست میدهد (برد آن در محیط کم است مثلا برد در هوا در حد چند سانتی متر است).
- خطر پرتوگیری خارجی آن کم است (چون برد آن کم است).
- خطر پرتوگیری داخلی بسیار زیادی دارد (بعنوان مثال با استنشاق گاز رادن ، ذرات آلفای تابش شده از این گاز دقیقاً به سلولهای ریه متصل بوده و بیشترین ضایعه را به این سلولها وارد خواهند آورد).
- از نظر آلودگیهای زیست محیطی اهمیت بسیار زیادی دارد چون بسیاری از آلاینده های طبیعی آلفا دهنده هستند. ضمناً ردیابی آنها بدلیل عمق نفوذ کم بسیار دشوار است.
- معادله واکنش این پرتوبصورت زیر است:

$$ {}^{A}_{Z}X \longrightarrow {}^{4}_{2}\alpha + {}^{A-4}_{Z-2}Y $$

$$ {}^{238}_{92}U \longrightarrow {}^{234}_{90}Th + {}^{4}_{2}\alpha $$

$$ {}^{226}_{88}Ra \longrightarrow {}^{222}_{86}Rn + {}^{4}_{2}\alpha $$

- از معادلات فوق همچنین برای تعیین میزان انرژی پرتو آلفای ساطع شده می توان استفاده نمود.

- **پرتو آلفا (نحوه محاسبه انرژی)**

- انرژی پرتوآلفا از هسته گرفته شده و با استفاده از کاهش جرم اتفاق افتاده در معادله واکنش می توان انرژی را بدست آورد.

- در واقع از نظر قانون بقای جرم وانرژی باید یا میزان جرم دو طرف معادله با یکدیگر برابر باشند و یا اینکه بخشی از جرم به انرژی تبدیل شده و صرف سرعت دادن به ذره آلفا گردد. که در حقیقت دومین فرضیه درست است. لذا با استفاده از این قاعده و روشهای توضیح داده شده می توان میزان انرژی پرتو آلفا را بدست آورد.

- جرم هر ماده را از جدول مربوطه(جدول ایزوتوپها) بر حسب واحد جرم اتمی پیدا نموده و همچنین جرم پرتو آلفا را میتوان با کمی تقریب مساوی جرم هلیوم ۴ درنظر گرفته وآنرا نیز از جدول ایزوتوپها بدست آورد و با استفاده از رابطه جرم انرژی، میزان انرژی پرتو آلفا را بدست آورد.

مثال

- انرژی پرتو آلفای تابش شده از رادیوم ۲۲۶ را محاسبه نمائید؟

- همانطور که قبلاً نیز اشاره شد معادله فروپاشی این ماده بصورت زیر است:

- همچنین با استفاده از جدول ایزوتوپها جرمهای رادیوم ۲۲۶ و رادن ۲۲۲ و همچنین را آلفا

- بشر زیر بدست می آید :

$$m_{^{226}Ra} = 226.0254\ u$$
$$m_{^{222}Rn} = 222.0175\ u$$
$$m_{^{4}_{2}\alpha} = 4.00260\ u$$
$$------$$
$$m_{^{226}R} = m_{^{222}R} + m_{^{4}_{2}\alpha} + \Delta m$$
$$\Delta m = m_{^{226}R} - \left(m_{^{222}R} - m_{^{4}_{2}\alpha}\right) \Rightarrow 226.0354 - (222.0175 + 4.00260) = \Delta m$$
$$\Delta m = 0.0053\ u$$
$$E_{^{4}_{2}\alpha} = 0.0053 \times 931.502 = 4.937\ Mev$$

۷. هر گاه یک الکترون بطور کامل به انرژی تبدیل شود میزان انرژی آنرا محاسبه کنید؟

۸. میزان انرژی هسته ای U-238 را به دو روش زیر محاسبه و نتایج آنها را با هم مقایسه کنید؟

$$E_{(J)} = m_{(kg)}c^2,$$
$$E_{(Mev)} = m_{(U)} \times 931.502$$

۱. هرگاه ۲۲.۶ گرم رادیوم – ۲۲۶ در اختیار داشته باشیم و پس از ده سال میزان ۰.۰۹۶ گرم از آن تجزیه شود. نیمه عمر رادیوم را محاسبه کنید؟

$t = 10 \quad year \qquad m_0 = 22.6 \quad gr, \qquad \Delta m = 0.096 \quad gr \Rightarrow m = m_0 - \Delta m = 22.504 \quad gr$

$$m = \frac{m_0}{2^{\frac{t}{Th}}} \Rightarrow T_h = \frac{t \times \log 2}{\log \frac{m}{m_0}} \Rightarrow T_h \approx \frac{0.3 \times t}{\log \frac{m}{m_0}}$$

$$\Rightarrow T_h = \frac{0.3 \times 10}{\log \frac{22.6}{22.504}} \approx 1620 \quad year$$

۲. اکتیویته ۲۲.۶ گرم رادیوم چند کوری، میکروکوری ، میلی کوری و بکرل است؟

$$m = 22.6 \quad gr$$

$$A_0 = \lambda N_0 \Rightarrow A_0 = \frac{0.693}{T_h} \times N_0$$

با توجه به جرم اتمی Ra-226 و عدد آووگادرو میتوان تعداد ذره در جرم مورد نظر را بدست آورد

$226 \quad gr \qquad 6.02 \times 10^{23}$

$22.6 \quad gr \qquad N_0 = \frac{22.6 \times 6.02 \times 10^{23}}{226} = 6.02 \times 10^{22}$

$$A_0 = \frac{0.693}{1620 \times 60 \times 60 \times 24 \times 365} \times 6.02 \times 10^{22} = 8.17 \times 10^{11} \qquad Bq$$

$3.7 \times 10^{10} \qquad 1 \quad Ci$

$8.17 \times 10^{11} \qquad A_0 \approx 22 \quad Ci$

۳. اکتیویته ماده فوق الذکر پس از ۱۰ سال به چه میزان خواهد رسید؟

$$A = \frac{A_0}{2^{\frac{t}{Th}}} \Rightarrow A = \frac{22}{2^{\frac{10}{1620}}} = 21.9 \quad Ci$$

۴. اگر بخواهیم اکتیویته این ماده نصف شود باید چند سال صبر کنیم؟

- **حل:** ۱۶۲۰ سال

۵. اگر یک کوری از ماده مورد نظر لازم داشته باشیم چند گرم از این ماده را باید تهیه کنیم؟

- **حل**

$$A_0 = \lambda N_0 \Rightarrow 3.7\times10^{10}\times(60\times60\times24\times365) = \frac{0.693}{1620}\times N_0$$

$$N_0 = 2.72766\times10^{21}$$

$$\Rightarrow m = \frac{N_0\times226}{6.02\times10^{23}} = 1.024 \quad gr$$

۶. نیمه عمر اورانیوم -۲۳۸ ، ۴.۵ میلیارد سال است . چه میزان از این ماده اکتیویته یک کوری دارد؟

■ حل

$$T_h = 4.5\times10^9\times(60\times60\times24\times365) = 1.419\times10^{27} \quad s$$

$$1(Ci)\times3.7\times10^{10} = \frac{0.693}{1.419\times10^{27}}\times N_0 \Rightarrow N_0 = 7.5768\times10^{27}$$

$$\Rightarrow m = \frac{N_0\times238}{6.02\times10^{23}} = 299549.392 \quad gr(299.549392 \quad kg)$$

۷. هر گاه یک الکترون بطور کامل به انرژی تبدیل شود میزان انرژی آنرا محاسبه کنید؟ (توضیح : ۱/۱۲ جرم اتم کربن ۱۲ را واحد جرم اتمی نامیده و مقدار آن U=1.660566x10^-27 kg است. جرم الکترون 5.485803x10^-4 U ، جرم پروتون 1.007276 U و جرم نوترون 1.008665 U می باشد)

$$E = m_{(u)}\times931 = 5.485803\times10^{-4}\times931 = 0.501 \ \ Mev$$

۸. میزان انرژی هسته ای U-238 را به دو روش زیر محاسبه و نتایج آنها را با هم مقایسه کنید؟

- **حل**

$$E_{(J)} = m_{(kg)}c^2,$$

$$E_{(Mev)} = m_{(U)}\times931$$

$$^{238}U(92p+146n)$$

$$m_c = 92\times1.007276+146\times1.008665 = 239.9345U$$

$$m_r = 238.0508U$$

$$\Delta m = m_c - m_r = 239.9345-238.0508 = 1.8837U$$

$$E = \Delta m_{(U)}\times931 = 1.8837\times931 = 1753.708 \ \ Mev$$

$$\frac{E}{n} = \frac{1753.708}{238} = 7.368521 \ \ Mev/nucleon$$

۹. اگر فروپاشی p-32 بصورت زیر باشد میزان انرژی ماکزیمم بتای منفی (نگاترون) را محاسبه کنید؟

$$^{32}P \rightarrow ^{32}S + \beta^-$$

$$m_{^{32}p} = 31.9739U$$
$$m_{^{32}S} = 31.97207U$$
$$\Delta m = 0.00183$$
$$E_{\beta^-} = \Delta m \times 931 = 0.00183 \times 931 = 1.71\ Mev$$

۱۰.اگر فروپاشی کربن ۱۱ بصورت زیر باشد میزان انرژی ماکزیمم بتای مثبت (پوزیترون) را محاسبه کنید؟ (توضیح: هرگاه میزان انرژی در این سری واکنشها از 1.02 Mev بیشتر شود باید این میزان را برای واکنش زوج پوزیترون-الکترون بطور مجزا محاسبه نموده و آنگاه مازاد این انرژی میزان انرژی ماکزیمم پوزیترون خواهد بود)

$$^{11}C \rightarrow ^{11} B + \beta^+$$

- **حل**

$$m_{^{11}C} = 11.01143U$$
$$m_{^{11}B} = 11.00931U$$
$$\Delta m = 0.00212$$
$$E_{\beta^+} = \Delta m \times 931 = 0.00212 \times 931 = 1.98\ Mev$$
$$1.98 - 1.02 = 0.96\ \ Mev$$

۱۱-میزان انرژی پرتو آلفا را درواکنش زیر محاسبه کنید؟

$$^{226}R \rightarrow ^{222} Rn + \alpha^{++}$$
$$m_{^{226}Ra} = 226.0254U$$
$$m_{^{222}Rn} = 222.0175U$$
$$m_{\alpha} = 4.0026U$$
$$\Delta m = 0.006397U$$
$$E_{\alpha} = \Delta m \times 931 = 0.006397 \times 931 = 5.956\ Mev$$

پرتو بتای منفی (نگاترون)

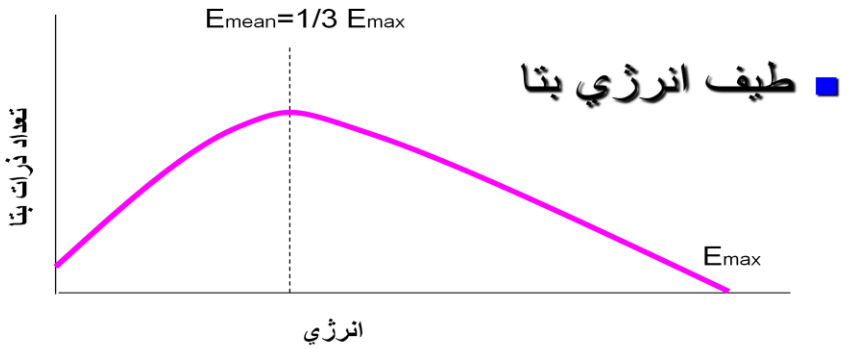
- هر گاه عدم تعادل انرژی در هسته بدلیل افزایش نسبت نوترون به پروتون باشد، در این صورت یک نوترون به پروتون تبدیل می گردد که نتیجه آن کاهش یک نوترون در هسته و افزایش یک پروتون است که خود گامی در جهت تعادل اینچنین هسته هائی خواهد بود. در بسیاری موارد این فروپاشی منجر به ایجاد یک عنصر پایدار می گردد.

$$n \rightarrow p^+ + \beta^- + ..$$

- این واکنش معمولاً مابه التفاوت انرژی داشته که صرف سرعت دادن به ذره بتا میشود.

- چون در فروپاشی نوترون در بسیاری موارد علاوه بر بتای منفی ذره دیگری نیز تابش می شود (نوترینو و ...) که آن ذره نیز حاوی انرژی خواهد بود. لذا انرژی ذره بتا در تمام واکنشها یکسان نخواهد بود. بدین سبب می توان پذیرفت که پرتو بتای منفی دارای طیف انرژی باشد.

پرتو بتاي منفي (نگاترون)



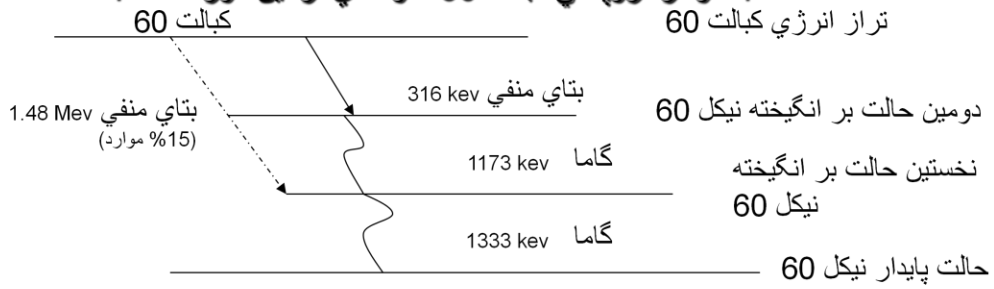
- در صورتی که در معادله فروپاشی هیچ ذره دیگری بجز بتای منفی و پروتون ایجاد نشود، بیشترین میزان انرژی پرتو بتای منفی را خواهیم داشت.
- هر چه میزان انرژی پرتو نوترینو بیشتر شود میزان انرژی پرتو بتا کمتر خواهد شد.
- برد و قدرت نفوذ بتا در مواد با انرژی ماکزیمم آن رابطه دارد.
- جرم این پرتوبرابر جرم الکترون است.
- میزان انرژی آن از پرتو آلفا بسیار کمتر است.
- دارای یک واحد بار الکتریکی است.
- ومیزان انرژی (یونش ویژه کمتری نسبت به آلفا دارد).
- عمق نفوذ آن از آلفا بیشتر است ولی در کل قدرت نفوذ بالائی در مواد ندارد.
- براحتی می توان جلو پرتوگیری خارجی (بتا) را با یک ورقه آلومینیومی (۳ میلیمتری) گرفت.

www.MrSafety.blogfa.com

Akbari.Jafar@gmail.com

پرتو بتاي منفي (نگاترون)

- **عمده مشكل پرتو بتا در پرتو گيري خارجي دو چيز است:**
- **معمولا در فرآيند فروپاشي هسته هاي بتاي منفي دهنده در يك مرحله ماده ناپايدار به پايداري نمي رسد و معمولا هسته ايجاد شده يك ايزومر هسته اي است كه خود تابش كننده گاما است. نمودار فروپاشي كبالت 60 نمونه اي از اين مورد است :**



- **در صورتي كه در مسيرانتشاراين پرتو ماده چگال قرار گيرد، ميزان قابل توجهي پرتو ايكس ايجاد خواهد شد.**

- در صورتی که در مسیرانتشاراین پرتو ماده چگال قرار گیرد، میزان قابل توجهی پرتو ایکس ایجاد خواهد شد.

- معادله فروپاشی ذرات بتای منفی دهنده بشکل زیر می باشد:

$$ {}^{A}_{z}X \longrightarrow {}^{A}_{z+1}Y + \beta^{-} $$

$$ eg. $$

$$ {}^{14}_{6}C \longrightarrow {}^{14}_{7}N + \beta^{-} $$

- همانگونه که در خصوص پرتو آلفا نیز ذکر شد در یک انتقال هسته ای که با کاهش جرم همراه است ، می توان مقدار تقریبی انرژی حاصل را بر اساس اختلاف جرم هسته های مادر و دختر محاسبه نمود.

- **پرتو بتای منفی (نگاترون) محاسبه انرژی**

- مثال:

$$ {}^{32}P \longrightarrow {}^{32}S + \beta^{-} $$

$$ m_{{}^{32}P} = 31.9739\ u $$

$$ m_{{}^{32}S} = 31.97207\ u $$

$$ Difference = 0.00183\ u $$

$$ E_{\max(\beta^{-})} = mass\,difference \times 931.502 $$

$$ \Rightarrow E_{\max(\beta^{-})} = 0.00183 \times 931.502 = 1.7\ Mev $$

- همانگونه که مشخص است در این محاسبات از جرم الکترون صرف نظر شده است. انرژی بدست آمده انرژی ماکزیمم پرتو می باشد. اگر نیاز به انرژی متوسط داشته باشیم می توان این عدد را به سه تقسیم کرد.

پرتو بتای مثبت (پوزیترون)

- هر گاه عدم تعادل انرژی در هسته بدلیل کمبود نسبت نوترون به پروتون باشد، در این صورت هسته برای پایداری دو راه عمده را می تواند انتخاب نماید:

- یک ذره پروتون را به یک نوترون تبدیل نموده که نتیجه آن کاهش یک پروتون در هسته و افزایش یک نوترون است که خود گامی در جهت تعادل اینچنین هسته هائی خواهد بود. در بسیاری موارد این فروپاشی منجر به ایجاد یک عنصر پایدار میگردد. حاصل این واکنش تولید ذره بتای مثبت است که معمولا مابه التفاوت انرژی داشته که صرف سرعت داده به ذره بتا می شود. چون در فروپاشی پروتون در بسیاری موارد علاوه بر بتای مثبت ذره دیگری نیز تابش میشود (نوترینو) که آن ذره نیز حاوی انرژی خواهد بود. لذا انرژی ذره بتا در تمام واکنشها یکسان نخواهد بود. بدین سبب میتوان پذیرفت که پرتو بتای مثبت نیز دارای طیف انرژی باشد.

$$p^{+} \rightarrow n + \beta^{+} + ..$$

$$p^{+} \rightarrow n + \beta^{+} + ..$$

- یک الکترون از مدار داخلی اتم به داخل هسته کشیده شده و با یک پروتون ترکیب و تولید یک نوترون نماید که در این صورت نیز تعداد نوترون یکی افزایش پیدا کرده و از تعداد پروتون یکی کاسته میشود که این روش هم گامی در جهت پایداری است حاصل این فروپاشی پرتو X است و این چنین هسته هائی که به این روش به پایداری می رسند را EC (Electron Capture) می گویند.

- بسیاری از خصوصیات پرتو بتای مثبت با بتای منفی مشابهت دارد البته بدلیل اختلاف در بارالکتریکی اختلافهای زیادی نیز خواهند داشت. ضمناً هسته های تابش کننده پرتو بتای مثبت خیلی فراوان نیستند و اصولاً احتمال فروپاشی پروتون به نوترون بسیار کم است.

- معادله فروپاشی ذرات بتای مثبت دهنده به شکل زیر می باشد:

$$^{A}_{z}X \rightarrow ^{A}_{z-1}Y + \beta^{+}$$

$$eg.$$

$$^{12}_{7}N \rightarrow ^{12}_{6}C + \beta^{+}$$

- همانگونه که در خصوص پرتو بتای منفی ذکر شد مقدار تقریبی انرژی حاصل را بر اساس اختلاف جرم هسته های مادر و دختر میتوان محاسبه نمود البته در خصوص پرتوبتای مثبت یک وجه تمایز وجود دارد که ذیلا اشاره خواهد شد.

- **پرتو بتای مثبت (پوزیترون)محاسبه انرژی**

- **مثال:**

$$^{11}C \rightarrow ^{11} B + \beta^{+}$$
$$m_{^{11}C} = 11.01143\ u$$
$$m_{^{11}B} = 11.00931\ u$$
$$Difference = 0.00212\ u$$
$$E_{\max(\beta^{+})} = mass\,difference \times 931.502$$
$$\Rightarrow E_{\max(\beta^{+})} = 0.00212 \times 931.502 = 1.98\ Mev$$

- لازم بذکر است از این مقدار، 1.02 Mev که انرژی لازم جهت تولید جفت پوزیترون-الکترون میباشد باید از آن کسر گردد. لذا انرژی ماکزیمم این پرتو برابر ۰.۹۶ میلیون الکترون ولت خواهد بود.

نوترون

- یکی از اجزاء اتم است (در سال ۱۹۳۳ کشف شد) و هنگامی که عناصر سبکی همچون بریلیوم توسط پرتو آلفا بمباران شوند، پرتو نوترون تولید می شود که دارای قدرت نفوذ بالائی بوده و می تواند از صفحات سرب بضخامت چند سانتی متر عبور کند.

- فاقد بارالکتریکی بوده و می توان آنرا از بمباران آلومینیوم (یا سایر عناصر سبک) بدست آورد:

$$^{27}_{13}AL + ^{4}_{2}\alpha \rightarrow ^{30}_{15}P + n$$

- یکی از مهمترین منابع تولید آن ، راکتورهای اتمی هستند.

- همانطور که قبلا نیز ذکر شد واکنش شکست هسته محصول برخورد یک نوترون سریع با هسته اتم اورانیوم ۲۳۵ است که در اثر آن دو رادیوایزوتوپ (پاره های شکست) و بطور متوسط ۲.۵ نوترون با انرژی بین ۱ تا ۱۰ میلیون الکترون ولت (نوترون سریع) ایجاد می گردد. البته میزان ۲۰۰ میلیون الکترون ولت انرژی اضافی نیز ماحصل این واکنش است که بصورت گرما و یا اشکال دیگر تلف شده و یا قابل استفاده می باشد.

- در یک راکتور ۱۰ مگاواتی در هر ثانیه 3×10^{17} شکست اتفاق میافتد. لذا میتوان حدس زد که در هر ثانیه چند نوترون و چه میزان انرژی آزاد خواهد گردید.

خواص و انواع نوترون

- قابلیت یونسازی نوترون زیاد است ولی یونسازی آن مستقیم نمیباشد.

- یکی از روشهای غیر مستقیم یونسازی فروپاشی نوترون به پروتون و نگاترون است که در واقع این دو ذره هستند که در محیط یونسازی می کنند.

- نوترون در محیط آزاد ناپایدار است (نیمه عمر ۱۲ دقیقه)

- از نظر انرژی به سه دسته تقسیم می شود :

- نوترون سریع.
- نوترون متوسط.
- نوترون کند (حرارتی) .

پرتوهای الکترومغناطیس

- از سال ۱۸۶۴ ماکسول وابستگی بین میدانهای الکتریکی و مغناطیسی را بصورت روابط ریاضی بیان شده است.
- تئوری ماکسول نشان می دهد که هر تغییر در میدانهای الکتریکی همیشه با تغییراتی در میدانهای مغناطیسی همراه میباشد و بر عکس.
- از اجتماع میدانهای الکتریکی و مغناطیسی امواج الکترو مغناطیس ایجاد میشود.
- سرعت تمام پرتوها یکسان و برابر ($3\times10^{8}\ \ m/s$) در خلاء است.
- هر موج از پرتوهای الکترومغناطیسی با سه مشخصه فرکانس، طول موج و انرژی نشان داده می شود.
- فرکانس بر حسب هرتز، طول موج عمدتاً بر حسب آنگستروم ($10^{-10}\ \ m$) و انرژی بر حسب ژول .
- هر چه طول موج بیشتر فرکانس کمتر و بر عکس .

$$f\times\lambda=c$$

خاصیت ذره ای پرتوهای الکترومغناطیس

- برای توجیه انتقال انرژی در پرتوهای الکترومغناطیسی مخصوصا در فرکانسهای بالاتر از تئوری ذره ای یا کوانتیک پرتوها استفاده می شود.
- در این تئوری انتقال انرژی از یک مکان به مکان دیگر برای پرتوهای الکترومغناطیسی کاملا پیوسته و اتصالی نیست، بلکه انتقال انرژی بصورت ذرات یا کوانتا (فوتون) انجام میگیرد.
- انرژی هر فوتون با فرکانس پرتو رابطه مستقیم دارد.

$$E(j)=hf\ ,\quad h=6.61\times10^{-34}\ js$$

or

$$E(ev)=\frac{12400}{\lambda(A^{\circ})}$$

بیناب پرتوهای الکترومغناطیس

	فوتون?انرژ(ev)	طول موج	فرکانس (هرتز)
?امواج رادوئ	$1\times10^{-13}-1.24\times10^{-4}$	$1\times10^{7}\,m-1cm$	$3-3\times10^{10}$
امواج ماون قرمز	$0.0124-1.24$	$0.01cm-1\times10^{4}\ A^{\circ}$	$3\times10^{12}-3\times10^{14}$
?نورمرئ	$1.77-3.1$	$7\times10^{3}-4\times10^{3}\ A^{\circ}$	$4.13\times10^{14}-7.5\times10^{14}$
امواج ماوراء بنفش	$3.1-124$	$4\times10^{3}-100\ A\circ$	$7.5\times10^{14}-3\times10^{16}$
کس نرم?ا	$124-12400$	$100-1\ A^{\circ}$	$3\times10^{16}-3\times10^{18}$
کس?ا	$12400-124000$	$1-0.1\ A^{\circ}$	$3\times10^{18}-3\times10^{19}$
کس سخت و گاما?پرتو ا	$124000-1240000$	$0.1-0.01\ A^{\circ}$	$3\times10^{19}-3\times10^{20}$

- بیناب امواج الکترومغناطیس پیوسته است.

پرتوهای الکترومغناطیسی بر حسب اینکه انرژی شان بتواند در جسم جاذب (مثلا بدن موجود زنده) ایجاد یونسازی و تحریک کند یا نه به دو گروه بزرگ پرتوهای یونساز و غیر یونساز تقسیم می شوند.

بعنوان یک راهنما میتوان گفت که هر پرتوئی که انرژی بیشتر از حدود ۳۴ الکترون ولت انرژی داشته باشد پرتو یونساز است.

پرتو ماوراء بنفش پرتو غیر یونساز است چون بخش با انرژی بالای آن فقط در خلا منتشر می شود.

امواج رادیوئی

- شامل امواج بلند، کوتاه و فراکوتاه که قابل استفاده در رادار هستند میباشد، این امواج توسط نوسان کننده های الکتریکی تولید شده و توسط وسائل الکترونیکی قابل شناسائی است.
- از اجسام عایق عبور کرده و توسط اجسام هادی بازتاب می یابد.
- در اثر تغییر در حرکت دورانی الکترون ایجاد می شوند.
- دارای خصوصیات پرتوهای الکترومغناطیسی بوده و برای معرفی بیشتر بر روی فرکانس آنها بحث میشود تا طول موج و انرژی آنها بر حسب میدانهای الکتریکی و یا مغناطیسی آنها شرح داده شده و آنها بجای کمیت انرژی از شدت میدان الکتریکی و مغناطیسی استفاده می شود.
- هم بصورت موج پیوسته و هم پالس منتشر می شود.

طیف پرتوهای فرکانس رادیوئی

باند موج	فرکانس	
بلند?ل?خ	ELF	Extremely Low Frequency
	ULF	Ultra Low Frequency
	VLF	Very Low Frequency
بلند	LF	Low Frequency
متوسط	MF	Medium Frequency
کوتاه	HF	High Frequency
ماوراء کوتاه	VHF	Very High Frequency
و ?کرو?م(متر?دس)	UHF	Ultra High Frequency
و ?کرو?م(متر?سانت)	SHF	Super High Frequency
و ?کرو?م(متر?ل?م)	EHF	Extremely High Frequency

طیف پرتوهای فرکانس رادیوئی

موج	طول موج (متر)	فرکانس	فوتون ?انرژ(ev)
ELF	$10^{7}-10^{6}$	3-300 (Hz)	$10^{-13}-10^{-12}$
ULF	$10^{6}-10^{5}$	300-3000 (Hz)	$10^{-12}-10^{-11}$
VLF	$10^{5}-10^{4}$	3-30 (kHz)	$10^{-11}-10^{-10}$
LF	$10^{4}-10^{3}$	30-300 (kHz)	$10^{-10}-10^{-9}$
MF	$10^{3}-10^{2}$	300-3000 (kHz)	$10^{-9}-10^{-8}$
HF	$10^{2}-10$	3-30 (MHz)	$10^{-8}-10^{-7}$
VHF	$10-1$	30-300 (MHz)	$10^{-7}-10^{-6}$
UHF	$1-10^{-1}$	300-3000 (MHz)	$10^{-6}-10^{-5}$
SHF	$10^{-1}-10^{-2}$	3-30 (GHz)	$10^{-5}-10^{-4}$
EHF	$10^{-2}-10^{-3}$	30-300 (GHz)	$10^{-4}-10^{-3}$

کاربردهای پرتوهای فرکانس رادیوئی

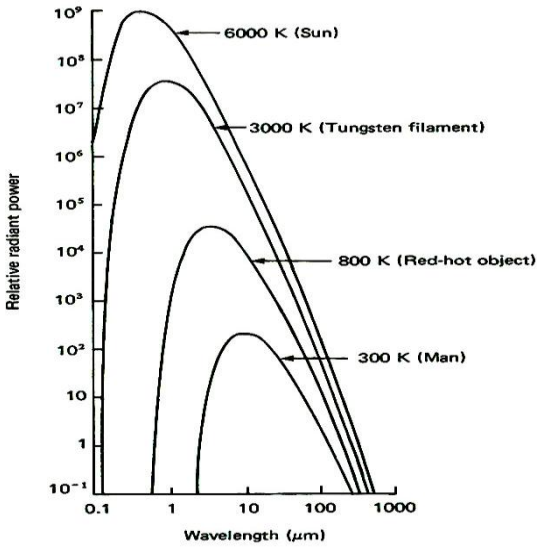
مخابرات

- فرستنده های (رادیو تلویزیون)
- امواج ناوبری (هوائی و محصولات دریائی ، پروازهای فضائی)
- مخابرات رادیوئی دوطرفه (تلفنی و تلگرافی)
- امواج محل یاب (رادار سیستم میزر(سیستم تقویت مغناطیسی))
- ارسال مجدد امواج (فرستنده ها و ایستگاههای تقویت امواج)
- کاربردهای پرتوهای فرکانس رادیوئی
- گرمایش امواج فرکانس بالا و میکروویو

- کاربردهای پزشکی (دیاترمی درمان سرطان، نرم کننده اندامهای سفت شده به منظور پیوند زنی)
- مقاصد تجزیه ای (استریل کردن آمپولها، غیر فعال کردن آنزیمها)
- مصارف صنعتی (کوره های دی الکتریک و میکروویو برای درز بندی پلاستیکها و قطعات دستگاهها، طبخ غذا، خشکانیدن کاغذ، پارچه و محصولات شیشه ای و...)
- کاربرد برای مقاصد علمی

مادون قرمز

- این امواج توسط ارتعاشات مولکولی و تحریک الکترونهای مدار خارجی اتم تولید می شوند.
- در اثر تغییر در حرکت ارتعاشی الکترون ایجاد می شوند.
- توسط وسائل حرارتی و فیلمها قابل شناسائی هستند.
- بیشتر اجسام جامد مانع عبور این امواج هستند.
- پاسخ اولیه به جذب این انرژیها یک اثر حرارتی است.



مادون قرمز

هر جسمی که داغ شود تابش مادون قرمز می کند.

ناحیه	فرکانس Hz	کرومتر? طول موج بر حسب م?ب?حدودتقر	فوتون برحسب میلی الکترون ولت
IR-A	۳۸۵-۲۱۴	۰.۷۸-۱.۴	۱۵۹۰ – ۸۸۶
IR-B	۲۱۴-۱۰۰	۱.۴ – ۳	۸۸۶-۴۱۳
IR-C	۱۰۰ – ۰.۳	۳ -۱۰۰۰	۴۱۳-۱.۲۴
نزدیک	۳۸۵ -۱۰۰	۰.۷۸-۳	۱۵۹۰-۴۱۳
متوسط	۱۰۰ -۱۰	۳-۳۰	۴۱۳- ۴۱.۳۳
دور	۱۰-۰.۳	۳۰-۱۰۰۰	۴۱ -۱.۲۴

نورمرئی

- از تحریک الکترونهای مدار خارجی اتم وهمچنین از شارژ الکتریکی لامپها و لوله های گازی ایجاد می شود.
- توسط فیلمها، سلول فوتو الکتریک و چشم قابل شناسائی است.
- از اجسام شفاف مانند شیشه عبور می کند.
- رویت اجسام عملی فوتو شیمیائی و پدیده ای فیزیولوژیکی است ولی اثری مضر ناشی از پرتوگیری چشمها با این انرژیهای تابشی گزارش نشده است.
- پرتوگیری از منابع نوری قوی موجب خستگی چشم ها، آماس عنبیه و آماس لبه های خارجی پلکها می گردد که البته این اثرات موقتی هستند.
- البته نورهای تابش شده از خورشید، یا اجسام تابان قوی و منابع نور نوسانی ، انواع مختلف قوسهای الکتریکی میتوانند ضررهائی به بافت چشم بزنند.

لیزر

- Laser (Light Amplification by Stimulated Emission Radiation)
- انیشتین تابش تحریکی را در سال ۱۹۱۷ پیشنهاد نمود و پدیده تابش القائی که عامل تقویت در نوسان مولکولی میباشد را معرفی نمود. با توجه به تئوری فوق اولین وسیله ای که ساخته شد یک تقویت کننده پرتوبود.
- با استفاده از دستگاه فوق و تقویت ارتعاشات مولکولی آمونیاک (ماکرویو) پرتو میزر ایجاد شد.

- سپس Maiman با استفاده از یاقوت اقدام به ساختن لیزر کرد (۱۹۶۰).
- پس از آن علی جوان لیزر هلیوم نئون (لیزر گازی) را ساخت (۱۹۶۲) .

چگونگی بوجود آمدن نور مرئی

- الکترونهای اتم ماده ای که قرار است تولید نورکند در اثر گرفتن انرژی به مدارهای بالاتر رفته و پس از مدتی به مدار اولیه بر می گردند.
- نور مرئی به همراه بازگشت الکترون به مدار اصلی تولید می شوند.
- مکانیزم رفت و برگشت برای تمام الکترونها همزمان اتفاق نیفتاده و در بعضی از این منابع اختلاف زمانی هم قابل محاسبه است.
- لذا نورمرئی با پراکندگی زیاد، شدت کم و از نظر طول موجهای مختلف ناخالص خواهد بود.
- تمام معایب فوق در لیزر با استفاده از تابش القائی بر طرف می شود.
- پرتو لیزر ایجاد شده:

همدوس (Coherent) ، تکفام (Mono chromate) ، سودار (Directional) و شدت بالا (High Radiance) خواهد بود.

- واحد رادیانس (وات بر استرادیان بر سانتی متر مربع)می باشد.

ساختمان لیزر

- یک دستگاه مولد نور مرئی است که در محفظه ای بنام حفره قرار گرفته است.
- منبع مولد نور از اجتماع یک تقویت کننده و دو بازتاب دهنده تشکیل شده است.
- نکته مهم ماده ایست که در داخل حفره قرار میگیرد که همین نوع ماده است که انواع لیزر را با یکدیگر متفاوت میسازد.

لذا لیزر دارای:

- ماده فعال (جامد ، مایع گاز)

حالت جامد: ماده فعال ایجاد کننده لیزر: یک یون فلزی باغلظت کم.

مانند: لیزر یاقوت nd:ya & nd:glass

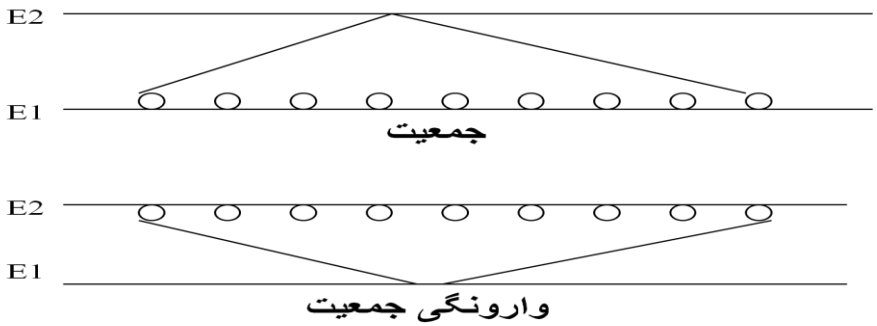
لیزر گازی: ماده فعال ایجاد کننده لیزر: یک گاز به صورت خالص

یا همراه گازهای دیگر. مانند: نئون وهلیم

لیزر مایع: از مایعات بکار رفته در این نوع لیزرها بمنظور تغییر طول موج یک لیزر دیگر استفاده میشود. مانند:تولوئن و بنزن

لیزر نیمه رسانا (لیزر دیود یا تزریقی): دو ماده یکی با کمبود الکترون و دیگری با افزونی الکترون به عنوان ماده فعال استفاده میشود.

- انرژی تحریکی : باید فرکانس متناسبی داشته باشد که بتواند محیط فعال را به حالت تحریک در آورد. منبع نور شدید یا ژنراتور مولد امواج رادیوئی از انواع این انرژی می باشند.
- حفره
- مهمترین اصل ایجاد لیزر تحریک به اندازه کافی یا زیاد الکترونها به تراز انرژی بالاتر می باشد.
- قبل از پمپ انرژی به ماده فعال ، تعداد الکترونها در حالت زمینه زیاد است (اصطلاحا حالت جمعیت وجود دارد).
- اگر بخواهیم لیزر تولید نمائیم ، بایستی در مدار تحریکی حالت جمعیت داشته باشیم (یا باصطلاح وارونگی جمعیت).
- مفهوم وارونگی جمعیت: تعداد الکترونهای تحریکی بمراتب بیشتر از حالت زمینه میباشد.



احتمالات برگشت الکترونها

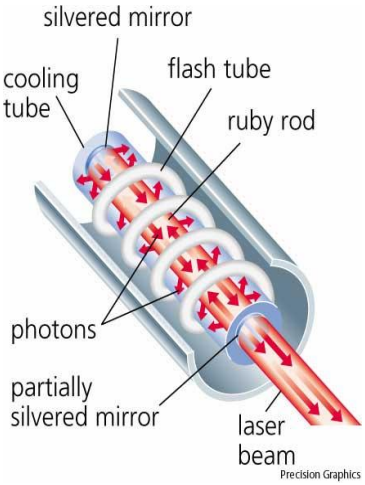
۱. الکترونها در مدار میانه قرار دارند و همچنان انرژی تحریکی ادامه دارد، الکترونی که از مدار تحریکی سقوط میکند، فوتونی تابش نموده و به الکترونی که در میانه قرار گرفته برخورد نموده و باعث سقوط به مدار زمینه می شود (تولید لیزر).

۲. الکترونها از حالت تحریک به مدارهای میانه (meta-stable) آمده و در آنجا توقف نموده و آنگاه به مدار زمینه بر می گردند (سقوط از مدار میانه به مدار زمینه تابش لیزر می کند).

۳. الکترونها مستقیماً به مدار زمینه برگشته و پرتو لیزر را تابش نمایند.

- توضیح: در ابتدای کار تابش فلورسانس با همان طول موج لیزر خواهیم داشت و بعد از مدت زمان حدوداً ۰.۵ میلی ثانیه پرتو همدوس شده و لیزر ایجاد خواهد شد.
-

- **لیزریاقوتی :**



این لیزر تشکیل شده از:

- میله ای به طول بین ۲ تا ۱۰ سانتی متر و قطر ۰.۵ تا ۱ سانتی متر.
- جنس میله: اکسید آلومینیومی که ناخالصی کروم دارد. این ناخالصی بمیزان ۰.۰۵٪ می باشد.
- افزایش ناخالصی کروم در یاقوت رنگ آنرا تغییر میدهد.
- کروم طول موجهای زرد و سبز را جذب کرده و طول موجهای قرمز را عبور می دهد.
- هر چه میزان ناخالصی بیشتر باشد طول موجهای زرد و سبز بیشتری جذب شده و نور قرمزتری مشاهده می شود.
- در انتهای میله دو سطح وجود دارد یک بازتاب دهنده و دیگری نیمه شفاف.
- منبع القائی: نورمرئی
- لوله ای مارپیچ دور یاقوت (فلش تیوب)
- لامپ تخلیه الکتریکی گزنون با انرژی الکتریکی حدود ۲۰۰۰ ژول
- انرژی جذب شده سبب تحریک الکترونهای یاقوت خواهد شد
- پس از جذب کافی انرژی، الکترونها به مدار تحریکی رفته و پس از بازگشت طول موجی برابر ۶۹۳۴ آنگستروم تابش می کند.
- این نورلیزرنوری است که:
- فقط این طول موج را دارد (تکفام است).

- امواج هم فاز هم دامنه و جهت امواج با یکدیگر برابرند (همدوس است).
- چون پراکندگی بسیار کم است. پرتو بخط مستقیم نزدیک شده و در نتیجه پرتو با شدت بسیار زیاد خواهد بود.
- رادیانس این لیزر $10^{10}\ W/Sr/cm^2$ در حالی که رادیانس $7\times10^{3}\ W/Sr/cm^2$ خورشید است .

لیزرهلیوم- نئون

- محیط فعال ۸۵٪ هیلوم و ۱۵٪ نئون.
- فشار گاز هلیوم حدودا یک میلی متر جیوه و فشار نئون ۰.۱ میلی متر جیوه است.
- در واقع گاز نئون در بستری از گاز هلیوم قرار گرفته است.
- انرژی تحریکی یک ژنراتور رادیوفرکانس بوده که پرتوئی بین ۲ تا ۲۰ مگاهرتز تولید می کند.
- این انرژی باعث تحریک اتمهای هلیوم از حالت زمینه به حالت تحریک میشود.
- اتمهای تحریک شده با اتمهای نئون برخورد انجام داده و اتمهای نئون به مدارهای انرژی بالاتر تحریک می شوند.
- الکترونهای تحریک شده در برگشت در مدار میانه توقف نموده و هنگام بازگشت به مدار زمینه لیزر تابش می شود.
- لیزر با مشخصات و طول موجهای مختلف با توجه به چگونگی بازگشت الکترونها ایجاد می شود.

انواع کاربرد لیزر

پزشکی ، محیطی ، صنعت ، ارتباطات و سیستمهای اطلاعاتی ، اندازه گیری و کنترل، شیمی، نظامی و ...

کاربرد لیزر در پزشکی

- لیزر در عرصه پزشکی ابتدا به عنوان جایگزینی برای چاقوی جراحی بود.
- در هنگام تاثیر تابش لیزر اثرات بیولوژیکی آن بستگی به خواص گرمائی بافت دارد.
- *اساس کارلیزر در درمان بیماریها:*
- نور لیزر به خاطر ویژگی ذاتی خود با یک باریکه موازی با طول موج مشخص و شدت بالا در عمق بافت بدن نفوذ کرده و با انتقال انرژی فوتونهای خود در برخورد با بافتها سبب تحریک بیولوژیکی سلول میشود (Photo Biosimulation).
- لیزر با طول موجهائی که در درمان استفاده می شود هیچ ضرری برای بدن ندارد اما باید توسط پزشک مجرب استفاده شود.

- لیزرهای گازکربنیک، هلیوم-نئون و نیمه هادیها بیشتر از دیگر لیزرها در درمان کاربرد دارند.
- *لیزرهای پزشکی برحسب اثر انرژی*

۱. لیزرهای جراحی: که سبب تغییرات غیر قابل برگشت دربافت بیولوژیکی میشوند.

۲. لیزرهای تراپی: این دسته میتوانند عامل محرکه یکسری از واکنشهای مهم بیولوژیکی باشند. مانند:احیای خواص ایمنی ارگانیسم و افزایش آنها.

a. لیزر گالیم آرسناید با طول موج 904nm (نیمه هادی)

b. لیزر هلیوم-نئون با طول موج 633nm (قدیمی ترین نوع)

c. لیزر گالیم آلومینیوم آرسناید با طول موج780-830nm (نیمه هادی)

d. لیزر ایندیوم گالیم آلومینیوم فسفاید با طول موج 633-635nm (نیمه هادی)

۳. لیزرهای تشخیصی: که برای بررسی موقعیت و حالت محیطهای بیولوژیکی یا اندازه گیری تغییرات آنها در هنگام تاثیر فاکتورهای مختلف طراحی شده اند.

انواع کاربرد لیزر در پزشکی :

- دندانپزشکی
- چشم پزشکی
- اندازه گیری قطر مو
- جوش دادن شبکیه چشم
- درمان نوروپاتی دیابتی
- درمان واریس
- جراحی مینیسک زانو
- درمان سینوزیت
- ترمیم مفاصل
- آنژیوپلاستی عروق کرنر
- درمان اعصاب محیطی آسیب دیده
- طب سوزنی لیزری در درمان فلج مغزی اطفال
- درمان تهاجمات موضعی کانسر تیروئید
- درمان آفت دهانی
- اورولوژی
- درمان سردردهای میگرنی
- جراحی مغز

موارد استفاده از لیزر در پوست:

- درمان ضایعات مربوط به عروق پوست مانند: ماه گرفتگی

- درمان ضایعات رنگدانه ای مانند: لکهای ناشی از آفتاب
- جوانسازی پوست و از بین بردن چین و چروک
- از بین بردن موهای زائد
- جراحی پلاستیک
- درمان التهابهای عمیق
- درمان ترکهای پوست
- رفع خالکوبی
- بهبود سریع زخمهای دیابتی وبستر و عروقی
- درمان فرورفتگیهای ناشی از آکنه وزگیلهای ویروسی

کاربرد لیزر در صنعت:

- برش اجزای الکترونیک
- بالانس دینامیکی اچزای مدار
- نمونه سازی سریع اولیه
- برش شیشه
- سوخت گیری هواپیما
- شکست کنترل شده
- برشهای لیزری
- تعیین مسیر مته زنی در معدن
- هم محور کردن ماشین آلات در ساخت هواپیما و مهندسی سازه

جوشکاری از میکروالکترونیک تا کشتی سازی

پاکسازی سطوح

تراشکاری

نشانه گذاری و حکاکی

مقاوم سازی سطوح فلزی

پرداخت سطوح

علامت گذاری

کاربرد لیزر در اندازه گیری و کنترل

اندازه گیری مسافت

سیستمهای کنترل از راه دور

اندازه گیری سرعت زاویه ای

سیستمهای تخمین موقعیت وجهت

اندازه گیری سرعت ، شتاب و ارتعاشات

کاربرد لیزر در زمینه شیمی

- جداسازی ایزوتوپها
- غنی سازی اورانیوم
- بررسی جزئیات فرآیند احتراق شعله
- اندازه گیری غلظت و دمای یک نمونه مولکولی
- تشخیص و ایجاد تغییرات شیمیایی برگشت ناپذیر
- بدست آوردن اطلاعات درباره مولکولهای چند اتمی
- کاربرد نظامی لیزر
- بمب لیزری
- تفنگ لیزری
- ردیاب لیزری
- فاصله یاب لیزری
- سلاحهای هدایت انرژی

کاربردهای محیطی

- ✓ اندازه گیری دبی سیال
- ✓ بررسی آلودگی
- ✓ بررسی میزان تصفیه فاضلاب
- ✓ تعیین میزان توکسین های محیطی

- ✓ دستگاه های کنترل کیفیت مایعات وگازها
- ✓ پیش بینی واندازه گیری میزان اسموگ وازن فتوشیمیائی
- ✓ دستگاه های کنترل متغیرهای ذرات معلق کنترل اکولوژی

تجهیزات لیزری برای ارتباطات و سیستمهای اطلاعاتی

- سیستم نمایش لیزری
- تقویت کننده های فیبری
- تجهیزات عیب یابی خطوط فیبرنوری
- خواندن اطلاعات دیسک ویدئویی و صوتی
- ترانزیستورهای خطوط ارتباطی فیبرهای نوری
- نوشتن و خواندن اطلاعات در حافظه نوری کامپیوترها
- انتقال رونوشت صفحات روزنامه از طریق گرافیک لیزری
- سیستمهای نوری لیزری برای ثبت، ذخیره و پردازش اطلاعات

سایر کاربردها

- سرمایش لیزری
- سیستمهای حفاظت لیزری
- تکنولوژی حفاری نفت و گاز
- تولید هولوگرام برجسته و هنری
- اندازه گیری فاصله بین ماه و زمین

پرتو ماوراء بنفش

- در اثر تحریک الکترونهای مدار خارجی اتمها تولید میشود.
- این امواج توسط فیلمها، کنتورگایگرها و اطاقهای یونیزاسیون قابل شناسائی است.
- باکتریها را میکشد

- یکی از عوامل ایجاد کننده ویتامین است

از نظر آثار زیستی به سه دسته تقسیم میشود:

- **UV-A** : که از طول موج ۳۲۵ نانومتر شروع و تا ۴۰۰ نانومتر ادامه دارد.
- زمانی تصور بر این بوده که UVA اثر کمی بر آسیب پوستی داشته باشد اما در حال حاضر مطالعات نشان داده که UVA سهم عمده ای در آسیب به پوست دارد. UVA به طور عمیق تری به درون پوست نفوذ می‌کند و بسیار مؤثرتر عمل می‌کند. هچنین UVA از شیشه عبور می‌کند.
- **UV-B** : که از طول موج ۲۸۰ نانومتر شروع و تا ۳۲۵ نانومتر ادامه دارد.
- UVB بر لایه بیرونی پوست، اپیدرم، تأثیر می‌گذارد و عامل اولیه‌ای در سوختگیهای آفتابی است، بیشتر بین ساعات ۱۰ صبح تا ۲ بعدازظهر که نور خورشید روشن تر است دیده می‌شود. UVB از شیشه عبور نمی‌کند.
- **UV-C** : که از طول موج ۱۰۰ نانومتر شروع و تا ۲۸۰ نانومتر ادامه دارد.
- پرتو UVC تقریبا به طور کامل توسط لایه ازن جذب می‌گردد و بر روی پوست تأثیر نمی‌گذارد. اشعه UVC را می‌توان در منابعی مصنوعی از قبیل لامپهای جیوه ای و لامپهای جرم کش یافت.
- طول موج های زیر ۲۰۰ نانومتر فقط در محیط خلاء یا محیطهای بسته گازهای نادر می توانند وجود داشته باشد.

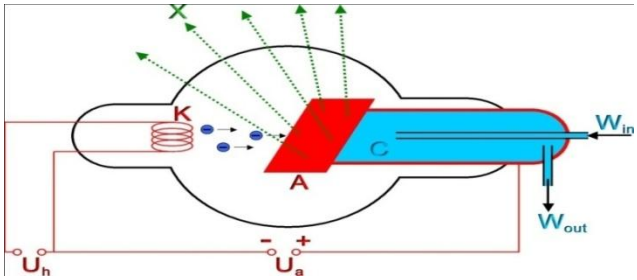
پرتو *X*

- یکی از پرتوهای الکترومغناطیسی (بعد از ماوراء بنفش) است.
- محدوده طول موج بین ۱۰۰ تا ۰.۰۱ آنگستروم (معادل 124 ev تا 1.24 Mev)
- پرتوئی یونساز است.

روشهای تولید:

- کاهش ناگهانی سرعت الکترونهای سریع
- خروج الکترون از مدار داخلی اتم
- در دستگاههای مولد ایکس روشهای فوق از بمباران جسمی بعنوان هدف توسط الکترون سریع انجام می پذیرد.
- شدت پرتو ایکس از رابطه:

$$I = Nhf$$



لوله مولد پرتو ایکس

هر دستگاه مولد پرتو ایکس شامل:

- منبع الکترون(کاتد) که معمولا رشته نازکی از سیم تنگستن است (یک قطعه تنگستن که در لفافی از مس پیچیده شده)
- میدان الکتریکی برای سرعت دادن به الکترونها
- سطح فلزی برای متوقف ساختن الکترونها (آنتی کاتد)

انواع پرتو x

احتمالات برخورد الکترون سریع به اتم هدف:

۱. به یکی از الکترونهای مدار داخلی برخورد کرده و آنرا از مدار خود خارج کند (پرتو X ویژه)

a. پیکهای پرتو X در طیف پرتو X ویژه باشد.

b. این پیکها منحصر به فرد است.

۲. به میدان الکتریکی ابر الکترونی اتم هدف نزدیک شده و سرعت آن بطور ناگهانی کاهش یابد.

۳. الکترون سریع در اثر نزدیکی به میدان قوی اتم هدف بطور ناگهانی ترمز کند (پرتو ترمزی)

اگر کاملا الکترون متوقف شود. انرژی پرتو ایکس با انرژی دو سر لوله مولد ایکس برابر

است.

۱. سرعت الکترون سریع بتدریج کاسته شود (انواع دیگرانرژی چون گرما، نور و..)

پرتوX ویژه

- هرگاه الکترونی به دلیلی از لایه خود جدا شود، حاصل آن یک تهی جا در آن لایه خواهد بود.
- در این حالت یک الکترون از لایه با انرژی کمتر تمایل خواهد داشت تا این تهی جا را پرکند.
- این عمل آنقدر ادامه پیدا میکند تا اینکه یک الکترون از بیرون گیر اندازی شود یا اینکه اتم بصورت یون باقی بماند.
- حاصل هر یک از این پرشهای الکترونی یک فوتون ایکس است (X ویژه)
- انرژی X ویژه برابر است با اختلاف انرژی بستگی دو لایه ای که الکترون در آنها جابجا شده است.
- اگر پرش الکترون از لایه L به k باشد پرتو x را ka (a نمایش پرشهای متوالی است) می گویند
- اگر پرش الکترون از لایه M به L باشد پرتو x را Laمی گویند
- اگر پرش الکترون از لایه N به M باشد پرتو x را Ma می گویند

اگرپرشها یک در میان باشد نامگذاری متفاوت خواهد بود:

- اگر پرش الکترون از لایه M به K باشد پرتو x را kB (B نمایش پرشهای یک در میان است) می گویند
- اگر پرش الکترون از لایه N به L باشد پرتو x را LBمی گویند

۸۰٪ موارد پرتوها از نوع a و ۲۰٪ از نوع Bاست.

پرتو گاما

- از انواع پرتوهای الکترو مغناطیسی است که ماهیت آن مانند پرتو ایکس است و اختلاف در منشاء تولید است.
- ایکس از ابر الکترونی و گاما از هسته
- انرژی گاما از ایکس بیشتر است (معمولا فعل و انفعالات درون هسته ما به ازاء انرژی بیشتری دارند)
- طیف انرژی از 124 kev تا 1.24 Mev است.
- در تجزیه و تحولهای هسته های رادیواکتیو علاوه بر تابش پرتوهای آلفا و بتا ، پرتو گاما نیز تابش میشود.
- انرژی فوتون گاما در بعضی از رادیو ایزوتوپها یکسان و در بعضی متفاوت است. (که این خود از ویژگیهای هسته مربوطه بوده و وسیله بسیار مهم جهت تشخیص رادیو ایزوتوپهاست)

- هرگاه هسته ای به هر علت در حالت تهییج قرار گیرد این انرژی تهییج خود را بصورت فوتون گاما تابش میشود.
- نمایش عمومی تولید گاما را میتوان بصورت زیر نشان داد:

$$ {}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z+1}y^{*} + \beta^{-} $$

$$ \downarrow $$

$$ {}^{A}_{z+1}y + \gamma $$

مثالهائی از تابش گاما

$$ {}^{226}_{88}Ra \begin{cases} \xrightarrow{(94.3\%)} {}^{222}_{86}Rn + \alpha \\ \xrightarrow[(5.7\%)]{} {}^{222}_{86}Rn^{*} + \alpha \\ \qquad \downarrow \\ \qquad {}^{222}_{86}Rn + \gamma \end{cases} $$

- الکترون تبدیل داخلیinternal Conversion
- پرتوهای گامای حاصل از واپاشی همواره قادر به خروج از اتم نمیباشند.
- در برخی موارد با الکترونهای مداری برخورد نموده و آنها را از مدار خارج میکند.
- به این الکترونها الکترون تبدیل داخلی میگویند.
- در این حالت نیز پرش الکترون به ناحیه تهی جا پرتو ایکس ویژه تولید خواهد کرد.
- بدیهی است در واپاشی بتای منفی نیز پدیده تبدیل داخلی را خواهیم داشت.
- انواع پرتوای توضیح داده شده حامل مقادیر قابل توجهی انرژی هستند
- اینگونه پرتوها انرژی خود را از طریق برخورد به مواد منتقل میکنند.
- آشنائی با فرآیند برخورد پرتوها با مواد در موارد زیر مورد نیاز است:
- اثرات پرتوها بر بافت از نقطه نظر بررسیهای بیولوژیکی
- شناخت اصول کار آشکار سازی پرتوها
- چگونگی حفاظت در برابر پرتوها (حفاظ گذاری، دزیمتری و..)

- کاربرد پرتوها در امور تشخیص و درمان
- ساز و کار تولید پرتوها و ..

یونیزاسیون و تحریک Ionization & Excitation

- چنانچه الکترون از مدار کولنی هسته کاملا خارج شود گوئیم اتم یونیزه شده است.
- به ازاء تعداد الکترونهای جدا شده گوئیم اتم یک ، دو یا چند بار یونیزه شده است.
- چنانچه الکترون جدا شده از لایه ، کماکان در میدان کولنی هسته باقی بماند ، در این صورت فقط یک جابجائی الکترون با کسب انرژی از لایه پائین تر به لایه بالاتر انجام شده است. در این صورت الکترون با آزاد نمودن انرژی به لایه خود باز میگردد که به این حالت میگوئیم اتم بر انگیخته شده است.
- **ضخامت جرمی Density Thickness**

عبارتست از حاصلضرب ضخامت در جرم حجمی ماده و واحد آن گرم بر سانتی متر مربع است.

$$cm \times g/cm^3 = g/cm^2$$

- پتانسیل یونیزاسیون Ionization Potential
  - انرژی لازم جهت کندن الکترون مداری که به یونسازی منجر میشود.
- میانگین افت انرژی w (Mean Energy Expenditure)
  - میزان انرژی لازم جهت تولید یک جفت یون که به آن مقدار w میگویند.
  - میانگین افت انرژی حدود ۲ تا ۳ برابر پتانسیل یونیزاسیون است.
  - مثلا پتانسیل یونیزاسیون اکسیژن 13.5 ev است ولی میانگین افت انرژی جهت تولید یک جفت یون در آن حدود ۳۴ الکترون ولت است
  - واحد w الکترون ولت بر جفت یون است.
- آهنگ خطی افت انرژی (linear Rate of Energy Loss)
- میانگین اتلاف انرژی در واحد فاصله طی شده توسط ذره را آهنگ خطی افت انرژی میگویند.
- به این کمیت اصطلاحا آهنگ اتلاف انرژی ویژه و یا توقف یا آهنگ اتلاف انرژی دیفرانسیلی میگویند.
- این کمیت را با dE/dx نشان میدهند.

- واحد آن معمولا بر حسب Mev/cm است
- آهنگ خطی افت انرژی ذرات آلفا و بتا را میتوان از روابط زیر بدست آورد:

$$\left(\frac{dE}{dx}\right)_{\alpha} = 3.33\times10^{-30}\times\frac{NZ}{E}\left(\ln\left(\frac{4E}{I}\right)\right)$$

$$\left(\frac{dE}{dx}\right)_{\beta} = 2.54\times10^{-35}\times\frac{NZ}{\beta'^{2}}\left[\ln\left(\frac{0.511E\beta'^{2}}{I\left(1-\beta'^{2}\right)}\right)\right]$$

آهنگ خطی افت انرژی ذرات آلفا و بتا

- در فرمولهای اسلاید قبل:

$$NZ = 3.88\times10^{20}$$

- برای هوا در دمای صفر درجه و فشار ۷۶ سانتی متر جیوه:

$$I = 8.6\times10^{-5}\ \ (for\ \ air)$$

- و مقدار I برابر:

$$I = 1.35\times10^{-5}Z\ \ (for\ \ any\ material)$$

- dE/dx: آهنگ خطی افت انرژی بر حسب Mev/cm
- یونیزاسیون ویژه Specific Ionization
- نسبت آهنگ خطی افت انرژی به میانگین افت انرژی جهت تولید یک جفت یون w را یونیزاسیون ویژه می گویند.

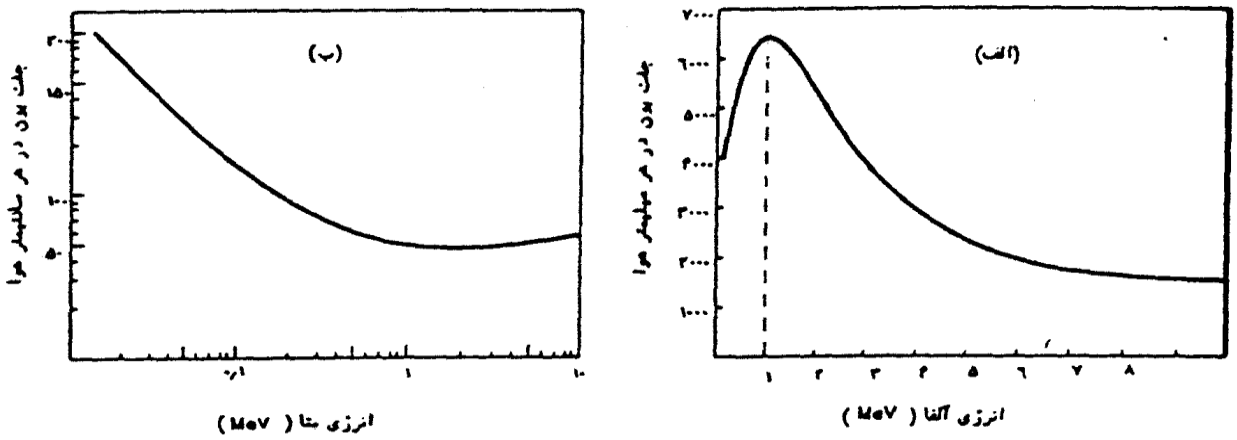
- **یعنی یونیزاسیون ویژه:**

$$SI = \frac{dE/dx}{w} \qquad [SI] = \frac{Ion\ \ pair}{cm}$$

- لذا یونیزاسیون ویژه عبارتست از تعداد زوج یونهای تشکیل شده در واحد طول توسط ذره یونساز

یونیزاسیون ویژه Specific Ionization

- یونیزاسیون ویژه ذرات بتا در انرژیهای پائین بسیار بالاست و با افزایش انرژی از یونیزاسیون ویژه کاسته میشود تا به یک حداقلی در حوالی ۱ Mev میرسد و سپس به آرامی افزایش می یابد.
- یونیزاسیون ویژه ذرات آلفا با افزایش انرژی افزایش می یابد تا به یک حداکثر در حوالی ۱ Mev رسیده و سپس تا حوالی ۵ Mev به سرعت کاهش می یابد و پس از آن ، این کاهش به آرامی صورت میگیرد



توان توقف جرمی Mass Stopping Power

- چنانچه آهنگ خطی افت انرژی را بر چگالی محیط جاذب تقسیم کنیم کمیت توان توقف جرمی خواهیم داشت.

$$S = \frac{dE/dx}{\rho}, \quad [S] = Mev/g/cm^{-2}$$

- لذا توان توقف جرمی (S) عبارتست از میانگین اتلاف انرژی به ازاء یک گرم بر سانتی متر مربع محیط .

توان نسبی توقف جرمی Relative Mass Stopping Power

- اگر توقف جرمی محیط جاذب را نسبت به توان توقف جرمی هوا بسنجیم به آن توان نسبی توقف جرمی میگویند.
- از این کمیت جهت مقایسه توان جذب انرژی در محیطهای مختلف استفاده میشود.

$$\rho_m = \frac{S_m}{S_a}$$

انتقال انرژی خطی Linear Energy Transfer (LET)

- اگر افت انرژی مورد نظر باشد از کمیت یونیزاسیون ویژه dE/dx/w استفاده میشود.
- ولی اگر محیط جاذب انرژی مورد نظر باشد از کمیت انتقال انرژی خطی LET استفاده میشود.
- این کمیتی است که آهنگ خطی جذب انرژی را بیان میکند و مفهوم آن یکی از موارد زیر است:
  - حداکثر فاصله از مسیر ذره
  - حداکثر مقدار افت غیر پیوسته انرژی ذره بطوریکه افت های بیشتر از آن دیگر موضعی تلقی نمیشوند.

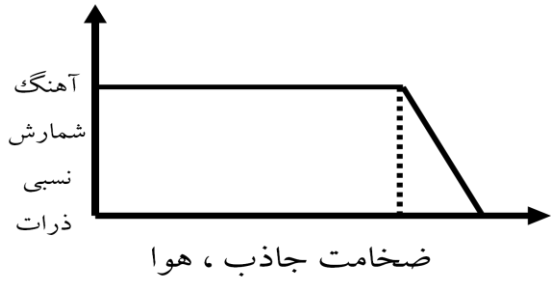
$$LET = \frac{dE_{(Local)}}{dL}$$

میانگین انرژی از دست داده شده ذره بطور موضعی (یعنی اینکه انرژی الکترون ثانویه محدود گردد) هنگام عبور از فاصله dL (واحد آن در فیزیک بهداشت کیلوالکترون ولت بر میکرو متر است)

واکنش پرتو آلفا با ماده

- ذره آلفا از دو طریق زیر با ماده برخورد می کند:
- عمدتا با الکترونهای مداری، ایجاد یونیزاسیون و یا تهییج میکند.
- بعضی مواقع با هسته اتم در انرژیهای بالا با اتم برخورد انجام میدهد.
- مسیر حرکت آلفا مستقیم است، زیرا جرم آن در مقایسه با الکترونهای مداری بسیار بالاست و درنتیجه منحرف نمیشود و فقط در انتهای مسیرش تفرق پیش می آید.

جذب ذرات آلفا بر خلاف ذرات بتا به صورت طیف نیست بلکه تابش آلفا اساساً تک انرژی است به طوری که هر چه ضخامت ماده جاذب بیشتر باشد ، صرفا انرژی ذراتی که از آن عبور می کنند کاهش می یابد و تا زمانی که ضخامت به برد تقریبی نرسد تعداد ذرات کاهش نمی یابد. در این نقطه تعدا ذرات عبور کرده از ماده جاذب شدیداً کاهش می یابد .



ضخامتی را که در آن به یکباره جلوی تمامی ذرات گرفته می شود ، برد پرتو آلفا نام دارد

برد این پرتو به عدد اتمی محیط جاذب (رابطه عکس) و انرژی ذره (رابطه مستقیم) وابسته است ..

- **برد پرتو آلفا**

برای محاسبه برد پرتو آلفا در محیط های مختلف ، ابتدا برد پرتو آلفا را در هوا محاسبه کرده و توسط روابط موجود برای محیط های دیگر تعمیم می دهند .

در هوای استاندارد یعنی هوایی با دمای ۰ ^{o}C و فشار ۱ atm برای انرژی های مختلف معادلات زیر برقرار است .

$$R_{a(cm)} = 1.24 \times E_{(Mev)} - 2.62 \quad \rightarrow 4 < E_{Mev} < 8$$

$$R_{a(cm)} = 0.56 \times E_{(Mev)} \quad \rightarrow E_{(Mev)} < 4$$

$$R_m = 0.56 A_m^{1/3} \times R_a$$

برد در هوا (cm)

- **برد پرتو آلفا در بدن انسان**

- با توجه به اینکه ترکیب اتمی موثر بافت بدن انسان با ترکیب هوا تفاوت چندانی ندارد بنابراین میتوان از رابطه زیر برای محاسبه برد در بافت بدن استفاده نمود.

$$R_a \times \rho_a = R_t \times \rho_t$$

چگالی بافت بدن که معمولاً ۱ گرم بر سانتی متر مکعب در نظر می گیرند.

مثال

- برای متوقف کردن ذرات آلفای حاصل از پلوتونیوم ۲۱۰ (انرژی برابر ۵.۳ میلیون الکترون ولت) چه ضخامتی از ورقه آلومینیومی لازم است؟

$$R = 1.24 \times 5.3 - 2.62 = 3.95 \ \ cm$$

$$A = 27, \ \ R = 3.95 \ \ \Rightarrow R_m = 0.56 \times 27^{1/3} \times 3.95 = 6.64 \ \ mg/cm^2$$

- برد ذرات آلفا در بافتهای بدن می تواند از رابطه زیر بدست آید:

$$R_a \times \rho_a = R_t \times \rho_t \Rightarrow R_t = \frac{3.95 \times 1.293 \times 10^{-3}}{1} = 5.1 \times 10^{-3} \ \ cm$$

مثال

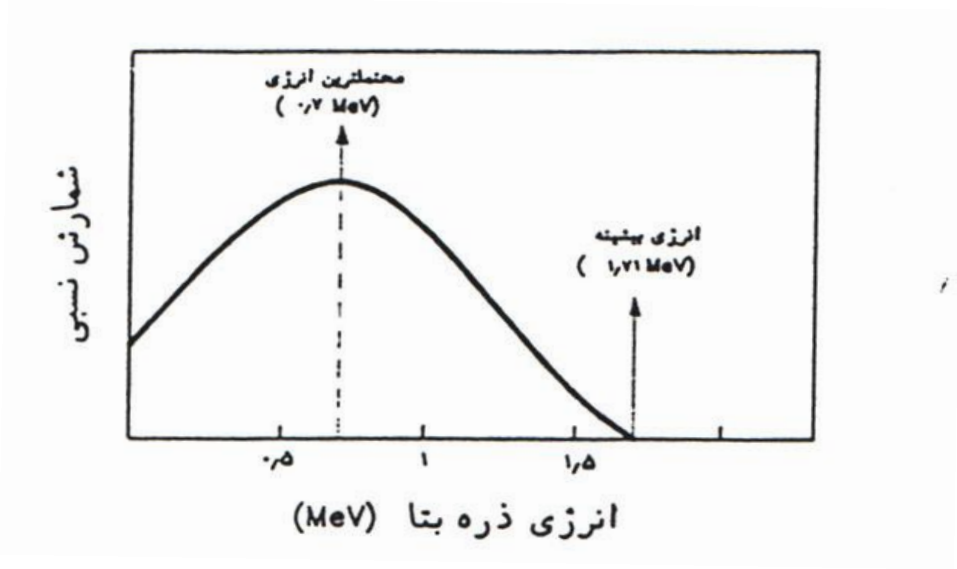
- برد ذرات آلفا با انرژی 5Mev در آلومینیوم چقدر است؟

- برد همین ذرات در بافت و پلی اتیلن (CH2) چقدر خواهد بود؟

(چگالی آلومینیوم برابر ۲.۷ گرم بر سانتی متر مکعب و چگالی پلی اتیلن را برابر ۱ گرم بر سانتی متر مکعب در نظر بگیرید)

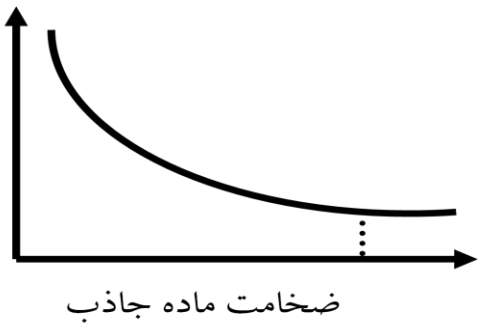
- واکنش پرتو بتا با ماده

- همانطور که قبلا ذکر گردید ذرات بتا تک انرژی نبوده بلکه دارای طیف پیوسته ای از انرژی هستند. بعنوان مثال طیف انرژی ذرات بتا ناشی از فسفر ۳۲ در شکل زیر دیده میشود.



رابطه برد – انرژی :

- با قرار دادن ضخامت های مختلفی از ماده جاذب در فاصله میان چشمه بتا و آشکار ساز پرتو بتا و شمارش تعداد ذرات بتای عبوری ، می توان برد بتا را اندازه گیری کرد .
- هر چه ضخامت ماده جاذب بیشتر شود ، بتای عبوری کمتر می شود تا نقطه برد بتا که در آن با افزایش ضخامت دیگر میزان عبور تغییر نمی کند .



نکته : به دلیل وجود پرتوهای زمینه این میزان صفر نمی شود .

نیم ضخامت جذب کننده :

مقدار ضخامتی از ماده جاذب است که بتواند نیمی از ذرات چشمه را متوقف کند . معمولا نیم ضخامت پرتو β، ۱/۸ برد پرتوβ است.

- نمودار انرژی بتا تقریبا به صورت توزیع نرمال است .
بین میزان انرژی ذرات بتا و پرتوهای بتای عبوری رابطه مستقیم وجود دارد. به طوری که هر چه انرژی ذرات β بیشتر باشد ، پرتوهای بتای عبوری نیز بیشتر است .

هنگامی که چگالی ماده جاذب افزایش می یابد ضخامت مورد لزوم ماده جذب کننده کاهش خواهد یافت .

بدین ترتیب قدرت جذب انرژی پرتو بتا عمدتاً به چگالی سطحی الکترون های جاذب (الکترون های موجود در هر سانتی متر مربع ماده جاذب) و همچنین تا حد کمتری به عدد اتمی ماده جاذب بستگی دارد .

در موارد عملی هنگام محاسبه ضخامت حفاظ عدد اتمی را کنار می گذارند .

در صورتی که ضخامت ماده جاذب را مستقل از جنس بدست آورند ضخامت خطی حاصل می شود .

- برای تاثیر دادن جنس حفاظ یا ماده جاذب علاوه بر ضخامت آن از ضخامت جرمی استفاده می کنند که بصورت زیر محاسبه می شود :

$$R_m = \rho \times t_l$$

$$R_{max} = 407 \times E_{max}^{1.38} \longrightarrow 0.15 < E_{max} < 0.8$$

$$R_{max} = 542 \times E_{max} - 133 \longrightarrow 0.8 < E_{max} < 3$$

R_m = ضخامت جرمی gr/cm^2

ρ = دانسیته ماده gr/cm^3

t_l = ضخامت خطی (معمولی) cm

E_{max} = انرژی بیشینه پرتو بتا بر حسب Mev

- **مثال**

- حداکثر برد ذرات بتا با انرژی 2Mev درهوا و آلومینیوم چقدر است؟

- **حل:**

$$\rho_{air} = 1.293 \ mg/cm^3$$

$$\rho_{Al} = 2700 \ mg/cm^3$$

$$R_{\max} = 542 \times 2 - 133 = 951 \ {}^{mg}/_{m^2} \ or \ 0.951 {}^{g}/_{cm^2}$$

$$t_{l(air)} = \frac{0.951}{1.293 \times 10^{-3}} = 735.5 \ cm \ or \ 7.35 m$$

$$t_{l(Al)} = \frac{0.951}{2.7} = 0.35 \ cm$$

احتمال در برخورد بتا با هر ماده

۱) ایجاد اثر یونیزاسیون و تحریک (یونش و برانگیزش)

۲) تابش ترمزی

۳) اثر تابش چرنکوف

۴) اثر پس پراکندگی

- **ایجاد اثر یونیزاسیون و تحریک (یونش و برانگیزش)**

چون نیروهای الکتریکی از فواصل دور اثر می کنند برخورد بین ذره بتا و الکترون همانند برخورد بین قطب های همنام دو آهنربا بدون تماس واقعی بین دو ذره است .

$$E_k = E_t - \phi$$

E_k = انرژی جنبشی الکترون پرتاب شده

E_t = مقدار افت انرژی ذره بتا در حین برخورد

ϕ = پتانسیل یونش محیط جاذب

در صورتی که انرژی جنبشی الکترون پرتاب شده بیش از ۱۰۰۰ ev شود که بتواند فاصله ای طولانی را بپیماید رگه ای یونشی بر جا می گذارد که به آن پرتو دلتا می گویند . این پرتو معمولا در مواد هدفی که پتانسیل یونسازی آن ها کم است ایجاد میشود تا اختلاف انرژی پرتو β بتا با پتانسیل یونسازی بیش از ۱۰۰۰ ev شود .

تابش ترمزی

هر گاه ذره بتا به میدان الکتریکی با بار منفی برسد سرعتش کم شده و انرژی آن کاسته می شود این کاهش انرژی به صورت فوتون نمایان می شود که پرتو ترمزی نامیده می شود کسری از انرژی بتا که تبدیل به فوتون خواهد شد به دو عامل بستگی دارد :

الف) انرژی بتا : هر چه انرژی پرتو بتا بیشتر باشد احتمال تولید فوتون نیز بیشتر است .

ب)عدد اتمی عنصر هدف : هر چه اتم سنگین تر باشد احتمال تولید فوتون بیشتر خواهد بود . $f = 3.5 \times 10^{-4} \times Z \times E_{\max}$

= احتمال ایجاد فوتون (درصدی از انرژی پرتو بتا که به فوتون تبدیل می شود) f

= عدداتمی ماده جاذب Z

= انرژی بیشینه ذره بتا بر حسب Mev E_{max}

$$\phi = \frac{fE_\beta}{4\pi r^2 E_{\max}}$$

= احتمال ایجاد فوتون f

= شار تابشی پرتو ترمزی ϕ

= سطح کروی انتشار پرتو بتا(در صورت کوچک بودن ابعاد چشمه) $4\pi r^2$

$$E_\beta = \frac{1}{3} E_{\max} \times A$$

= انرژی تابیده شده توسط پرتو β بتا E_β

= اکتیویته بر حسب بکرل A

چون با افزایش عدد اتمی احتمال تولید تابش ترمزی افزایش می یابد ، حفاظ های پرتو بتا از موادی که عدد اتمی آن ها کمترین است و عملا نیز قابل استفاده اند ، انتخاب می شود .

در عمل حفاظ های با عدد اتمی بزرگتر از ۱۳ چندان مورد استفاده نیستند ..

مثال

- چشمه بسیار کوچکی از فسفر ۳۲ (انرژی ماکزیمم پرتو بتا برابر ۱.۷۱ میلیون الکترون ولت) با فعالیت ۱ کوری در داخل یک محفظه سربی قرار دارد و ضخامت حفاظ درست به اندازه ای است که از خروج ذرات بتا جلوگیری میکند. شار تابشی ترمزی در فاصله ۱۰ سانتی متری از چشمه چقدر است؟

- انرژی میانگین پرتو بتا در حدود ۱/۳ انرژی ماکزیمم آن است انرژی تابیده شده توسط ذرات بتا بر حفاظ برابر است با:

$$E_{\max} = 1.71 Mev, \quad Z_{pb} = 82$$
$$f = 3.5 \times 10^{-4} \times 82 \times 1.71 = 0.049$$

- و شار فوتونهای تابشی ترمزی در فاصله r از رابطه زیر بدست می آید:

$$E_\beta = 1/3\, E \times 3.7\times10^{10} = \frac{1}{3}\times1.71\times3.7\times10^{10}$$

$$\phi = \frac{fE_\beta}{4\pi r^2 E_{\max}} = \frac{0.049\times 1/3\times1.71\times3.7\times10^{10}}{4\pi\times10^2\times1.71} = 4.8\times10^5 \ \ photon/cm^2/s$$

اثر تابش چرنکوف

در صورتی که سرعت ذره بتا هنگام عبور از محیط از سرعت نور بیشتر باشد ، سرعت ذره تا سرعت سیر نور کاهش پیدا می کند که این کاهش معمولا به صورت طیف نور مرئی نمایان می شود که به آن پرتو چرنکوف می گویند با افزایش ضریب شکست محیط گسیل تابشی چرنکوف تشدید می شود .

افت انرژی توسط اثر چرنکوف حدود یک هزارم افت انرژی توسط اثرات یونیزاسیون و تهییج است. این اثر در آنالیز مواد و آشکار سازی کاربرد دارد.

اثر پس پراکندگی

برخی مواقع این احتمال وجود دارد که پرتوهای بتا پس از برخورد با محیط درست در راستای اولیه ولی در خلاف جهت پراکنده شوند . در این صورت پس پراکندگی رخ می دهد و این اثر به عدد اتمی ، ضخامت محیط جاذب بستگی دارد و با افزایش عدد اتمی احتمال پراکندگی افزایش می یابد .

این اثر در آنالیز مواد کاربرد دارد.

جذب نمایی :

واکنش پرتوهای گاما با پرتوهای بتا و آلفا فرق دارد به طوریکه در مورد تابش گاما با افزایش ضخامت ، جاذب فقط از شدت تابش کاسته می شود و جذب کامل صورت نمی گیرد بنابراین در محور عمودی نمودار ما با کسر عبوری روبرو هستیم .

اگر اندازه گیری $\frac{I}{I_0}$ تضعیف پرتو گاما در شرایط هندسی خوب یعنی با استفاده از یک باریکه تابش باریک و کاملا موازی صورت گیرد و پرتو گاما تک انرژی باشد ، یک خط مستقیم در نمودار نمایان می شود و در صورتی که پرتو گاما چند انرژی (چند رنگ) باشد نمودار به صورت نقطه چین می باشد

$$\frac{I}{I_0} = e^{-\mu t}$$

= شدت پرتو گاما در ضخامت صفر ماده جاذب

I = شدت پرتو گاما پس از عبور از ضخامت t در جاذب

e = پایه ی دستگاه لگاریتم طبیعی

μ = شیب منحنی جذب یا ضریب تضعیف

t = ضخامت ماده جاذب

- ضریب تضعیف کل : عبارتست از کسری از باریکه پرتو گاما که در طی گذار از واحد ضخامت ماده جاذب ناپدید می شود . $\Delta i / i$

$$\lim \frac{\Delta i / i}{\Delta t} = -\mu$$

= کسری از پرتو گاما که در طی عبور از ماده جاذبی به ضخامت Δt ناپدید می شود.

ضریب تضعیف خطی

از آنجا که در یک معادله نمایی لازم است که نما بدون بعد باشد بعد μ و t باید عکس یکدیگر شود یعنی اگر ضخامت جاذب بر حسب سانتیمتر اندازه گیری شود آنگاه بعد ضریب تضعیف که ضریب تضعیف خطی یا μ_l خوانده می شود باید سانتیمتر به توان منفی یک باشد.

به ضریب تضعیف خطی سطح مقطع ماکروسکوپیک نیز می گویند .

ضریب تضعیف جرمی

اگر t بر حسب گرم بر سانتیمترمربع باشد در این صورت ضریب جذب را ضریب تضعیف جرمی یا μ_m گویند که بعد آن باید برابر گرم بر سانتیمتر مربع به توان منفی یک باشد.

$$\mu_l = \mu_m \times \rho$$

μ_l = ضریب تضعیف خطی

μ_m = ضریب تضعیف جرمی

ρ = چگالی ماده جاذب

ضریب تضعیف اتمی :

کسری از باریکه پرتو گاما که بر اثر یک اتم منفرد ناپدید می شود را ضریب تضعیف اتمی یا μ_a میگویند به عبارت دیگر ضریب تضعیف اتمی همان احتمال برهم کنش یک اتم از ماده جاذب با یکی از فوتون های موجود در باریکه خواهد بود.

به ضریب تضعیف اتمی سطح مقطع میکروسکوپیک نیز می گویند.

$$\mu_a = \frac{\mu_l}{N}$$

N = تعداد اتمهای موجود در هر سانتیمتر مکعب از ماده جاذب

μ_a = ضریب تضعیف اتمی

μ_l = ضریب تضعیف خطی

یکایی که برای اندازه گیری سطح مقطع به کار می رود بارن نام دارد که

$$1b = 10^{-24} cm^2$$

جدول ضرایب تضعیف خطی:

	$\rho = g/cm^3$	۰/۱	۰/۱۵	۰/۲	۰/۳	۰/۵	۰/۸	۱/۰	۱/۵	۲	۳	۵	۸	۱۰
C	۲/۲۵	۰/۳۳۵	۰/۳۰۱	۰/۲۷۴	۰/۲۳۸	۰/۱۹۶	۰/۱۵۹	۰/۱۴۳	۰/۱۱۷	۰/۱۰۰	۰/۰۸۱	۰/۰۶۱	۰/۴۸	۰/۰۴۴
Al	۲/۷	۰/۴۳۵	۰/۳۶۲	۰/۳۲۴	۰/۲۷۸	۰/۲۲۷	۰/۱۸۵	۰/۱۶۶	۰/۱۳۵	۰/۱۱۷	۰/۰۹۶	۰/۰۷۶	۰/۰۶۰	۰/۰۶۲
Fe	۷/۹	۲/۷۲	۱/۴۴۵	۱/۰۹۰	۰/۸۳۸	۰/۶۵۵	۰/۵۲۵	۰/۴۷۰	۰/۳۸۳	۰/۳۳۵	۰/۲۸۵	۰/۲۴۷	۰/۲۳۳	۰/۲۳۲
Cu	۸/۹	۳/۸۰	۱/۸۳۰	۱/۳۰۹	۰/۹۶۰	۰/۷۳۰	۰/۵۸۱	۰/۵۲۰	۰/۴۲۴	۰/۳۷۲	۰/۳۱۸	۰/۲۸۱	۰/۲۷۰	۰/۲۲۱
Pb	۱۱/۳	۵۹/۷	۲۰/۸	۱۰/۱۵	۴/۰۲	۱/۶۴	۰/۹۴۵	۰/۷۷۱	۰/۵۷۹	۰/۵۱۶	۰/۴۷۶	۰/۴۸۲	۰/۵۱۸	۰/۵۵۲
هوا	۱/۲۹ $\times 10^{-3}$	۱/۹۵ $\times 10^{-4}$	۱/۷۳ $\times 10^{-4}$	۱/۵۹ $\times 10^{-4}$	۱/۳۷ $\times 10^{-4}$	۱/۱۲ $\times 10^{-4}$	۹/۱۲ $\times 10^{-5}$	۸/۴۵ $\times 10^{-5}$	۶/۶۷ $\times 10^{-5}$	۵/۷۵ $\times 10^{-5}$	۴/۶ $\times 10^{-5}$	۳/۵۴ $\times 10^{-5}$	۲/۸۴ $\times 10^{-5}$	۵۲/۶۱ $\times 10^{-5}$
آب	-	۰/۱۶۷	۰/۱۴۹	۰/۱۳۶	۰/۱۱۸	۰/۰۹۷	۰/۰۷۹	۰/۰۷۱	۰/۰۵۶	۰/۰۴۹	۰/۰۴۰	۰/۰۳۰	۰/۰۲۴	۰/۰۲۲
بتون	۲/۳۵	۰/۳۹۷	۰/۳۲۶	۰/۲۹۱	۰/۲۵۶	۰/۲۰۴	۰/۱۶۶	۰/۱۴۹	۰/۱۲۲	۰/۱۰۵	۰/۰۸۵	۰/۰۶۷	۰/۰۵۷	۰/۵۵۴

- **مثال**

- برنز آلومینیومی آلیاژی است که ۹۰٪ وزن آن از Cu (وزن اتمی ۶۳.۵۷) و ۱۰٪ آن از Al (وزن اتمی ۲۷) و چگالی آن برابر ۷.۶ گرم بر سانتی متر مکعب است. ضرایب تضعیف خطی و جرمی این آلیاژ را برای پرتوهای گاما با انرژی ۰.۴ میلیون الکترون ولت پیدا کنید. سطح مقطع مس وآلومینیوم برای این پرتو برابر ۹.۹۱ و ۴.۴۵ بارن در نظر بگیرید.

$$\mu_l = N \times \mu_a$$
$$\mu_l = \mu_{a(Cu)} \times N_{Cu} + \mu_{a(Al)} \times N_{Al}$$
$$N_{Cu} = \frac{6.03\times10^{23}}{63.57} \times 7.6 \times 0.9 = 6.49\times10^{22} \ \ atom/cm^3,$$
$$N_{Al} = \frac{6.03\times10^{23}}{27} \times 7.6 \times 0.1 = 1.7\times10^{22} \ \ atom/cm^3$$
$$\mu_l = 9.91\times10^{-24} \times 6.49\times10^{22} + 4.45\times10^{-24} \times 1.7\times10^{22} = 0.705 \ cm^{-1}$$
$$\mu_m = \frac{\mu_l}{\rho} = \frac{0.705}{7.6} = 0.0927 \ \ cm^2/g$$

مثال

- ضخامت ماده جاذب از نوع آلومینیوم و سرب چقدر باید باشد تا ۱۰٪ از باریکه ظریفی از تابش گاما به انرژی 0.1 Mev عبورکند؟

- حل از جدول ضرایب تضعیف خطی آلومینیوم و سرب:

$$\mu_{l(pb)} = 59.7 \ cm^{-1}, \quad \mu_{l(Al)} = 0.435 \ \ cm^{-1}$$
$$\frac{I}{I_0} = 0.1 = e^{-0.435\times t_{Al}} \Rightarrow t_{Al} = 5.3 \ cm$$
$$0.1 = e^{-59.7\times t_{pb}} \Rightarrow t_{pb} = 0.0385 \ cm$$

مثال

- محاسبه قسمت اسلاید قبل برای پرتوی گاما با انرژی ۱ میلیون الکترون ولت؟

$$\mu_{l(pb)} = 0.771 \ cm^{-1} \quad , \ \mu_{l(Al)} = 0.166$$
$$0.1 = e^{-0.166\times t_{Al}} \Rightarrow t_{Al} = 13.86 \ cm$$
$$0.1 = e^{-0.771\times t_{pb}} \Rightarrow t_{pb} = 2.97 \ \ cm$$

4 روش برخورد پرتو گاما با ماده :

۱) ایجاد زوج یون

۲) پراکندگی کامپتون

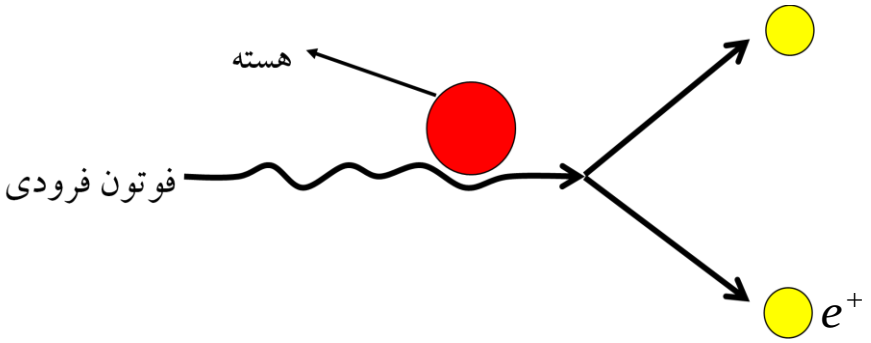
۳) جذب فوتو الکتریک

۴) فروپاشی فوتونی

- **ایجاد زوج یون**

در صورتی که انرژی پرتو گاما بیشتر از ۱/۰۲ Mev باشد و به هسته ی عنصر سنگین برخورد کند انرژیش به صورت یک پوزیترون و یک الکترون پدیدار می شود . هر چه عدد اتمی عنصر هدف بیشتر باشد احتمال تولید زوج یون بیشتر می شود .

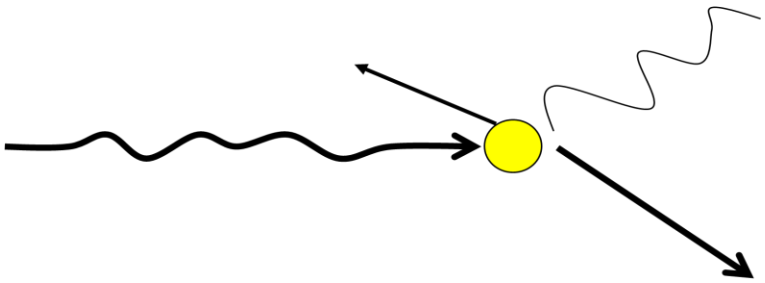
e^-



پراکندگی کامپتون:

در این حالت فوتون به الکترونی برخورد می کند که وابستگی زیادی به هسته ندارد یعنی انرژی بستگیش به اتم خیلی کمتر از انرژی فوتون فرودی است (الکترون آزاد) بخشی از انرژی فوتون صرف خروج الکترون از مدار شده و بقیه انرژی به همان شکل فوتون در جهت دیگری پراکنده می شود . حاصل برخورد یک الکترون سریع و بخشی از پرتو گاما با انرژی کمتر از انرژی اولیه است .

فوتون پراکنده



الکترون پراکنده

جذب فوتو الکتریک:

اگر فوتونی به الکترونی از اتم برخورد کند که وابستگی انرژیک آن به هسته زیاد باشد تمام انرژی فوتون در برخورد با الکترون از دست رفته و به عبارتی فوتون نابود شده و کل انرژی به الکترون داده می شود و انرژی الکترون برابر با انرژی فوتون منهای انرژی وابستگی آن به هسته خواهد بود.

$$E_e = E_\gamma - E$$

فروپاشی فوتونی

معمولا در انرژی های خیلی بالا اتفاق می افتد و در این احتمال فوتون به داخل هسته نفوذ می کند و انرژی فوتون صرف بالا بردن سطح انرژی هسته می شود که نتیجه آن در بیشتر موارد گسیل نوترون از هسته است . تمام موارد ذکر شده در مورد پرتو گاما در مورد پرتوX هم قابل تعمیم است .

- واکنش پرتو نوترون با ماده
- از آنجا که نوع واکنشی که نوترون انجام می دهد قویا به انرژیش وابسته است نوترون ها را بر حسب انرژیشان رده بندی می کنند . نوترون های پر انرژی را که انرژیشان بیش از حدود ۰/۱ Mev است را نوترون های تند می گویند. در طرف دیگر طیف انرژی نوترون های گرمایی را باید نام برد که میانگین انرژِ جنبشیشان همانند میانگین انرژی مولکول هایی است که در همان محیط قرار دارند .
- از نوترون هایی که انرژیشان در ناحیه ی میانی انرژی گرمایی و تند قرار می گیرد با عناوین نوترون های میانی ، نوترون های تشدیدی و نوترون های کند یاد می کنند .

$$E_n < 0.5 \ \ ev$$
$$0.5 \ ev < E_n < 1 \ ev$$
$$1 \ \ ev < E_n < 10 \ \ kev$$
$$10 \, kev < E_n < 1 \, Mev$$
$$E_n > 1 \, Mev$$

برهم کنش

همه نوترون ها به هنگام تولید نوترون های تند به شمار می روند به طور کلی نوترون های تند ابتدا بر اثر برخورد کشسان با اتمهای محیط انرژیشان را از دست می دهند و پس از کند شدن و رسیدن به انرژی گرمایی یا نزدیک به آن توسط هسته های ماده ی جاذب گیراندازی می شوند .هنگامی که ماده ی جذب کننده را در مقابل باریکه ای موازی از نوترون ها قرار می دهیم و مانند پرتوهای گاما شدت نوترون های عبوری را اندازه گیری می کنیم ملاحظه می شود که نوترون ها هم به طور نمایی از باریکه محو می شوند .

www.MrSafety.blogfa.com

Akbari.Jafar@gmail.com

$$I = I_0 e^{-\delta N t}$$

I_0 = شدت انرژی اولیه پرتو نوترون

I = شدت انرژی پرتو نوترون پس از عبور از حفاظ

δ = سطح مقطع میکروسکوپیک (ضریب تضعیف اتمی)

e = پایه دستگاه لگاریتم طبیعی

t = ضخامت ماده جاذب cm

N = تعداد اتم های جاذب

δN = سطح مقطع ماکروسکوپیک (ضریب تضعیف خطی)

سطح مقطع نوترون شدیداً وابسته به انرژی است .

مثال

- در آزمایشی که برای اندازه گیری سطح مقطع کل سرب برای نوترونهای ۱۰ میلیون الکترون ولت طراحی شده بود معلوم شد که ۱ سانتی متر از ماده جاذب سرب شار نوترون را به ۸۴.۵٪ از مقدار اولیه اش تقلیل میدهد. وزن اتمی سرب برابر ۲۰۷.۲۱ و وزن مخصوص آن ۱۱.۳ است. سطح مقطع کل سرب را محاسبه کنید.

$$N = \frac{6.03\times10^{23}}{207.21}\times 11.3 = 3.29\times10^{22} \ \ atom/cm^3$$

$$\frac{I}{I_0} = e^{-\sigma N t} \Rightarrow 0.845 = e^{-\sigma\times 3.29\times10^{22}\times 1} \Rightarrow \sigma = 5.1\times10^{-24} \ cm^2$$

$$\Rightarrow \sigma = 5.1 \ barn$$

$$\sigma N = 5.1\times10^{-24}\times 3.29\times10^{22} = 0.168 \ \ cm^{-1}$$

$$N = \frac{6.03\times10^{23}}{207.21}\times 11.3 = 3.29\times10^{22} \ \ atom/cm^3$$

$$\frac{I}{I_0} = e^{-\sigma N t} \Rightarrow 0.845 = e^{-\sigma\times 3.29\times10^{22}\times 1} \Rightarrow \sigma = 5.1\times10^{-24} \ cm^2$$

$$\Rightarrow \sigma = 5.1 \ barn$$

$$\sigma N = 5.1\times10^{-24}\times 3.29\times10^{22} = 0.168 \ \ cm^{-1}$$

روش های برخورد نوترون با ماده

برخوردهای از نوع پراکندگی: در این نوع برخوردها ماهیت ماده عوض نمیشود که خود عمدتا به دو دسته تقسیم میشود:

پراکندگی کشسان

پراکندگی غیر کشسان

در دو نوع فوق نوترونهای تند و خیلی تند غالب هستند.

برخوردهای از نوع گیر اندازی:

در این برخوردها هویت ماده جاذب عوض میشود و عمدتا شامل چهار دسته اند:

-جذب

-پرتوزاکردن

-شکافت

-در هم پاشی

در سه نوع اول نوترونهای حرارتی و فوق حرارتی و در نوع آخر نوترونهای خیلی تند غالب هستند.

برخورد کشسان

- در این برخورد نوترونهای تند و خیلی تند بخشی از انرژی خود را به هسته اتم منتقل نموده و موجب پراکنده شدن آن میشوند.
- در این برخوردها کسری از انرژی که به محیط با جرم اتمی M منتقل میشود از رابطه زیر بدست می آید:

$$f = \frac{2M}{(M+1)^2}$$

- ملاحظه میشود هر قدر محیط سبکتر باشد انرژی بیشتری از نوترون به آن منتقل میشود.
- **برخورد غیرکشسان**
- در این برخورد نوترونهای تند و خیلی تند بخشی از انرژی خود را به هدف (معمولا با عدد اتمی بالا) منتقل میکنند وخود با انرژی کمتری پراکنده میشوند بدون آنکه هسته اتم از جای خود حرکت کند و فقط بر انگیخته میشود که حاصل یک پرتو گاما یا پروتون یا آلفا خواهد بود. این برخورد بیشتر با اتمهای سنگین اهمیت دارد بنابر این از نظر بافت اهیمت چندانی ندارد.
- **برخورد جذب و پرتو زا کردن**
- در برخورد جذب، نوترونهای حرارتی و فوق حرارتی جذب هسته هدف شده و حاصل آن یک پرتو گاما یا پرتون یا آلفا خواهد بود.

- چنانچه هسته حاصل از برخورد جذب پرتوزا باشد در اینصورت آنرا برخورد پرتوزاکردن گویند.
- برخوردهای از نوع پرتوزاکردن در اندازه گیری شار نوترونها ، تهیه و تولید رادیو ایزوتوپها ، آنالیز کمی وکیفی مواد ، تعیین مقدار پرتوگیری نوترون در سوانح هسته ای و.. کاربرد دارند.

- **مثال هائی از برخورد جذب و پرتوزا کردن**

- جذب (اهمیت در بافت) $n + {}^{1}H \rightarrow {}^{2}H + \gamma$
- جذب و پرتوزاکردن (اهمیت در بافت) $n + {}^{14}N \rightarrow {}^{14}C + p$
- جذب (اهمیت در آشکارسازی) $n + {}^{10}B \rightarrow {}^{7}Li + \alpha$
- جذب (اهمیت در آشکارسازی) $n + {}^{113}Cd \rightarrow {}^{114}Cd + \gamma$

پرتوزاکردن $n + {}^{27}Al \rightarrow {}^{28}Al + \gamma$

پرتوزاکردن $n + {}^{64}Cu \rightarrow {}^{65}Cu + \gamma$

پرتوزاکردن $n + {}^{50}Cr \rightarrow {}^{51}Cr + \gamma$

پرتوزاکردن $n + {}^{197}Au \rightarrow {}^{198}Au + \gamma$

برخورد شکافت و در هم پاشی

برخورد شکافت:

در این برخورد، یک نوترون حرارتی ویا تند جذب یک اتم سنگین نظیر اورانیوم ۲۳۸ و پلوتونیوم ۲۳۹ شده و آنرا به دو پاره سبکتر وتعدادی نوترون و ذرات باردار تقسیم می کنند.

برخورد درهم پاشی:

در این نوع برخورد، نوترونهای خیلی تند در حدود چند ده مگا الکترون ولت جذب هسته هدف شده و هسته مرکب تشکیل میشود که این هسته پاره پاره شده و چندین ذره و پاره های هسته ای و نوترون و فوتون تولید میشود

فعالسازی نوترونی

فعالسازی نوترونی عبارتست از تولید یک نوع ایزوتوپ پرتوزا از طریق جذب نوترون.

فعالسازی بدین معنی است که هر ماده ای که تحت تابش نوترون قرار می گیرد ممکن است به ماده ای پرتوزا تبدیل شود یعنی پس از خاتمه ی تابش نوترون هم ممکن است خطر تابش همچنان باقی بماند. همچنین با استفاده از فعالسازی میتوان به روش ساده ای شار نوترون ها را اندازه گیری کرد.

آهنگ واپاشی – آهنگ تولید = آهنگ افزایش اتم های پرتوزا

$$\frac{dN}{dt} = \phi\sigma n - \lambda N$$

= شار یا تعداد نوترون ها در سانتی متر مربع در ثانیه ϕ

= سطح مقطع فعالسازی بر حسب سانتی متر مربع σ

= ثابت واپاشی نمونه پرتوزای حاصل λ

= تعداد اتم های پرتوزا N

= تعداد اتم های هدف n

کمیتها و یکاها

در سال ۱۹۲۵ مرجعی در سطح بین المللی بنام کمیسیون بین المللی واحدها و اندازه گیری رادیولوژیکی (ICRU (International Commission on Radiological Units)) شروع بکار کرد.

۱. انرژی پرتو (Radiation Energy) :

یکای انرژی در حفاظت در برابر اشعه الکترون ولت (ev) است.

1 ev عبارتست از انرژی کسب شده توسط یک الکترون در خلاء هنگامیکه از اختلاف پتانسیل یک ولت عبورمیکند

سایر یکاهای انرژی عبارتند از کیلو الکترون ولت (kev) ، میلیون الکترون ولت (Mev) و..

۲. پرتودهی و آهنگ پرتودهی (Exposure & Exposure rate) :

پرتودهی کمیتی است که برای سنجش میزان فوتونها ی ایکس و گاما در هوا بکار برده میشود. این کمیت کل بارهای هم علامت تولید شده توسط فوتونها در واحد جرم هوا را اندازه گیری میکند.

آهنگ پرتودهی کمیتی است که کل بارهای هم علامت تولید شده توسط فوتونها در واحد جرم هوا را در واحد زمان اندازه گیری میکند.

اولین وقدیمیترین واحد پرتودهی رونتگن R است.

1 R عبارتست از آن مقدار تابش ایکس و گاما که بتواند میزان ۰.۰۰۰۲۵۸ کولن بارالکتریکی هم علامت در یک کیلوگرم هوای خشک تولید کند.

و اولین وقدیمترین یکای آهنگ پرتودهی رونتگن بر ثانیه R/s است.

1 R/s عبارتست از آن مقدار تابش ایکس و گاما که بتواند میزان ۰.۰۰۰۲۵۸ کولن بارالکتریکی هم علامت در یک کیلوگرم هوای خشک در یک ثانیه تولید کند.

- یکای جدید پرتودهی کولن بر کیلوگرم (C/kg) هوا می باشد.

– 1C/kg عبارتست از آن مقدار تابش ایکس و گاما که بتواند در شرایط متعارفی یک کولن بارالکتریکی هم علامت در یک کیلوگرم هوا تولید نماید.

– یکای جدید آهنگ پرتودهی کولن بر کیلوگرم بر ثانیه (C/kg.s) می باشد.

– 1C/kg.s عبارتست از آن مقدار تابش ایکس و گاما که بتواند در شرایط متعارفی یک کولن بارالکتریکی هم علامت در یک کیلوگرم هوا دریک ثانیه تولید نماید.

$$1R = 2.58\times10^{-4}\ \ C/kg \qquad 1\,C/kg = 3876\ R$$

۳. کرما و آهنگ کرما (KERMA & KERMA Rate) :

- کرما (Kinetic Energy Released in Matter, KERMA) کمیتی است که مجموع انرژی جنبشی ذرات باردار تولید شده ناشی از پرتوهای غیر مستقیم یونساز را در واحد جرم ماده اندازه گیری میکند.

- یکای جدید کرما، گری (Gray) است و یکای قدیم آن راد (rad) است.

- آهنگ کرما، کمیتی است که مجموع انرژی جنبشی اولیه ذرات باردار تولید شده ناشی از پرتوهای غیر مستقیم یونساز را در واحد جرم ماده و در واحد زمان اندازه گیری میکند.

- یکای جدید آهنگ کرما، گری (Gy/s) است و یکای قدیم آن راد (rad/s) است.

۴. دز جذب شده و آهنگ دز جذب شده:

(Absorbed Dose & Absorbed dose rate)

دز جذب شده (D) کمیتی است که انرژی جذب شده از کلیه پرتوها در واحد جرم هر ماده را اندازه گیری میکند.

یکای دز جذب شده در دستگاه بین المللی یکاها ژول بر کیلوگرم ماده میباشد که نام ویژه آن گری (Gray) است و آنرا با Gy نشان میدهند.

1Gy عبارتست از انرژی معادل 1 J ناشی از انواع پرتوها که به 1 kg از ماده منتقل می شود.

یکای قدیم دز جذب شده راد (rad) می باشد.

1 rad عبارتست از انرژی معادل ۰.۰۱ زول ناشی از انواع پرتوها که به 1 kg از ماده منتقل میشود.

۱ rad= 0.01 Gy

دز جذب شده و آهنگ دز جذب شده:

آهنگ دز جذب شده کمیتی است که انرژی جذب شده ناشی از کلیه پرتوها در واحد جرم هر ماده را درواحد زمان اندازه گیری میکند.

- یکاهای آهنگ دز جذب شده عبارتند از Gy/s (جدید) و rad/s (قدیم)
  - 1 Gy/s عبارتست از انرژی معادل 1 J ناشی از انواع پرتوها که به 1 kg از ماده در یک ثانیه منتقل میشود.
  - 1 rad/s عبارتست از انرژی معادل 0.01 J ناشی از انواع پرتوها که به 1 kg از ماده در یک ثانیه منتقل میشود.

1 rad/s = 0.01 Gy/s

رابطه پرتودهی و دز جذب شده :

- با توجه به مفهوم پرتودهی جهت محاسبه تعدا جفت یونهای تولید شده بازاء 1 C/kg کافیست مقدار را بر بارالکترون تقسیم نمود:

$$\frac{1C/kg}{1.6\times10^{-19}\,C/ion}=6.25\times10^{18}\ ion/kg$$

- انرژی لازم جهت تولید زوج یون، میانگین افت انرژی نام دارد که برای هوا معادل 34 ev/ion می باشد لذا:

$$6.25\times10^{18}\ (ion/kg)\times34(ev/ion)=2.125\times10^{20}\ ev/kg$$

- مقدار دز جذب شده در هوا بر حسب ev/kg میباشد و دزجذب شده در هوا بر حسب J/kg بصورت زیر بدست می آید:

$$2.125\times10^{20}(ev/kg)\times1.6\times10^{-19}(J/kg)=34(J/kg)=34\,Gy$$

با توجه به اینکه 34 Gy=3400 rad و 1 C/kg=3876 R لذا میتوان نوشت:

$$3876\ R=3400\ rad\Rightarrow1R=\frac{3400}{3876}rad\Rightarrow1R=0.877\,rad\,(air)$$

بدیهی است 1 C/kg معادل دز جذب شده 34 Gy در هوا می باشد. چون میانگین افت انرژی در هوا ۳۴ الکترون ولت است.

برای محاسبه دز جذب شده در هر ماده ای باید پرتودهی را در میانگین افت انرژی ماده مورد نظر ضرب کرد که این مقدار برای بافت معادل ۳۷ الکترون ولت است لذا برای بافت خواهیم داشت:

1 C/kg=37 Gy , 1 R=0.956 rad

۵. دز عضو و آهنگ دز عضو (Organ Dose& Organ Dose rate)

- دز عضو کمیتی است که انرژی جذب شده از کلیه پرتوها در واحد جرم بافت را اندازه گیری می کند و یکای آن همانند دز جذب شده است.
- آهنگ دز عضو کمیتی است که انرژی جذب شده از کلیه پرتوها در واحد جرم بافت را در واحد زمان اندازه گیری میکند و یکای آن همانند آهنگ دز جذب شده است.
- کمیت دز عضو، متوسط دز جذب شده در یک عضو یا بافت را اندازه گیری می کند.
- در محاسبه دز معادل استفاده میشود.
- یک کمیت مفید در حفاظت در برابر اشعه می باشد.
- کمیتها و یکاها

۶. دز معادل و آهنگ دز معادل (Equivalent Dose & Equivalent Dose Rate)

- دز معادل کمیتی است که اثرات بیولوژیکی ناشی از جذب انواع پرتوها در بافت را منظور می دارد و برابر با حاصلضرب متوسط دز جذب شده از پرتو R در بافت T در ضریبی بنام ضریب توزین پرتو می باشد.

$$H_{T.R} = W_R \times D_{T.R}$$

H=دز معادل

W=ضریب توزین

D=دز جذب شده از پرتو R در بافتT

دز معادل و آهنگ دز معادل

- ضریب توزین پرتو، ضریبی است که کیفیت پرتو (نوع و انرژی پرتو) را جهت محاسبه دز معادل منظور میدارد. مقادیر ضریب توزین برای انواع پرتوها در جدول زیر ارائه شود:

نوع و محدوده انرژی	ضریب توزین پرتو WR
فوتونها (در تمام انرژیها)	۱
الکترونها (در تمام انرژیها)	۱
نوترونها با انرژی کمتر از 10 kev	۵
نوترون با انرژی بین 10-100 kev	۱۰
نوترون با انرژی بین 100 kev- 2 Mev	۲۰
نوترون با انرژی بین 2-20 Mev	۱۰
نوترون با انرژی بیشتر از 20 Mev	۵
پروتون با انرژی بیش از 2 Mev	۵
ذرات آلفا، پاره های شکافت و هسته های سنگین	۲۰

یکای دز معادل در دستگاه بین المللی یکاها، همانند یکای دز جذب شده یعنی J/kg است که نام ویژه آن سیورت Sievert میباشد و به Sv نشان داده میشود.

1 Sv عبارتست از انرژی معادل یک ژول ناشی از پرتوئی خاص که به 1 kg از بافت منتقل می شود.

یکای قدیم دز معادل رم rem می باشد.

1 rem عبارتست از انرژی معادل ۰.۰۱ ژول ناشی از پرتوئی خاص که به 1 kg از بافت منتقل میشود.

1 rem = 0.01 Sv

- آهنگ دز معادل کمیتی است که اثرات بیولوژیکی ناشی از جذب انواع پرتوها در بافت را در واحد زمان در نظر میگیرد. برابر حاصلضرب متوسط آهنگ دز جذب شده از پرتوR در بافت T در ضریب توزین می باشد. و یکاهای آن عبارتند از Sv/s (جدید) و rem/s (قدیم).

$$\dot{H}_{T.R} = W_R \times \dot{D}_{T.R}$$

H=آهنگ دز معادل

W=ضریب توزین

D=آهنگ دز جذب شده از پرتو R در بافت T

- چنانچه میدان پرتو متشکل از انواع پرتوها با مقادیر مختلف WR باشد. دز معادل کل به بافت و آهنگ دز معادل کل به بافت از روابط زیر محاسبه خواهد شد.

$$H_T = \sum_R W_R \times D_{T.R} \,, \qquad \dot{H}_T = \sum_R W_R \times \dot{D}_{T.R}$$

۷. دز موثر (Effective Dose) :

- دز موثر کمیتی است که علاوه بر اینکه نقش پرتوهای مختلف را در بروز اثرات بیولوژیکی منظور میدارد. نقش پرتوگیری بافتهای مختلف بدن را (در ارتباط با وقوع اثرات آماری، نظیر سرطانها) در نظر میگیرد و برابر است با مجموع حاصلضرب دزهای معادل در ضریبی بنام ضریب بنام ضریب توزین بافت.

$$E = \sum_T W_T \times H_T$$

W=ضریب توزین بافت

H=دزهای معادل

دز موثر: ضریب توزین بافت، ضریبی است که نوع بافت تابش دیده را جهت محاسبه دز موثر در نظر میگیرد. جدول مقابل مقادیر ضریب توزین برای انواع بافتها را ارائه نموده است.

- یکاهای دز موثر همانند یکاهای دز معادل ، یعنی سیورت و رم می باشند.

نوع بافت یا عضو	ضریب توزین بافت WT
غدد تناسلی	۰.۲
مغز استخوان (قرمز)	۰.۱۲
روده بزرگ	۰.۱۲
ریه	۰.۱۲
معده	۰.۱۲
مثانه	۰.۰۵
سینه	۰.۰۵

جگر	۰.۰۵
مری	۰.۰۵
تیروئید	۰.۰۵
پوست	۰.۰۱
سطح استخوان	۰.۰۱
سایر اعضاء	۰.۰۵

۸. دز معادل و موثر جمعی (Collective and Effective Equivalent Dose)

- دز معادل جمعی عبارتست از حاصلضرب میانگین دز معادل دریافتی توسط زیر گروه جمعیتی در تعداد افراد آن زیر گروه
- یا بعبارتی میانگین دز معادل دریافتی توسط یک جمعیت در تعداد آنها
- این کمیت در حقیقت مقیاسی است جهت محاسبه آسیب کلی از یک چشمه پرتوزا بر یک جمعیت
- یکای دز جمعی man.Sv است.
- 1 man.Sv عبارتست از دریافت 1 Sv توسط یک نفر یا میانگین 1 mSv توسط ۱۰۰۰ نفر
- دز موثر جمعی عبارتست از حاصلضرب دز معادل جمعی در فاکتور توزین پرتو و یکای آن man.Sv می باشد.

۹. دزمعادل اجباری (Committed Equivalent Dose)

این کمیت بصورت زیر تعریف میشود:

$$H_T(\tau) = \int_{t_0}^{t_0+\tau} \dot{H}_T(\tau)dt$$

H=آهنگ دزمعادل در زمان t در عضو یا بافت T و t زمان سپری شده پس از ورود مواد پرتو زا به بدن است

=زمان ورود مواد پرتوزا به بدن

۱۰.دزموثر اجباری (Committed Effective Dose)

این کمیت بصورت زیر تعریف میشود:

$$E(\tau) = \sum_T W_T \times H_T(\tau)$$

H=دزمعادل اجباری در زمان t در عضو یا بافت T

∑W=ضریب وزنی بافت T

اگر t مشخص نباشد، مقدار آن را برای بزرگسالان ۵۰ سال و برای کودکان ۷۰ سال درنظر میگیرند.

سطح کار (WL)

- مجموع کل انرژی پخش شده از ذرات آلفا در طول واپاشی کامل دختران کوتاه عمر رادن (Po ۲۱۸ و ۲۱۲) در یک واحد حجم هوا
- در سیستم SI یک WL برابر ۰.۰۰۲۰۸ میلی ژول بر مترمکعب هوا می باشد.
- سطح کار ماهیانه (WLM): با در نظر گرفتن ۱۷۰ ساعت کاری ماهیانه یک WLM برابر ۳/۵۴ میلی ژول بر متر مکعب هوا می باشد.
- چند مثال از دزهای دریافتی در کاربردهای مختلف
- دزهای موثر دریافتی بیماران از روشهای رادیولوژی و پزشکی هسته ای

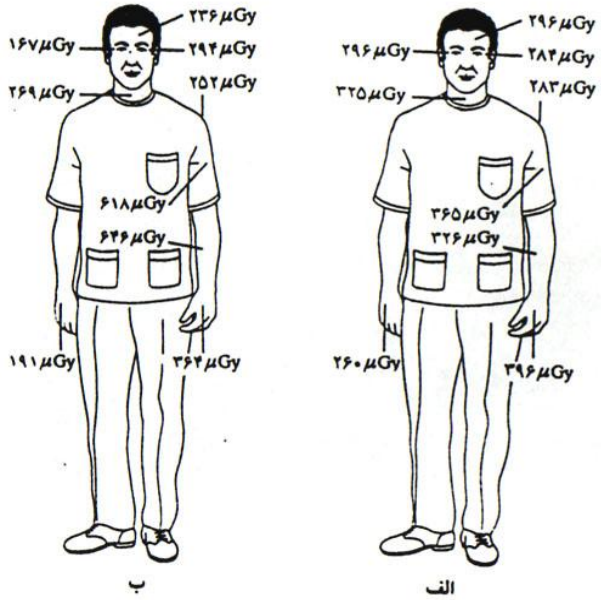
روش	دز موثر mSv
معالجه آریتمی	**17**
آنژیو گرافی کرونر	**12**
آنژیوپلاستی کرونر	**22**
اسکن با تالیوم ۲۰۱	**21**
ونتریکولوگرام با تکنیسیوم 99m	**8**

- چند مثال از دزهای دریافتی در کاربردهای مختلف

متوسط دز تشعشع به ازاء انجام دادن یک روش برای رادیولوژیست

الف: کاردیولوژیست

ب: فردی که در انجام روشهای مداخله ای دخالت دارد



وضعیت پزشکان و پیراپزشکان	انجام یک کاتترازیسیون، mSv				انجام یک آنژیوپلاستی، mSv				کاشت یک پیس میکر، mSv			
	دُز سطحی بدون روپوش	دُز سطحی با روپوش	دستها	چشمها	دُز سطحی بدون روپوش	دُز سطحی با روپوش	دستها	چشمها	دُز سطحی بدون روپوش	دُز سطحی با روپوش	دستها	چشمها
کاردیولوژیست	۱/۶	۰/۰۹	۲/۱	۰/۶	۳/۱	۰/۲	۴/۲	۱	۰/۱۴	۰/۰۱	۰/۲	۰/۰۵
کاردیولوژیستی که حین انجام فلوروگرافی عقب می‌ایستد	۰/۳	۰/۰۱	۰/۳	۰/۲	۱/۵	۰/۱	۱/۹	۰/۷	-	-	-	-
فن اور رادیولوژی	۰/۰۸	<۰/۰۱	۰/۰۹	۰/۰۲	۰/۲	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۵	۰/۰۱	<۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱
فن اوری که حین فلوروگرافی عقب می‌ایستد	۰/۰۲	<۰/۰۱	-	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۱	۰/۰۳	-	-	-
پرستار یا متخصص بیهوشی	۰/۳	۰/۰۲	۰/۲	۰/۲	۰/۸	۰/۰۶	۰/۹	۰/۵	۰/۲	<۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۳

*دزهای تخمینی دریافت شده توسط پزشکان و پیراپزشکان حین بررسی های قلب

- برخی از کیتهای پزشکی با استفاده از تکنیسیوم 99m

رادیو داروها	عضو	دز	
		Rad/mCi	mGy/GBq
99mTc-pertechnetate	کل بدن	0.011	3
	تیروئید	0.13	35.1
	بخش بالائی روده بزرگ	0.12	32.4
	بخش پائینی روده بزرگ	0.11	30
	معده	0.051	13.8
	تخمدان	0.03	8.1
	بیضه ها	0.009	2.4
99mTc-sulfur colloid	کل بدن	0.016	4.3
	کبد	0.38	102.7
	طحال	0.21	56.8
	مغز استخوان	0.028	7.6
99mTc-diethylenetriaminepentaacetic a (DTPA)	کل بدن	0.016	4.3
	مثانه	0.45	121.6
	کلیه ها	0.04	10.8
	غدد جنسی	0.015	4
99mTc-macroaggregated albumin (MA	کل بدن	0.015	4
	شش ها	0.28	75.6
	کلیه ها	0.16	43.2

	کبد	0.08	21.6
	تخمدانها	0.018	4.9
	بیضه ها	0.015	4

- کاربرد پرتوهای یونساز
- کاربرد در صنعت
- کاربرد در کشاورزی
- کاربرد در پزشکی
- کاربردهای تحقیقاتی
- و...
- **کاربرد در صنعت**

a) رادیوگرافی:

- تشکیل تصویر از ساختمان داخلی اشیاء و اجسام با استفاده از پرتوهای ایکس و گاما

– در صورتیکه تصویر بر روی فیلم ثبت شود آنرا رادیو گراف (عکس) میگویند.

– اگر تصویر بطور موقت وآنی روی صفحه فلوروسنت مشاهده شود، آنرا فلوروسکپی (پرتوبینی) میگویند.

- رادیوگرافی بدلیل کیفیت ، قدرت تشخیص بیشتر و ثبت دائمی به فلوروسکپی ارجحیت دارد.
- رادیو گرافی در صنعت برای تشخیص عیوب داخلی اجسام ، از قبیل وجود حفره ها ، ترکها و همچنین کنترل محل جوش دادن لوله ها استفاده میشود.
- درراديوگرافی پرتوها ضمن عبور از نمونه مورد آزمایش بر حسب وضع جسم و ضخامت آن و یا وجود حفره و یا ترک تغییر شدت یافته و از جسم خارج میشود، پرتوهای عبوری بر روی فیلم مخصوص پرتونگاری اثر گذارده و پس از ظهور فیلم تصویری سایه مانند بوجود می آید که در آن وجود ترکهای احتمالی و یا هرنوع عیب و نقص دیگر کاملا مشخص است.
- در رادیوگرافی صنعتی از دستگاههای ثابت و متحرک استفاده میشود.
- دستگاههای ثابت در اتاق تشعشع نصب شده اند

- بدلیل قابلیت استفاده در محیطهای متعدد و کاربرد دستگاههای رادیوگرافی صنعتی متحرک بیشتر است.

– ازجمله موارد کاربرد این روش بازرسی و کنترل دقیق در موقع ساخت قطعات و بعد از نصب آن در صنایع مختلف است.

b) فلوروسکپی:

- پرتوبینی (فلوروسکپی) یعنی مشاهده فوری قسمتهای داخلی نمونه مورد آزمایش
- مشاهده تصویر بصورت مستقیم ویا غیر مستقیم (آینه و یا تلویزیون) امکان پذیر است
- مشاهده غیر مستقیم از نظر ایمنی به مشاهده مستقیم ارجحیت دارد.
- علیرغم پیشرفتهائی که در تکنیک فلوروسکپی انجام گرفته این روش از حساسیت کمتری نسبت به عکس برداری برخوردار است .

c) گاماگرافی

- در صورتیکه برای پرتونگاری بجای پرتو ایکس از گاما استفاده شود این روش را گاماگرافی میگویند.
- مشخصات رایج ترین ایزوتوپهای مورد استفاده در صنعت در جدول مقابل ارائه گردیده است.

نوع ایزوتوپ	نیمه عمر	انرژی فوتون (Mev)	لازم برای کاهش شدت به ۱۰۰ میلی رونتگن بر ساعت (m)
137Cs سزیوم	۳۳ سال	۰.۶	۱.۹۷
60Coکبالت	۴.۳ سال	۱.۳۳ و ۱.۱۷	۳.۶۷
192Irایریدیوم	۷۵ روز	۰.۳ و ۰.۵	۲.۳۵
226Raرادیم	۱۶۲۰ سال	۰.۲	۲.۹
170Tmتولیوم	۱۳۷ روز	۰.۰۸	۰.۳۲

- رادیو ایزوتوپهائی که در گاما گرافی مورد استفاده قرار میگیرند باید خصوصیات زیر را دارا باشند:

– نیمه عمر زیاد

– انرژی کافی برای پرتونگاری در صنایع

– اکتیویته ویژه زیاد و کوچک بودن چشمه رادیو ایزوتوپ

- بطور کلی چشمه های مورد استفاده در گاما گرافی خطرناکتر از چشمه های مصرفی در صنعت می باشند
- مقدار دز محلهائی که پرتونگاری انجام می گیرد زیاد است.

لذا لازم است چشمه ها در حفاظی مناسب که معمولا از جنس سرب است، نگهداری شود .

- گاماگرافی همچون رادیوگرافی شامل دو نوع ثابت و متحرک است.
- **گاماگرافی در مقایسه با رادیگرافی دارای مزایای زیر است:**

– انرژی گاما بیشتر است لذا از آن برای پرتونگاری قطعات ضخیم تر نیز میتوان استفاده کرد.

– رادیوایزوپهای تابش کننده گاما بر خلاف دستگاههای مولد پرتو ایکس تابع برق شهر نبوده و از آنها میتوان در هر محلی استفاده کرد.

– در صورتیکه کوتاه بودن زمان پرتوگیری مطرح نباشد میتوان از گاما گرافی استفاده نمود

– با توجه به بازده لوله های مولد ایکس معمولا استفاده از منابع گاما از نظر انرژی بسیار مقرون بصرفه تر هستند.

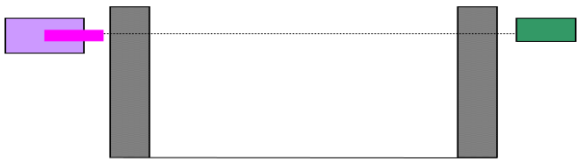
– برای نگهداری و راه اندازی لوله های مولد ایکس نیاز به تخصص بالاست.

- علاوه بر گاما گرافی از پرتو گاما کاربردهای بسیار متنوع دیگر میتوان داشت از جمله استفاده در پزشکی (چاقوی گاما) ، برای انبار داری (نگهداری مواد غذائی به مدت طولانی با استفاده از عقیم سازی آنها) و ...
- کاربرد در صنعت

c) اندازه گیری و کنترل ارتفاع مایعات در مخازن Level Gauge

- این روش در صنعت بسیار معمول است، چون هیچگونه تماس و اتصالی با مخازن ضروری نیست و اندازه گیری از راه دور با استفاده از این روش ساده و دقیق است.

کنترل ارتفاع در مخازن بزرگ همانند شکل زیر است:



رادیوایزوتوپ **چشمه**

- دریک طرف مخزن دستگاه آشکار ساز و در طرف دیگر چشمه پرتوزا قرار میگیرد.

- در صورتیکه ارتفاع مایع یا ماده پائین تر از محل قرار گرفتن رادیوایزوتوپ باشد پرتوهای تابش شده بدون برخورد با مایع از دوجدار مخزن عبورکرده و برروی آشکار ساز اثر میگذارند ولی اگر سطح مایع یا ماده بین چشمه و آشکار ساز قرار گیرد پرتوهای تابش شده برای رسیدن به آشکار ساز از ماده عبورکرده و در نتیجه با شدت کمتری به آشکار ساز خواهند رسید.
- آشکار ساز میزان دز و یا کاهش تعداد شمارش را نشان خواهد داد.
- با استفاده از یک سیستم الکترونیکی ارتفاع مایع و یا ماده را میتوان در مخزن ثابت نگه داشت.
- در این روش از پرتوهای گامای سزیوم ۱۳۷ و کبالت ۶۰ استفاده میشود.

d) تعیین ضخامت اجسام Thickness Gauge

- شدت پرتوهای تابش شده از رادیوایزوتوپها ضمن عبور از یک ماده همگن کاهش مییابد.
- این کاهش تابع مقدار جرم یا ضخامتی است که در مسیر پرتوها قرار میگیرد

– ازاین خاصیت برای اندازه گیری و کنترل ضخامت ورقه های فولادی و یا ورقه های نازک پلاستیک و فیلم استفاده میشود.

– در یک طرف ورقه چشمه و در طرف دیگر آشکار ساز که بر حسب ضخامت مدرج شده است قرار میگیرد (روش عبور) (روش بازتاب هردو آشکار ساز و چشمه در یک طرف ورقه قرار میگیرند)

- یکی از مزایای اندازه گیری به کمک رادیوایزوتوپها اینست که ضمن اندازه گیری نیاز به هیچگونه تماسی با مواد مورد آزمایش نمی باشد.

– لذا از این روش میتوان ضخامت ورقه های بسیار نازک و یا چسبناک و حتی ورقه های فولاد گداخته را اندازه گرفت.

- چشمه های مورد استفاده با توجه به قطر یا نازک بودن متفاوت است مثلاً :

– برای اندازه گیری ورقه های نازک با چگالی کم مانند کاغذ از چشمه های تولیوم ۲۵۴(254TL) و یا کریپتون ۸۵(85Cr) که پرتو بتا با انرژی متوسط تابش میکند استفاده میشود.

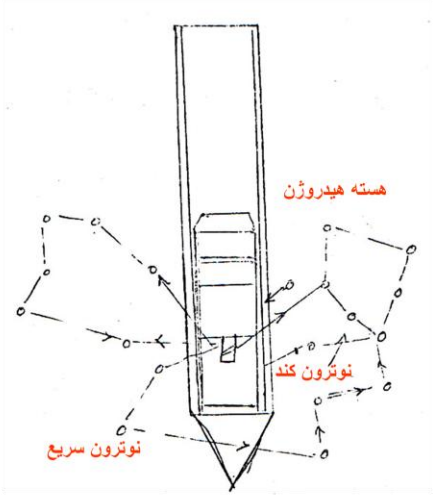
– برای ورقه های با چگالی کم و ضخامت زیاد مانند ورقه های پلاستیک از چشمه های استرانسیوم ۹۵ (95 Sr) یا پوتریوم ۹۰ (90Pt) که پرتو بتا با انرژی زیاد تابش میکنند ، استفاده میشود.

– برای ضخامتهای بیشترمثلا ضخامت ورقه های فولادی و غیره از پرتوهای ایکس استفاده میشود.

کاربرد در صنعت

e) اندازه گیری میزان رطوبت و دانسیته

دستگاههای اندازه گیری میزان رطوبت و دانسیته بطور روز افزونی در ساختمانها، معادن ، صنایع و بررسیهای زمین شناسی و خاکشناسی مورد استفاده قرار می گیرد



اندازه گیری میزان رطوبت و دانسیته

- ابتدا دستگاهی که در آن چشمه نوترون زا قرار دارد در داخل ماده مورد آزمایش (خاک) میگذارند.
- نوترونهای سریع ، از این منبع بیرون آمده و در ماده پخش میگردد.
- در اثر برخورد با هیدروژنهای ماده مورد آزمایش ، انرژی خود را از دست داده و به نوترون کند تبدیل می شود.
- نوترونهای کند شده را توسط آشکار ساز مخصوص نوترون اندازه گیری می کنند.
- نوترونهای سریع در موقع رسیدن به اتمهای هیدروژن در مولکولهای آب انرژی بیشتری از دست میدهند لذا تغییرا در دستگاه آشکار ساز مخصوص نوترون با مقدار رطوبت موجود درخاک متناسب است.
- برای اندازه گیری چگالی نمونه مورد آزمایش ضمن اندازه گیری رطوبت، یک چشمه گاما در دستگاه قرار داده میشود که دارای پوشش مناسبی است بطوریکه پرتو آن در اندازه گیری رطوبت تأثیری نداشته باشد.
- شدت پرتوهای بازتابی با چگالی نمونه متناسب است.
- مدار الکترونیکی دستگاه علامات الکترونیکی مربوط به نوترونهای کند و گاما را از هم تفکیک مینماید.

لذا در این روش میتوان بطور همزمان چگالی و رطوبت را اندازه گیری نمود.

- امتیازات این روش:

- نیازی به نمونه برداری نیست.
- اندازه گیری در یک محل همیشه قابل تکرار است.
- در حجم نسبتا زیادی امکان پذیر است.
- اندازه گیری در سطح و همچنین ضخامتهای مختلف امکانپذیر است .

سایر کاربردها

آنالیزبه روش اکتیواسیون	ترکیبات خود نورساز
لامپهای الکترونی	پردازش پرتوها
آشکارسازهای دود و آتش	انفجارات هسته ای
کروماتوگرافی گازی	برقگیرها و.....

کاربرد در کشاورزی

a) ردیابهای رادیو اکتیو

- پرورش بعضی ازمحصولات کشاورزی
- تغییر جزئی مواد غذائی
- اصلاح نژاد در گیاهان و حیوانات
- مطالعات زیستی

ردیابهای فعال بر حسب درجه سمیت به چهار دسته تقسیم می شوند :

- گروه اول: با سمیت خیلی شدید
- گروه دوم: با سمیت شدید
- گروه سوم: با سمیت متوسط
- گروه چهارم: با سمیت سبک

مثالهائی از ردیابهای با سمیت خیلی شدید

ایزوتوپ	پرتوهای اصلی	نیمه عمر	مصارف معمولی
استرانسیوم ۹۰	بتا	۲۸ سال	جذب، متابولیسم ، اثر در زنجیره غذائی و حیوانات
سرب ۲۱۰	بتا و گاما	۲۰ سال	رسوب در سلولهای و سمیت پرتوئی آن
پلوتونیوم ۲۱۰	آلفا وگاما	۱۳۸ روز	بعنوان صادر کننده آلفا در مزرعه چهارپایان

مثالهائی از ردیابهای با سمیت شدید

ایزوتوپ	پرتوهای اصلی	نیمه عمر	مصارف معمولی
کلسیم ۴۰	بتا	۱۶۰ روز	در تشکیل استخوان، سوخت وساز کلسیم در سیستم زیستی، مطالعات خاک
آهن ۵۹	بتا و گاما	۴۵ روز	جذب و سوخت وساز آهن
استرانسیوم ۸۹	بتا و گاما	۵۴ روز	حرکت ورسوب استرانسیوم در سیستمهای سوخت وسازی
ید ۱۳۱	بتا و گاما	۸ روز	مطالعه خاک ، چراگاه، شیر، مطالعات تیروئید در چهارپایان، اندازه گیری حجم خون

مثالهائی از ردیابهای با سمیت متوسط (۱)

ایزوتوپ	توهای اصلی	نیمه عمر	مصارف معمولی
سدیم ۲۴	بتا و گاما	۱۵ ساعت	در فیزیولوژی و غلظت سدیم در حیوانات، حرکت آبهای زیرزمینی و نشت یابی
فسفر ۳۲	بتا	۱۴.۳ روز	سوخت وساز، فسفر در کودها، آفت کشی، ،آنزیمها، اثر پرتودر گیاهان ونشاندار کردن حشرات
گوگرد ۳۵	بتا	۸۷ روز	اثربیوشیمیائی گوگرد،آفت کشی ، کودها،اندازه گیری رشد مو و ناخن یا سم
کلر ۳۶	بتا	۳۱۰۰۰۰ سال	جذب وسوخت و ساز، آفت کشهای کلر دار، تعادل یون کلر دار
پتاسیم ۴۲	بتا و گاما	۱۲.۵ ساعت	جذب، حاصلخیزی خاک، توزیع پتاسیم و بیوشیمی

مثالهائی از ردیابهای با سمیت متوسط (۲)

ایزوتوپ	پرتوهای اصلی	نیمه عمر	مصارف معمولی
منگنز ۵۴	گاما	۳۰۰ روز	مطالعات ردیابی در زنجیره غذائی، سوخت وساز منگنز
آهن ۵۵	ایکس	۲.۹ سال	نشاندار کردن همگلوبین ، در مطالعات کمبود آهن در گردش خون
کبالت ۵۸	بتا و گاما	۷۱ روز	در نشاندار کردن ویتامین B12 و سوخت وساز
کبالت ۶۰	بتا و گاما	۵.۲ سال	نشاندار کردن حشرات و ویتامینB12
مس ۶۴	بتا ، بتای مثبت و گاما	۱۲.۸ ساعت	مطالعات عناصر ردیاب و قارچ کش
روی ۶۵	بتای مثبت و گاما	۲۴۵ روز	درجه سمیت قارچها و سوخت وساز روی

مثالهائی از ردیابهای با سمیت متوسط (۳)

ایزوتوپ	پرتوهای اصلی	نیمه عمر	مصارف معمولی
سلنیوم ۷۵	ایکس وگاما	۱۲۷ روز	بیماریهای ماهیچه ای در گوسفند، در سم شناسی
استرنسیوم ۸۵	گاما	۶۵ روز	ماده با درجه سمیت کم که جانشین استرنسیوم ۹۰ میشود
روبیدیوم ۸۶	بتا و گاما	۱۸.۶ روز	جذب ، حاصلخیزی خاک در مطالعات بیوفیزیولژی (مانند جانشین شدن پتاسیم)
ید ۱۲۵	ایکس و گاما	۶۰ روز	گیری حجم خون در حیوانات، اندازه گیری ید در شیر، در تیروئید(جانشینی برای ید ۱۳۱)
سزیوم ۱۳۷	بتا و گاما	۳۰ سال	تعیین وضعیت و مطالعه ریزشهای پرتوزا در خاک ، حبوبات و گوشت

مثالهائی از ردیابهای با سمیت سبک

ایزوتوپ	پرتوهای اصلی	نیمه عمر	مصارف معمولی
هیدروژه ۳ (تریتیوم)	بتا	۱۲.۳ سال	تعیین مسیرهای بیوشیمیائی ترکیبات محتوی هیدروژن، مطالعات آبهای زیر زمینی
کربن ۱۴	بتا	۵۶۰۰ سال	فتوسنتز و سوخت وساز تمام ترکیبات آلی
کروم ۵۱	ایکس و گاما	۲۷ روز	اندازه گیری حجم خون در حیوانات، مطالعه بر روی عناصر ردیاب

کاربرد در پزشکی

کاربرد پرتوها در پزشکی بسیار زیاد است از تشخیص (رادیوگرافی و..) گرفته تا درمان ، بعنوان مثال:

- تعیین محل واندازه اعضاء
- تعیین فعالیت اعضاء
- معالجه سرطان

از جمله کاربردهای پرتوهای یونساز در پزشکی هستند.

تشخیص با پرتو ایکس

- بر اساس کنتراست نور حاصل از قسمتهای کلسیم دار (مثل دندان و استخوان) با سایرقسمتهای بدون کلسیم می باشد.
- بافتهای نرم بعلت نداشتن مقدار زیادی کلسیم نمیتوانند به همان نسبت بافت سخت پرتو ایکس را جذب کنند.
- لذا پیدا نمودن اشیاء خارجی و یا شکستگی استخوان با این روش میسر میشود.
- اختلاف شت بدلیل اختلاف تراکم بافتهای مجاور (مثلا درون شکم) و یا وجود گاز در مسیر احشای درونی (مثلا ریه ها) نیز اتفاق می افتد
- با اضافه نمودن موادی پرکننده میتوان غلظت بافتها را بالا برده تا بعنوان جسم کدر عمل کنند) مثلاً:

- استفاده از نمکهای باریم که بدن جذب از معده و روده عبور میکنند (مسیر معده و روده)
- و یا ترکیبات ید دارتغلیظ شده که بوسیله کیسه صفرا وکلیه ها دفع میشوند (مسیر کیسه صفرا وکانالهای ادراری)
- تزریق مایع مغزی - نخاعی

کاربرد رادیوایزوتوپها درتشخیص و درمان

- با کمک آشکارسازی و اندازه گیری توزیع مواد پرتوزا در بدن میتوان:

- محل و اندازه اجزاء مورد نظر را تعیین نمود (مثلا اگر رادیونوکلوئید معینی به شخص خورانده شود، این ماده در بافت خاصی جایگزین شده و تابش مینماید که خود برای عکاسی (عکاسی غده) مورد استفاده قرار میگیرد)
- فعالیت عملی این اندامها را تخمین زد (با اندازه گیری تراکم، نگهداری و تخلیه مواد رادیو اکتیو)

همچنین میتوان رادیو ایزوتوپهائی همچون 99Tc را با مواد حمل کننده خاصی ترکیب (کیتهای آن در بخشهای قبلی ارائه گردید) و برای تشخیص و یا درمان مورد استفاده قرار داد.

- **مهمترین انواع رآکتورها**

✓ هرچند که تنها شرط اینکه یک واکنش زنجیره ای توسط نوترونها انجام پذیرد مقدار کافی از یک عنصر شکافت پذیر است، ترکیبهای بسیاری از مواد و ترتیب آنها را می توان برای ساختن یک نیروگاه قابل استفاده به کار برد.

✓ اززمانی که اولین راکتور کار خود را آغاز کرد یعنی سال ۱۹۴۲ انواع و طراحیهای مختلف رآکتور ساخته و آزمایش شده اند.

✓ در این قسمت به برجسته ترین انواع آنها که کاربرد بیشتری دارند اشاره میکنیم:

- **رآکتور سریع**

✓ در این رآکتور انرژی بیشتر نوترونها در گستره ای به میزان ۱ / ۰ – ۱ Mev باشد.

✓ این انرژی کمتر از انرژی نوترونهای آزاد شده در شکافت است ولی به آن نزدیک می باشد.

✓ نوترونها در انرژی بالا باقی می مانند زیرا برای کند کردن آنها ماده نسبتا کمی وجود دارد.

- **رآکتور حرارتی**

✓ متقابل با رآکتورهای سریع، راکتورهای حرارتی دارای ماده کند کننده خوبی هستند.

✓ در این نوع رآکتورتوده نوترونها دارای انرژی کمتر از

✓ ۱ / ۰ Mev هستند.

- **رآکتور آب جوشان**

✓ BWR

✓ شبیه به PWR

✓ فشار و دما پایین ترند

✓ دما : ۵۵۰ °F

✓ فشار : ۱۰۰۰ psi

- **رآکتور بادمای بالا و خنک کننده گاز**

✓ HTGR

✓ کند کننده : گرافیت

✓ خنک کننده : هلیم

- ✓ دما : 1430°F
- ✓ فشار :۶۰۰ psi
- ✓ سوخت : اورانیوم بسیار غنی شده

- **رآکتور زاینده سریع با فلز مایع**

- ✓ LMFBR
- ✓ بدون کند کننده
- ✓ خنک کننده : سدیم مایع
- ✓ سوخت : پلوتونیوم که با اورانیوم تهی شده محاصره شده

- **رآکتورهای آبی تحت فشار**

- ✓ PWR
- ✓ کند کننده و خنک کننده : آب سبک
- ✓ دما : ۶۰۰ °F
- ✓ فشار : ۲۲۰۰ psi
- ✓ سوخت : ترکیبی ناهمگن از اورانیوم کمی غنی شده

- **مواد رآکتورهای قدرت**

- **بهره برداری از رآکتورها**

تولید انرژی از سوختهای هسته ای از این جهت منحصر به فرد است که باید همیشه مقدار زیادی سوخت در رآکتور باشد تا واکنش زنجیره ای ادامه یابد.

در واقع یک ارتباط ظریف بین سوخت رآکتور و کمیتهای دیگر مثل مصرف،قدرت، شار نوترونی، بحرانی شدن و کنترل وجود دارد.

اگر تنها سوخت را U235 فرض کنیم ،از آنجا که هر اتم سوخته یعنی تبدیل به U236 و یا پاره های شکافت نوترونی به همراه انرژی شده است ،می توانیم مقدار سوخت مصرفی در یک زمان مشخص را بدست آوریم.

- **ایمنی رآکتور**

- ✓ خوب میدانیم که پاره های شکافت جمع شده در رآکتوری که برای مدتی مشغول کار بوده منبع بالقوه ای از خطرات تابشی می باشد.

- ✓ لازم است اطمینان حاصل شود که یکپارچگی سوخت در تمام چرخه بهره برداری محفوظ میماند و مقدار قابل اغماض مواد رادیواکتیو به بیرون درز میکند.
- ✓ این کار مستلزم محدودیت هایی برروی دما و قدرت بوده و همچنین به کفایت خنک کنندگی تحت کلیه شرایط بستگی دارد.
- ✓ ایمنی ذاتی باید توسط خصوصیات فیزیکی واکنش شکافت زنجیره ای تامین شود.
- ✓ به علاوه انتخاب مواد،ترتیب آنها و محدودیت روی نحوه بهره برداری سطح دومی از ایمنی لازم را تامین می کند.

- **حادثه چرنوبیل**

در ۲۶ آوریل ۱۹۸۶ حادثه بسیار وخیمی دررآکتور چرنوبیل در نزدیکی کیف در اوکراین روی داد.

انفجاری صورت گرفت که سوراخی در سقف ساختمان رآکتور ایجاد نمود، کند کننده گرافیت آتش گرفت و مقدار زیادی از مواد رادیواکتیو سوختی آسیب دید و وارد جو شد.

تعدادی از کارگران کشته شدند، شهرهای مجاور آلوده گشتند و تخمین زده میشود که دز جمعی دریافت شده توسط مردم از حد خطر ابتلای سرطان تجاوز نمود. به علاوه چندین کشور اروپایی واردات مواد غذایی کشور شوروی را تحریم کردند.

رآکتور چرنوبیل از نوع RBMK بود: قلب آن استوانه ای به ارتفاع ۷ مترو قطر ۱۲ متر شامل کندکننده گرافیت بود.و ۱۸ دسته میله اورانیوم کمی غنی شده در آن وجود داشت.

- **چرخه سوخت هسته ای**
- چرخه سوخت اورانیوم را چرخه سوخت هسته ای نیز میگویند
- **چرخه سوخت هسته ای از دو بخش عمده تشکیل شده:**

– Front end: مرحله ای است که منجر به آماده سازی اورانیوم به عنوان سوخت راکتور هسته ای میشود و شامل استخراج از معدن و آسیاب کردن و تبدیل و غنی سازی و تولید سوخت است

– Back end: پس از مصرف اورانیوم به عنوان سوخت مرحله پیشگیری از صدمات هسته ای به انسان و محیط زیست آغاز میشود که شامل انبار داری موقت و باز فرآوری و انبار داری نهائی است

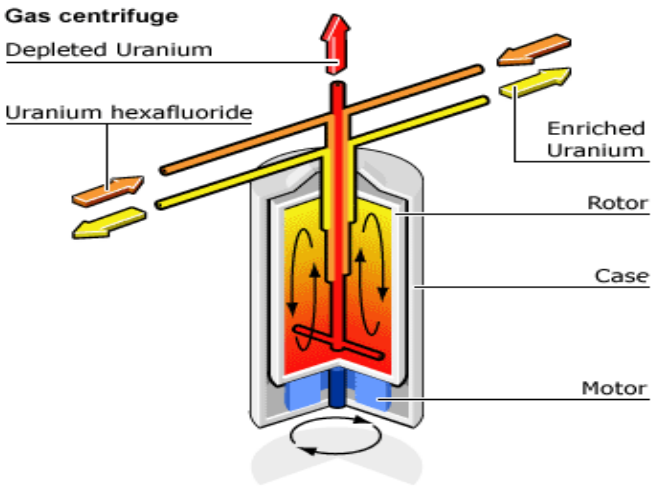
- **چرخه سوخت هسته ای/ اکتشاف و استخراج**
- ذخائر طبیعی اورانیوم سنگ معدن اورانیوم است که بر اساس مقدار قابل استحصال از معدن محاسبه میشود.
- اورانیوم موجود در طبیعت معمولا از دو ایزوتوپ اورانیوم ۲۳۵ و اورانیوم ۲۳۸ تشکیل شده که فراوانی آنها بترتیب ۰.۷۱ درصد و ۹۹.۸۲ در صد می باشد
- **چرخه سوخت هسته ای / تهیه کیک زرد**

- پس از استخراج سنگ معدن اورانیوم جهت آماده سازی ماده اولیه در تکنولوژی هسته ای ابتدا باید سنگ معدن اورانیوم خام را آسیاب و به صورت پودر در آورند.
- در واقع عمل آسیاب کردن اکسید اورانیوم غلیظی تولید میکند.
- در یک آسیاب، اورانیوم با عمل سنگ شوئی از سنگ های معدنی خرد شده جدا میشود که یا با اسید قوی و یا با محلول قلیائی قوی حل میشود و به صورت محلول در آید.
- سپس اورانیوم با ته نشین کردن از محلول جدا میشود. و بعد از خشک کردن به صورت اشباع شده و غلیظ در ظروف مشخص بسته بندی میشوند.
- باقیمانده های سنگ معدن که بیشتر شامل مواد پرتوزا وسنگ معدن میشوند به روشهای مهندسی دفن و یا دفع می شوند.
- **چرخه سوخت هسته ای / تهیه کیک زرد**
- به اورانیوم غلیظ حاصل شده، اسید سولفوریک اضافه می کنند که حاصل آن سولفات اورانیوم است.
- با اضافه نمودن حلالهای مخصوص به این ماده سرانجام آنرا به اکسید اورانیوم هشت UO8 تبدیل میکنند
- این ماده زرد رنگ است که به آن کیک زرد میگویند.
- **چرخه سوخت هسته ای / غنی سازی**
- مراحل ابتدائی غنی سازی شامل:
  - تبدیل کیک زرد به اکسید اورانیوم دو UO2
  - تبدیل اکسید اورانیوم دو به تترافلوراید اورانیوم UF4
  - تغییر تترافلوراید به هگزا فلوراید اورانیوم UF6
- **چرخه سوخت هسته ای / روشهای غنی سازی**
- انتشار گازی
- سانتریفیوژ
- آئرودینامیک
- استفاده از لیزر
- استفاده از الکترومغناطیس
- جدا سازی شیمیائی
- **چرخه سوخت هسته ای / روشهای غنی سازی (انتشار گازی)**

- در این فرآیند اورانیوم به شکل گاز درآمده و از درون یک مجرای مشبک از جنسی خاص همچون نیکل عبور داده میشود. بدین ترتیب مولکولهای گازی اورانیوم ۲۳۵ که در مقایسه با ایزوتوپ ۲۳۸ از حجم کمتری برخوردار هستند با سرعت بیشتری از روزنه های مجرا عبور نموده و در صد آنها بیشتر میشود

- روش پر هزینه ای است

- **چرخه سوخت هسته ای / روشهای غنی سازی (سانتریفیوژ)**



در سانتریفیوژگازی، گاز UF6 را به مخزنهای استوانه ای تزریق می کنند و گاز را با سرعت بسیار زیادی می چرخانند، نیروی گریز از مرکز موجب میشود تا 235UF6 که اندکی از 238UF6 سبک تر است از مولکولهای سنگین تر جدا می شود. این فرآیند در مجموعه ای از مخزنها صورت می گیرد و درنهایت اورانیوم با سطح غنی شده مطلوب بدست می آید

- **چرخه سوخت هسته ای / روشهای غنی سازی**

- جداسازی آئرودینامیک: در این فرآیند مخلوطی از گاز هگزا فلوراید اورانیوم و هیدروژن یا هلیوم از درون دهانه ای عبور داده میشود و نیروی گریز از مرکز تولید شده ، باعث جداسازی اورانیوم ۲۳۵ از سایر ایزوتوپها میشود.

- استفاده از لیزر: در این فرآیند از اشعه لیزر برای تفکیک ایزوتوپهای اورانیوم استفاده میشود درحال حاضر این فرایند پیشرفته ترین راه برای غنی سازی اورانیوم می باشد که سرعت فوق العاده ای دارد

- **چرخه سوخت هسته ای / روشهای غنی سازی**

- استفاده از الکترومغناطیس: در این روش جریان شدید از یونهای کم انرژی از درون یک میدان مغناطیسی که با آهنربای بزرگ الکتریکی تولید شده عبور داده میشود و در نتیجه ایزوتوپهای سبکتر در میدان مغناطیسی بیشتر منحرف شده و از ایزوتوپهای سنگین تر جدا میشود.

- جدا سازی شیمیائی: در این روش یونهای ایزوتوپهای اورانیوم از موانع شیمیائی عبور داده میشوند، در این روش به واسطه اختلاف جرم اتمی یونهای اورانیوم سرعتهای متفاوتی در عبور از موانع شیمیائی پیدا نموده و بدین روش از یکدیگر جدا میشوند.

– رعایت نکات ایمنی و توجه به عدم پخش مواد پرتوزا در این روش حائز اهمیت است.

- **چرخه سوخت هسته ای / ساخت میله های سوخت**
- تولید میله سوخت آخرین مرحله Front end در چرخه هسته ایست.
- اورانیوم غنی شده که هنوز به شکل UF6 است باید به پودر در اکسید اورانیوم UO2 تبدیل شود تا بعنوان سوخت هسته ای قابل استفاده باشد.
- پودر UO2 سپس فشرده شده و بصورت قرص در می آید.
- قرصهای بدست آمده درمعرض دمای بالا به قرصهای سرامیکی سخت تبدیل میشوند.
- قرصهای کوچک بدست آمده را متناسب با نیازدسته دسته کرده و در لوله های مخصوص قرار میدهند
- جنس این لوله ها از آلیاژ مخصوص ساخته شده که در برابر خوردگی بسیار مقاوم و د رعین حال از رسانائی حرارتی بسیار بالائی برخوردار است.
- در این مرحله است که میله سوخت آماده شده و برای استفاده به نیروگاه فرستاده میشود.

جزوه ها و چکیده منابع کارشناسی ارشد ؛

گردآوری، تلخیص، تصحیح و ویرایش از :

www.MrSafety.blogfa.com

Akbari.Jafar@gmail.com