

پرتوهاي ايكس، گاما

دکتر محمد رضا منظم

استاديار دانشكده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران و مدير كل دفتر بررسي

آلودگي هوا سازمان حفاظت محیط زیست

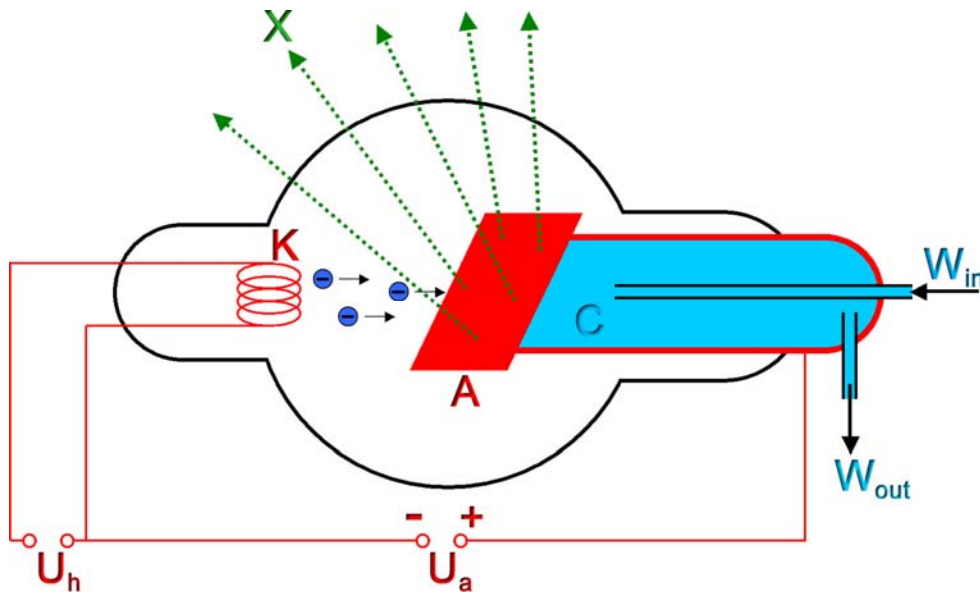
mmonazzam@hotmail.com

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 است یونساز
- روشهای تولید:
 - کاهش ناگهانی سرعت الکترونهاى 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:
تعداد فوتون

$$I = Nhf$$

لوله مولد پرتو ایکس



- هر دستگاه مولد پرتو ایکس شامل:
- منبع الکترون (کاتد) که معمولاً رشته نازکی از سیم تنگستن است
- میدان الکتریکی برای سرعت دادن به الکترونها
- سطح فلزی برای متوقف ساختن الکترونها (آنتی کاتد)
- یک قطعه تنگستن که در لفافی از مس پیچیده شده

انواع پرتو X

احتمالات برخورد الکترون سریع به اتم هدف:

۱. به یکی از الکترونهاى مدار داخلى 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)
 - a. اگر کاملاً الکترون متوقف شود. انرژی پرتو ایکس با انرژی دو سر لوله مولد ایکس برابر است
۴. سرعت الکترون سریع بتدریج کاسته شود (انواع دیگر انرژی چون گرما، نور و..)

پرتو X 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.

پرتو X ویژه

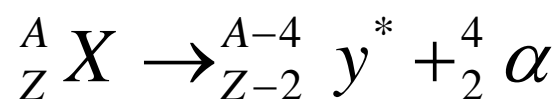
- اگر پرش الکترون از لایه L به k باشد پرتو x را ka (a نمایش پرشهای متوالی است) می گویند
- اگر پرش الکترون از لایه M به L باشد پرتو x را La می گویند
- اگر پرش الکترون از لایه N به M باشد پرتو x را Ma می گویند
اگر پرشها یک در میان باشد نامگذاری متفاوت خواهد بود:
- اگر پرش الکترون از لایه M به K باشد پرتو x را kB (B نمایش پرشهای یک در میان است) می گویند
- اگر پرش الکترون از لایه N به L باشد پرتو x را LB می گویند
۸۰٪ موارد پرتوها از نوع a و ۲۰٪ از نوع B است

پرتو گاما

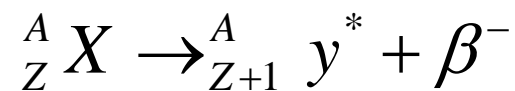
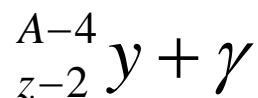
- از انواع پرتوهای الکترو مغناطیسی است که ماهیت آن مانند پرتو ایکس است و اختلاف در منشاء تولید است.
– ایکس از ابر الکترونی و گاما از هسته
- انرژی گاما از ایکس بیشتر است (معمولاً فعل و انفعالات درون هسته ما به ازاء انرژی بیشتری دارند)
- طیف انرژی از 124 kev تا 1.24 Mev است.
- در تجزیه و تحولات هسته های 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)

پرتو گاما

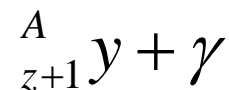
- هرگاه هسته ای به هر علت در حالت تهیج قرار گیرد این انرژی تهیج خود را بصورت فوتون گاما تابش میشود.
- نمایش عمومی تولید گاما را میتوان بصورت زیر نشان داد:



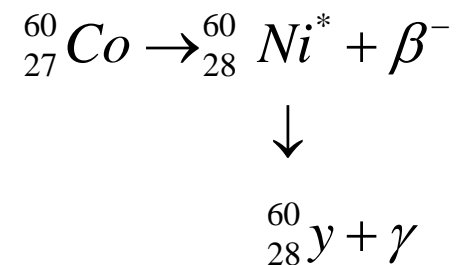
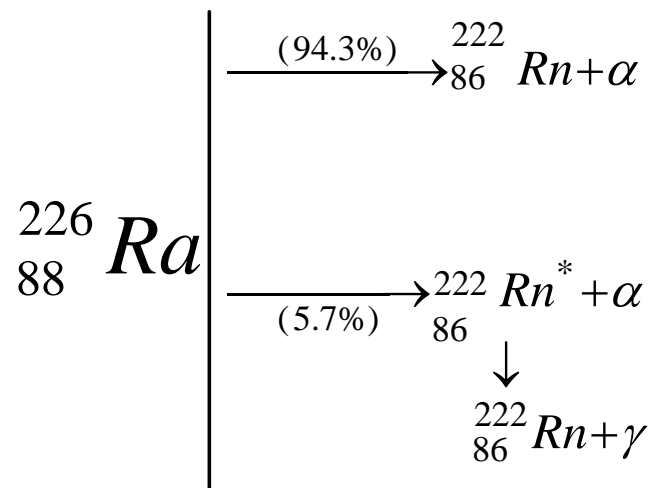
↓



↓



پرتو گاما (مثالهایی از تابش گاما)



الکترون تبدیل داخلی

internal Conversion

- پرتوهای گامای حاصل از واپاشی همواره قادر به خروج از اتم نمیباشند.
- در برخی موارد با الکترونهاى مدارى برخورد نموده و آنها را از مدار خارج میکند.
- به این الکترونها الکترون تبدیل داخلی میگویند.
- در این حالت نیز پرش الکترون به ناحیه تهى جا پرتو ایکس ویژه تولید خواهد کرد.
- بدیهی است در واپاشی بتای منفی نیز پدیده تبدیل داخلی را خواهیم داشت.

برخورد پرتوها با ماده

اصطلاحات اساسی

- 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 ..

برخورد پرتوها با ماده

اصطلاحات اساسی

- یونیزاسیون و تحریک Ionization & Excitation
- چنانچه الکترون از مدار کولنی هسته کاملاً خارج شود گوئیم اتم یونیزه شده است
- به ازاء تعداد الکترونهاى جدا شده گوئیم اتم یک ، دو یا چند بار یونیزه شده است.
- چنانچه الکترون جدا شده از لایه ، کماکان در میدان کولنی هسته باقى 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.

برخورد پرتوها با ماده اصطلاحات اساسی

• ضخامت جرمی Density Thickness

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

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

برخورد پرتوها با ماده

اصطلاحات اساسی

- 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 هم میگویند.
 - میانگین افت انرژی حدود ۲ تا ۳ برابر پتانسیل یونیزاسیون است.
 - مثلاً 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.

برخورد پرتوها با ماده اصطلاحات اساسی

- 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 اصطلاحاً آهنگ اتلاف انرژی ویژه و یا توقف یا آهنگ اتلاف انرژی دیفرانسیلی میگویند.
- این کمیت را با dE/dx نشان میدهند.
- واحد آن معمولاً بر حسب Mev/cm است

برخورد پرتوها با ماده

اصطلاحات اساسی

- آهنگ خطی افت انرژی ذرات آلفا و بتا را میتوان از روابط زیر بدست آورد:

تعداد اتمهای محیط جاذب در هر سانتی متر مکعب

عدد اتمی محیط جاذب

$$\left(\frac{dE}{dx}\right)_\alpha = 3.33 \times 10^{-30} \times \frac{NZ}{E} \left(\ln \left(\frac{4E}{I} \right) \right)$$

انرژی جنبشی ذره بر حسب Mev

$$\left(\frac{dE}{dx}\right)_\beta = 2.54 \times 10^{-35} \times \frac{NZ}{\beta'^2} \left[\ln \left(\frac{0.511E\beta'^2}{I(1-\beta'^2)} \right) \right]$$

میانگین پتانسیل یونیزاسیون و بر انگیختگی اتمهای محیط جاذب بر حسب Mev

نسبت سرعت ذره به سرعت نور

آهنگ خطی افت انرژی ذرات آلفا و بتا

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

$$NZ = 3.88 \times 10^{20}$$

- و مقدار I برابر:

$$I = 8.6 \times 10^{-5} \quad (\text{for air})$$

$$I = 1.35 \times 10^{-5} Z \quad (\text{for any material})$$

- dE/dx : آهنگ خطی افت انرژی بر حسب Mev/cm

برخورد پرتوها با ماده اصطلاحات اساسی

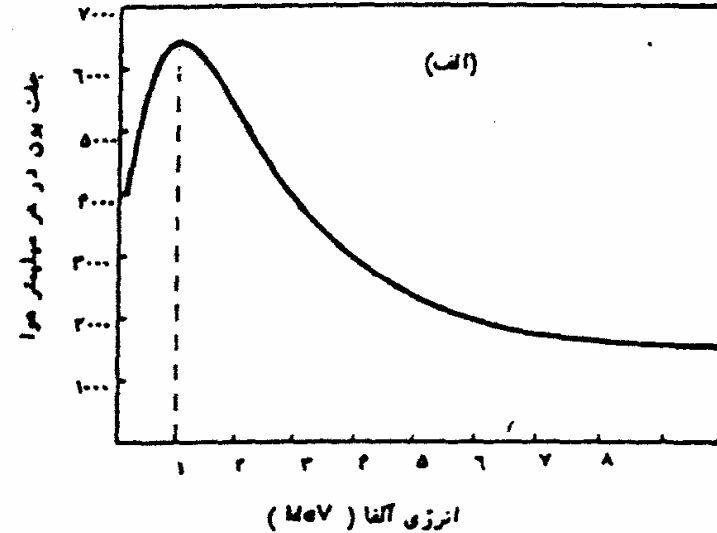
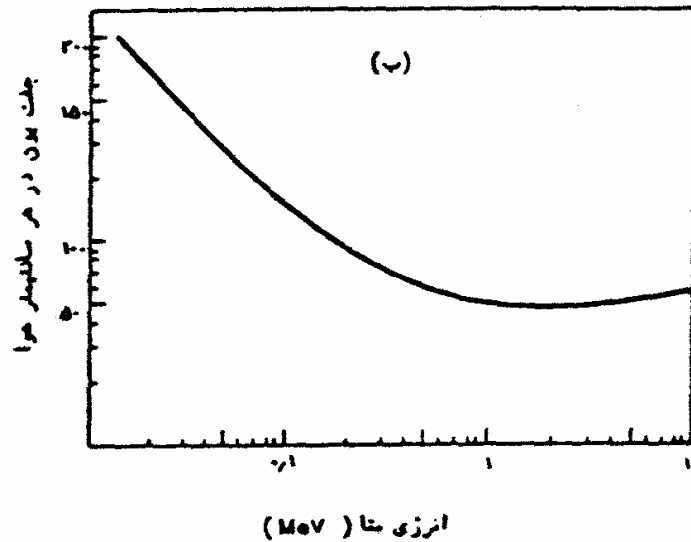
- یونیزاسیون ویژه Specific Ionization
- نسبت آهنگ خطی افت انرژی به میانگین افت انرژی جهت تولید یک جفت یون w را یونیزاسیون ویژه میگویند
- یعنی یونیزاسیون ویژه:

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

- 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.



برخورد پرتوها با ماده اصطلاحات اساسی

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

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

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

برخورد پرتوها با ماده اصطلاحات اساسی

- 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.

توان توقف جرمی محیط

توان نسبی توقف جرمی محیط

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

توان توقف جرمی هوا

برخورد پرتوها با ماده

اصطلاحات اساسی

- انتقال انرژی خطی (LET) Linear Energy Transfer
- 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

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)

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