گروه فیزیک-گرایش هسته ای

تعیین توزیع سه بعدی دز محصول و بهره تولید در سیستم پرتو دهی الکترونی مدل TT – 200 با استفاده از کد محاسباتی MCNP و دزیمتری تجربی

توسط:

وحیدرضا بابائی

اساتید راهنما:

دکتر غلامرضا رئیس علی

دکتر سعید حمیدی

استاد مشاور:

مهندس سید محمود رضا تهامی

دانشگاه اراک

زمستان ۱۳۸۸

بسم الله الرحمن الرحيم

تقدیم به :

قلب پر مهر مادرم

و

همت بلند پدرم

تقدیر و تشکر

ضمن سپاس به درگاه ایزد یکتا، بر خود لازم می دانم از زحمات بی دریغ استاد گرانقدر آقای دکتر غلامرضا رئیس علی که در تمامی مراحل انجام این تحقیق با راهنمایی های ارزنده شان دلسوزانه یار و یاورم بودند سپاسگزاری کنم.

از زحمات استاد بزرگوار آقای دکتر سعید حمیدی که در طی مراحل مختلف این پایان نامه از مساعدت ها و راهنمایی هایشان بهره برده ام سپاسگزاری می کنم.

از آقای مهندس سید محمود رضا تهامی که در طی انجام این تحقیق به عنوان استاد مشاور متحمل زحمات فراوانی شدند صمیمانه تشکر می کنم.

از تمامی پرسنل محترم گروه دزیمتری پژوهشکده کاربرد پرتو ها مرکز یزد آقایان مهندس شاهین شکوهی، رضا امرائی، مجید حسامی و آقایان علی اصغر شمس الدینی و مهدی میرحسینی کمال تشکر را دارم.

تشکر و قدر دانی می کنم از آقای امیر مصلحی و خانم وحیده عطایی نیا و تمام دوستان و عزیزانی که طی این مدت به هر نحوی مرا یاری رساندند.

همچنین سپاسگزارم از زحمات و فداکاری های پدر، مادر، برادران و خواهر عزیزم که همواره پشتیبان و همراه من بوده اند.

وحید رضا بابائی اشکذری- بهمن ماه ۱۳۸۸

v.babayi@yahoo.com

چکیده

تعیین توزیع سه بعدی دز محصول و بهره تولید در سیستم پرتو دهی الکترونی مدل TT – 200 با استفاده از کد محاسباتی MCNP و دزیمتری تجربی

توسط

وحیدرضا بابائی

در پژوهشکده کاربرد پرتو ها وابسته به پژوهشگاه علوم وفنون هسته ای سازمان انرژی اتمی ایران در یزد، از شتابدهنده رودوترون مدل TT-200 به عنوان چشمه الکترونی با حداکثر انرژی ۱۰MeV جهت پرتو دهی مواد مختلف، استفاده می شود. در پرتوفرآوری مواد با استفاده از الکترونهای پر انرژی تولید شده بوسیله شتابدهنده های الکترونی، پرتو دهی بر مبنای دز کمینه در محصول تنظیم می شود و نسبت یکنواختی دز (D_{max}/D_{min}) پارامتر مهمی جهت تضمین یکنواختی پرتودهی به حساب می آید. با توجه به کاهش تاثیر الکترون های پراکنده شده، مقدار دز دریافت شده در لبه های محصول که در مجاورت با هوا قرار دارند، کاهش محسوسی دارد که این موضوع روی مقدار یکنواختی دز و در نتیجه کاهش آهنگ تولید در فرآیند پرتودهی که بر مبنای دز کمینه تعیین می شود اثر می گذارد.

در این تحقیق با استفاده از کد MCNP، توزیع دز ایجاد شده در محصول نمونه، تحت تابش الکترون های موازی با انرژی ۱۰MeV، شبیه سازی شده است. سپس با شناسایی موقعیت کمینه و بیشینه ی دز در محصول، به بررسی اثرکاهش دز جذب شده در لبه ها بر نسبت یکنواختی دز و آهنگ تولید در کالا پرداخته شده است. همچنین با جایگذاری دزیمترهای CTA در نقاط مختلف محصول نمونه مورد پرتو دهی، توزیع سه بعدی دز اندازه گیری شده و با نتایج شبیه سازی مقایسه شده است. نتایج محاسباتی و تجربی به دست آمده که در توافق با

یکدیگر می باشند، نشان می دهند که، در پرتودهی یک طرفه، مقدار دز کمینه در محصول در لبه ها و به خصوص گوشه ها و مقدار دز بیشینه در عمق محصول مشاهده می شود. لایه های مجاور در مسافتی حداکثر به اندازه برد الکترون های پرانرژی در آن ماده می توانند در مقدار دز جذب شده در یک مکان اثر بگذارند. در پرتو دهی یک طرفه، بهترین ضخامت جرمی محصول جهت بیشترین کارایی و در عین حال داشتن بهترین نسبت یکنواختی، عمق بهینه است. کاهش دز در لبه های محصول مورد مطالعه در این تحقیق باعث کاهش دز کمینه و کاهش کارائی از مقدار ۰/۷۰ به ۰/۴۸ و افزایش نسبت یکنواختی دز از ۱/۳۸ به ۲/۰۰ و در نتیجه کاهش آهنگ تولید به میزان ۳۱ درصد می شود.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست جدول ها ..... و

فهرست شکل ها ..... ز

فصل اول : مقدمه ۱

۱-۱ پرتوفرآوری با استفاده از باریکه های الکترونی ۲

۱-۲ برهمکنش پرتو های یون ساز در ماده ۴

۱-۳ مفاهیم و پارامترهای اساسی در پرتو فرآوری الکترونی ۶

۱-۳-۱ توان توقف و برد الکترون ۶

۱-۳-۲ دز و آهنگ دز ۹

۱-۳-۳ منحنی های دز – عمق ۱۰

۱-۳-۴ نسبت یکنواختی ، آهنگ تولید و کارائی ۱۲

۱-۴ بیان موضوع و اهداف تحقیق ۱۴

فصل دوم : مواد و روش ها ۱۶

۲-۱ شبیه سازی ترابرد الکترون ها با کد مونت کارلوی MCNP ۱۷

۲-۱-۱ کلیاتی درباره کد MCNP و به کار گیری آن ۱۸

۲-۱-۲ چگونگی ترابرد الکترون ها در کد MCNP ۲۶

۲-۱-۲-۱ گام ها و زیرگام های الکترون ۲۸

۲-۱-۲-۲ گام های تصادفی فشرده ۲۹

۲-۱-۲-۳ توان توقف ۳۰

۲-۱-۲-۴ پراکندگی انرژی (Energy Straggling) ۳۳
۲-۱-۲-۵ انحراف زاویه ای ۳۶
۲-۱-۲-۶ الکترون های ثانویه ۳۸
۲-۲ روش اندازه گیری دز ۳۹
۲-۲-۱ کلیاتی در مورد روش اندازه گیری دز ۳۹
۲-۲-۲ اندازه گیری دز با استفاده ازدزیمتر سلولز تری استات (CTA) ۴۱
۲-۲-۳ اندازه گیری دز با استفاده ازدزیمتر PVC(B3) ۴۵
۲-۳ سیستم شتابدهنده الکترونی رودوترون مدل TT-200 ..... ۴۶
۲-۳-۱ مشخصات کلی شتابدهنده ۴۶
۲-۳-۲ مشخصات عملکردی شتابدهنده ۵۰
۲-۳-۳ پرتو فرآوری با استفاده از شتابدهنده TT-200 ..... ۵۱

فصل سوم: نتایج به دست آمده از محاسبه واندازه گیری دز در یک محصول نمونه ۵۴
۳-۱ انجام محاسبات اولیه جهت انتخاب ابعاد مناسب محصول نمونه ۵۵
۳-۱-۱ اثر الکترونهای برگشتی از نواحی مجاور بر دز ناحیه مرکزی ۵۵
۳-۱-۲ اثر الکترونهای اولیه ی نواحی مجاور بر دز ناحیه مرکزی ۵۶
۳-۱-۳ بررسی توزیع دز در ناحیه مرکزی و حاشیه های محصول مورد پرتو دهی ۵۹
۳-۲ محاسبه توزیع سه بعدی دز در محصول نمونه مورد پرتو دهی ۶۱
۳-۲-۱ مدل محاسباتی ۶۲
۳-۲-۲ نتایج محاسبات توزیع دز ۶۴
۳-۳ اندازه گیری توزیع سه بعدی دز در محصول نمونه مورد پرتو دهی ۶۹
۳-۳-۱ اندازه گیری انرژی دستگاه ۷۰

۳-۳-۲ اندازه گیری ابعاد باریکه الکترونی و تعیین زاویه تابش الکترون ها ۷۲
۳-۳-۳ پیکر بندی محصول نمونه از جنس سلولز و قرار دادن دزیمترها درآن .. ۷۸
۳-۳-۴ نتایج اندازه گیری توزیع دز ۸۴

فصل چهارم : نتیجه گیری و پیشنهادات ۹۰
۴-۱ تحلیل نتایج ۹۱
۴-۱-۱ مقایسه نتایج محاسباتی و تجربی ۹۱
۴-۱-۲ تعیین پارامترهای پرتو فرآوری محصول نمونه ۹۴
۴-۲ نتیجه گیری ۱۰۰
۴-۳ پیشنهادات ۱۰۱

مراجع ۱۰۲

پیوست ها ۱۰۸
پیوست الف - متن مقاله ارئه شده به شانزدهمین کنفرانس هسته ای ایران (پذیرفته شده) ۱۰۸
پیوست ب - ورودی برنامه MCNP جهت بررسی اثر الکترونهای برگشتی از نواحی مجاور بر دز ناحیه مرکزی ۱۱۵
پیوست ج - ورودی برنامه MCNP جهت بررسی اثر الکترونهای اولیه ی نواحی مجاور بر دز ناحیه مرکزی ۱۱۸
پیوست د – ورودی برنامه MCNP جهت شبیه سازی محصول نمونه ۱۲۱
چکیده انگلیسی ۱۲۳

فهرست جدول ها

شماره **عنوان** **صفحه**

جدول۲-۱- معادلات سطوح در دستگاه های مختلف مختصات در کد MCNP ۲۲

جدول۳-۱- مقادیر مختلف استخراج شده از منحنی دز – عمق جهت اندازه گیری انرژی دستگاه ۷۱

جدول۳-۲- محصول و پارامترهای پرتو دهی در اندازه گیری تجربی ۸۱

جدول۴-۱- عمق های مختلف نمودار های دز – عمق برای داده های محاسباتی و تجربی ۹۱

جدول۴-۲- مقادیر محاسباتی و تجربی دز، در دزیمتر های ۷-۱۰ و D -۱۰ ... ۹۲

جدول۴-۳- مقادیر بیشینه وکمینه دز در محصول و نسبت یکنواختی ۹۵

جدول۴-۴- دز کمینه و کارایی به ازای عمق های مختلف در دو حالت (۱) با در نظر گرفتن کاهش دز در لبه ها (۲) بدون در نظر گرفتن کاهش دز در لبه ها ۹۷

فهرست شکل ها

شماره **عنوان** **صفحه**

شکل۱-۱- نمودار نمونه تغییرات دز جذبی بر حسب عمق ماده در پرتو دهی توسط الکترون ها ۱۱

شکل۱-۲- پارامترهای باریکه الکترونی و محصول در حین عبور زیر باریکه ۱۳

شکل۲-۱- پدیده های احتمالی هنگام ورود نوترون به ماده ۱۹

شکل۲-۲- مجموعه لایه های آماده شده برای تهیه منحنی دز – عمق ۴۰

شکل۲-۳- رابطه جذب نوری فیلم CTA با طول موج ، قبل از پرتو دهی و بعد از پرتو دهی با الکترون های ۲ MeV ۴۲

شکل۲-۴- منحنی کالیبراسیون دزیمتر CTA استفاده شده در این تحقیق و پارامتر های مربوطه ۴۵

شکل۲-۵- نمایش یک پالس الکترونی ۴۷

شکل۲-۶- مقطع افقی حفره هم محور در رودوترون برای شتاب دهی پی در پی به الکترون ها ۴۸

شکل۲-۷- قسمت های مختلف شتابدهنده رودوترون ۴۹

شکل۲-۸- نمایی از شتابدهنده رودوترون مدل TT-200 ..... ۵۳

شکل۳-۱- مراحل شبیه سازی پرتودهی لایه های آب جهت بررسی اثر الکترون های برگشتی از نواحی مجاور ۵۷

شکل۳-۲- نمودار دز جذبی ناحیه مرکزی بر حسب شعاع خارجی ۵۷

شکل۳-۳- مراحل شبیه سازی پرتودهی لایه های آب جهت بررسی اثر الکترون های اولیه نواحی مجاور ۵۸

شکل۳-۴- نمودار دز جذبی ناحیه مرکزی بر حسب شعاع خارجی ۵۹

شکل۳-۵- نمودار دز جذبی در جهت طول و در عمق ۳/۷۵ g/cm^2 از محصول ۶۰
شکل۳-۶- نمودار دز- عمق در امتداد رخداد بیشینه (مرکز) و کمینه دز (لبه ها) در محصول از جنس آب ۶۱
شکل۳-۷- برشی افقی از محصول شبیه سازی شده در صفحه x-y ۶۳
شکل۳-۸- برشی عمودی از محصول شبیه سازی شده در صفحه x-z ۶۳
شکل۳-۹- نمودار محاسباتی تغییرات دز در در عمق ۲/۲ g/cm^2 سلولز که توسط الکترون های ۱۰ MeV پرتودهی شده است ۶۵
شکل۳-۱۰- نمودارهای دز – عمق در امتداد رخداد بیشینه و کمینه دز در سلولز برای نتایج محاسباتی ۶۶
شکل۳-۱۱- نمودار دز محاسباتی بر حسب فاصله از مرکز (x) در عمق ۲/۲ g/cm^2 محصول برای y=0 ..... ۶۶
شکل۳-۱۲- نمودار دز محاسباتی بر حسب فاصله از مرکز (x) در عمق ۲/۲ g/cm^2 محصول برای y=-16 ..... ۶۷
شکل۳-۱۳- نمودار دز محاسباتی بر حسب فاصله از مرکز (y) در عمق ۳/۴ g/cm^2 محصول برای x=16 ..... ۶۷
شکل۳-۱۴- نمودار دز محاسباتی بر حسب فاصله از مرکز (y) در عمق ۳/۴ g/cm^2 محصول برای x=0 ..... ۶۸
شکل۳-۱۵- نمودار دز محاسباتی بر حسب فاصله از مرکز (y) در عمق ۳/۸ g/cm^2 محصول برای x=0 ..... ۶۸
شکل۳-۱۶- نمودار دز محاسباتی بر حسب فاصله از مرکز(x) در عمق ۳/۸ g/cm^2 محصول برای y=0 ..... ۶۹
شکل۳-۱۷- وسیله گوه برای اندازه گیری انرژی دستگاه ۷۱
شکل۳-۱۸- منحنی دز- عمق به دست آمده از روش گوه برای اندازه گیری انرژی دستگاه ۷۲

شکل۳-۱۹- توزیع پرتو الکترونی برروی نوار نقاله ۷۴
شکل۳-۲۰- نمودار طول اسکن در روی سطح محصول حاصل از داده های تجربی ۷۵
شکل۳-۲۱- منحنی پهنای باریکه در روی سطح محصول حاصل از داده های تجربی ۷۶
شکل۳-۲۲- منحنی پهنای باریکه در فاصله cm ۱۰۰ از کف پالت حاصل از داده های تجربی ۷۶
شکل۳-۲۳- نحوه اندازه گیری زاویه تابش الکترون ها در جهت طول اسکن ۷۷
شکل۳-۲۴- نحوه اندازه گیری زاویه تابش الکترون ها در جهت حرکت تسمه نقاله ۷۷
شکل۳-۲۵- پیکر بندی لایه ها ی کاغذ و محل دزیمترهای CTA در آن ۷۹
شکل۳-۲۶- نحوه قرار گرفتن و شماره گذاری دزیمترها در هر لایه ۸۰
شکل۳-۲۷- تصویر هایی از محصول نمونه از جنس سلولز که آماده پرتو دهی است ۸۲
شکل۳-۲۸– محصول نمونه در حین پرتو دهی ۸۳
شکل۳-۲۹- نمودار تغییرات دز در عمق g/cm^2 ۲/۲ سلولز که توسط الکترون های MeV ۱۰ پرتودهی شده است ۸۵
شکل۳-۳۰- نمودارهای دز – عمق در امتداد رخداد بیشینه و کمینه دز در سلولز برای نتایج تجربی ۸۶
شکل۳-۳۱- نمودار دز تجربی بر حسب فاصله از مرکز (x) برای دزیمتر ۴-۶ در عمق g/cm^2 ۲/۲ محصول ۸۶
شکل۳-۳۲- نمودار دز تجربی بر حسب فاصله از مرکز(x) برای دزیمتر ۷-۶ در عمق g/cm^2 ۲/۲ محصول ۸۷
شکل۳-۳۳- نمودار دز تجربی بر حسب فاصله از مرکز (y) برای دزیمتر G- ۸ در عمق g/cm^2 ۳/۱ محصول ۸۷

شکل۳-۳۴- نمودار دز تجربی بر حسب فاصله از مرکز (y) برای دزیمتر D- ۸ در عمق g/cm^2 ۳/۱ محصول ۸۸
شکل۳-۳۵- نمودار دز تجربی بر حسب فاصله از مرکز (y) برای دزیمتر D-۱۰ در عمق g/cm^2 ۳/۸ محصول ۸۸
شکل۳-۳۶- نمودار دز تجربی بر حسب فاصله از مرکز (x) برای دزیمتر ۷-۱۰ در عمق g/cm^2 ۳/۸ محصول ۸۹
شکل۴-۱- مقایسه نتایج محاسباتی و تجربی دز بر حسب فاصله از مرکز (x) در عمق g/cm^2 ۳/۸ محصول، در دزیمتر ۷- ۱۰ ..... ۹۳
شکل۴-۲- مقایسه نتایج محاسباتی و تجربی دز بر حسب فاصله از مرکز (x) در عمق g/cm^2 ۳/۸ محصول، در دزیمترD-۱۰ ..... ۹۳
شکل۴-۳- نمودار نسبت یکنواختی بر حسب عمق، با و بدون در نظر گرفتن کاهش دز در لبه ها برای نتایج تجربی ۹۵
شکل۴-۴- نمودارهای کارائی، با و بدون در نظر گرفتن کاهش دز در لبه ها ۹۸
شکل۴-۵- نمودار نسبت یکنواختی و کارایی با در نظر گرفتن کاهش دز در لبه ها ۹۹
شکل۴-۶- نمودار نسبت یکنواختی و کارایی بدون در نظر گرفتن کاهش دز در لبه ها ۹۹

فصل اول

مقدمه

اصولاً فرآیند پرتودهی تحت تابش قرار دادن محصولات و مواد به منظور تغییر در خواص فیزیکی، شیمیایی یا بیولوژیکی شان به منظور افزایش سودمندیشان است. اگر چه تابش های گاما، ایکس و الکترون که در صنعت مورد استفاده قرار می گیرند با روش های مختلفی تولید می شوند و بر همکنش های متفاوتی در ماده دارند ولی در نهایت دارای یک اثر مشترک خواهند بود. انرژی منتقل شده به وسیله این پرتو ها در فرآیند پرتو دهی باعث تغییرات فیزیکی یا شیمیایی شده و می تواند در نهایت منجر به پلیمریزاسیون، پیوند عرضی، استریلیزاسیون وغیره گردد. این نوع پرتو ها از پرتوهای یونیزان بوده و انرژی آنها در حدی است که فقط الکترون ها و اتم ها را از مولکول ها جدا کرده و آنها را به یون تبدیل می کند ولی موجب القاء رادیو اکتیویته در ماده مورد پرتو دهی نمی شود.

در این فصل ابتدا به معرفی و اهمیت پرتو فرآوری و توضیح مفاهیم مربوطه پرداخته شده؛ و در ادامه، مطالبی در مورد بر همکنش الکترون ها در ماده آورده شده است. در پایان پارامترهای اصلی در پرتوفرآوری الکترونی معرفی شده اند.

۱-۱ پرتو فرآوری با استفاده از باریکه های الکترونی

پس ازکشف اشعه ایکس توسط رونتگن[۱] درسال ۱۸۹۵ بشر به این فکر افتاد که، علاوه بر گرما، نور یا روش های شیمیایی ممکن است روش های دیگری نیز برای اثر گذاری بر مواد وجود داشته باشد، این اندیشه با کشف رادیو اکتیویته و نوترون در سالهای بعد از ۱۸۹۵ و نیز آشکار شدن هر چه بیشتر خواص اشعه x و گاما پرورش یافت.

پرتوهایی که اثرات عمده بر مواد می گذارند و غالبا مواد را یونیزه می کنند، پرتوهای یون ساز نام دارند منابع انرژی یون ساز شامل سه دسته است:

۱- الکترون های حاصل از شتابدهنده های ذرات

باریکه الکترونی از شتابدهنده های الکترونی تولید می شود. الکترونهای ساطع شده توسط فیلامان، در محیط خلأ در میدان الکتریکی قوی شتاب داده شده و باریکه الکترونی را بوجود می آورد.

۲- اشعه ایکس حاصل از الکترون های شتاب داده شده

اشعه ایکس از تیوب های اشعه ایکس حاصل می شود. در کاربردهای وسیع، تولید اشعه ایکس با انرژی بالا، خروجی باریکه الکترونی به یک هدف تانتالیوم، تنگستن یا طلا تابیده شده که حاصل آن ساطع شدن اشعه ایکس می باشد.

۳- اشعه گاما حاصل از هسته های رادیو اکتیو

این پرتو دارای قدرت نفوذ زیادی است، زیرا تحت تاثیر هیچ میدانی قرار نگرفته و با سرعت نور حرکت می کند. همچنین این پرتو فرکانس بالایی داشته و یکی از انواع پرتو های الکترومغناطیسی می باشد. پرتوی گاما حاصل انتقال هسته از حالت تحریک شده به حالت پایدار می باشد.

هر کدام از این پرتوها خواص متفاوت داشته و اثرات مختلفی نیز روی مواد می گذارند و محدوده استفاده و بهره برداری وسیعی را به خود اختصاص داده اند. یکی از کاربردهای اصلی

۱- Rontgen

این پرتوها، استفاده از آنها در صنعت پرتو فرآیند[1] می باشد. این صنعت در اوایل دهه ۱۹۶۰ معرفی گردید.

در این روش با استفاده از پرتو دهی مواد با دزهای جذبی بالا می توان به اثرات فیزیکی، شیمیایی یا بیولوژیکی معینی دست یافت، سه کاربرد عمده پرتو فرآیند عبارتند از:

۱- استریل کردن محصولات پزشکی

۲- پرتو دهی مواد غذایی

۳- ارتقاء خواص مواد پلیمری

مزایای استفاده از روش پرتو دهی و پرتو فرآوری محصولات که روز به روز در حال گسترش است، به شرح زیر می باشد:

- سریع ترین و راحت ترین روش است.
- به سرعت تاثیر گذار بوده و محصولات بلافاصله قابل استفاده هستند.
- برای انجام واکنش های شیمیایی وقت تلف نمی شود.
- دما، فشار و رطوبت بر عملکرد آن تاثیر ندارد.
- افزودنی های شیمیایی، به محصولات پرتو دهی شده اضافه نمی گردد.
- محصولات به همان صورت بسته بندی نهایی قابل پرتو دهی هستند.

شتابدهنده های الکترونی را می توان به سه دسته تقسیم کرد:

۱- شتابدهنده های با انرژی پایین (۰/۱۵-۰/۵ MeV) که جریان پیوسته ای از الکترون ها را با توزیع یکنواخت در یک ناحیه مشخص تولید می نمایند. این نوع سیستم ها در اصلاح سطح یا در پرتودهی لایه های نازک کاربرد دارند.

۲- شتابدهنده های با انرژی متوسط (۰/۵ - ۵ MeV) که جریان پیوسته ای از پرتو های الکترونی پالسی ایجاد می کنند.

۳- شتابدهنده های با انرژی بالا (۵ -۱۰ MeV) که به علت تولید باریکه الکترون با قدرت نفوذ زیاد، در محصولات صنعتی از اهمیت زیادی برخوردار هستند.

۱- Radiation Processing

یکی از پارامترهایی که در پرتو دهی باید به آن توجه شود، ضخامت ماده مورد پرتو دهی می باشد، اگر ضخامت ماده مورد پرتو دهی کمتر از برد الکترون در آن ماده باشد، در این صورت باید پس پراکندگی زیرین ماده را از بین برد تا ماده در سطح تماس زیرین، دز اضافی جذب نکند. برای موادی که ضخامت آنها بیش از برد الکترون در آن ماده است می توان پرتو دهی را برای ضخامت های مناسب از دو طرف انجام داد.

۱-۲ بر همکنش پرتو های یون ساز در ماده

پرتو های یون ساز به پرتو هایی گفته می شود که موجب یونیزه شدن اتم ها می شود در عمل یون سازی پرتو موجب می شود که اتم یک الکترونش را از دست داده و بصورت یون مثبت درآید و الکترون آزاد هم خود به صورت یون منفی است.

هنگامی که الکترون به درون اتم می رود چون الکترون ها و هسته هر دو دارای بار الکتریکی هستند، لذا میدان الکتریکی پرتو با میدان الکتریکی آنها تداخل کرده و روی هم اثر می گذارند، این تاثیر ممکن است موجب تحریک الکترون در محدوده مدار خودش یا تغییر مکان آن از مداری به مدار دیگر (تحریک اتم) یا از جا کنده شدن و نهایتا پرتاب شدن الکترون به خارج از اتم گردد (یونیزه شدن). البته هیچ یک از این حالات پایدار نبوده و به هر ترتیب اتم به حالت اولیه اش برمی گردد. در این برگشت اتم درست معادل همان مقدار انرژی که از پرتو گرفته است، انرژی دریافتی اش را بصورت امواج ایکس پس می دهد [پرنیان پور، حسن؛۱۳۷۰].

اگر الکترون بتواند به هسته اتم برسد پایداری آن را به هم می زند این برخورد هنگامی میسر است که انرژی پرتو زیاد یا دارای انرژی کاملا معینی باشد تا بتواند از حصار پتانسیل موجود در اطراف هسته بگذرد. بنابراین یکی از اثرات این پرتوها بر ماده تولید هسته های ناپایدار و پرتوزاست.

یک الکترون در برخورد با یک اتم ممکن است:

- بطور الاستیک و بدون اتلاف انرژی بطور متوالی پراکنده شود و بدون مختل کردن اتم آن را ترک کند (Multiple Scaterring).

- با پراکندگی از هسته، یک فوتون ساطع کند و الکترون با کاهش انرژی اش به راه خود ادامه دهد (تابش ترمزی[۱])، گاهی ممکن است یک فوتون ساطع شود در حالی که پراکندگی از یک الکترون اتمی صورت گرفته است.

- پراکندگی ناکشسان با الکترون اتمی که الکترون اتمی به تراز برانگیخته می رود در حالی که پرتابه اصلی با کاهش انرژی به راه خود ادامه می دهد (برانگیزش).

- بیرون انداختن یکی از الکترون های اتمی و یونیزه کردن اتم. در این برهمکنش دو الکترون نقش دارند که الکترون با انرژی بیشتر به عنوان الکترون اولیه در نظر گرفته می شود (یونش).

پدیده های تابش ترمزی، یونش و برانگیزش در اتلاف انرژی الکترون دخالت دارند. اتلاف انرژی صورت گرفته با یونش و برانگیزش با عنوان اتلاف انرژی برخوردی و اتلاف انرژی صورت گرفته با تابش ترمزی با عنوان اتلاف انرژی تابشی شناخته می شود. پدیده دیگری که سهم کمتری در اتلاف انرژی دارد (۰/۰۱٪)، تولید و نابودی انرژی در تابش چرنکوف[۲] در مواد اپتیکی است، که هنگامی صورت می گیرد که سرعت الکترون از سرعت فاز نور در محیط تجاوز کند [Carron N. J, 2006; miller. R. B, 2005] .

الکترونی که از میان اتمهای ماده عبور می کند بیشتر از طریق نیروی کولنی با الکترون های اتمی وارد برهمکنش می شود. اگر چه ذره در هر برخورد بطور متوسط بیش از چند الکترون ولت انرژی جنبشی از دست نمی دهد ولی بیشترین اتلاف انرژی در واحد طول مسیر ذره، ناشی از یونش و بر انگیزش اتم هاست. اتلاف انرژی در یک برخورد هسته ای خیلی بیشتر است ولی چنین برخوردهایی نسبت به برخوردهای اتمی به ندرت اتفاق می افتد (تقریبا به نسبت سطح مقطع هسته به سطح مقطع اتم، یعنی $\frac{10^{-24}\mathrm{cm}^2}{10^{-16}\mathrm{cm}^2}=10^{-8}$) از این رو، برخوردهای هسته ای سهم قابل توجهی در اتلاف انرژی کل ندارند [می یرهوف، والتر؛ ۱۳۷۸].

۱-Bremsstrahlung
۲-Cherenkov

در انرژی های جنبشی بالا، اتلاف انرژی توسط گسیل تابش الکترو مغناطیسی بیش از پیش اهمیت پیدا می کند. این همان تابش ترمزی است. طبق معادلات ماکسول، هر بار شتابدار، تابش الکترومغناطیسی تشعشع می کند. هر گاه یک ذره باردار از نزدیکی یک هسته عبور کند بردار سرعت آن سریعا تغییر می کند (لااقل از نظر جهت، گر نه از نظر بزرگی) بطوریکه ذره دستخوش یک شتاب می شود و بنابراین تشعشع می کند.

۱-۳ مفاهیم و پارامترهای اساسی در پرتو فرآوری الکترونی

چندین پارامتر اصلی وجود دارد که برای توصیف مناسب یک سیستم پرتودهی الکترونی مورد نیاز است. علاوه بر توان توقف، برد الکترون، دز، آهنگ دز و منحنی های دز – عمق، نسبت یکنواختی، آهنگ تولید وکارایی سیستم نیز می توانند از پارامترهای مهم به حساب آیند.

در این قسمت هر یک از این پارامترها معرفی و مورد بحث قرار می گیرند.

۱-۳-۱ توان توقف و برد الکترون

- توان توقف[۱]

به علت برد نامتناهی نیروی کولنی، ذره بارداری که در یک ماده حرکت می کند به طور همزمان با الکترون های اتمی بسیاری بر همکنش می کند و بنابراین انرژی خود را به تدریج و بطور پیوسته در طول مسیر حرکت از دست می دهد. اگر ذره باردار فرودی الکترون باشد، در هنگام برخورد با الکترون های اتمی ممکن است تمام انرژی خود را در یک تک برخورد از دست بدهد، زیرا این برخورد شامل دو ذره با جرم های برابر است. همچنین با توجه به اینکه

۱- Stopping Power