

۱۰۲۹۲۷

دانشگاه پیام نور

دانشکده : علوم

گروه : شیمی

تأثیرات بیولوژیکی پرتوهای یون ساز و پیامد های مترتب از فروپاشی کربن-۱۴
در برخی مولکول های حیاتی حاوی آن

پایان نامه :

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته : شیمی فیزیک

مؤلف:

عبدالرضا سیف

استاد راهنما اول:

دکتر غفارمتدین اول

استاد راهنما دوم:

دکتر فریدون اشرفی

۱۳۸۷ / ۲ / ۱۱

ماه و سال انتشار

شهریور ۱۳۸۶

۱۰۳۹۳۷

تصویب نامه پایان نامه

پایان نامه تحت عنوان: تاثیرات بیولوژیکی پرتوهای یون ساز و پیامد های مترتب از فرو پاشی کربن ۱۴ در برخی مولکول های حیاتی.
که توسط آقای عبدالرضا سیف تهیه و به هیات داوران ارائه گردیده است مورد تایید است.

تاریخ دفاع: ۱۳۸۶/۶/۲۱ نمره: ۱۸/۵ هیئت داوران درجه ارزشیابی: عالی

اعضای هیات داوران:

نام و نام خانوادگی	هیات داوران	مرتبه علمی	امضا
۱- غفار متدین اول	استاد راهنما	دانشیار	
۲- فریدون اشرفی	استاد مشاور	استاد یار	
۴- آرمن آوانس	استاد ممتحن	استادیار	
۵- وحید معینی	نماینده گروه آموزشی	استاد یار	

۱۳۸۷ / ۲ / ۱۱

به نام خدا

تقدیم به پدر ، مادر ، عمه ، همسر ، فرزندان
و همه ی افرادی که در ذهنم جای پای دارند !

به نام خدا



بیوگرافی :

عبدالرضا سیف متولد ۱۳۴۶ در شهرستان ملایر و سپس مهاجرت به نهاوند و کرج .

تحصیلات :

ابتدایی: ۵۸ - ۱۳۵۳ در نهاوند
راهنمایی: ۶۱ - ۱۳۵۸ در نهاوند
دبیرستان: ۶۵ - ۱۳۶۱ در نهاوند

دوره دوساله تربیت معلم - فوق دیپلم ریاضی : ۶۷ - ۱۳۶۵ در تهران

کارشناسی - دانشگاه بوعلی سینا - گرایش شیمی محض: ۷۲ - ۱۳۶۸ در همدان

کارشناسی ارشد - دانشگاه پیام نور - گرایش شیمی فیزیک : ۸۶ - ۱۳۸۲ در ساری

تأثیرات بیولوژیکی پرتوهای یون ساز و پیامد های مترتب از فروپاشی کربن-۱۴ در برخی مولکول های حیاتی حاوی آن

چکیده

مواد پرتوزا (رادیواکتیو) بعد از فروپاشی و ساطع کردن پرتوهایی اعم از ذره هایی مانند آلفا، بتا، پوزیترون، نوترون و پرتوهای الکترومغناطیس مانند ایکس و گاما اثراتی بر موجودات زنده می گذارند. اگر این پرتوها از خارج بر آن موجود اثر کند، مقدار زیادی از آن توسط پوست جذب شده و اثرات کمتری دارد. اما اگر این پرتوها از درون بدن و یا داخل سلول ساطع شود اثرات زیان بارتری خواهد داشت. عناصر پرتوزا موجود در بدن انسان ها عموماً عبارتند از ^{14}C , ^4K , ^{87}Rb , ^{113}Cd , ^{210}Pb , Ra, U.

حضور و فروپاشی کربن - ۱۴ در مولکول DNA و یا سایر مولکول های مربوط به حیات باعث تغییراتی در آنها و در محیط اطراف آن مولکول ها در سلول شده و می تواند برای ادامه ی عادی حیات موجود زنده آسیب ساز باشد. از آنجا که به ازاء هر 10^{11} اتم کربن - ۱۲ یک اتم کربن - ۱۴ در موجود زنده وجود دارد، لذا تعداد اتم های کربن - ۱۴ در موجود زنده قابل توجه می باشد. با فروپاشی هر اتم کربن - ۱۴ یک ذره بتا با ماکزیم انرژی جنبشی 154keV ساطع شده و خود آن اتم به اتم نیتروژن با یک بار مثبت تبدیل می شود. ضمناً لگدی به اندازه ی 154keV نیز به اتم فروپاشی کننده وارد می شود. ذره بتای پرتاب شده از هسته ی اتم کربن - ۱۴ می تواند هزاران یون و رادیکال، به ویژه رادیکال OH، در سلول ایجاد کند که زیان های احتمالی حاصل از آن ها مورد انتظار می باشد. لگدی 154keV وارد شده بر هسته ی اتم فروپاشی کننده نیز می تواند سبب ساز پرتاب شدن آن هسته (اتم) به بیرون از مولکول حاوی آن اتم شده و بدین ترتیب با شکسته شدن پیوند های شیمیایی در همان محل فروپاشی از مولکول، گسستگی در مولکول حاصل شود. اگر مولکول حاوی آن اتم کربن - ۱۴ فروپاشی کننده، DNA باشد، زیان های احتمالی ناشی از گسستگی DNA در همان محل از فروپاشی نیز مورد انتظار است. نکته ای که در این پایان نامه مورد توجه قرار گرفته است پیامد های شیمیایی ناشی از تبدیل شدن یک اتم کربن - ۱۴ به اتم نیتروژن با یک بار مثبت در DNA می باشد. یکی از محتمل ترین پیامد ها دفع شدن یک پروتون از اطراف N^+ ایجاد شده در مولکول DNA است که مولکول را به پایداری نسبی می رساند. در صورت عدم امکان پروتون دهی در آن نقطه از حضور N^+ احتمال ایجاد گسستگی و تخریب در DNA وجود دارد که واضحاً می تواند پیامد های زیستی نامطلوب داشته باشد.

کلمات کلیدی:

پرتوزایی (رادیواکتیویته)، فروپاشی کربن - ۱۴، تخریب در مولکول های حیاتی، تخریب مولکول های حیاتی در اثر فروپاشی کربن - ۱۴، تخریب DNA حاوی کربن - ۱۴، مکانیسم تخریب DNA در اثر فروپاشی کربن - ۱۴، عناصر رادیواکتیو در بدن انسان، آثار زیست شناختی پرتوهای یون ساز.

به نام خدا

ای خدای پاک بی انباز و یار
دست گیر و جرم ما را در گذار
کیمیاداری که تبدیلیش کنی
گرچه جوی خون بود نیلش کنی
این چنین مینا گری ها کار تست
این چنین اکسیر ها ز اسرار تست.

«مولانا»

مقدمه :

همانطور که مشهور است ، در سال ۱۸۹۶ هانری بکرل^(۱) متوجه ساطع شدن پرتوهایی نظیر پرتوهای تازه کشف شده ی ایکس از ترکیبات اورانیم (پتاسیم اورانیل سولفات) گردید و برای مدتی این پرتو ها به نام پرتوهای بکرل نامیده می شد.

از سال ۱۸۹۸ ماری کوری تحقیقات خود را بر روی ترکیبات اورانیم ساطع کننده این پرتوها شروع کرد و بعداً همسر شیمیدان او پی یر کوری ، استاد دانشگاه سوربن در این تحقیقات به او پیوست . هانری بکرل ، پی یر کوری و ماری کوری مشترکاً جایزه نوبل ۱۹۰۳ را در فیزیک دریافت داشتند . کوشش های غول آسای ماری کوری و پی یر کوری برای مشخص کردن عناصر ناشناخته ای که همراه اورانیم وجود داشت و بسیار فعال تر بودند، کشف شدن Po و Ra را سبب شد. بخاطر کار عظیم ایشان جایزه نوبل ۱۹۱۱ در شیمی به آنها تعلق گرفت که ماری به تنهایی ناچار به دریافت آن شد چرا که پی یر در حادثه ی برخورد با یک کالاسکه وفات یافته بود .

پس از کشف پدیده شکافت هسته ای (nuclear fission) در ۱۹۳۸ و تقریباً هم زمان با شروع جنگ جهانی دوم به منظور استفاده از انرژی عظیم آزاد شده در این فرآیند شکافت هسته ای ، که در اثر شکافت هر هسته $^{235}_{92}U$ حدود ۲۰۰ میلیون الکترون ولت انرژی آزاد می شد (در مقایسه با انفجار TNT که تنها ۹/۲ الکترون ولت انرژی به ازای انفجار هر مولکول TNT آزاد می گردد) تحقیقات گسترده ای در جهت ساخت سلاح های مخرب هسته ای آغاز گردید که منجر به انفجار نخستین بمب اتمی با قدرتی معادل ۲۰ هزار تن TNT در روز ششم آگوست ۱۹۴۵ (۱۵ مرداد ۱۳۲۴) در شهر هیروشیما ژاپن شد و چهره نو پای این علم را از همان ابتدا تیره و تار ساخت ، به گونه ای که با وجود هزاران کاربرد ارزشمند هسته ای حتی در نجات جان انسان ها ، این رشته از دانش هنوز هم نتوانسته است مانند دیگر علوم جایگاه قابل قبول و امنی در جامعه بشری پیدا کند [۳] .

به هر رو ، دستاورد های مربوط به بررسی تاثیر پرتو های ساطع شده از مواد رادیو اکتیو بر مواد بیجان و موجودات جاندار در علم شیمی نیز جا باز کرده و در مشاهدات و نظریه پردازی های فیزیکی شیمیایی مفید به فایده واقع شده است.

ساخت نخستین رادیو ایزوتوپ مصنوعی در ۱۹۳۴ (۱۳۱۳ شمسی) توسط ایرین و پی یر ژولیو - کوری

گزارش گردید .

۱) Becquerel , Henry

در همان سال رادیوایزوتوپی ویژه با کاربرد بالینی نیز ساخته شد و این تحول، تهیه و تولید رادیو دارو ها را در پی داشت. امروزه این مواد جهت تشخیص و درمان در کلیه مراکز عمده پزشکی، بسیاری از بیمارستان های کوچک و کلینیک ها، مورد استفاده قرار می گیرد [۶].

با پیشرفت تکنولوژی، رادیو ایزوتوپ های کم دوام مانند تکنسیم - $99m$ به تدریج جایگزین ایزوتوپ های با نیمه عمر بیشتر، از قبیل ید و فسفر، می شوند. به منظور کاهش دوز تابش و تحمیل میزان کم تری از آن به بیمار، پیش بینی می شود که در آینده ایزوتوپ های با نیمه عمر کوتاه تر (در حد ساعت و دقیقه) کاربرد گسترده تری پیدا کنند [۶].

در این مجموعه بر آن هستیم که اثرات پرتوهای یون ساز (اگر چه خیلی کم و در مدت زمان طولانی) بر بدن نشان داده شده و همچنین تحولات در مولکول های حیاتی حاوی کربن - ۱۴ مورد بررسی قرار گیرد. کربن-۱۴ نیمه عمری در حدود ۵۷۳۰ سال دارد، و در موجودات زنده به ازای حدود یک تریلیون (10^{12}) کربن-۱۲، یک اتم کربن-۱۴ وجود دارد و با متلاشی شدن یک اتم کربن - ۱۴ نره β با ۱۵۴ کیلو الکترون ولت انرژی منتشر می شود [۸].

این تحول چه اثری بر مولکول های حیاتی حاوی کربن - ۱۴ و متعاقباً بر موجود زنده دارد؟ پژوهش های زیادی در این مورد انجام شده که نتایج قابل قبولی نیز به همراه داشته است که به چند مورد از آن اشاره می شود. فروپاشی کربن - ۱۴ در سلول های موجود زنده توسط J. E. Cleaver در سال ۱۹۷۴، چگونگی فروپاشی کربن - ۱۴ در آمینو اسید ها، توسط Mike Conrad در سال ۲۰۰۰، آسیب دیدن و مرمت شدن DNA و بررسی آن توسط J. E. Cleaver در سال ۲۰۰۱ و....

به نام خدا

فهرست

صفحه

عنوان

چکیده و مقدمه

۱-ح

فصل اول رادیو اکتیویته (پرتوزایی)

۱

۱- پرتوزایی (رادیو اکتیویته)

۲

۱-۱- مشخصات اولیه پرتو ها

۳

۱-۲- انواع تبدیل های هسته ای

۴

۱-۳- بر هم کنش پرتو با مواد

۶

۱-۳-۱- بر هم کنش پرتو با هسته اتم

۶

۱-۴- انتقال خطی انرژی (LET)

۷

۱-۵- یونش ویژه

۸

۱-۶- انواع فرو پاشی ها

۸

۱-۶-۱- ذره آلفا و بر هم کنش آن با مواد

۱۱

۱-۶-۲- ذره بتا و بر هم کنش آن با مواد

۱۴

۱-۶-۳- پرتو گاما و بر هم کنش آن با مواد

۱۷

۱-۷- قوانین فرو پاشی و تجزیه رادیو اکتیویته

۱۸

۱-۷-۱- نیم عمر بیولوژیکی

۱۸

۱-۸- احاد اندازه گیری پرتو ها و دزیمتری

۲۱

۱-۹- دزیمتری

فصل دوم مولکول های حیاتی در موجود زنده

۲۳

۲- مولکول های حیاتی در موجود زنده

۲۴

۱-۲- ساختار و اجزاء سلول

۲۸

۲-۲- مواد تشکیل دهنده در موجود زنده

۳۰

۲-۳- پروتئین ها

۳۰

۲-۴- ساختمان عمومی پروتئین ها

۳۳

۲-۵- نوکلئو پروتئین ها

۳۳

۲-۶- بازهای نیتروژن دار

۳۴

۲-۷- قندهای پنج کربنی

۳۵

۲-۸- نوکلئو زید ها

۳۶

۲-۹- نوکلئوتیدها

۳۷	۱۰-۲- اسیدهای نوکلئیک
۳۸	۱۱-۲- DNA و برخی از خواص فیزیکی آن
۳۹	۱۲-۲- ساختمان RNA

فصل سوم ایزوتوپ های کربن

۴۲	۳- عناصر رادیو اکتیو طبیعی در بدن انسان
۴۴	۱-۳- چگونه این اتم های رادیو اکتیو وارد بدن شده اند
۴۶	۲-۳- ایزوتوپ های کربن
۴۷	۳-۳- کربن-۱۴

فصل چهارم آثار زیست شناختی پرتوها

۴۸	۱-۴- آثار زیست شناختی پرتوها
۴۹	۱-۱-۴- اثر مستقیم و غیر مستقیم پرتو
۵۰	۲-۱-۴- آثار زودرس و دیر رس
۵۱	۲-۴- اثرات شیمیایی پرتو
۵۳	۱-۲-۴- آثار پرتو ها بر مولکول های مهم در سیستم زیست شناختی
۵۴	۳-۴- اثر پرتو ها بر پروتئین ها
۵۴	۴-۴- اثر پرتو ها بر آنزیم ها
۵۴	۵-۴- آثار پرتو ها بر اسیدنوکلئیک
۵۷	۶-۴- اثر پرتو بر سلول های خون
۵۸	۷-۴- اثر پرتو بر دستگاه گوارش
۶۰	۸-۴- اثرات پرتو بر عروق
۶۰	۹-۴- اثرات پرتو بر چشم
۶۱	۱۰-۴- اثرات پرتو بر گوش
۶۱	۱۱-۴- اثر پرتو بر استخوان
۶۱	۱۲-۴- اثرات پرتو بر سیستم تنفسی
۶۲	۱۳-۴- اثر پرتو بر دستگاه ادرار
۶۲	۱۴-۴- اثر پرتو بر سیستم های مترشحه ای داخلی
۶۳	۱۵-۴- اثر پرتو بر سیستم عصبی
۶۳	۱۶-۴- اثر پرتو بر اندام های تناسلی
۶۴	۱۷-۴- آثار دیر رس پرتو
۶۴	۱-۱۷-۴- آثار ژنتیکی
۶۵	۲-۱۷-۴- افزایش طول عمر

۶۵	۴-۱۷-۳- کاهش طول عمر
۶۶	۴-۱۸- سرطان‌زایی پرتوهای یون ساز
۶۷	۴-۱۸-۱- ساز و کار سرطان‌زایی
۶۹	۴-۱۸-۲- جنبه‌هایی از رادیکال آزاد سرطان‌زایی پرتو
۶۹	۴-۱۹- حفاظت‌کننده‌ها در برابر پرتو
۷۰	۴-۲۰- سوپر اکسید دیسموتاز
۷۱	۴-۲۱- جهش تک ژنی و ترمیم DNA
۷۲	۴-۲۲- آسیب DNA و مرمت آن
۷۴	۴-۲۲-۱- ترتیب، مخصوص DNA آسیب دیده به وسیله آهن میانی واکنش های (Fenton)
۷۴	۴-۲۳- ساز و کار تأثیر دارو های ضد پرتو
۷۴	۴-۲۳-۱- فرضیه جذب رادیکال های آزاد
۷۵	۴-۲۳-۲- فرضیه ترمیم از طریق جایگزینی اتم های هیدروژن
فصل پنجم تأثیرات ایزوتوپ کربن -۱۴ در سلول های حاوی آن	
۷۶	۵-۱- اطلاعات متابولیکی در مورد کربن -۱۴
۷۶	۵-۱-۱- بررسی پرتو و حفاظت
۷۶	۵-۱-۲- منبع کربن -۱۴
۷۷	۵-۱-۳- موارد استفاده از کربن -۱۴
۷۷	۵-۱-۴- اتفاقی که توسط کربن -۱۴ ها در بدن می افتد
۷۸	۵-۲- اثر اولیه ی واکنش های کربن -۱۴ بر سلامتی
۷۸	۵-۳- آسیب بیولوژیکی در اثر فروپاشی کربن -۱۴ در هسته های داخلی DNA تنها
فصل ششم تحولات مولکول های زیستی حاوی اتم کربن -۱۴	
۷۹	۶-۱- فروپاشی کربن -۱۴ در اسیدهای آمینه
۸۱	۶-۲- بحث و پیشنهاد
۸۳	۶-۲-۱- فروپاشی کربن -۱۴ در مولکول های DNA
۹۶	۶-۳- جمع بندی
۱۰۰	کلمات کلیدی
۱۰۱	مراجع

فصل اوّل

رادیو اکتیویته (پرتوزایی)

۱- پرتوزایی (رادیو اکتیویته)^(۱)

این خاصیت که بعضی از عناصر ناپایدار جهت رسیدن به حالت پایدارتر، از هسته اتم های خود پرتوهایی را منتشر می کنند رادیو اکتیویته (پرتوزایی) و عناصری که دارای این خاصیت می باشند ، عناصر رادیو اکتیو نامیده می شوند .

کشف بکرل^(۲) در سال ۱۸۹۶ از جمله وقایع کم و بیش اتفاقی است که منجر به کشف رادیو اکتیویته شد . در این رابطه دو اتفاق ویژه از اهمیت بالایی برخوردار بوده است : ۱- پدیده اشعه ایکس که یک سال قبل از کشف بکرل یعنی در سال ۱۸۹۵ توسط رنتگن کشف شده بود . ۲- علائق موروئی بکرل به فسفر سانس ، که پدرش ادموند^(۳) فسفر سانس نمک های اورانیوم را مطالعه می کرد و بکرل در ادامه کار پدرش پتاسیم اورانیل سولفات $K_2UO_2(SO_4)_2 \cdot 2H_2O$ را مورد توجه قرار داده و به مطالعه فسفر سانس حاصل از آن که ظاهراً تولید نور ماوراء بنفش می کرد ، پرداخت . در سال های بعد هنگامی که دانشمندان زیادی به دنبال کشف ارتباط اشعه X و فسفر سانس و همچنین تشعشع نافذ حاصل از فسفر سانس بودند ، بکرل همچنان تجربیات خود را در زمینه پتاسیم اورانیل سولفات ادامه داد . در ۲۴ فوریه سال ۱۸۹۶ میلادی (۴ اردیبهشت ۱۲۷۵ شمسی) هنری بکرل اولین نتایج کار خود را اعلام نمود . او هنگامی که کریستال های اورانیل دی سولفات را در معرض تابش تند اشعه خورشید قرار داده بود ، کریستال ها پرتویی از خود ساطع می کردند که پس از عبور از کاغذ سیاه ، شیشه و مواد دیگر ، صفحات حساس عکاسی را سیاه می کردند . نتایج مزبور را با دیگر ترکیبات اورانیل و نیز اورانیوم فلزی تکرار کرد . در همه حالات شدت اشعه نافذ ایجاد شده متناسب با مقدار اورانیوم موجود در آن مواد بود . ولی او متوجه شد که این سیاه شدن فیلم عکاسی توسط ترکیب یاد شده بدون حضور نور خورشید نیز اتفاق می افتد!

در سال ۱۸۹۸ ماری کوری^(۴) و پیر کوری^(۵) اشعه ساطع شده از ترکیبات اورانیوم را یک پدیده ویژه آن عنصر اعلام کردند که به حالت فیزیکی و شیمیایی آن بستگی ندارد و برای نخستین بار نام رادیو اکتیویته را برای این پدیده به کار بردند .

با تغلیظ رادیوم ، کوری ها اندازه گیری هایی در مورد مقدار حرارت ایجاد شده توسط رادیوم انجام دادند و برای هر گرم رادیوم ، ۱۰۰ کالری بر ساعت بدست آوردند . شواهد موجود برای چنین منبعی از انرژی نه تنها

۱) Radioactivity ۲) Antoin Henry Becquerel (۱۸۵۲-۱۹۰۸) ۳) Edmund (۱۶۵۶-۱۷۴۲)

۴) Marie Curie (۱۸۶۷-۱۹۳۴) ۵) Pierre Curie (۱۸۵۹-۱۹۰۶)

بحث هایی بین دانشمندان شد بلکه یک اشتیاق عمومی نسبت به رادیوم و رادیو اکتیویته نیز ایجاد کرد [۳].

۱-۱- مشخصات اولیه پرتوها

تشعشعات رادیو اکتیو نشان داده بود که می توانند الکترو سکوپ را تخلیه الکتریکی نمایند و به زودی نتیجه گیری شد که این تشعشعات قابلیت یونیزاسیون مولکول های هوا را دارند. میزان یونیزاسیون هوا متناسب با شدت تشعشع بود و به زودی از این خاصیت برای اندازه گیری دقیق شدت اشعه، به جای سیاه کردن صفحه عکاسی، استفاده شد. این فن در آزمایشگاه کوری که در آن از یک الکترومتر برای اندازه گیری جریان یونیزاسیون استفاده می شد، به کار گرفته شد. در سال ۱۸۹۹، راترفورد با دستگاه مشابهی روی خواص پرتوها مطالعه نمود. اندازه گیری های اشعه جذب شده توسط ورقه های بسیار نازک نشان داد که اشعه منتشر شده از دو جزء تشکیل شده است: یکی در چند هزارم سانتیمتر از ورقه آلومینیوم جذب می شود که آن را اشعه آلفا (α) و دیگری که تا عمق حدوداً صد برابر بیشتر نفوذ می کرد آن را تشعشع بتا (β) نامید. برای پرتوهای β راترفورد دریافت که اثر یونیزاسیون هنگامی که یک جذب کننده در میدان قرار می گیرد، به اندازه $e^{-\mu d}$ نسبت به مقدار اولیه کاهش می یابد که در آن d ضخامت جذب کننده و μ ضریب جذب می باشد. راترفورد در آن موقع معتقد بود که تشعشع α نیز از قانون اکسپونانسیل پیروی می کند. او μ برای آلومینیوم را به مقدار 1600 cm^{-1} محاسبه کرد. مادام کوری یک سال بعد نشان داد که مقدار μ برای ذرات آلفایی که در جذب کننده نفوذ می کنند، ثابت نمی باشد. تشخیص این که اشعه های α و β به صورت جریانی از ذرات سریع می باشند، عمدتاً ناشی از تجربیات حاصل از انحراف این پرتوها در میدان مغناطیسی بود. در این تجربیات اشعه β به صورت الکترون هایی که با سرعت تقریبی نزدیک به سرعت نور حرکت می کنند دیده شده است. در اوایل، تصور می شد که پرتوهای α در این میدان ها منحرف نمی شوند، اما تجربیات بیشتر نشان داد که انحراف وجود دارد و نسبت بار به جرم آن حدود نصف یون هیدروژن می باشد، که بار آن مثبت و سرعت محاسبه شده یک دهم سرعت نور است. این پیشنهاد که ذرات هسته هلیوم هستند، با مطالعات بعدی مورد تایید قرار گرفت. همچنین، وجود هلیوم در سنگ های معدن اورانیوم و توریم در این رابطه حائز اهمیت تلقی گردید. بعدها یک آزمایش تاییدی نشان داد که پس از عبور اشعه α از دیواره نازک شیشه ای یک محفظه تخلیه شده که سنگ معدن در آن قرار گرفته بود بعد از چند روز در درون محفظه مقداری گاز هلیوم جمع شد که به روش اسپکتروسکوپی نیز ردیابی گردید. قبل از تکمیل مطالعات اشعه α و β یک اشعه نافذ تر که در میدان مغناطیسی منحرف نمی گردید، در مواد رادیو اکتیو یافت گردید. تشخیص این اشعه گاما (γ) به عنوان امواج الکترومغناطیسی، که از نظر خواص (نه انرژی) مانند اشعه X بود، نسبتاً سریع انجام گرفت.

برای مدت های طولانی تمایزی میان اشعه های γ هسته ای و اشعه های x خارج هسته ای که اغلب با تبدیلات رادیواکتیو همراه است ، تشخیص داده نمی شد [۳].

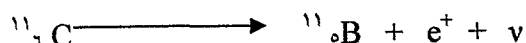
۲-۱- انواع تبدیل ها در هسته ها

هیدروژن سبک تنها اتم بدون نوترون است . در هسته های پایدار ، تعداد نوترون ها مساوی و یا بیش از پروتون ها است . چنانچه تعداد نوترون ها از پروتون ها کمتر باشد ، هسته ناپایدار است و به شکلی پروتون اضافی را از دست می دهد . هلیم - ۳ ، (${}^3\text{He}$) تنها هسته پایداری است که نوترون آن از پروتون ها کمتر می باشد. [۷] در بسیاری از رادیو نوکلئید ها ی سبک ، فزونی نوترون ها به پروتون ها ، علت ناپایداری هسته است . دو نمونه

در این دو مورد عبارتند از : (۱) ${}^{11}_6\text{C}$ ناپایدار به علت کمبود نوترون

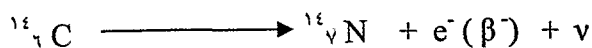
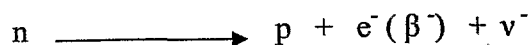
(۲) ${}^{14}_6\text{C}$ ناپایدار به علت فزونی نوترون

کربن - ۱۱ برای رسیدن به حالت پایدار ، یک پروتون از دست می دهد . بدین ترتیب که در درون هسته یک پروتون واپاشی می کند و به نوترون ، پوزیترون (β^+) و نوترینو تبدیل می شود . نوترون درون هسته می ماند اما پوزیترون و نوترینو از هسته گسیل^(۱) می شوند . پس از این واپاشی از عدد اتمی هسته یکی کم می شود ، در حالی که عدد جرمی ثابت می ماند ، در نتیجه کربن به بور (${}^{11}\text{B}$) تبدیل می گردد .



در کربن - ۱۴ تعداد نوترون ها بیش از حالت پایدار برای هسته کربن است . در این هسته یک نوترون اضافی است و باید از دست برود . با واپاشی ، نوترون به یک پروتون ، الکترون (e^-) و آنتی نوترینو تبدیل می شود . پروتون درون هسته می ماند ، نوترینو و ذره بتا از هسته گسیل می گردند ، چون یک نوترون از هسته کم شده ولی عدد جرمی ثابت مانده است ، حاصل این واپاشی^(۲) ، نیتروژن-۱۴ است .

آنتی نوترینو + الکترون + پروتون \longrightarrow نوترون



(۱) emit

(۲) decay

نوترینو و آنتی نوترینو ، بدون بار هستند و تقریباً جرم ندارند . به همراه هر فر وپاشی ، انرژی نیز به صورت انرژی جنبشی ذرات فروپاشی شده آزاد می گردد . مقدار انرژی به نوع فروپاشی ، جنس هسته های اولیه و حاصل وابسته است . در نوع دیگری از فروپاشی ، ذرات آلفا از هسته گسیل می گردد . در تعدادی از هسته های سنگین ، نوترون به وفور یافت می شود . در هسته های سنگین نسبت نوترون ها به پروتون ها از مرز ۱/۵ نیز می گذرد . این هسته های سنگین رادیو اکتیو ، غالباً مجموعه ای از ۲ پروتون و ۲ نوترون که همان ذره آلفا باشد، آزاد می کنند و اتم جدیدی پدید می آید که به احتمال زیاد باز هم ناپایدار بوده و گسیلنده ذره آلفا است . به این ترتیب در پی هم و در یک زنجیره واپاشی ، ذرات آلفا و بتا از هسته گسیل می شود تا به هسته پایدار برسد . عناصر سنگین طبیعی که گسیلنده آلفا می باشند با گسیل پیاپی ذرات آلفا و یا بتا به سرب و بیسموت پایدار تبدیل می شوند .

پس از خروج ذره آلفا و بتا هسته ای بر جا می ماند که معمولاً برانگیخته است و مقداری انرژی اضافی در بردارد و غالباً آن را به صورت فوتون گاما از دست می دهد . بدین جهت در پی خروج آلفا و بتا ، در بسیاری از موارد ، پرتو گاما نیز گسیل می شود .

علاوه بر گسیل گاما ، هسته های برانگیخته به گونه های دیگری نیز امکان از دست دادن انرژی اضافی را دارند ، مانند ، تبدیل داخلی^(۱) ، گیر اندازی الکترون^(۲) از مدار [۷] .

۱-۳- برهم کنش پرتو با مواد

پرتو ، هم سازنده و هم مخرب است ، در حالی که در تشخیص و درمان بیماری ، رادیو نوکلئید و پرتو به طور گسترده ویا کارایی بسیار خوب به کار می رود ، با اندک غفلتی می تواند آسیب رسان شود . برای تجهیز در برابر پرتو و تامین ابزار حفاظت و ایمنی و برای این که کاربرد رادیو نوکلئید ها نتایج مورد نظر وارزنده ای بار آورد ، و آسیب ها و ضایعات به حداقل ممکن تقلیل یابد . لازم است از چگونگی تاثیر تابش و پدیده های ناشی از آن اطلاعات لازم و دقیق داشت . پرتوهایی که در علوم پزشکی به کار می رود به دو دسته تقسیم می شوند :

الف) ذره ای ، ۱- باردار مانند آلفا و بتا ۲- بدون بار مانند نوترون

ب) پرتو های الکترو مغناطیس (بدون بار و جرم) مانند اشعه ایکس و گاما .

۱) Internal conversion

۲) Electron capture

ذرات باردار به پرتو های یوننده مستقیم موسومند . ذرات نوترون و فوتون های ایکس و گاما نیز موجب یونش می شوند ولی چون با همان روند ذرات باردار عمل نمی کنند ، یوننده های غیر مستقیم نامیده شده اند . هر عملی که موجب کاهش انرژی و یا تغییر مسیر پرتو شود، بر هم کنش پرتو یا ماده محسوب می گردد . کشف اتفاقی پرتوزایی نتیجه اثر پرتو آلفا منتشره از سنگ معدن اورانیوم بر صفحه عکاسی بوده است . یونش و حالت برانگیخته الکترونی اتم ها در مواد، نخستین اثر ذرات باردار و تابش های ایکس و گاما است که گسسته شدن برخی از پیوند های شیمیایی و پیدایش رادیکال ها را در پی دارد . در یک جسم مرکب و یا در یک مخلوط ، هر یک از این اجزای تولید شده ، می تواند واکنش های ساده و یا پیچیده ای را موجب شود که نتیجه نهایی آن تولید مواد جدید است . اگر چنین عملی در یک محیط بیولوژیکی رخ دهد ، ناهنجاری شدیدی می تواند ایجاد کند که ضایعات کم و بیش مهمی می تواند به همراه داشته باشد . مقدار و نوع اجزای فعالی که از بر هم کنش پرتو یا مواد ایجاد می شود به چندین عامل وابسته است [۷] .

الف) شدت و نوع پرتو: در واقع اثر نهایی پرتوها به تعداد یونش و تحریک هایی بستگی دارد که در واحد حجم ماده رخ می دهد . تعداد یونش و تحریک ها به شدت و نوع پرتو وابسته است .

ب) حالت فیزیکی جسم: هر چند واپاشی رادیو نوکلئید و گسیل پرتو مستقل از حالت فیزیکی و شرایط شیمیایی است، ولی چگونگی و میزان اثر پرتوها به حالت فیزیکی جسمی بستگی دارد که بر هم کنش با آن صورت می گیرد .

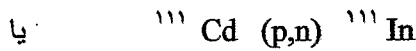
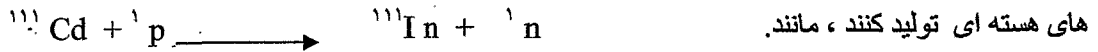
ج) ساختمان شیمیایی: با عبور پرتو از یک ترکیب ، واکنش های متعددی رخ می دهد . برای یک پرتو خاص، نوع و پیشرفت واکنش با ساختمان شیمیایی جسم مورد اصابت پرتو ارتباط دارد .

در شیمی کلاسیک، پیشرفت واکنش را با مقدار حرارت تولیدی و یا مصرف شده می توان سنجید . در فوتوشیمی بازدهی کوانتومی^(۱) معیار سنجش واکنش هاست . در رادیو شیمی ، بازدهی واکنش با مقدار انرژی که پرتو به مواد می دهد ، سنجیده می شود و در ازای 100 eV انرژی تعیین می گردد . تعداد مولکول هایی که در ازای 100 eV انرژی پرتو به وجود می آید ملاک بر هم کنش پرتو با مواد است . در هوا برای ایجاد یک یون به طور متوسط $34-30 \text{ eV}$ انرژی مصرف می شود . انرژی لازم جهت ایجاد یک جفت یون در بافت های مختلف متفاوت است ولی معمولاً متوسط آن نیز همین مقدار در نظر گرفته می شود [۷] .

۱) Quantum yield

۱-۳-۱ برهم کنش پرتو با هسته اتم

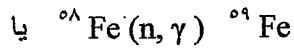
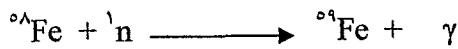
ذرات باردار پرتو انرژی می توانند از میدان اطراف هسته بگذرند و در اثر برهم کنش با هسته ، واکنش



نوترون که بار الکتریکی ندارد ، با انرژی بسیار کم (حدود ۰/۰۲۵ ev) نیز می تواند به هسته برسد و با آن برهم

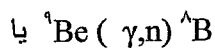
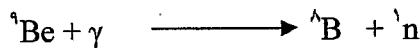
کنش کند و یک واکنش هسته ای پدید آورد . بسیاری از رادیو نوکلئید هایی که امروزه در پزشکی هسته ای به کار

می روند، با این روش تولید می شوند ، مانند



پرتو گاما با انرژی زیاد می تواند با برخی از عناصر سبک واکنش هسته ای بدهد . واکنش زیر یک چشمه

نوترون است و گاما با انرژی ۱/۶۷Mev می تواند این واکنش هسته ای را ایجاد کند [۷].

۱-۴- انتقال خطی انرژی LET^(۱)

مقدار انرژی که پرتو در واحد طول مسیرش به ماده منتقل می کند به انتقال خطی انرژی موسوم است و با

علامت اختصاری LET نشان داده می شود . هر چه تعداد الکترون در واحد حجم ماده بیشتر باشد ، شانس تعداد

برهم کنش پرتو با ماده زیادتر می شود و به میزان از دست رفتن انرژی در واحد طول مسیر ، افزوده می گردد. اگر

مقدار LET با $\frac{\Delta E}{\Delta X}$ نشان داده شود ، مقدار آن برای ذرات باردار با بار مثبت از رابطه (۱) به دست می آید :

$$\frac{\Delta E}{\Delta X} = K \frac{z^2}{v^2} \quad , nZ \quad (1)$$

که در آن ، z بار ذره ، v سرعت خطی ذره ، n تعداد الکترون ها در واحد حجم ماده و Z عدد اتمی ماده ای است

که برهم کنش با آن صورت گرفته است . مقدار n Z معرف مقدار بار الکترون های موجود در واحد حجم ماده

است .

۱) Linear Energy Transfer

معمولاً انتقال خطی انرژی بر حسب کیلو الکترون ولت بر میکرون (Kev / μ) بیان می شود و مقدار آن

برای ذرات بار دار سنگین بیش از بتا است ، و برای یک نوع ذره هر چه انرژی جنبشی آن کمتر باشد ، بیشتر است [۷].

۱-۵ یونش ویژه SI^(۱)

تعداد یون های تولید شده به ازاء واحد طول مسیر یک تابش ، یونش ویژه نام دارد و مقدار آن با LET

متناسب است. اگر انرژی لازم برای تولید یک جفت یون ، با a و یونش ویژه با SI نشان داده شود ، مقدار a از

$$\text{LET} = \Delta E / \Delta X = \text{SI} \cdot a$$

رابطه زیر به دست می آید :

تجربه نشان می دهد که مقدار a مستقل از انرژی و نوع تابش است و فقط به ماهیت ماده بستگی دارد ، اما

یونش ویژه ، قویاً به انرژی و نوع پرتو وابسته است . با انرژی مساوی ، سرعت ذره آلفا از سرعت بتا کمتر است

در نتیجه در واحد طول مسیر ، تعداد برخورد آن زیادتر و یونش ویژه متراکم تر است [۷].

جدول (۱-۱) یونش ویژه ذره آلفا ، در یک سانتیمتر هوا [۷]

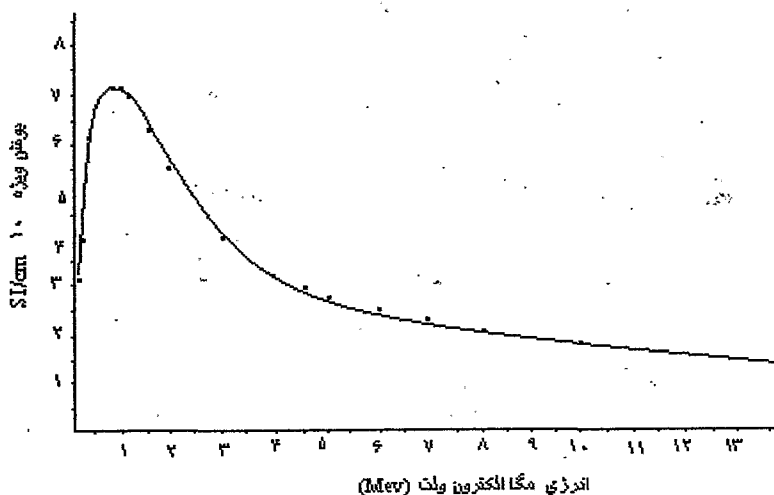
انرژی (Mev) $\times 10^{-2}$ SI/cm	انرژی (Mev) $\times 10^{-2}$ SI/cm	انرژی (Mev) $\times 10^{-2}$ SI/cm	انرژی (Mev) $\times 10^{-2}$ SI/cm
۲/۵	۶	۶/۳	۱/۵
۲/۳	۷	۵/۳	۲
۲	۸	۴	۳
۱/۷	۱۰	۳/۳	۴
۱	۲۰	۳/۱	۴/۵
		۲/۹	۵
			۷

ارتباط یونش ویژه و انرژی در نمودار شکل (۱-۱) نشان داده شده است. در مقادیر کم انرژی، یونش ویژه

به صورت صعودی می باشد، تا انرژی به یک مگا ژول برسد و با افزایش انرژی یونش ویژه به آرامی کاهش می

یابد .

۱) Specific ionization



شکل (۱-۱) ارتباط یونش ویژه با مقدار انرژی جنبشی ذره

۶-۱ - انواع فروپاشی ها و اثر آن بر مواد

فروپاشی ها به صورت مجزا در زیر بررسی می شوند.

۶-۱-۱ : ذره آلفا و بر هم کنش آن با مواد

ذره آلفا، متشکل از دو پروتون و دو نوترون است و لذا هر ذره آلفا، دو بار مثبت و جرمی تقریباً چهار برابر واحد جرم اتمی دارد. این ذره معمولاً از رادیونوکلئید های سنگین گسیل می شود. ذرات آلفای حاصل از هسته های یک رادیونوکلئید انرژی مساوی دارند، گرچه برخی از رادیونوکلئید ها چند گروه آلفا با انرژی نابرابر ساطع می کنند اما انرژی ذرات هر گروه یکسان است.

انرژی ذرات آلفای حاصل از رادیوایزوتوپ های طبیعی بین ۹ Mev - ۴/۲ و سرعت آن ها حدود یک دهم سرعت نور (حدوداً $1/37 \times 10^7$ m/s) است. که در بین هسته های گسیلنده ی آلفا، هسته های با نیمه عمر کوتاهتر ذرات آلفای با انرژی بیشتر، گسیل می کنند.

قدرت نفوذ ذرات آلفا در هوا کم است و برای ذرات آلفای (۹-۴ Mev) حدود ۳ تا ۹ سانتیمتر است.

رابطه ی زیر یک تقریب رضایت بخش از طول مسیر آن در هوا می دهد :

$$E \text{ (Mev)} = 1/12 \frac{R \text{ (cm)}}{R \text{ (cm)}} \Rightarrow R \text{ (cm)} = \frac{E \text{ (Mev)}}{1/12 \frac{R \text{ (cm)}}{R \text{ (cm)}}} \Rightarrow R \text{ (cm)} = \frac{E \text{ (Mev)}}{1/65}$$

در این رابطه E انرژی ذره و R طول مسیر ذره ی آلفا بر حسب سانتی متر در هواست.