بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده علوم

گروه: فیزیک

پایان‌نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

گرایش فیزیک گرایش هسته‌ای

موضوع:

بررسی بیوفیزیکی ناهنجاری‌های سیتوژنتیکی القا شده توسط پرتوهای گاما در سلول‌های K562

نگارش:

طاهره کرمی

استاد راهنما:

پروفسور رسول خدابخش **دکتر مهدی محمد زاده**

استاد مشاور: دکتر یعقوب پاژنگ

بهمن ۱۳۹۳

حق جاپ وتکثیر مطالب این پایان نامه برای دانشگاه ارومیه محفوظ است

تقدیم به:

روح پر فتوح پدر بزرگوارم

و مادرم، دریای بی کران فداکاری و عشق که وجودم برایش همه رنج بود و وجودش برایم همه مهر

و همسرم:

که سایه مهربانیش سایه سار زندگیم می باشد، او که اسوه صبر و تحمل بوده و مشکلات مسیر را برایم تسهیل نمود.

و برادرانم:

که همواره در طول تحصیل متحمل زحماتم بودند و تکیه گاه من در مواجهه با مشکلات، و وجودشان مایه دلگرمی من می باشد

خواهرانم:

که وجودشان شادی بخش و صفایشان مایه آرامش من است.

ضمن سپاس و ستایش به درگاه

ایزد منان که به من توانایی داد که با استعانت از او بتوانم این پژوهش را انجام دهم، بر خود لازم می بینم از دلگرمی و تشویق اساتید و دوستان که در نگارش این مجموعه مرا یاری نمودند، قدردانی نمایم.

اساتید محترم آقایان پروفسور رسول خدابخش، مهدی محمد زاده که در طول نگارش این مجموعه با راهنمایی های عالمانه و بجایشان، سکاندار شایسته‌ای در هدایت این پایان نامه بوده‌اند.

طاهره کرمی

بهمن ۱۳۹۳

چکیده

پرتو درمانی یکی از راه‌های درمان سرطان است که یا به تنهایی یا به همراه دیگر شیوه‌های درمان تجویز می‌شود. پرتو درمانی ممکن است به سلول‌های سالم هم آسیب برساند، بنابراین دز تابشی به شکلی باید کنترل شود که با کمترین آسیب به بافت‌های سالم، بتواند بیشترین تخریب را بر سلول‌های سرطانی داشته باشد. هدف این مطالعه بررسی بیوفیزیکی ناهنجاری‌های سیتوژنتیکی القا شده توسط پرتوهای گاما در سلول های K562 در شرایط آزمایشگاهی بود. سلول‌های K562 در محیط آزمایشگاه کشت داده شدند و توسط پرتو گاما ناشی از سزیم-۱۳۷ روزانه یک ساعت برای ۱ ، ۲ و۳ روز پشت سرهم تابش داده شدند. سپس زنده‌مانی سلول‌ها توسط سنجش MTT تخمین زده شد. همچنین الکتروفورز DNA برای بررسی اثر تابش بر روی DNA سلول‌های K562 انجام شد.

تغییرات مورفولوژی پس از تابش بر روی سلول‌های K562 در زمان‌های متفاوت مشاهده شد. نتایج سنجش MTT در ارتباط با اثر سلول‌کشی تابش گاما بر روی سلول‌های K562 نشان می‌دهد که زنده مانی به مدت ۱ ،۲ و ۳ ساعت تابش به ترتیب ۹۱٪، ۸۸٪ و ۸۳٪ می‌باشد. الکتروفورز DNA: تابش گاما ساطع شده از سزیم-۱۳۷ می‌تواند بر روی سلول‌های K562 آسیب برساند، و باعث ایجاد باند در تصاویر الکتروفورز شود که در روش الکتروفورز DNA مشاهده شد. یافته‌های بدست آمده از این مطالعه نشان داد که فعالیت سلول‌کشی در سلول‌های K562 کاملاً وابسته به میزان تابش می‌باشد. با افزایش تابش، درصد مرگ سلول‌های سرطانی در مقایسه با گروه شاهد یا کنترل افزایش می‌یابد. همچنین نتایج حاصل نشان داد که فعالیت سلول کشی سلول‌هایK562 وابسته به زمان است و با گذر زمان افزایش می‌یابد.

واژگان کلیدی: تابش گاما، سلول‌های K562، سلول‌کشی، پرتو درمانی.

۱-فصل اول ۱

۱-۱-مقدمه ۲

۱-۲- مبانی فیزیک هسته‌ای ٤

۱-۲-۱- هسته ٤

۱-۲-۲-رادیو اکتیویته ٥

۱-۲-۳- واپاشی ۹

۱-۲-٤-تأثیرات کلی تابش یون ساز در ماده ۱٤

۱-۲-٥-خواص اشعه گاما ۱۹

۱-۲-٦- چشمه Cs ۱۹

۱-۳-پرتو درمانی ۲۱

۱-۳-۱-انواع پرتو در پرتو درمانی ۲۲

۱-۳-۲-اثرات بیولوژیکی تابش ۲۳

۱-٤-سرطان ۲٥

۱-٤-۱-کلیاتی در مورد سرطان ۲٥

۱-٤-۲-نگرش‌های جدید در مورد سرطان ۲٦

۱-٤-۳-انواع مواد سرطان‌زا ۲٦

۱-٤-٤-علائم اولیه سرطان ۲۷

۱-٤-٥-انواع تومور ۲۸

۱-٤-٦-پیش‌گیری و درمان ۲۹
۱-۵-سرطان خون ۲۹
۱-۵-۱- خون ۲۹
۱-۵-۲-سرطان خون ۳۰
۲-فصل دوم ٤۲
۲-۱- تهیه سلول‌های سرطانی K562 و کشت آن‌ها ٤۲
۲-۲- طرز تهیه محیط کشت RPMI ویژه سلول‌های K562 ..... ٤۲
۲-۳- کشت سلول‌های سرطانی K562 (اریترولوکمیا) ٤٤
۲-٤- شمارش تعداد سلول‌ها و میزان زنده بودن آن‌ها با تریپان بلو (Viability) ٤۵
۲-۵- تابش بر سلول‌ها توسط پرتو گاما *Cs* ٤٦
۲-٦-آزمون سنجش خاصیت ضد توموری پرتو گاما با روشMTT ٤۸
۲-٦-۱-آزمون سنجشMTT ٤۸
۲-٦-۲-اساس بررسی سیتوتوکسیتی با استفاده از MTT ٤۸
۲-۷-فریز کردن سلول‌ها و ذخیره سازی آن‌ها در تانک ازت (۱۹٦- درجه سانتیگراد) ۵۰
۲-۸-دفریز کردن سلول‌ها و استفاده مجدد از سلول‌ها ۵۲
۲-۹-استخراج DNA ۵۳
۲-۱۰-الکتروفورزDNA ۵۵
۲-۱۰-۱تهیه ژل (آگارز۱/۰) ۵۵

۲-۱۰-۲-مرحله تزریق نمونه و Running.....٥٦

۲-۱۱-تجزیه و تحلیل داده‌ها.....٥٨

۳-فصل سوم.....٥٩

۳-۱-نتایج آزمون MTT.....٦٠

۳-۲-بررسی شکست DNA به روش الکتروفورز.....٦١

۳-۳-بررسی مورفولوژیک سلول‌های K562 تحت تابش با پرتو گاما.....٦٢

٤-فصل چهارم.....٦٣

٤-۱-بحث و نتیجه گیری.....٦٤

منابع.....۶۶

فصل اول

مقدمه و کلیات

۱-۱- مقدمه

تاریخ آغاز فیزیک هسته‌ای را می‌توانیم از کشف رادیواکتیویته (پرتوزایی) توسط بکرل در سال ۱۸۹٦ یا ظهور فرضیه‌ی رادرفورد مبنی بر وجود هسته در اتم‌ها در سال ۱۹۱۱ بگیریم. در هر حال، به‌روشنی معلوم است که مطالعات تجربی و نظری فیزیک هسته‌ای نقش برجسته‌ای در توسعه‌ی فیزیک قرن بیستم ایفا کرده است. فیزیک هسته‌ای فنونی در اختیار ما گذاشته است که در زمینه‌های علمی دیگر، از جمله در فیزیک اتمی و فیزیک حالت جامد، نیز کاربرد وسیعی پیدا کرده‌است.

تکنولوژی هسته‌ای از جمله علوم و فنونی پویا و فعالی است که به خصوص در دهه اخیر پیشرفت چشمگیری داشته و کاربردهای متنوع رادیو ایزوتوپهای مختلف در زمینه‌های علمی، صنعتی و تحقیقاتی گویای پویائی این رشته از علم است. همچنین صنایع الکترونیک، کامپیوتر و مهندسی پزشکی و سایر علومی که به‌نحوی با تکنولوژی هسته‌ای در ارتباط هستند، همگام با توسعه و پیشرفت آن عمیقاً متحول گردیده که طی سال‌های متمادی پیشرفت‌های چشمگیر و درخشانی را به دنیای علوم هسته‌ای ارزانی داشته‌اند[۱].

مواد رادیواکتیو از اتم‌های ناپایداری تشکیل می‌شود که تجزیه شده و انرژی سطح بالایی به نام تابش رادیواکتیو را آزاد می‌کنند این اتم‌ها نهایتاً عناصر جدیدی را تشکیل می‌دهند. این خاصیت را که ایزوتوپ‌های ناپایدار اتم‌ها ذراتی از خود گسیل می‌کنند، خاصیت رادیواکتیویته می‌گویند. سه نوع تابش رادیواکتیو وجود دارد که ذرات آلفا ، ذرات بتا ، و پرتوهای گاما خوانده می‌شوند.

وسیع‌ترین حوزه کاربرد مواد رادیواکتیو در پزشکی و درمان سرطان می‌باشد. در پزشکی تشعشعات هسته‌ای کاربردهای زیادی دارند که اهم آنها عبارتند از:

- رادیو گرافی
- گاما اسکن
- استرلیزه کردن هسته‌ای ومیکروب زدایی وسایل پزشکی با پرتوهای هسته‌ای
- رادیو بیولوژی
- گاما تراپی

- پزشکی هسته‌ای (درمان و تشخیص با رادیو ایزوتوپ)

پرتو درمانی استفاده از پرتوهای یونساز برای ازبین بردن یا کوچک کردن بافت‌های سرطانی است. در این روش در اثر آسیب DNA، سلول‌های ناحیه درمان (بافت هدف) تخریب و ادامه رشد و تقسیم غیرممکن می‌شود. اگرچه پرتو علاوه بر سلول‌های سرطانی به سلول‌های سالم نیز آسیب می‌رساند ولی اکثر سلول‌های سالم بهبودی خود را دوباره بدست می‌آورند. هدف از پرتو درمانی از بین بردن حداکثر سلول‌های سرطانی با حداقل آسیب به بافت‌های سالم است. کاربرد اصلی پرتو درمانی در معالجه و یا تقلیل امراض سرطانی می‌باشد[۲].

پس از بیماری‌های قلبی و عروقی که سالانه باعث، مرگ و میر افراد زیادی می‌شود، سرطان دومین علت مرگ و میر در کشورهای توسعه یافته بوده و مسئول یک پنجم از مرگ و میرها است[۳]. سرطان‌زایی یک فرایند چند مرحله‌ای است که در پی آسیب‌های ژنتیکی یا اپی ژنتیکی وارد شده به سلول‌های مستعد ایجاد می‌شود. مرحله اول، قرار گرفتن سلول‌های طبیعی در معرض عوامل سرطان‌زای شیمیایی، فیزیکی و یا میکروبی می‌باشد. مرحله دوم با افزایش تکثیر و یا طولانی شدن عمر سلول‌های اولیه نسبت به سلول‌های طبیعی همراه است که احتمال ایجاد جهش‌های آندوژن و تماس با عوامل آسیب‌رسان به DNA را افزایش می‌دهد و بالاخره مرحله سوم که مرحله پیشرفت تومور نامیده می‌شود، با تکثیر بیشتر سلول‌های تغییر شکل یافته اولیه، افزایش حجم تومور، ایجاد ناهمگونی در میان کلونی‌های تشکیل‌شده و متاستاز همراه است[٤]. امروزه، بیش از ۱۰۰ نوع مختلف سرطان در دنیا شناخته شده است که در میان آن‌ها لوسمی یا سرطان خون یکی از انواع شایع و مهلک سرطان‌ها است. سرطان خون حدود ۸۰ درصد کل سرطان‌های جمعیت انسانی را شامل و به عنوان پنجمین سرطان شایع در جهان شناخته می‌شود[۵]. رده سلول‌های سرطانی K562 جزء سلول‌های سرطانی خون با منشأ میلوییدی هستند که برای اولین بار از یک خانم ۵۳ ساله مبتلا به سرطان خون مزمن جداسازی شده است[٦].

۱-۲- مبانی فیزیک هسته‌ای

۱-۲-۱- هسته

کار رادرفورد، بور و معاصران آن‌ها نشان داد که بار مثبت اتم در ناحیه‌ی هسته‌ای بسیار کوچکی در مرکز اتم قرار دارد مقدار آن +Ze است و بخش اعظم (۹۹/۹ درصد) جرم اتم را تشکیل می‌دهد ونیز متوجه شدند که جرم اتم‌ها تقریباً مضرب صحیحی از جرم سبکترین اتم است. این عدد صحیح A را، عدد جرمی می‌نامیم. هسته‌ی هیدروژن از واحد بنیادی بار مثبت تشکیل شده است (یک فرض درست) و همه‌ی هسته‌های سنگین‌تر حاوی تعداد صحیح A از این واحد مثبت‌اند[۷].

یک هسته متشکل از A ذره است،

$$A = N + Z$$

A= عدد جرمی

N= تعداد نوترون‌ها

Z= تعداد پروتون‌ها = عدد اتمی عنصر است

یک هسته فرضی X را به صورت ${}^{A}_{Z}X$ نشان می‌دهند.

نتیجه آزمایش‌هایی که برای تعیین اندازه هسته‌ها توسط بمباران الکترون‌های پر انرژی Mev ۱۰۰~ و نوترون‌ها و پروتون‌های با انرژی Mev ۲۰~ بدست آمده نشان می‌دهد که حجم هسته‌ها متناسب با تعداد نوکلئون‌های داخل هسته‌ها، A می‌باشد. این نتایج نشان می‌دهد چگالی نوکلئون‌ها تقریباً در داخل هسته‌ها یکسان می‌باشد. اگر شعاع هسته‌ها R باشد، حجم هسته‌ها $\frac{4}{3}\pi R^3$ بوده بنابراین R^3 متناسب با A می‌باشد. معمولاً این رابطه بصورت زیر بیان می‌شود.

$$R=R_0A^{1/3} \qquad (1\text{-}1)$$

و مقدار ثابت R_0 توسط هوفستادر[1] برابر $R_0 = (1.2 \pm 0.1)10^{-15}$ تعیین گردید.

و بدین ترتیب شعاع عناصر مختلف با رابطه زیر بدست می‌آید[۸].

$$R = 1.2 \times 10^{-15}.A^{1/3}\text{m} \qquad (2\text{-}1)$$

[1] Hofstader

۱-۲-۲- رادیو اکتیویته[1]

مواد رادیو اکتیو از اتم‌های ناپایداری تشکیل می‌شوند که تجزیه شده و انرژی سطح بالایی به نام تابش رادیواکتیو آزاد می‌کنند. این اتم‌ها نهایتاً عنصر جدیدی را تشکیل می‌دهند. این خاصیت را که ایزوتوپ‌های ناپایدار اتم‌ها ذراتی از خود گسیل می‌کنند، خاصیت رادیواکتیویته می‌گویند. قسمت قابل توجهی از تفاوت انرژی هسته دختر و هسته مادر در تجزیه رادیواکتیو، بصورت اشعه در طول تجزیه تابش می‌شود. بر اساس نوع اشعه تابش شده، رادیواکتیویته دارای سه دسته بندی اصلی است.

- تجزیه آلفا، که یک ذره آلفا تابش می‌شود یک ذره آلفا شامل دو پروتون و دو نوترون بوده بنابراین معادل هسته اتم هلیوم است.
- تجزیه‌ی بتا، که تبدیل هسته منجر به تابش یک الکترون (تجزیه الکترونی) یا پوزیترون (تجزیه پوزیترونی) و یا گاهی جذب یک الکترون (جذب الکترونی) می‌شود در این سه نوع متفاوت از تجزیه بتا، ذراتی که به نوترینو[2] یا ضد نوترینو موسوم هستند نیز تابش می‌شوند.
- اشعه گاما، که هسته برانگیخته شده، با گسیل یک فوتون به تراز پایین تر یا تراز زمینه می‌رسد. توزیع انرژی آلفا و ذرات بتا با هم تفاوت قابل ملاحظه‌ای دارند. می‌دانیم که قسمت زیادی از انرژی تجزیه به صورت تابش اشعه خارج می‌شود، باقی‌مانده انرژی بصورت انرژی جنبشی هسته دختر ظاهر می‌گردد که پرتاب آن‌ها برای حفظ بقا اندازه حرکت در ضمن تحول انجام می‌گیرد.

در تجزیه آلفا فقط دو محصول از واکنش بوجود می‌آید که عبارتند از هسته دختر و ذره‌ی آلفا، بنابراین انرژی تجزیه فقط می‌تواند از یک طریق توزیع گردد. بدین ترتیب برای تبدیل یک تبدیل هسته‌ای معین که منجر به تابش ذره‌ی آلفا شود، انرژی ذره‌ی آلفا همیشه یکسان بوده و با رابطه‌ی زیر داده می‌شود:

$$E_\alpha = \frac{A-4}{A} Q \qquad (3\text{-}1)$$

که در آن E_α انرژی ذره آلفا، A عدد جرمی هسته‌ی مادر و Q انرژی تجزیه می‌باشد.

در تجزیه الکترونی و پوزیترونی انرژی تجزیه می‌تواند در بین سه ذره: هسته، الکترون یا پوزیترون، نوترینو و ضد نوترینو به بی نهایت طریق با حفظ اصل بقاء اندازه حرکت توزیع گردد، بنابراین انرژی ذرات بتا دارای یک توزیع پیوسته از صفر تا حداکثر انرژی تجزیه است[۹].

[1] Radio activity
[2] Neutrino

۱-۲-۲-۱-محاسبات رادیواکتیویته

احتمال P به تجزیه یک هسته در فاصله زمانی Δt را می‌توان به طریق زیر نوشت:

$$P = \lambda\, \Delta t \qquad (4\text{-}1)$$

که در آن λ برای یک ایزوتوپ، مقدار ثابت بوده و مستقل از تاثیر هر عامل خارجی است، به استثنای حالت جذب الکترونی. مقدار λ تابع نحوه‌ی تجزیه است و برای ایزوتوپ‌های مختلف متفاوت می‌باشد. تعداد هسته‌های تجزیه شده از یک گروه شامل N هسته برابر خواهد بود با:

$$-\Delta N = NP = N\,\lambda\,\Delta t \qquad (5\text{-}1)$$

اگر فاصله زمانی خیلی کوچک باشد رابطه‌ی فوق را می‌توان به طریق زیر نوشت:

$$-\frac{dN}{\mathrm{dt}} = \lambda N \qquad (6\text{-}1)$$

با انتگرال گیری از این رابطه و فرض اینکه تعداد هسته‌ها در لحظه t=0 برابر N_0 می‌باشد، خواهیم داشت:

$$N = N_0 e^{-\lambda \mathrm{t}} \qquad (7\text{-}1)$$

λ ثابت تجزیه نام دارد و دیمانسیون آن برابر عکس زمان می‌باشد.

$$\ln N = \ln N_0 - \lambda t \qquad (8\text{-}1)$$

این رابطه نشان می‌دهد که رسم تغییرات N بر حسب t در اشل نیمه لگاریتمی خطی بوده و $-\lambda$ شیب این خط مستقیم می‌باشد.

عمر متوسط هسته‌ها را می‌توان به طریق زیر تعریف و محاسبه کرد:

$$\tau = \frac{\left(\int_0^\infty tN dt\right)}{\mathrm{N_0}} = \frac{1}{\lambda} \qquad (9\text{-}1)$$

طبق این رابطه تعداد هسته‌هایی که در واحد زمان تجزیه می‌شوند $\left|\frac{\mathrm{dN}}{\mathrm{dT}}\right|$ برابر λN می‌باشد. این مقدار تجزیه رادیواکتیویته نمونه می‌نامند و واحد آن کوری[1] می‌باشد.

$$\lambda N = \lambda N_0 e^{-\lambda \mathrm{t}} \qquad (10\text{-}1)$$

[1] Curie

$$A = A_0 e^{-\lambda t} \qquad (11\text{-}1)$$

طبق این رابطه رادیواکتیویته به طور نمایی تغییر می‌کند.

هر نمونه رادیو اکتیو را می‌توان با اکتیویته ذاتی ویژه شناسایی نمود، که بنابر تعریف اکتیویته یک گرم از آن ایزوتوپ می‌باشد. معمولا ایزوتوپ‌های رادیو اکتیو ممکن است با ایزوتوپ‌های غیر رادیو اکتیو مخلوط باشند در چنین حالتی، اکتیویته یک گرم ماده اکتیویته ویژه[1] معرفی می‌شود[۹و۱۰].

۱-۲-۲-۲-نیمه عمر

نیمه عمر یک نمونه، فاصله زمانی لازم برای تقلیل تعداد اتم‌های تجزیه نشده به نصف اولی (کاهش اکتیویته به نصف مقدار اولیه) تعریف می‌گردد. نیمه عمر یک ماده، مدت زمانی است که طول می‌کشد تا خاصیت رادیواکتیویته A آن به نصف کاهش یابد.

با قرار دادن $t = t_{1/2} = T$ و $N = \frac{N_0}{2}$ ، خواهیم داشت:

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda t} \rightarrow T = \ln\frac{2}{\lambda} = \frac{0.693}{\lambda} \qquad (12\text{-}1)$$

باتوجه به اینکه واحد T ثانیه است. لذا واحد λ برابر $\frac{1}{\text{ثانیه}}$ خواهد بود. طبیعت نمایی تجزیه در این رابطه نشان دهنده‌ی آن است که تجزیه‌ی کامل یک نمونه رادیواکتیو، زمان بی‌نهایتی را می‌طلبد[۸و۹].

۱-۲-۲-۳-واحدهای رادیواکتیویته

- **بکرل[2] (Bq)**: به افتخار هنری بکرل تعداد واپاشی‌ها در هر ثانیه از یک نمونه هسته رادیواکتیو را بر حسب بکرل (Bq) اندازه می‌گیرند. یک واپاشی در هر ثانیه برابر یک بکرل است.

[1] Specific activity
[2] Becquerel

- **کوری[1] (Ci)**: واحدهای قدیمی‌تر، کوری است که به یاد پیر و ماری کوری نامگذاری شده است. یک کوری تقریباً برابر با اکتیویته یا فعالیت، یک گرم رادیوم و معادل این رابطه می‌باشد.

$$1Ci = 3.7 \times 10^{10} Bq \qquad (13\text{-}1)$$

اکتیویته تنها به تعداد واپاشی‌ها در یک ثانیه مربوط است و به نوع واپاشی، انرژی فراورده‌های محصول واپاشی و یا تأثیرات بیولوژیکی تابش بستگی پیدا نمی‌کند.

۱-۲-۲-٤- واحدهای پرتو گیری

- **رونگتن (R)**: رونتگن واحد اندازه گیری کمیت پرتو ایکس یا پرتو گاما توسط اندازه گیری میزان یونش حاصل در هوا است، یک رونگتن برابر است با میزان پرتو ایکس یا گاماهایی که یون با بار $۲/۵۸\times ۱۰^{-٤}$ کولن بر کیلوگرم در هوا تولید می‌کند. پرتو گیری به میزان یک رونگتن در صورت جذب کامل، ارگ انرژی در هر گرم از هوا بدست می‌دهد. چنانچه بافت انسانی، یک رونگتن تابش جذب کند، در هر گرم از آن بافت، ۹٦ ارگ انرژی ذخیره می‌شود.

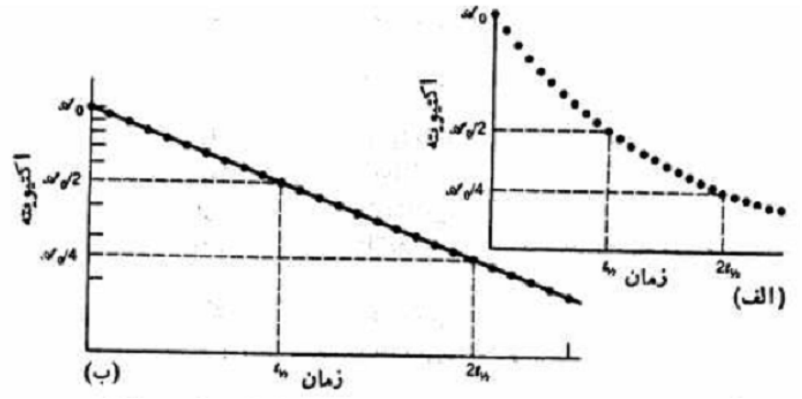
- **راد (rad)**: راد (دز جذب شده تابش) واحد دز جذب شده است و مربوط به جذب انرژی حاصل از هر نوع تابش در هر نوع ماده‌ای است. یک راد برابر است با انرژی جذب شده ۱۰۰ ارگ در هر گرم از ماده جاذب.
- **گری (Gy)**: واحد بین المللی برای دز جذبی گری است که طوری تعریف شده است که دقیقاً برابر ۱۰۰ راد باشد.
- **رم (rem)**: رم واحد پرتوگیری انسان است که مقدار آن برابر است با واحد دز، این واحد در مورد تأثیرات زیست شناختی انواع مختلف تابش مورد توجه قرار می‌گیرد. همچنین ضریب اصلاحی برای تصحیح نسبی تأثیرات بیولوژیکی در حفاظت در برابر اشعه، مورد استفاده قرار می‌گیرد.
- **سیورت (Sv)**: واحد بین‌المللی *SI* برای پرتو گیری انسانی، سیورت است که برابر با ۱۰۰ رم می‌باشد[۱۱].

[1] Curie

۱-۲-۳- واپاشی

یک هسته را می‌توان به طرق مختلف به حالتهای برانگیخته درآورد. مثلاً واپاشی‌های آلفا و بتا، هسته را برانگیخته باقی می‌گذارند و یا در بسیاری از واکنش‌های هسته‌ای، هسته‌های برانگیخته تولید می‌شود. یک هسته برانگیخته همواره می‌تواند با گسیل تابش الکترومغناطیسی یا تبدیل داخلی به حالت کم انرژی‌تر وابپاشد در ساده‌ترین حالت که در آن هر دو تراز مورد نظر حالت پروتونی هستند واپاشی، شامل گذار پروتون از تراز بالاتر به یک تراز پایین‌تر است که مانسته‌ی گذار یک الکترون برانگیخته در یک اتم از یک تراز بالاتر به یک تراز پایین‌تر است که با گسیل امواج الکترومغناطیسی یا بیرون انداختن الکترون اوژه همراه است. اما به طور کلی حالت‌های هسته‌ای حالت‌های تک ذره‌ای نیستند یعنی در خلال واپاشی گاما آرایش نوکلئون‌ها به طرز پیچیده‌ای دگرگون می‌شود.

جنبه‌های اساسی گسیل امواج الکترومغناطیسی را می‌توان به کمک مفاهیم کلاسیک و بر پایه‌ی معادلات ماکسول درک کرد ولی توجیه جزییات دقیق‌تر آن به کمک مکانیک کوانتومی میسر است. اختلاف بین تکانه‌های زاویه‌ای و پاریته‌های نسبی حالت‌های هسته‌ای شرکت کننده در گذار نقش قاطعی در تعیین احتمال بازی می‌کنند[۱۲].



شکل ۱-۱ . واپاشی نمایی اکتیویته الف) نمودار لگاریتمی ب) نمودار خطی

۱-۲-۳-۱- واپاشی آلفا

جنس ذرات آلفا، هسته اتم هلیوم است که از دو نوترون و دو پروتون تشکیل یافته است. جرم آن حدود ٤ برابر جرم پروتون و بار الکتریکی آن ۲+ و علامت اختصاری آن $\mathrm{He}(4,2)$ است. برد ذرات آلفا به عنصر مادر، انرژی اولیه و جنس محیط بستگی دارد. مثلا برد ذره آلفا صادره از رادیوم در هوا تقریباً ٤/۸ سانتی‌متر می‌باشد.

ذره آلفا به علت داشتن ۲ بار مثبت هنگامی که از نزدیکی یک اتم عبور می‌کند، ممکن است تحت تأثیر میدان الکتروستاتیکی خود، الکترون مدار خارجی آن اتم را خارج سازد و یا به عبارت دیگر اتم را یونیزه کند. همچنین ذره آلفا قادر است محل الکترون را تغییر دهد، یعنی الکترون تحت تأثیر میدان الکتریکی ذره‌ی آلفا از مدار پایین‌تری به مدار بالاتر صعود می‌کند. در نتیجه اتم به حالت برانگیخته در می‌آید. قابلیت نفوذ ذره آلفا بسیار کم است.

واپاشی آلفا با معادله‌ی

$$\mathrm{^{A}_{Z}}X \rightarrow \mathrm{^{A-4}_{Z-2}X} + \mathrm{^{4}_{2}He} \qquad (14\text{-}1)$$

نشان داده می‌شود.

با کاربست قوانین پایستگی انرژی و اندازه حرکت داریم:

$$M(A,Z) = M(A-4,Z-2) + M(4,2) + T_M + T_\alpha \qquad (15\text{-}1)$$

$$0 = P_\alpha + \mathrm{P_M} \qquad (16\text{-}1)$$

انرژی‌ای که بر اثر گسیل ذره آلفا در دسترس قرار می‌گیرد، انرژی واپاشی نامیده شده و با

$$Q_\alpha = M(A,Z) - M(A-4,Z-2) - M(4,2) \qquad (17\text{-}1)$$

تعریف می‌شود.

مسلماً برای اینکه واپاشی آلفا رخ دهد Q_α باید بزرگتر از صفر باشد. بنابراین، واپاشی آلفا فقط هنگامی ممکن است که

$$M(A,Z) > M(A-4,Z-2) + M(4,2) \qquad (18\text{-}1)$$

۱-۲-۳-۲- واپاشی بتا

این نوع واپاشی را به صورت زیر نمایش می‌دهیم:

$$ {}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z+1}X + \beta^{-} + \bar{\nu} \qquad (19\text{-}1) $$

معادله‌ی انرژی واپاشی β^{-} عبارت است از

$$ M(A,Z) = M(A,Z+1) + T_{\beta^-} + T_{\bar{\nu}} + T_M \qquad (20\text{-}1) $$

معادله‌ی اندازه حرکت و انرژی واپاشی به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$ 0 = P_M + P_{\beta^-} + P_{\bar{\nu}} \qquad (21\text{-}1) $$

$$ Q_{\beta^-} = M(A,Z) - M(A,Z+1) \qquad (22\text{-}1) $$

شرط اینکه واپاشی β^{-} ممکن باشد این است که

$$ M(A,Z) - M(A,Z+1) > 0 \qquad (23\text{-}1) $$

عبارتی که نماینده‌ی واپاشی β^{+} است به صورت زیر است

$$ {}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z-1}X + \beta^{+} + \nu \qquad (24\text{-}1) $$

معادله‌ی انرژی واپاشی β^{+} عبارت است از

$$ M(A,Z) = M(A,Z-1) + 2m + T_{\beta^+} + T_{\nu} + T_M \qquad (25\text{-}1) $$

معادله اندازه حرکت و انرژی واپاشی β^{+} برابر است با

$$ 0 = P_m + P_{\beta} + P_{\nu} \qquad (26\text{-}1) $$

$$Q_{\beta^+} = M(A,Z) - M(A,Z-1) - 2m \quad (27\text{-}1)$$

شرط اینکه واپاشی β^+ ممکن باشد این است که

$$M(A,Z) - M(A,Z-1) - 2m > 0 \quad (28\text{-}1)$$

واپاشی β^- فقط در صورتی امکان پذیر است که جرم هسته مادر از جرم هسته دختر بزرگتر باشد، حال آنکه واپاشی β^+ فقط در صورتی ممکن است که جرم‌های هسته‌ای مادر و دختر حداقل به اندازه‌ی $2mc^2 = 1.022\ MeV$ با هم تفاوت داشته باشند.

۱-۲-۳-۳- *واپاشی گاما*

در واپاشی گاما، یک هسته از یک حالت برانگیخته به یک حالت با انرژی پایین‌تر می‌رود و تفاضل انرژی بین دو حالت به صورت یک فوتون آزاد می‌شود. واپاشی گاما را با

$${}^{A}_{Z}X^* \rightarrow {}^{A}_{Z}X + \gamma \quad (29\text{-}1)$$

نمایش می‌دهند، که در آن ${}^{A}_{Z}X^*$ نماینده هسته برانگیخته است.

با کاربست پایستگی انرژی و اندازه حرکت بر دو حالت، قبل و بعد از واپاشی، داریم:

$$M^*(A,Z) = M(A,Z) + T_M + E_\gamma \quad (30\text{-}1)$$

$$0 = P_M + P_\gamma \quad (31\text{-}1)$$

با به کار بردن این دو معادله و شکل غیر نسبیتی انرژی جنبشی هسته،

$$T_M = \frac{1}{2}MV^2 = \frac{P_M^2}{2M} = \frac{P_\gamma^2}{2M} = \frac{E_\gamma^2}{2Mc^2} \quad (32\text{-}1)$$

در آخرین گام، از رابطه $E_\gamma = P_\gamma c$ استفاده کرده‌ایم (جرم سکون فوتون صفر است). معادله (۱-۳۲) انرژی جنبشی هسته را پس از گسیل یک فوتون با انرژی E_γ می‌دهد. این انرژی، انرژی پس‌زنی نامیده می‌شود.