دانشکده علوم – گروه فیزیک

پایان نامه کارشناسی‌ارشد

شبیه‌سازی مونت کارلو برای تولید رادیوداروی (گالیوم-۶۷) ازطریق واکنش $^{68}Zn(p,2n)^{67}Ga$

نجمه جوکار

اساتید راهنما

دکتر مهدی صادقی

دکتر طیب کاکاوند

استاد مشاور

عباس مجدآبادی

مهر ۱۳۹۰

بسم الله الرحمن الرحيم

تقدیم به:

پدر بزرگوار و مادر مهربان

و

همسر گرامی‌ام

تشکر و قدردانی

حمد و سپاس به درگاه خداوند مهربان، چرا که حمد و سپاس براستی شایسته اوست.

تشکر و قدردانی فراوان خود را به خانواده مهربانم نثار می‌کنم، همان گونه که آنان در طول زندگی و بخصوص در طی مدت انجام این پروژه جور زحمات مرا کشیده‌اند و مرا در انجام این مهم یاری دادند. از زحمات دو استاد راهنمای خود آقایان **دکتر مهدی صادقی و دکتر طیب کاکاوند** کمال تشکر و قدردانی را دارم.

همچنین با تشکر از کمک‌های آقایان حسین زکی و حامد حسینی و بخش سیکلوترون پژوهشکده تحقیقات کشاورزی، پزشکی هسته‌ای و صنعتی کرج.

چکیده:

رادیونوکلئید گالیوم-۶۷ با نیمه عمر ۷۸/۳ ساعت به روش گیراندازی الکترون واپاشی نمـوده و دو پرتو گاما با انرژی‌های KeV ۹۳/۳ و ۱۸۶ گسیل می‌نماید، کـه بـرای تصـویربرداری در تعیـین محـل بافت‌های عفونی، تشخیص ضایعات و تومورهای مختلف به خصوص تومورهای موجود در ریه و بافـت-های نرم بکار می‌رود. روش‌های رایج تولید گالیوم-۶۷ توسط بمباران هدف‌های مس یا روی، به‌وسـیله ذراتی چون پروتون، دوترون و آلفا در سیکلوترون صورت می‌گیرد. تابع برانگیختگی گالیوم-۶۷ توسط کـدهـای محاسـباتی TALYS-1.0 و ALICE91 بـرای واکـنش‌هـای هسـته‌ای $^{68}Zn(p,2n)^{67}Ga$، $^{67}Zn(p,n)^{67}Ga$، $^{66}Zn(d,n)^{67}Ga$ و $^{65}Cu(\alpha,2n)^{67}Ga$ بررسـی شـده‌اسـت. بـرای هـر واکـنش قـدرت ایستانندگی در گستره انرژی مناسب، با کمترین میزان ناخالصی توسط کد محاسـباتی SRIM بدسـت آمد. واکنش $^{68}Zn(p,2n)^{67}Ga$، با گستره انرژی ۱۴ تا ۲۵ مگا الکترون ولـت و بهـره تولیـد MBq/μA.h ۱۹۲/۵۴ به عنوان بهترین واکنش انتخاب شد. در این تحقیـق بـرای اولـین بـار شـبیه سـازی تولیـد رادیوداروی گالیوم-۶۷ با استفاده از کد کامپیوتری MCNPX از طریق واکـنش برگزیـده و در شـرایط یکسان با آزمایشگاه مورد بررسی قرار گرفت. با استفاده از شار پروتون‌های بدست‌آمده از کد MCNPX و مقادیر سطح مقطع بدست آمده از تجربه مقدار بهره تولید محاسبه شد (۲۰۸/۹۴ MBq/μA.h) و با مقدار تجربی (۲۲۲ MBq/μA.h) مقایسه گردید. توافق بسیار خوبی کـه در مقایسـه نتـایج تجربـی و تئوری وجود دارد، می‌تواند ما را در بهینه سـازی شـرایط تولیـد بـدون صـرف وقـت و انـرژی و مـواد آزمایشگاهی یاری رساند.

کلمات کلیدی: شبیه‌سازی مونت کارلو، گالیوم-۶۷ ، هدف زینک-۶۸ ، کد MCNPX

فهرست

فصل اول : گالیوم-۶۷ و کاربردهای آن

۱-۱: مقدمه..... ۱۴

۱-۲: رادیوایزوتوپ‌ها و کاربرد آن‌ها در پزشکی..... ۱۴

۱-۲-۱: تاریخچه رادیوایزوتوپ‌ها..... ۱۴

۱-۲-۲: کاربرد رادیوایزوتوپ‌ها در پزشکی..... ۱۵

۱-۲-۳: پزشکی هسته‌ای تشخیصی ۱۶

۱-۳: گالیوم-۶۷ بعنوان رادیونوکلئید SPECT..... ۱۸

۱-۳-۱: تاریخچه..... ۱۸

۱-۳-۲: اثرات گالیوم در سلامتی انسان..... ۱۹

۱-۳-۳: کاربردها و مزایای گالیوم–۶۷ ..... ۲۰

۱-۳-۴: تولید گالیوم-۶۷ ..... ۲۱

۱-۴: هدف از این تحقیق..... ۲۲

فصل دوم : واکنش‌های هسته‌ای و روش‌های تولید رادیوایزوتوپ‌ها

۲-۱: مقدمه..... ۲۴

۲-۲: تعریف واکنش‌های هسته‌ای..... ۲۵

۲-۳: سازوکار واکنش‌های هسته‌ای..... ۲۶

۲-۴: تعریف مقدار Q واکنش هسته‌ای..... ۳۱

۲-۵: انرژی آستانه واکنش..... ۳۲

۲-۶: روش‌های تولید رادیونوکلئید..... ۳۳
۲-۶-۱: تولید مستقیم رادیونوکلئید..... ۳۳
۲-۶-۲: تولید غیرمستقیم (ژنراتور) رادیونوکلئید..... ۳۷
۲-۷: آشنایی کلی با سیکلوترون (شتابدهنده)..... ۳۷
۲-۸: استفاده از سیکلوترون برای تولید رادیوایزوتوپ‌ها..... ۳۹
۲-۹: سیکلوترون کرج..... ۴۰

فصل سوم : تعیین پارامترهای تولید گالیوم-۶۷

۳-۱: مقدمه..... ۴۲
۳-۲: سطح مقطع واکنش..... ۴۳
۳-۳: معرفی اجمالی کد TALYS..... ۴۴
۳-۴: اشاره‌ای کلی به کد آلیس–۹۱ (Alice-91):..... ۴۶
۳-۵: بررسی واکنش‌های تولید ^{67}Ga..... ۴۸
۳-۶: توابع برانگیختگی..... ۴۹
۳-۶-۱: بررسی تابع برانگیختگی واکنش $^{68}Zn(p,2n)^{67}Ga$ ۴۹
۳-۶-۲: بررسی تابع برانگیختگی واکنش $^{67}Zn(p,n)^{67}Ga$..... ۵۲
۳-۶-۳: بررسی تابع برانگیختگی واکنش.$^{66}Zn(d,n)^{67}Ga$..... ۵۴
۳-۶-۴: بررسی تابع برانگیختگی واکنش $^{65}Cu(\alpha,2n)^{67}Ga$..... ۵۶
۳-۷: توان ایستانندگی و برد..... ۵۸
۳-۸: بررسی توان ایستانندگی و بُرد..... ۵۹
۳-۹: معرفی اجمالی کد SRIM..... ۶۰
۳-۱۰: نتایج کد SRIM..... ۶۱

۳-۱۱: معادلات اکتیویته و بهره تولید رادیوایزوتوپ..... ۶۱

فصل چهارم : شبیه‌سازی تولید گالیوم-۶۷

۴-۱:مقدمه ۶۵

۴-۲: محاسبات مونت کارلو..... ۶۵

۴-۲-۱ ایده اصلی روش مونت کارلو..... ۶۵

۴-۲-۲ همانند سازی (شبیه سازی)..... ۶۶

۴-۲-۳: روش مونت کارلو در ترابرد ذرات هسته‌ای..... ۶۷

۴-۳: کدMCNP ۶۸

۴-۳-۱: تاریخچه کد MCNP..... ۶۸

۴-۳-۲: معرفی کد MCNP ۶۹

۴-۳-۳: روش کار با کد MCNP ۷۰

۴-۳-۴: تدوین فایل ورودی ۷۲

۴-۳-۵: رسم هندسه و اجرای کد..... ۷۶

۴-۳-۶: برآورد خطا ۷۸

۴-۴: شبیه سازی تولید گالیوم-۶۷ توسط کد MCNPX..... ۷۹

۴-۴-۱: بهترین واکنش برای تولید گالیوم-۶۷..... ۷۹

۴-۴-۲: نحوه محاسبه بهره تولید واکنش با استفاده از خروجی MCNPX..... ۷۹

۴-۴-۳: شبیه سازی هدف دیسک استوانه‌ای شکل..... ۸۰

۴-۴-۴: محاسبه بهره تولید ناخالصی‌های ناشی از برخورد پروتون‌ها بطور عمود با هدف دیسک استوانه‌ای..... ۸۵

۴-۴-۵: شبیه سازی هدف بیضی شکل..... ۸۵

۴-۴-۶: مزایای هدف پژوهشکده کرج نسبت به هدف دیسک استوانه‌ای.....۸۷

فصل پنجم : نتایج کلی و پیشنهادها

۵-۱: نتایج کلی و پیشنهادها.....۸۹
پیوست الف ۹۱
پیوست ب ۹۵
پیوست ج ۹۷
پیوست د ۹۸
پیوست و ۹۹
منابع.....۱۰۱
Abstract.....۱۰۴

فهرست شکل‌ها

شکل۲-۱: نقش سازوکارهای مستقیم، پیش‌تعادلی و مرکب در واکنش هسته‌ای..... ۳۰

شکل۲-۲: نمایی از طیف ذرات خروجی به تفکیک سازوکارهای مختلف..... ۳۰

شکل۲-۳: شمایی از اجزاء داخلی سیکلوترون ۳۰ مگا الکترون ولتی مرکز تحقیقات هسته‌ای کرج...۳۸

شکل۳-۱: مدل‌های هسته‌ای در کد TALYS ۴۵

شکل۳-۲: تابع برانگیختگی واکنش $^{68}Zn(p,2n)^{67}Ga$ توسط کد ALICE91 ..... ۵۰

شکل۳-۳: تابع برانگیختگی واکنش $^{68}Zn(p,2n)^{67}Ga$ توسط TALYS1.0 ..... ۵۱

شکل۳-۴: مقایسه‌ی سطح مقطع واکنش $^{68}Zn(p,2n)^{67}Ga$ محاسبه شده توسط ALICE91 و TALYS1.0 با داده‌های تجربی..... ۵۱

شکل۳-۵: تابع برانگیختگی واکنش $^{67}Zn(p, n)^{67}Ga$ توسط کد ALICE91..... ۵۲

شکل۳-۶: تابع برانگیختگی واکنش $^{67}Zn(p, n)^{67}Ga$ توسط کد TALYS1.0 ..... ۵۳

شکل۳-۷: مقایسه‌ی سطح مقطع واکنش $^{67}Zn(p, n)^{67}Ga$ محاسبه شده توسط ALICE91 و TALYS1.0 با داده‌های تجربی..... ۵۳

شکل۳-۸: تابع برانگیختگی واکنش $^{66}Zn(d, n)^{67}Ga$ توسط کد ALICE91..... ۵۴

شکل۳-۹: تابع برانگیختگی واکنش $^{66}Zn(d, n)^{67}Ga$ توسط کد TALYS1.0 ..... ۵۵

شکل۳-۱۰: مقایسه‌ی سطح مقطع واکنش $^{66}Zn(d, n)^{67}Ga$ محاسبه شده توسط ALICE91 و TALYS1.0 با داده‌های تجربی..... ۵۵

شکل۳-۱۱: تابع برانگیختگی واکنش $^{65}Cu(\alpha,2n)^{67}Ga$ توسط کد TALYS1.0 ..... ۵۶

شکل۳-۱۲: تابع برانگیختگی واکنش $^{65}Cu(\alpha,2n)^{67}Ga$ توسط کد ALICE91..... ۵۷

شکل۳-۱۳: مقایسه‌ی سطح مقطع واکنش $^{65}Cu(\alpha,2n)^{67}Ga$ محاسبه شده توسط ALICE91 و TALYS1.0 با داده‌های تجربی..... ۵۷

شکل۴-۱: نحوه برخورد پروتون‌ها با سطح مقطع هدف دیسک استوانه‌ای که از دو زاویه نشان داده شده‌است..... ۸۱
شکل۴-۲: توزیع گوسی بیم پروتون از زاویه بالا بر روی هدف زینک-۶۸..... ۸۲
شکل۴-۳: تابع توزیع انرژی نرمالیزه شده برای پروتون‌های درون هدف زینک-۶۸..... ۸۲
شکل۴-۴: نمای بالای چشمه با قطر ۱ cm و سطح تارگت با قطر ۳ cm..... ۸۴
شکل۴-۵: نمای بالای چشمه با قطر ۱ cm و سطح تارگت با قطر ۰/۴ cm..... ۸۴
شکل۴-۶: شکل سه بعدی هدف شبیه سازی شده، مورد استفاده در پژوهشکده کرج..... ۸۶
شکل۴-۷ نحوه برخورد ذرات پروتون ورودی در هدف زینک-۶۸ توسط چشمه واقع شده در زاویه ۶ درجه نسبت به هدف..... ۸۶

فهرست جدول‌ها

جدول (۱-۱) ایزوتوپ‌های گالیوم (Ga)..... ۲۰

جدول (۳-۱) بهره تولید، ضخامت لازم در مقابل تابش عمودی برای ذره فرودی در بازه انرژی مطلوب..... ۶۳

جدول (۴-۱) کمیت‌های اصلی و واحدهای مورد استفاده در کد MCNP ۷۱

جدول (۴-۲) مقایسه داده‌های محاسبه شده در آزمایشات ذکر شده و داده‌های بدست آمده از تجربه برای تولید گالیوم-۶۷ از طریق واکنش $^{68}Zn(p,2n)^{67}Ga$..... ۸۳

جدول (۴-۳) مقایسه داده‌های محاسبه شده برای بهره تولید ناخالصی‌های ناشی از برخورد پروتون با هدف زینک-۶۸ و داده‌های بدست آمده از تجربه..... ۸۵

فصل اول

گالیوم-۶۷ و کاربردهای آن

۱-۱: مقدمه

امروزه رادیوایزوتوپ‌ها نقش مهمی در زندگی بشر ایفا می‌کنند و کاربرد وسیعی در بسیاری از رشته‌ها و زمینه‌ها دارند. رادیوایزوتوپ‌ها بطور گسترده در پزشکی، صنعت، کشاورزی و تحقیقات علمی استفاده شده و کاربردهای جدید آن‌ها دائما در حال توسعه است. در بسیاری از موارد جایگزینی برای رادیوایزوتوپ‌ها وجود نداشته و در بیشتر کاربردها نسبت به تکنیک‌ها و شیوه‌های دیگر موثرتر و ارزان‌تر هستند.

بیش از هشتاد سال از اولین آزمایش پزشکی هسته‌ای با رادیوایزوتوپ طبیعی رادیوم-۲۲۶ در سال ۱۹۲۷ می‌گذرد. اما تنها در چند دهه اخیر است که پزشکی هسته‌ای به عنوان یک تخصص پزشکی شناخته می‌شود. گئورگ دی هوسی در سال ۱۹۲۳ میلادی اولین کسی بود که از رادیوایزوتوپ‌ها به‌عنوان ردیاب در تکنیک تصویربرداری استفاده کرد[۱]. پیشرفت‌های اخیر در زمینه تولید رادیوداروهای شیمیایی از یک سو و گسترش و توسعه تکنیک‌های تصویربرداری از سوی دیگر باعث استفاده روزافزون از این فن‌آوری در تشخیص و درمان بیماری‌ها شده‌است.

۱-۲: رادیوایزوتوپ‌ها و کاربرد آن‌ها در پزشکی

۱-۲-۱: تاریخچه رادیوایزوتوپ‌ها

رادیوایزوتوپ‌ها نیز مانند ایزوتوپ‌های پایدار کاربرد گسترده‌ای را در شاخه‌های مختلف علوم از جمله پزشکی، آب‌شناسی (هیدرولوژی) و کشاورزی پیدا کرده‌اند. در این بخش توجه خود را به کاربرد رادیوایزتوپ‌ها در پزشکی هسته‌ای معطوف می‌داریم.

رادیواکتیویته طبیعی اورانیم در سال۱۸۹۶ به وسیله بکرل کشف شد و تا سال ۱۹۳۴ تنها مواد رادیواکتیو طبیعی شناخته شده بودند. رادیوایزوتوپ‌های طبیعی دو نوع هستند. رادیوایزوتوپ‌های با نیمه عمر بالا مثل: ^{40}K، ^{87}Rb، ^{238}U، ^{232}Th، که از بدو بوجود آمدن عناصر زمینی از حدود $۴/۵\times۱۰^{۹}$ سال پیش باقی مانده‌اند، و رادیوایزوتوپ‌های همانند ^{14}C که دارای نیمه‌عمر نسبتاً کوتاه بوده و به طور مداوم به وسیله برهمکنش‌های پرتوهای کیهانی در اتمسفر تحتانی تشکیل می‌شوند. تعداد زیادی رادیوایزوتوپ‌های مصنوعی بین سال‌های ۱۹۳۹-۱۹۳۴ به‌وسیله بمباران عناصر، با ذرات قابل دسترس در دستگاه‌های شتاب‌دهنده، مثل سیکلوترون تولید شده‌اند. بعد از کشف شکافت هسته، صدها هسته رادیواکتیو جدید از طریق بمباران نوترونی بوجود آمدند.

بسیاری از رادیونوکلئیدهای طبیعی دارای نیمه عمرهای طولانی (بیش‌از۱۰۰۰سال) هستند و مورد توجه پزشکی هسته‌ای نمی‌باشند. رادیونوکلئیدهای بکاررفته در پزشکی هسته‌ای عموماً مصنوعی بوده و با سه روش اساسی زیر تولید می‌شوند که در فصل دوم بیشتر توضیح داده می‌شوند:

۱-پرتودهی هسته پایدار در یک راکتور (محصول راکتور).

۲-پرتودهی هسته پایدار در یک شتابدهنده یا سیکلوترون (محصول شتابدهنده یا سیکلوترون).

۳-شکافت هسته سنگین‌تر (محصولات شکافت)[۲].

۱-۲-۲: کاربرد رادیوایزوتوپ‌ها در پزشکی

روش‌های استفاده از نوکلئیدهای پرتوزا در پزشکی را می‌توان به سه دسته بزرگ تقسیم کرد؛ که بزرگترین آن‌ها بخش روش‌های تشخیصی است. مانند تصویربرداری از اعضای بدن که در آن یک رادیونوکلئید با ترکیب شیمیایی مناسب را به بیمار تجویز می‌کنند و توزیع ماده پرتوزا را به وسیله

یک آشکارساز تابش از خارج بدن تعیین می‌کنند. در پزشکی هسته‌ای تشخیصی، برای فـراهم کـردن اطلاعات درباره بدن انسان، عملکرد ارگان‌های مشخص، فرایندهای بیولوژیکی در حال پیشـرفت و یـا وضعیت و چگونگی یک بیماری خاص، از مقدار کم تابش استفاده می‌شود.

یک بخش دیگر از کاربردهای رادیونوکلئیدها، که قسمت کوچکی از کاربردهای پزشکی هسـته‌ای است؛ مربوط به کاربرد درمانی نوکلئیدهای پرتوزا می‌باشد. مانند درمان بیماری‌های تیروئید با استفاده از I^{131}.

در سومین بخش پزشکی هسته‌ای که هر روز بر اهمیت آن افزوده می‌شود، .ماده نوکلئید پرتوزا به بیمار تجویز نمی‌شود، بلکه از تکنیک‌های آن برای اندازه‌گیری غلظت هورمون‌ها، پـادتن‌هـا، داروهـا و سایر موارد مهم در نمونه خونی یا نمونه بافت استفاده می‌شود[۳,۴].

۱-۲-۳: پزشکی هسته‌ای تشخیصی

دو تکنیک عمده، در پزشکی هسته‌ای تشخیصی وجود دارد که در ادامه به شرح مختصری از هـر یک می‌پردازیم:

۱-سیستم تصویربرداری SPECT:

در روش تصویربرداری SPECT (توموگرافی گسیلنده تک فوتونی[1]) از رادیوایزوتوپ‌های گسـیلنده گاما استفاده می‌شود. با اتصال این رادیونوکلئیدها به ترکیبات خاص (نشاندار کردن) این امکان فراهم می‌شود که رادیونوکلئیـد پرتـوزا در محـل بافـت مـورد بررسـی تجمـع کنـد. سـپس گامـای تابشـی رادیوایزوتوپ آشکارسازی و پس از پردازش کامپیوتری به تصویر تبدیل می‌شود. اینگونه رادیونوکلئید-

[1] Single Photon Emission Computed Tomography (SPECT)

ها بایستی دارای گامایی در گستره انرژی ۲۵۰-۷۰ KeV باشند. این محدودیت، برای انرژی گاما از آن جهت است که در انرژی‌های کمتر از ۷۰ KeV گاما امکان عبور و فرار از بافت بدن و در نتیجه رسیدن به آشکارساز را ندارد. در انرژی‌های بیشتر از ۲۵۰ KeV هم راندمان آشکارساز SPECT به شدت کاهش می‌یابد.

پرکاربردترین رادیوایزوتوپ موجود در پزشکی هسته‌ای یعنی ^{99m}Tc ($T_{½}$=6.02h ; E_{γ}=140.5 KeV) یک گسیلنده گامای بسیار مناسب برای SPECT است. پیشرفت‌های اخیر در هر دو زمینه رادیودارو-های شیمیایی ^{99m}Tc و تکنیک تصویربرداری SPECT کاربرد گسترده‌ای را برای این روش تصویربرداری فراهم کرده‌است. از دیگر رادیونوکلئیدهای مرسوم در SPECT می‌توان به ^{123}I، ^{67}Ga و ^{201}Tl اشاره کرد[۵].

۲-سیستم تصویربرداری PET:

توموگرافی تابش پوزیترون[۲] که تصویربرداری PET یا اسکن PET نیز نامیده می‌شود؛ یک تکنیک تصویربرداری در پزشکی هسته‌ای است. که بطور خاص از خصوصیات واپاشی رادیونوکلئیدهایی که تابش‌کننده پوزیترون هستند استفاده می‌کند.

در این تکنیک، باتوجه به نوع کمیت و بافت مورد آزمایش، ترکیبات خاصی که رادیوایزوتوپ‌های گسیل کننده پوزیترون به آن‌ها متصل شده‌اند به ناحیه‌ای که بایستی مورد مطالعه قرار گیرد، فرستاده می‌شوند. پس از تابش پوزیترون، دو فوتون ۵۱۱ KeV حاصل از نابودی زوج الکترون-پوزیترون بطور هم‌زمان آشکارسازی می‌شود. با پردازش کامپیوتری می‌توان توزیع اولیه رادیوایزوتوپ‌های جذب شده در ناحیه را بازسازی و تصویری سه‌بعدی و یا دوبعدی مقطعی از آن، تهیه کرد. این تصاویر معمولا نشان‌دهنده ساختار و عملکرد بافت‌ها و اعضای بدن هستند.

[2] Positron Emission Tomography (PET)

واپاشی از طریق تابش پوزیترون و پدیده نابودی زوج، اساس تصویربرداری PET را تشکیل می دهد. بنابراین رادیونوکلئیدهایی در PET استفاده می‌شود که واپاشی غالب در آن‌ها گسیل پوزیترون باشد.

از متداول‌ترین رادیونوکلئیدهایی که در این سیستم مورد استفاده قرار می‌گیرند می‌توان به $^{15}O(T_{½}=2min \ ; \ \beta^{+}=100\%)$ ،$^{11}C(T_{½}=20.4min \ ; \ \beta^{+}=100\%)$ ،$^{18}F(T_{½}=110min \ ; \ \beta^{+}=97\%)$ و $^{13}N(T_{½}=10min \ ; \ \beta^{+}=100\%)$ اشاره کرد.

اغلب رادیونوکلئیدهایی که به وسیله سیکلوترون تولید می‌شوند، دارای کمبود نوترون بوده و یکی از مدهای متداول در آن‌ها برای رسیدن به پایداری گسیل پوزیترون است[۳]. بنابراین واضح است، که اکثر رادیونوکلئیدهای مورد استفاده در PET محصول واکنش در شتابدهنده‌ها خصوصاً سیکلوترون باشند[۶,۷]. درچند سال اخیر توجه بسیاری به تولید رادیوایزوتوپ‌های گسیل‌کننده پوزیترون برای استفاده در سیستم تصویربرداری PET صورت گرفته‌است.

۱-۳: گالیوم-۶۷ بعنوان رادیونوکلئید SPECT

۱-۳-۱: تاریخچه

اولین نشانه‌های گالیوم در طبیعت در سال ۱۸۷۱ توسط دیمیتری مندلیف به خاطر فضای خالی که در جدول تناوبی جدید عناصر ایجاد شده بود، کشف شد. گالیوم در سال ۱۸۷۵ توسط شیمیدان فرانسوی de Lecoq Paul-Émile Boisbaudran با روش طیف‌سنجی به‌دست آمد. مقدار اندکی از گالیوم در ژرمانیت و بوکسیت و فراورده‌های حاصل از زغال سوخته یافت می‌شود. برخی از غبارهای حاصل از زغال دارای ۵/۱ درصد گالیوم می‌باشند. گالیوم یکی از چهار فلزی است که در شرایط دمای اتاق به

[۳] البته در این رادیونوکلوئیدها مد واپاشی جذب الکترون (EC) با واپاشی گسیل پوزیترون رقابت دارد

حالت مایع می‌باشد. این چهار عنصر شیمیایی عبارتند از جیوه، سزیم، روبیدیم و گالیوم. گالیوم خالص ظاهر نقره‌ای و زیبا دارد و فلز جامد آن ساختار صدفی مشابه شیشه دارد. گالیوم بر روی شیشه و پرسلان به‌کار برده می‌شود و زمانی که گالیوم بر روی شیشه کشیده می‌شود، آینه‌های درخشان تشکیل می‌دهد. گالیوم به راحتی با بسیاری از فلزات در تشکیل آلیاژها به‌کار می‌رود و سبب ساخته شدن آلیاژهای با دمای ذوب پایین می‌شود. گالیوم به عنوان ماده ناخالص در نیمه رساناها به‌کار می‌رود و برای تولید قطعات الکترونیکی مانند ترانزیستورها و دیودهای انتشار نور مورد استفاده قرار می‌گیرد. آرسنید گالیوم می‌تواند مستقیما نور لیزر را از الکتریسیته تولید کند.

۱-۳-۲: اثرات گالیوم در سلامتی انسان

گالیوم یکی از عناصری است که در بدن انسان یافت می‌شود، اما مقدار آن بسیار اندک است. به عنوان مثال، در بدن انسانی به جرم تقریبی ۷۰ کیلوگرم، حدود ۰/۷ میلی گرم گالیوم وجود دارد. در طبیعت تنها مقدار اندکی گالیوم یافت می‌شود. گالیوم در آب سبزیجات و میوه‌ها وجود دارد. برخی از ویتامین‌ها و آب‌های معدنی مقدار اندکی گالیوم دارند. این مقدار یک قسمت در میلیون است. گالیوم خالص برای انسان ضرر ندارد. گالیوم بر اثر حرارت دست انسان ذوب می‌شود. بر اثر ذوب گالیوم در دست انسان فقط لکه‌ای بر روی پوست باقی می‌ماند. اگر چه مقدار اندک گالیوم خطرناک نمی‌باشد، لیکن نباید به مقدار زیاد مصرف شود.

گالیوم طبیعی شامل دو ایزوتوپ، گالیوم–۶۹ با فراوانی ۶۰/۱ درصد و گالیوم–۷۱ با فراوانی ۳۹/۹ درصد می‌باشد. سه رادیو ایزوتوپ این عنصر (گالیوم–۶۶، گالیوم–۶۷ و گالیوم–۶۸) در تصویر برداری پزشکی هسته‌ای کاربرد دارند. گالیوم–۶۷ به روش (گیر اندازی الکترون) EC فروپاشی نموده و دو پرتو گاما با انرژی‌های ۹۳/۳ و ۱۸۶ کیلوالکترون‌ولت همراه با دیگر پرتوهای گاما گسیل می‌نماید که

برای عکس‌برداری به روش SPECT کاربرد دارد. گالیوم–۶۶ و گالیوم–۶۸ به روش β^+ فروپاشی نموده و برای تصویربرداری به روش PET مورد استفاده قرار می‌گیرند. ایزوتوپ‌های گالیوم در جدول ۱–۱ ذکر شده‌اند.

جدول(۱-۱) ایزوتوپ‌های گالیوم (Ga)[۳۳].

نیمه عمر	عدد جرمی	نیمه عمر	عدد جرمی
۴/۸ h	۷۳	۶۱ s	۶۱
۸/۱ min	۷۴	۱۱۶/۲ ms	۶۲
۱۲۶ s	۷۵	۳۲۴ s	۶۳
۳۲/۶ s	۷۶	۲/۶۴ min	۶۴
۱۳/۲ s	۷۷	۱۵/۲ min	۶۵
۵ s	۷۸	۹/۴ h	۶۶
۲/۸ s	۷۹	۷۶/۸ h	۶۷
۱/۶ s	۸۰	۶۸ min	۶۸
۱/۲ s	۸۱	پایدار	۶۹
۰/۵ s	۸۲	۲۱/۴ min	۷۰
۰/۳ s	۸۳	پایدار	۷۱
۰/۰۸ s	۸۴	۱۴/۱ h	۷۲

۱-۳-۳: کاربردها و مزایای گالیوم–۶۷

سیترات گالیوم-۶۷ به‌صورت مایع به بدن تزریق می‌شود و در تشخیص ضایعات و تومورهای مختلف به خصوص تومورهای موجود در ریه و بافت‌های نرم بکار می‌رود، همچنین از این رادیودارو برای تعیین محل بافت‌های عفونی استفاده می‌شود[۸]. کاربرد دیگر این رادیودارو در تفکیک تومور-های استخوانی بدخیم از تومورهای خوش‌خیم است[۹].

سیترات گالیوم که پس از تزریق وریدی قسمت اعظم آن (۳۰٪) در خون به پروتئین‌های پلاسما وصل است و بقیه آن سریعاً به فضاهای خارج سلولی پخش می‌شود و به کندی توسط کلیه‌ها دفع