# گاما

## پرتویی پرتوان ولی خطرناک

**مریم خزاعی، مهناز خراشادی‌زاده و مینا رضایی**
معلمان شیمی بیرجند،
استان خراسان جنوبی

## چکیده

محدوده‌ای از طیف الکترومغناطیس دارای پرتوهایی با طول موج کوتاه و انرژی زیاد است. این محدوده شامل پرتوهای فرابنفش، ایکس و گاما است. در این میان، پرتوهای گاما با فرکانس $10^{19}$ Hz بیشتر از ۱۰۰keV انرژی دارند. این مقاله به‌ویژگی و کاربردهای پرتوهای گاما می‌پردازد.

## کلیدواژه‌ها

پرتو گاما، ستاره‌شناسی، پرتودرمانی، مواد پرتوزا، هسته اتم

## مقدمه

پرتو گاما به‌عنوان بخشی از نور، گاه به‌صورت موج و زمانی به‌عنوان ذره عمل می‌کند. این پرتو برای موجودات زنده خطرناک است و موجب تغییر شیمیایی و جهش در بافت زنده می‌شود. شدت نفوذ پرتو گاما بسته به ضخامت و چگالی ماده تغییر می‌کند و این عوامل، اساس کار پرتونگاری به‌شمار می‌روند.

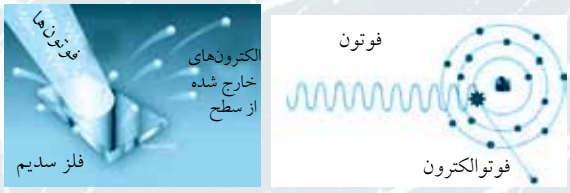
نخستین منبع پرتوهای گاما هنگام تغییر در هستهٔ اتم و فروپاشی آن شناخته شد. در این نوع فروپاشی، هستهٔ برانگیخته‌شده به نشر پرتوهای پرانرژی گاما می‌پردازد. پل ویلارد، دانشمند فرانسوی، این پرتوها را در سال ۱۹۰۰ میلادی هنگام بررسی نمک‌های رادیم کشف کرد و در سال ۱۹۰۳ رادرفورد آن‌ها را پرتوهای گاما نامید.این پرتوها از پرتوهای آلفا و بتا که رادرفورد قبلاً خود، آن‌ها را کشف کرده بود قدرت نفوذ بیشتری داشتند. هنری براگ در سال ۱۹۱۰ نشان داد که پرتوهای گاما جزئی از تابش‌های الکترومغناطیس هستند. سرانجام در سال ۱۹۱٤ رادرفورد و آندرید طول موج این پرتوها را اندازه‌گیری کردند و نتیجه گرفتند که پرتوهای گاما به پرتوهای X شباهت دارند، با این تفاوت که طول موج کوتاه‌تری نسبت به پرتوهای X دارند.

## برهم‌کنش با ماده

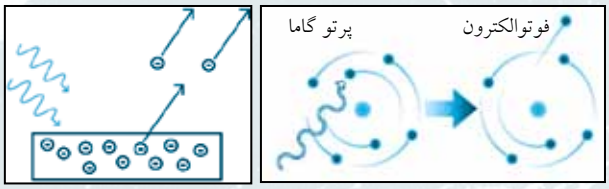
هنگامی که پرتوهای گاما از ماده‌ای می‌گذرند، در گسترهٔ انرژی ۱۰keV تا ۱۰MeV، در برهم‌کنش فوتون‌ها با ماده احتمال رویداد سه فرایند به این قرار وجود دارد:

اثر فوتوالکتریک، اثر کامپتون و پدیدهٔ جفت‌سازی.

احتمال وقوع هر یک از این رویدادها به انرژی فوتون و جنس ماده وابسته است. نتیجهٔ برهم‌کنش پرتوهای X و گاما از این سه راه، تولید دو نوع ذرهٔ باردار الکترون و پوزیترون است که انرژی خود را با تولید یون و ایجاد برانگیختگی از دست می‌دهند. از




شکل ۱ نمایش اثر فوتوالکتریک




این‌رو، این دو پرتو را پرتوهای یون‌ساز غیرمستقیم می‌نامند.

## منابع کیهانی گاما

پرتوهای گاما از سراسر کیهان به کرهٔ زمین می‌تابند اما هواکرهٔ زمین آن‌ها را جذب می‌کند. این پرتوها از داغ‌ترین ناحیه در جهان منشا می‌گیرند و از رویدادهایی همچون انفجار اَبَر نوستاره‌ها، نابودی اتم‌ها و فروپاشی مواد پرتوزا در فضا تولید می‌شوند. بنابراین انفجار نوستاره‌ها[1]، ستاره‌های نوترونی[2] و سیاه‌چاله‌ها[3] از جمله منابع کیهانی پرتوهای گاما به‌شمار می‌روند.

انرژی انفجارهای ناشی از پرتوهای گاما در سراسر کیهان، در مدت ۱۰ ثانیه، بسیار بیشتر از مقدار انرژی‌ای است که خورشید در خلال ۱۰ میلیارد سال از عمر خود تولید می‌کند. با وجود بررسی‌هایی که به کمک ابزارهای پیشرفتهٔ نصب شده روی ماهواره‌ها انجام گرفته است منابع این پرتوها هنوز ناشناخته مانده است. دانشمندان امیدوارند با رمزگشایی از این موضوع به اطلاعات دقیق‌تری دربارهٔ سرعت انبساط جهان، اَبَرنوستاره‌ها و کهکشان‌های فعال دست یابند.

در منظومه خورشیدی ما، ماه نسبت به خورشید، منبع قوی‌تری برای تولید پرتوهای گاماست. این پرتوها از برهم‌کنش میان امواج کیهانی با سطح ماه تولید و نشر می‌شوند. شاید مشابه همین رویداد در خورشید نیز روی بدهد اما میدان مغناطیسی خورشید مانع از رسیدن امواج کیهانی به سطح آن می‌شوند.

## کاربردها

### • ستاره‌شناسی

پرتوهای گاما که در مسیری مستقیم، از اجسام بسیار دور، به ما می‌رسند اطلاعات فراوانی دربارهٔ فرایندهای فیزیکی که در فضا جریان دارند در اختیار ما می‌گذارند. تابش گاما ممکن است حالت‌های غیرعادی از مواد را مشخص کند. این نوع تابش‌ها از مکان‌هایی سرچشمه می‌گیرند که ماده و ضدماده با یکدیگر برخورد می‌کنند و جریانی از ذره‌های پرانرژی را تشکیل می‌دهند.

بررسی پرتوهای گامای کیهانی پاسخ‌گوی پرسش‌هایی دربارهٔ ساختار اجسام فضایی و رویدادهای جهانی است. به‌هرحال این روش ستاره‌شناسی با کاستی‌هایی نیز همراه است. با اینکه انرژی پرتوهای گاما بسیار زیاد است اما تعداد کوانتاهای آن در ناحیه‌هایی از فضا که به ما نزدیکند بسیار ناچیز است. از سوی دیگر هواکرهٔ زمین و فضاپیماهای حامل دستگاه‌های ثبت‌کنندهٔ پرتوهای گاما این تابش را بازمی‌تابانند و مزاحمت‌هایی در مسیر ردیابی این پرتوها ایجاد می‌کنند.

### • پالایش آب

با اینکه بیش از ۷۰ درصد سطح زمین را آب می‌پوشاند تنها ۳ درصد از آن، آب شیرین است و از این مقدار نیز فقط ۱۳ درصد برای بشر قابل استفاده است. این در حالی است که در پی افزایش جمعیت جهان، تقاضای آب در هر ۲۱ سال دو برابر می‌شود. در این میان گندزدایی منابع مختلف آب اهمیت ویژه می‌یابد.

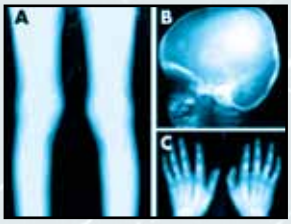
استفاده از پرتوها از جمله روش‌های فیزیکی جدید گندزدایی آب‌هاست. پرتوهای مورد استفاده در این روش‌ها بر دو نوعند: پرتوهای یون‌ساز مانند پرتوهای X و گاما، باریکه الکترونی، آلفا، بتا و پرتوهای غیریون‌ساز مانند پرتو فرابنفش. پرتوهای یون‌ساز به‌دلیل قدرت نفوذ بیشتر و عدم تولید مواد جانبی، بیشتر مورد استفاده قرار گرفته‌اند. استفاده از این پرتوها باعث تجزیهٔ آب و ایجاد الکترون‌های آبپوشیده، رادیکال آزاد، هیدروکسیل و هیدروژن می‌شود که تمایل قوی به انجام واکنش با موجودات زندهٔ ذره‌بینی موجود در آب دارند و از این راه سبب غیرفعال‌شدن آن‌ها و حذف آلودگی می‌شوند.

بنا به پژوهشی در ترکیه، تابش گاما می‌تواند ساختار مولکولی برخی آفت‌کش‌ها را درهم بشکند. این نتیجه، روشی دیگر را برای پالایش آب‌های زیرزمینی حاوی آفت‌کش‌ها نوید می‌دهد. استفاده از آفت‌کش‌های تجزیه‌ناپذیر، در اکوادور، در رونق پرورش گل گسترش دارد. در شرایطی که آلودگی فاضلاب‌ها به این آفت‌کش‌ها رواج یافته است، به کمک پرتوهای گاما می‌توان برخی از آفت‌کش‌ها را تا ۹۹ درصد تجزیه کرد. همچنین به کمک پرتوهای گاما بی‌رنگ‌کردن فاضلاب کارخانه‌های نساجی در ترکیه ـ که شامل رنگ‌های مقاوم سمی با غلظت‌های بالاست ـ موفقیت‌آمیز بوده است.

هم‌اکنون گندزدایی تجهیزات پزشکی با پرتوهای گاما جایگزین اتوکلاوها و مواد شیمیایی شده است. حذف باکتری‌های فاسدکنندهٔ مواد غذایی، میوه و سبزیجات از دیگر کاربردهای این پرتوهاست.

## کاربردهای تشخیصی

دوربین‌های گاما یکی از اجزای دستگاه‌های مورد استفاده در




پزشکی هسته‌ای هستند. برای نمونه در دستگاه سینتیگراف[4]، رادیو ایزوتوپ‌ها به بدن بیمار فرستاده می‌شوند. پرتوهای منتشر شده توسط آشکارساز که یک دوربین گاماست، به‌صورت تصویرهای دوبعدی گرفته می‌شوند. این روش در بررسی عملکرد صفرا، بیماری‌های ریه، استخوان، قلب، تیروئید و پاراتیروئید کاربرد دارد.

مقطع‌نگاری با نشر پوزیترون[5] روشی برای تصویربرداری است که در آن نخست، مولکول‌های فعالی به بدن بیمار تزریق می‌شوند. آنگاه پرتوهای گاما که از این مولکول‌ها نشر می‌شوند تصویرهای سه‌بعدی از عملکرد دستگاه‌های مختلف بدن را در اختیار قرار می‌دهند. از این روش در تشخیص سرطان و بررسی سوخت‌وساز داروها نیز استفاده می‌شود.

## کاربردهای درمانی

نزدیک‌درمانی[6] نوعی پرتودرمانی داخلی است که در آن یک مادهٔ پرتوزا درون یا نزدیک عضو نیازمند به درمان قرار داده می‌شود. این روش درمانی، بسته به چگونگی قراردادن منبع پرتوزا، شدت دوز پرتو و مدت تخلیهٔ دوز آن انواع مختلفی دارد. این روش در درمان سرطان دهانهٔ رحم، پروستات و پوست به‌کار می‌رود.

جراحی با چاقوی گاما روشی دیگر است که برای برداشتن غده‌های سرطانی در مغز استفاده می‌شود. در این روش پرتوهای کبالت ۶۰، با شدت زیاد و در حجمی کم، سلول‌های سرطانی را هدف قرار داده، نابود می‌کنند. از آنجا که پرتو روی بافت سرطانی متمرکز می‌شود آسیبی به سلول‌های سالم وارد نمی‌کند. این روش در حذف توده‌های سرطانی که تا ۴cm قطر دارند مورد استفاده قرار می‌گیرد.

## طیف‌سنج گاما

طیف‌سنج پرتوهای گاما دستگاهی است که از پرتوهای گاما برای شناسایی ۲۰ عنصر نخست از جدول تناوبی استفاده می‌کند. از آشکارساز نوترونی این دستگاه می‌توان برای ردیابی آب و یخ موجود در خاک استفاده کرد. این طیف‌سنج ابزاری سودمند برای تعیین غلظت و نقشه‌برداری معدنی است. نوعی از این طیف‌سنج در ابزارهای دستی برای اندازه‌گیری‌های توزیع و فراوانی عنصرهای شیمیایی، سنگ و کانی‌شناسی درون زمین یا اعماق دریا به‌کار می‌رود.

طیف‌سنج هوابرد نوع دیگری از این دستگاه است که در هواپیماها به‌عنوان ابزاری برای نقشه‌برداری در برنامه‌های زیست‌محیطی نصب می‌شود و به تعیین خطرهای ناشی از وجود مواد پرتوزا در هوا می‌پردازد.

مواد پرتوزا و پرتوهای حاصل از آن‌ها، صرف‌نظر از کاربردهای سودمندی که دارند، از تولید برق گرفته تا استفاده در پزشکی، صنعت و کشاورزی، خطرهایی برای محیط‌زیست و سلامتی مردم دارند. این پرتوها با دو سازوکار یون‌سازی و تحریک، با محیط مادی به مبادلهٔ انرژی می‌پردازند. یون‌سازی در بافت‌های زنده، موجب آزاد شدن رادیکال‌های آزاد، تغییر ساختارهای مولکولی درون سلولی و مرگ سلول می‌شود. از این‌رو باید استانداردهای ایمنی در استفاده‌های پزشکی، فعالیت‌های هسته‌ای، نصب دستگاه‌ها، تولید، حمل‌ونقل، مدیریت زباله‌های پرتوزا تعریف شود. آژانس بین‌المللی انرژی اتمی مجموعه‌ای از این استانداردها را برای کشورهای عضو این آژانس تعیین کرده است که در جدول ۱ به آن اشاره شده است.

| الزامات ایمنی عمومی | الزامات ایمنی اختصاصی |
|---|---|
| ۱. چارچوب نظارتی از جانب دولت و بحث حقوقی ایمنی | ارزیابی پایگاه برای تأسیسات هسته‌ای |
| ۲. رهبری و مدیریت برای ایمنی | ـ ایمنی نیروگاه‌های هسته‌ای<br>ـ طراحی و ساخت‌وساز<br>ـ راه‌اندازی و عملیات |
| ۳. حفاظت در برابر پرتو و ایمنی منابع پرتوزا | ایمنی راکتور پژوهشی |
| ۴. ارزیابی ایمنی امکانات و فعالیت‌ها | ایمنی چرخه سوخت هسته‌ای |
| ۵. مدیریت زباله‌های پرتوزا | ایمنی زباله‌های پرتوزا |
| ۶. انهدام و ختم فعالیت‌ها | حمل‌ونقل ایمن مواد پرتوزا |
| ۷. آمادگی برای موارد اضطراری و پاسخ | |

**جدول ۱ ساختار بلندمدت مجموعه استانداردهای ایمنی آژانس بین‌المللی انرژی اتمی**

۱. ستارگانی که بیشتر عمر خود را گذرانده‌اند و در مراحل پایانی زندگی خود، با نور خیره‌کننده‌ای نابود می‌شوند.
۲. هنگام فروپاشی یک ستارهٔ بزرگ، فشار روی هستهٔ ستاره سبب فشردگی آن می‌شود در نتیجه الکترون‌ها و پروتون‌های مجزا با هم ترکیب می‌شوند و توده‌ای از نوترون‌ها را به‌وجود می‌آورند که بخش بزرگی از جرم ستاره را در خود جای داده است.
۳. جسمی فشرده با چگالی بسیار زیاد که به علت نیروی گرانش شدید، هیچ جرم یا نوری نمی‌تواند از میدان گرانشی آن بگریزد.

4. scintigraph
5. Positron Emission Tomography
6. Brachy Therapy

1. AEA Safety Standards fo for protecting people and the environment
2. Radiation Treatment of Polluted Water and Waste water (IAEA-TECDOC-1598-September 2008)
3. Guidelines for radioelement mapping using gamma ray spectormetry data (IAEA-TECDOC-1363-July 2003)
4. "The Discovery of X Rays", American Journal of Physics 13, 284 (1945).