

آنچه خوب است



معلمان زیست‌شناسی

از فیزیک پزشکی بدانند

معصومه خلیلی بروجنی*

و در عین حال بافت‌های سالم را بدون تخریب نگه دارد. در این مقاله کاربرد اتم‌های پرتوزا، پرتوهای X و موج‌های فراصوت را در پزشکی بررسی می‌کنیم.

چگونه تابش بر یاخته‌های زنده اثر می‌کند؟

کشتن یاخته‌ها: وقتی که تابش، اتم یا مولکولی را درون یاخته‌ای یونیده می‌کند، بیش‌تر وقت‌ها خود یاخته را تحت تأثیر قرار نمی‌دهد. اما وقتی یاخته تحت تأثیر تابش قرار بگیرد، معمولاً کشته می‌شود. تابش‌دهی یاخته‌ها با پرتوهای آلفا، بتا و گاما، ممکن است یاخته‌ها را بکشد. پرتودهی، به ویژه تابش گاما، غالباً برای کشتن یاخته‌ها به کار می‌رود. برای مثال، تابش‌دهی غذا، سبب کشتن جانداران زنده‌ی درون آن می‌شود که می‌توانند غذا را سریع‌تر فاسد کنند، بنابراین این‌گونه غذاها را می‌توان برای مدت طولانی در قفسه‌ی فروشگاه‌ها نگه‌داری کرد. هم‌چنین، پزشکان با استفاده از تابش‌های یون‌ساز، بیماری سرطان را با کشتن یاخته‌های سرطانی مداوا می‌کنند.

جهش یاخته‌ها: گاهی تابش سبب تغییر یاخته‌ها می‌شود، به سرعت ناهنجاری آن‌ها را افزایش می‌دهد و آن‌ها را سرطانی می‌کند. خیلی زود بیماری در سراسر بدن گسترش می‌یابد. احتمال ابتلا به بیماری سرطان با مقدار تابش دریافتی افزایش می‌یابد.

کاربردهای تابش گاما

در پزشکی هسته‌ای: اتم‌های پرتوزا می‌توانند پرتوهای آلفا، بتا و گاما گسیل کنند. تابش‌های آلفا و بتا به آسانی متوقف می‌شوند. تابش آلفا را پوست و تابش بتا را چند



چکیده

در این مقاله خواهیم دید که چگونه از تلفیق علوم مختلفی همچون زیست‌شناسی، فیزیک و پزشکی امکانات جدیدی برای یاری رساندن به انسان‌های بیمار فراهم شده است. یکی از این علوم تلفیقی فیزیک پزشکی است که هم فیزیک و هم زیست‌شناسی در توسعه و گسترش آن سهم دارند. فیزیک پزشکی از دو طریق گسترده می‌تواند به بیماران کمک کند: **تشخیص** (برای یافتن بیماری‌ها) و **درمان** (برای بهبود بیماری‌ها). اگر بخواهند دریابند که شخصی به سرطان مبتلاست یا نه، باید اختلاف میان بافت‌های سالم و ناسالم سرطانی را بدانند. اگر بخواهند بیماری سرطان فردی را درمان کنند، به درمانی نیاز دارند که بافت‌های سرطانی را از بین ببرد

سانتی متر بافت‌های بدن متوقف می‌کنند. تابش گاما می‌تواند نفوذ بیش‌تری داشته باشد. بنابراین، در پزشکی هسته‌ای از تابش گاما بیش‌تر استفاده می‌شود.

برای درمان: اگر فردی بیماری سرطان داشته باشد، یک روش درمان نابودی یاخته‌های سرطانی او با تابش یون‌ساز است. این روش پرتو درمانی نامیده می‌شود. عنصر کبالت- 60 تابش گاما گسیل می‌کند که می‌توان در پرتودرمانی از آن استفاده کرد. برای این کار کبالت را در یک پوشش سربی بزرگ محصور می‌کنند. در حالی که تابش گاما یاخته‌های سرطانی را از بین می‌برد، بافت‌های سالم بیمار با صفحه‌های سربی تا حد امکان دور از چشمه نگه داشته می‌شود.

برای تشخیص: از ایزوتوپ‌های پرتوزا می‌توان برای تشخیص نیز استفاده کرد. پرتوشناس^۱ اتم پرتوزا را به بدن بیمار تزریق می‌کند. این اتم پس از تزریق واپاشی می‌کند و تابش گاما گسیل می‌دارد که می‌تواند به وسیله‌ی دوربین گاما آشکارسازی شود. دوربین گاما مسیری را که اتم پرتوزا از بدن بیمار می‌گذرد، دنبال می‌کند.

پرتونگار نوعی ترکیب شیمیایی را انتخاب می‌کند که شامل گسیل‌کننده‌ی گاما باشد. این ترکیب را بخشی از بدن که مورد بررسی قرار گرفته است، جذب می‌کند. برای مثال ایزوتوپ ناپایدار تکنسیم ($^{99}_{43}\text{Tc}^*$) تابش گاما گسیل می‌کند. از تکنسیم می‌توان ترکیب‌های مختلفی تولید کرد که توسط مغز، شش‌ها، کبد، استخوان، قلب و دستگاه گردش خون جذب می‌شوند. از گسیل‌کننده‌های گاما برای بررسی کارکرد این اندام‌ها استفاده می‌شود.

ایزوتوپ‌های پرتوزای I^{131} را می‌توان از راه دهان مصرف کرد. آن‌ها پس از ورود به جریان خون جذب غده‌ی تیروئید می‌شوند. تکنسین‌های پرتونگار میزان گسیل از غده‌ی تیروئید را اندازه می‌گیرند، آن‌ها با اندازه‌گیری‌های مختلفی که از غده‌ی تیروئید انجام داده‌اند، با چگونگی رفتار غده‌ی سالم یا الگو آشنا هستند. آنان گسیل تیروئید بیمار را با تیروئید الگو مقایسه می‌کنند، تا ببینند آیا تیروئید او سالم است یا خیر.

نیم عمر زیست‌شناختی و پرتوزایی

می‌دانیم که نیم عمر پرتوزایی یک ایزوتوپ برابر است با متوسط مدت زمانی که هسته‌های یک نمونه به نصف مقدار واپاشیده می‌شوند. وقتی که ایزوتوپ پرتوزا به بدن بیمار وارد می‌شود، فرایند واپاشی ادامه می‌یابد و مقدار ایزوتوپ پرتوزا در بدن کاهش می‌یابد. در همان زمان، بر اثر فرایندهای بدنی مقداری از ایزوتوپ پرتوزا، سرانجام از بدن خارج می‌شود. متوسط مدت زمانی که طول می‌کشد تا یک اندام نصف

نمونه را از بدن خارج کند، نیم عمر زیست‌شناختی^۲ نامیده می‌شود. نیم عمر پرتوزایی t_p و نیم عمر زیست‌شناختی t_b تعداد هسته‌های پرتوزای باقی‌مانده در بدن را کاهش می‌دهند. نیم عمر مؤثر t_e هر دو عامل را به صورت رابطه‌ی زیر در نظر می‌گیرد:

$$\frac{1}{t_e} = \frac{1}{t_p} + \frac{1}{t_b}$$

برای مثال، نیم عمر پرتوزایی I^{131} - ۳۱، برابر ۸ روز و نیم عمر زیست‌شناختی آن ۲۱ روز است. به این ترتیب با استفاده از رابطه‌ی بالا، نیم عمر مؤثر آن برابر ۵/۸ روز خواهد شد. پرتونگارها مواد شیمیایی پرتوزا با نیم عمرهای مناسب را برای آزمایش‌هایی که آن‌ها انجام می‌دهند، انتخاب می‌کنند. آن‌ها به ایزوتوپ‌های پرتوزایی نیازمندند که نیم عمر آن‌ها طوری باشد که ایزوتوپ‌ها در خلال بررسی‌ها همواره موجود و فعال باشند.

محافظت‌های پرتوشناختی

قرار گرفتن بدن در مقابل گسیل هرگونه پرتو، مخاطره‌آمیز است. به این علت، پرتوزایی را فقط زمانی به کار می‌برند که احتمال سود آن بسیار بیش‌تر از زیانش باشد. پرتونگارها نوکلئیدهای پرتوزایی را انتخاب می‌کنند که نیم عمر مؤثر آن‌ها تا حد امکان کوتاه و مناسب با زمان لازم برای آزمایش باشد. این گونه انتخاب سبب می‌شود که بیمار در معرض تابش کم‌تری قرار گیرد. آنان معمولاً از ایزوتوپ‌های پرتوزایی که تابش آلفا و بتا گسیل می‌کنند، می‌پرهیزند (زیرا این تابش‌ها، یاخته‌ها را نابود یا تباه می‌کنند، بدون آن‌که از بدن خارج شوند. بنابراین کاربردی در تصویربرداری ندارند). آن‌ها فقط ایزوتوپ‌های پرتوزایی را که تابش گاما گسیل می‌کنند، ترجیح می‌دهند.

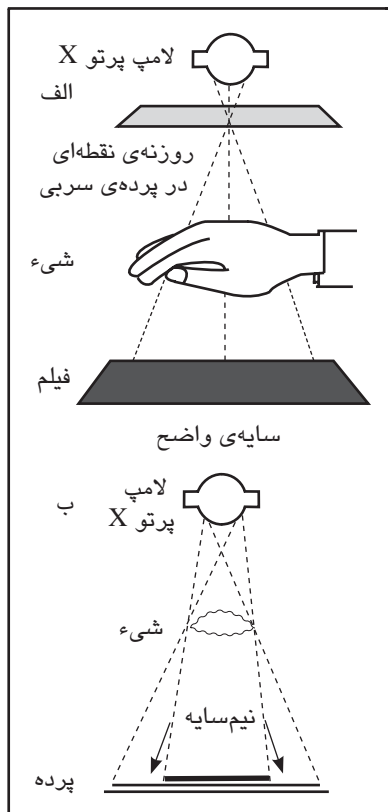
امروزه برای آزمایش عملکرد تیروئید، ایزوتوپ I^{131} را بر ایزوتوپ I^{123} ترجیح می‌دهند. زیرا I^{123} گسیلنده‌ی خالص تابش گاما و فاقد تابش آلفا و بتاست. بیمارانی که تیروئید فعال دارند و از I^{131} استفاده می‌کنند، گسیل تابش بتا بخشی از تیروئید آن‌ها را از بین می‌برد و سبب کاهش فعالیت آن می‌شود.

پرتوهای X

نحوه‌ی تولید: پرتوهای X بخشی از طیف موج الکترومغناطیسی هستند که بسامد و طول موج کوتاه دارند. از این پرتوها هم برای تشخیص و هم برای درمان استفاده می‌شود. شکل ۱ یک لامپ نمونه‌ی پرتو X را نشان می‌دهد.

عکاسی قرار گرفته است. یک چشمه‌ی نقطه‌ای پرتو X، سایه‌هایی با لبه‌های واضح تولید می‌کند. همان‌طور که در شکل ۲- ب دیده می‌شود، اگر

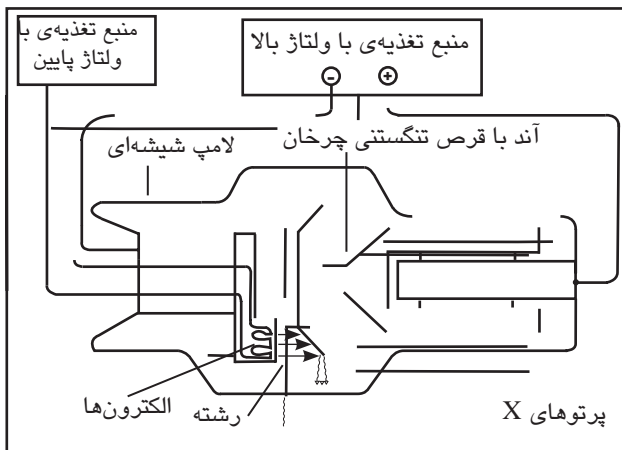
یک منبع تغذیه با ولتاژ پایین، جریانی برای گرم کردن یک رشته فراهم می‌کند. وقتی که رشته به حد کافی داغ شد، الکترون‌هایی گسیل می‌کند.



شکل ۲. برای به دست آوردن عکس‌های پزشکی واضح به یک منبع نقطه‌ای نیازمندیم.

چشمه‌ی پرتوهای X گسترده باشد، سایه تار است. وقتی که پرتوهای X به صفحه‌ی عکاسی برخورد می‌کنند، آن را سیاه می‌کنند. اگر پرتوهای X از نوع شدید باشند، برای مثال وقتی که پرتوها از فضای داخل شش‌ها می‌گذرند، صفحه‌ی فیلم خیلی سیاه می‌شود. درحالی که اگر پرتوهای X از داخل استخوان‌ها بگذرند آن‌ها به شدت جذب و پرتونگار روشن می‌شود. پرتوهای X با انرژی‌هایی در حدود 100KeV برای تشخیص به کار می‌روند. برای پرتوهای X با این انرژی، جذب به تعداد پروتون‌های عنصرهایی که پرتوها از میان آن‌ها می‌گذرند، بستگی شدیدی دارد. کلسیم در استخوان‌ها (تعداد پروتون ۲۰) خیلی بیش‌تر از هیدروژن (با یک پروتون) یا اکسیژن (با ۸ پروتون) در آب موجود در بافت‌های نرم، جذب‌کننده‌ی پرتوهای X است.

برای درمان: پرتوهای X و گاما هر دو از جنس موج‌های الکترومغناطیسی هستند. تنها تفاوت میان آن دو این است



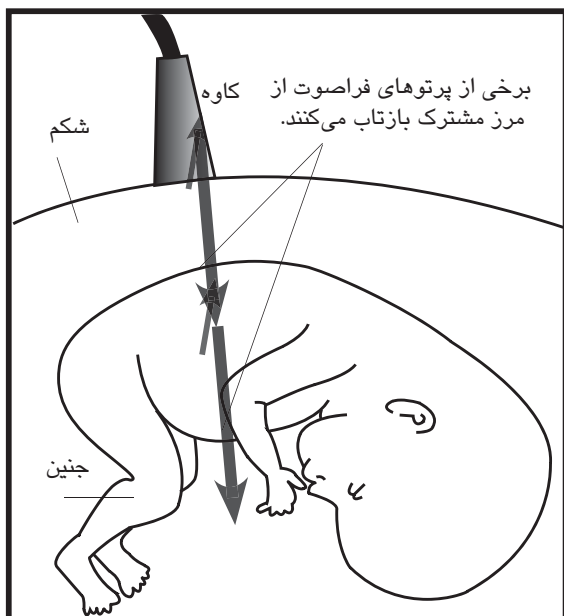
شکل ۱. وقتی که الکترون‌ها به آند برخورد می‌کنند، پرتوهای X از آن خارج می‌شوند.

منبع تغذیه با ولتاژ بالا، آند را نسبت به رشته به مقدار زیاد مثبت می‌کند و در نتیجه الکترون‌های گسیل شده از رشته را جذب می‌کند. الکترون‌ها با سرعت بالایی به آند برخورد می‌کنند و انرژی جنبشی خود را به آن می‌دهند. لامپ پرتو X طوری طراحی شده است که برخورد الکترون‌ها را روی ناحیه‌ی کوچکی از آند فراهم می‌کند. این ناحیه چشمه‌ی همه‌ی پرتوهای X است که در جهت‌های مختلف پخش می‌شوند.

انرژی پرتوهای X: انرژی پرتوهای X برحسب الکترون ولت (eV) اندازه‌گیری می‌شود. هر الکترون ولت برابر $1.6 \times 10^{-19}\text{J}$ است. اگر ولتاژ میان آند و کاتد در لامپ پرتو X برابر 70eV باشد، انرژی جنبشی الکترون‌ها درست پیش از برخورد به آند 70KeV است. اگر این الکترون‌ها همه‌ی انرژی جنبشی خود را به پرتوهای X بدهند با انرژی بیشینه‌ی پرتوهای X گسیل شده برابر 70KeV خواهد بود. از آنجا که بیش‌تر الکترون‌ها تنها بخشی از انرژی خود را به فوتون‌های پرتو X می‌دهند، بنابراین لامپ پرتو X گستره‌ی انرژی‌های مختلف تولید می‌کند که طیف نامیده می‌شود.

برای تشخیص: شکل ۲- الف چگونگی تشکیل پرتونگار را با پرتوهای X نشان می‌دهد. لامپ، پرتوهای X گسیل می‌کند که از داخل بدن بیمار می‌گذرند و به فیلم عکاسی برخورد می‌کنند. تصویر روی فیلم را پرتونگار می‌نامند. این تصویر سایه‌ی شیئی است که میان چشمه‌ی پرتو X و فیلم

در مقایسه با فوایدی که به دست می‌آید توجیه‌پذیر باشد. برای مثال، اگر بیماری احتمال مرگ از سرطان را دارد، تابش اضافی ناشی از پرتوهای X، قابل توجیه خواهد بود.



شکل ۳. از فراصوت برای کنترل رشد جنین در رحم مادر استفاده می‌شود. کاوه موج‌های فراصوتی ارسال می‌کند که از مرزهای مشترک بازتابیده می‌شوند.

قدرت نفوذ موج‌های فراصوتی محدود است، به‌ویژه اگر مرزهای مشترک هوا/بافت یا استخوان/بافت باشند. بنابراین، از موج‌های فراصوتی نمی‌توان برای بررسی قفسه‌ی سینه استفاده کرد. اما پرتوهای X قدرت تفکیک ضعیفی در مورد بافت‌های نرم دارند، در نتیجه برای معاینه‌ی اندام‌های مربوط به شکم مفید نیستند. از آن‌جا که طول موج همه‌ی پرتوهای X خیلی کم‌تر از کوتاه‌ترین طول موج موج‌های فراصوتی است، بنابراین قدرت تفکیک دستگاه‌های پرتو X بهتر از قدرت تفکیک دستگاه‌های فراصوتی است.

* دبیر زیست‌شناسی آموزش و پرورش منطقه‌ی ۱۹ تهران و دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه شهید بهشتی تهران
Khalily@ymail.com

که پرتوهای X بر اثر توقف الکترون‌ها و پرتوهای گاما بر اثر واپاشی هسته‌ای تولید می‌شوند. برای درمان معمولاً از پرتوهای X با انرژی‌هایی از مرتبه‌ی میلیون الکترون ولت (MeV) استفاده می‌شود. استفاده از پرتوهای X با این انرژی دو مزیت دارد. مزیت اول این‌که این جذب پرتوهایی پر انرژی X به تعداد پروتون‌ها بستگی ندارد، بنابراین به استخوان‌ها آسیب اندکی می‌رساند. مزیت دوم پرتوهای X میلیون الکترون ولتی نسبت به پرتوهای X هزار الکترون ولتی قابلیت نفوذ بیش‌تر آن‌هاست. این پرتوهای پر انرژی می‌توانند بیماری سرطان را در اعماق داخل بدن بیمار درمان کنند. لازم به ذکر است که درمان سرطان با پرتو X بیش‌تر مُسکن است و اثرهای سرطان را آرام می‌کند، اما به‌طور کامل آن را مداوا نمی‌کند.

موج‌های فراصوتی

ویژگی: موج‌های فراصوتی نوع دیگری از موج‌ها هستند که در پزشکی کاربرد مفیدی دارند. موج‌های فراصوتی مکانیکی هستند نه الکترومغناطیسی و با نوسان‌های طولی در یک محیط مادی منتشر می‌شوند. گوش انسان قادر است صوت‌هایی با بسامد ۲۰ هرتز تا ۲۰ کیلو هرتز را بشنود اما موج‌های صوتی با بسامدهای بالاتر را که **فراصوت**^۲ نامیده می‌شوند نیز می‌توان تولید کرد.

برای تشخیص: موج‌های فراصوتی ابزار مفیدی برای بررسی بدن هستند. موج‌های فراصوتی معمولاً برای زیر نظر گرفتن رشد، تکامل و سلامت عمومی جنینی که در رحم مادر قرار دارد به‌کار می‌روند. این موج‌ها برای بررسی سلامتی بافت‌های نرم اندام‌ها مانند کبد نیز به‌کار می‌روند. مولدهای فراصوت پزشکی از یک کاوشگر برای ارسال پت‌های فراصوتی و دریافت پژواک آن‌ها از مرزهای مشترک بافت‌ها استفاده می‌کنند (شکل ۳).

برای درمان: موج‌های فراصوتی هم‌چنین برای درمان در بعضی شرایط پزشکی به‌کار می‌روند. این موج‌ها می‌توانند بافت‌های دردناک را به سرعت التیام بخشند و مثلاً سنگ‌های کیسه‌ی صفرا و کلیه را خرد کنند.

مقایسه‌ی پرتوهای X با موج‌های فراصوتی

تصویربرداری با موج‌های فراصوتی ایمن‌تر از استفاده از پرتوهای X است. تاکنون آثار زیان‌بخش شناخته‌شده‌ای مربوط به موج‌های فراصوتی با قدرت پایین که برای رویش از آن‌ها استفاده می‌شود مشاهده نشده است. اما همه‌ی پرتوهای X با هر مقدار، احتمال زیان‌بار بودن را دارند. از پرتوهای X باید تنها در زمانی استفاده شود که احتمال زیان به نسبت بالا

پی‌نوشت
1. Radiologist
2. Biological half-life
3. Radiograph
4. Ultrasound
5. Probe
مرجع
قسمت عمده‌ی این مقاله از بخش ضمیمه‌ی فیزیک پزشکی کتاب زیر انتخاب شده است.
Electricity and Thermal Physics, Section D Medical Physics, Mark Ellse & Chris Honeywill, Nelson Thornes Ltd 2004.