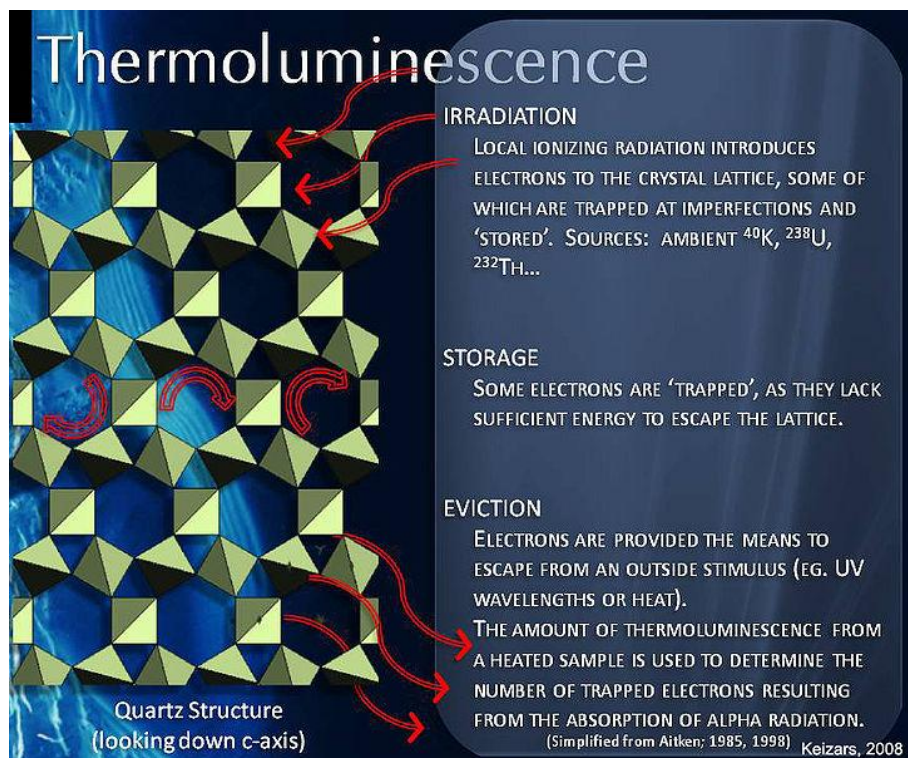


پدیده ترمولومینسانس

برخی از مواد نیمه هادی یا عایق در صورتیکه ابتدا پرتو دهی و سپس گرمادهی شوند نور مرئی انتشار می دهند که به آن نور ترمولومینسانس گویند. بنابراین ترمولومینسانس انتشار نور مرئی از ماده پرتو دهی شده (نیمه هادی یا عایق) در اثر تحریک گرمایی می باشد. موادی که دارای این خاصیت می باشند را مواد ترمولومینسانس می نامند.

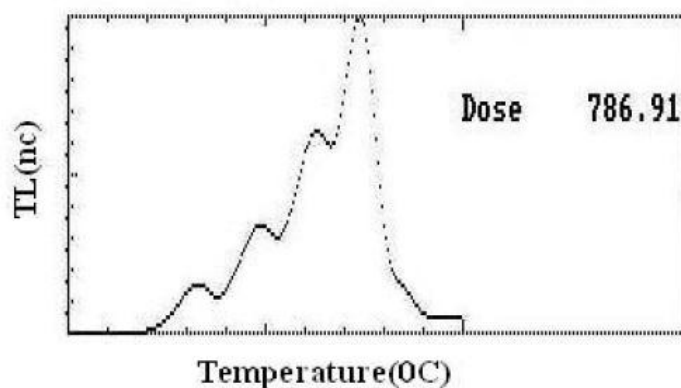
هنگامی که این مواد پرتو دهی می شوند ، انرژی پرتو در اثر فرآیند های فیزیکی در ماده جذب می شود و باعث برانگیختگی الکترون ها می شود. الکترون های برانگیخته شده به ترازهای انرژی بالاتر منتقل می شوند و بدلیل ناپایداری در زمان کوتاهی به حالت پایه قبلی برمی گردند که در مسیر بازگشت در دام های الکترونی که به واسطه ناخالصی و نقایص ذاتی در ماده ایجاد شده به دام می افتند؛ و تا زمانی که مجدداً انرژی دریافت نکنند در دام باقی می مانند. بدین ترتیب می توان گفت پرتوی برخوردی به ماده در آن ذخیره شده است. در صورتیکه بوسیله گرما دوباره به ماده انرژی داده شود الکترون ها از دام آزاد شده و انرژی اضافی خود را با انتشار فوتون ترمولومینسانس انتشار می دهند. معمولاً گرمادهی بصورت خطی و تا دمای ۲۵۰ درجه سانتیگراد صورت می پذیرد. دام های الکترونی در دمای مختلف تخلیه می شوند.

در شکل زیر نمودار ساده پدیده ترمولومینسانس نشان داده شده است :



شکل ۱- اصول پدیده ترمولومینسانس

در صورتی که شدت فوتون های انتشار یافته بر حسب دما رسم شود منحنی بدست آمده را منحنی درخشندگی ماده ترمولومینسانس می نامند. سطح زیر منحنی درخشندگی متناسب با مقدار دز پرتوهایی است که به ماده برخورد نموده است.



شکل ۲- منحنی درخشندگی ترمولومینسانس

این پدیده جالب باعث شده تا موادی که این رفتار را از خود نشان می دهند به عنوان آشکار ساز و یا دزیمتر پرتوهای یونساز مانند ایکس ، گاما ، بتا و نوترون مورد استفاده قرار گیرند و آنها را دزیمتر ترمولومینسانس با علامت اختصاری TLD (Thermo Luminescence Dosimeter) می نامند. دزیمترهای ترمولومینسانس دارای انواع مختلف با ترکیب شیمیایی و نام تجاری متفاوت می باشند.

در جدول زیر تعدادی از آنها معرفی شده اند:

Dosimeter	Peak temp(°C)	sensitivity	Zeff	Dosimetry Application
LiF:Mg,Ti(TLD-100)	210	1	8.3	X, γ , β
⁶ LiF:Mg,Ti(TLD-600)	210	1	8.3	X, γ , β , n
⁷ LiF:Mg,Ti(TLD-700)	210	1	8.3	X, γ , β
LiF:Mg,Cu,P(GR-200)	220	25	8.3	X, γ , β
Li ₂ B ₄ O ₇ :Cu	205	8	7.4	X, γ , β
CaSO ₄ :Dy	220	25	15.3	X, γ , β
CaF ₂ :Dy	215	15	16.3	X, γ , β

شکل ۳- چند ماده TLD و مشخصات آنها

سیستم قرائت کارت دزیمتر ترمولومینسانس (TLD reader)

سیستم قرائت دزیمتر TLD دارای چندین قسمت اصلی شامل المان حرارت دهی ، لامپ تکثیر کننده فوتونی ، نمایشگر منحنی درخشندگی ، کامپیوتر داخلی و سایر بوردهای الکترونیکی است. سیستم های جدید بسیار پیشرفته و با قابلیت های منحصر بفرد می باشند. در این سیستم ها حرارت دهی دزیمتر از طریق گاز داغ انجام می شود. و بطور کلی دخالت عوامل انسانی در فرآیند قرائت و دزیمتری جهت دوری از بروز خطا و افزایش دقت در دزیمتری حذف شده است.



شکل ۴- قرائتگر خودکار TLD مدل ۷۲۰۰ ساخت شرکت ایمن گستر رامن کیش با قابلیت قرائت کارت های مختلف

مزایای و کاربردهای دزیمترهای ترمولومینسانس (TLD)

۱ - برخی اذدزیمترهای TLD دارای عدد اتمی مؤثر (Zeff) مساوی و یا نزدیک به بافت بدن انسان یعنی ۷.۴ می باشند. این ویژگی منحصر بفرد باعث می شود تا پاسخ دزیمتر نسبت به پرتوهای فوتونی (ایکس و گاما) به انرژی پرتو بستگی نداشته باشد. در نتیجه هنگام دزیمتری با اینگونه دزیمترها مانند : $\text{LiF:Mg,Ti(TLD-100)}$, LiF:Mg,Ti(GR-200) نیاز به تصحیح پاسخ دزیمتر نسبت به انرژی پرتو مورد اندازه گیری مانند ایکس و گاما وجود ندارد و نتایج دزیمتری از دقت بالایی برخوردار است. بدین لحاظ چنین دزیمترهایی کاملاً ایده آل برای اندازه گیری پرتوگیری پرتوکاران و یا بیماران در فرآیندهای پرتو تشخیصی و پرتو درمانی می باشند. و امروزه بیشترین کاربرد را در دزیمتری فردی پرتوکاران پیدا کرده اند.

۲ - کلیه دزیمترهای TLD برای اندازه گیری پرتوهای ایکس، گاما و بتا قابل استفاده می باشند. برخی از آنها مانند: $\text{LiF:Mg,Ti(TLD-600)}$ نسبت به پرتوهای نوترون نیز حساسیت دارد. در صورتی که $\text{LiF:Mg,Ti(TLD-700)}$ نسبت به پرتو نوترون حساسیت ندارد. این خاصیت باعث می شود تا بتوان با استفاده از دو عدد دزیمتر TLD-600 و TLD-700 در کنار هم در میدان های مخلوط نوترون و گاما دزیمتری نمود و سهم پرتوهای گاما و نوترون را از هم تفکیک نمود.

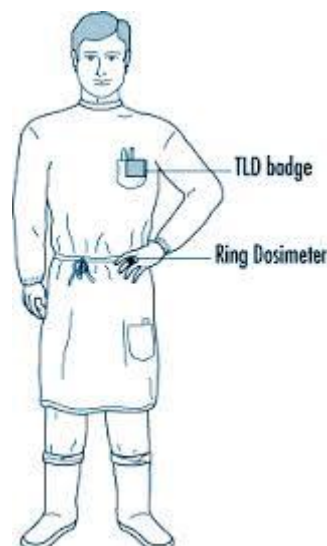
۳ - دزیمترهای TLD پس از هر بار قرائت اطلاعات ذخیره شده در آنها تخلیه شده و صفر می شوند در نتیجه مجدداً برای انجام دزیمتری قابل استفاده می باشند. و در صورتیکه درست استفاده شده و کریستال آنها خسارت نبیند برای دفعات زیاد قابل استفاده می باشند. بنابراین دزیمترهای یک بار مصرف نیستند.

۴ - عوامل محیطی از قبیل نور ، دما و رطوبت بر آنها بی اثر است و باعث از دست رفتن اطلاعات ذخیره شده در آنها نمی شود. این ویژگی استفاده از این دزیمترها را در مناطق گرم و مرطوب و در بازه های زمانی طولانی کاملاً عملی ساخته است.

۵ - بدلیل اینکه در اثر پرتوگیری زیاد ، اشباع نمی شوند در گستره وسیعی از دزهای کم تا دزهای زیاد با دقت مطلوب برای اهداف دزیمتری مورد استفاده قرار می گیرند.

۶ - دزیمتری فردی - بر اساس استانداردهای بین المللی ، سه کمیت مختلف شامل دز مؤثر یا HP(10) (دز در عمق ۱۰ میلیمتری بافت بدن) ، دز پوست یا HP(0.07) (دز در زیر لایه مرده پوست به ضخامت ۷ میکرون) و دز عدسی چشم HP(3) (دز در عمق ۳ میلیمتری عدسی چشم) در پرتوگیری شغلی یا دزیمتری فردی پرتوکاران در فعالیت های مختلف پرتوی باید اندازه گیری شوند.

با استفاده از دزیمترهای معادل بافت TLD که کریستال های با ابعاد کوچک 3.1×3.1 میلیمتر و به ضخامت ۰.۴ یا ۰.۸ میلیمتر می باشند ، دزیمتر فردی طراحی می شود و مورد استفاده پرتوکاران قرار می گیرد. بدین صورت که ۳ کریستال دزیمتر معادل بافت TLD زیر فیلتر های با دانسیته سطحی ۱۰۰۰ ، ۷ و ۳۰۰ میلیگرم بر سانتیمتر مربع قرار می گیرند و کمیت های ذکر شده اندازه گیری می شوند. برای این منظور کریستال ها روی کارت فلزی یا پلاستیکی نصب می شوند و فیلترها در قاب (بج) نصب می شوند. زمانیکه کارت درون قاب قرار می گیرد کریستال ها زیر فیلتر های ذکر شده قرار می گیرند و کمیت های فوق اندازه گیری می شوند. ویژگیهای منحصر بفرد دزیمترهای TLD باعث شده تا طراحی دزیمتر فردی با استفاده از آنها به شکل دلخواه صورت پذیرد و کمیت های دزیمتری با دقت بالا اندازه گیری شوند.



شکل ۵- کاربرد بج TLD ساخت شرکت ایمن گستر رامان کیش برای حفاظت افراد پرتوکار

کارت های دزیمتری فردی TLD بسته به نوع کاربرد و میدان پرتوکه پرتوکار با آن مواجه می شود می تواند شامل ۲ ، ۳ و یا ۴ کریستال TLD میباشد.



شکل ۶- کارت سه قرصه TLD100 ساخت شرکت ایمن گستر رامن کیش به همراه بیج مربوط به آن

کارت دارای دو کریستال TLD-100 و قاب دارای فیلترهای با دانسیته ۱۰۰۰ و ۷ میلیگرم بر سانتیمتر مربع برای اندازه گیری کمیت های HP(10) و HP(0.07) مورد استفاده پرتوکاران در رادیوگرافی صنعتی ، رادیولوژی معمولی ، رادیوتراپی و پزشکی هسته ای.



شکل ۷- کارت سه قرصه TLD100 ساخت شرکت ایمن گستر رامن کیش قرار گرفته در بیج مربوط به آن

در صورتیکه دست پرتوکار در معرض پرتوگیری باشد مانند فعالیت های حمل چشمه پرتوزا ، تهیه و توزیع رادیوایزوتوپ و پزشکی هسته ای ، دزیمتر فردی TLD هنگام کار روی میچ دست نصب می شود و یا یک عدد کریستال TLD در قاب انگشتی مورد استفاده قرار می گیرد.



شکل ۸- انواع مختلفی از کارت و قرص درون بیج انگشتی و مچی برای افراد پرتو کار

در فعالیت های رادیولوژی مداخله ای و آنژیوگرافی دزیمتر فردی دارای حداقل ۳ کریستال TLD مورد استفاده قرار می گیرد و هر سه کمیت دزیمتر فردی یعنی: دز مؤثر، دز پوست و دز عدسی چشم اندازه گیری و با حدود استاندارد پرتوگیری مقایسه می شوند.

در فعالیت هایی که پرتوکار با میدان های آمیخته نوترون-گاما مواجه می شود مانند: نیروگاه های هسته ای، چاه پیمایی، رطوبت سنجی و کار های پژوهشی بر اساس استاندارد های بین المللی و ضوابط واحد قانونی ایران باید دزیمتر فردی نوترون-گاما استفاده شود و سهم دز نوترون و گاما بصورت جداگانه گزارش و ثبت شود.

کارت دزیمتری نوترون-گاما TLD، حاوی چهار کریستال TLD-600 و TLD-700 با آرایش ۶۷۷۶ می باشد و با توجه به اینکه TLD-600 نسبت به پرتوهای گاما و نوترون حساسیت داشته و TLD-700 صرفاً دز گاما را اندازه گیری می نماید سهم دزهای نوترون و گاما قابل تفکیک می باشند. این دزیمتر یکی از گزینه های مناسب برای دزیمتر فردی در میدان های آمیخته نوترون-گاما می باشد.



شکل ۹- کارت چهار قرصه ساخت شرکت ایمن گستر رامان کیش به همراه بیج مربوط به آن

۷ - دزیمتری بیماران - کریستال های TLD دارای ابعاد کوچک حدود 3.1×3.1 میلیمتر و به ضخامت 0.4 یا 0.8 میلیمتر بوده و یا به شکل قرص به قطر 4.5 و ضخامت 0.9 میلیمتر می باشند. ابعاد کوچک دزیمترهای TLD و معادل بافت بودن عدد اتمی مؤثر آنها این امکان را می دهد تا بتوان از آنها در دزیمتری بیماران بدون اینکه در کیفیت تصویر برداری پزشکی خللی ایجاد کند استفاده نمود. با توجه به اینکه دزیمترها معادل بافت بدن می باشند در هر نقطه ای که داخل بافت قرار گیرند دز مربوط به همان بافت را در پرتو گیری بیماران اندازه گیری می نمایند. کریستال ها را روی بدن بیمار نصب می نمایند و یا آنها را در حفره های داخل فانتوم مدل انسان (فانتوم راندو) قرار می دهند و در فرآیندهای پرتوتشخیصی و پرتودرمانی پرتوگیری بیمار و اندام های داخل بدن او را اندازه گیری می نمایند. دزیمتر TLD و فانتوم راندو دو ابزار ویژه ای هستند که در پژوهش های پرتودرمانی و پرتوتشخیصی در مراکز پزشکی بطور گسترده مورد استفاده قرار می گیرند.



شکل ۱۰- قرص TLD ساخت شرکت ایمن گستر رامن گیش به همراه فانتوم برای جایگذاری قرص ها برای مقاصد تحقیقاتی پزشکی

۸ - دزیمتری محیطی و پایش محل کار

دزیمترهای TLD یکی از ابزارهای های شناخته شده برای اندازه گیری پرتوزایی طبیعی در محیط ، اندازه گیری انتشار پرتو از تأسیسات هسته ای و نشت پرتوی حفاظ منابع پرتوزا می باشند. دارای حساسیت مناسب می باشند و تحت تأثیر عوامل محیطی قرار نمی گیرند. با توجه به آهنگ کند پرتوزایی در محیط می توان دزیمتر TLD را در مدت زمان طولانی در محیط قرار داد و پرتوزایی محیطی یا محل کار را با دقت بسیار بالا اندازه گیری نمود. بخصوص در مراکزی که سیستم های پرتوزا یا پرتو ساز در مجاورت اتاق های پرسنلی می باشند. مانند مراکز پزشکی پرتو تشخیصی و پرتو درمانی که برای اطمینان از عدم نشت پرتو به اتاق مجاور دزیمترهای TLD در یک بازه زمانی معین روی دیوار و یا داخل اتاق نصب شده و پس از قرائت آنها میزان نشت و یا عدم نشت پرتو اندازه گیری می شود.



شکل ۱۱- دستگاه قرائتگر TLD دستی مدل ۷۱۰۳ با قابلیت خواندن قرص و پودر