لومینسانس درخشش جادویی کانی‌ها

مازیار نظری*

مقدمه

بعضی از کانی‌ها در صورت تحریک توسط عوامل خارجی، نظیر گرم‌شدن، ضربه خوردن، مالش، وخراش و برانگیختگی شبکه‌ای حاصل از تابش پرتوهای پر انرژی، از خود نور مرئی ساطع می‌کنند. از این نور افشانی سرد و رنگین که ارتباطی با سوختن، اکسیداسیون و یا تولید حرارت ندارد، می‌توان به عنوان یکی ازراه‌های شناسایی کانی‌ها استفاده کرد. به‌خصوص از این لحاظ که رنگ آن با رنگ ظاهری کانی بسیار متفاوت است.

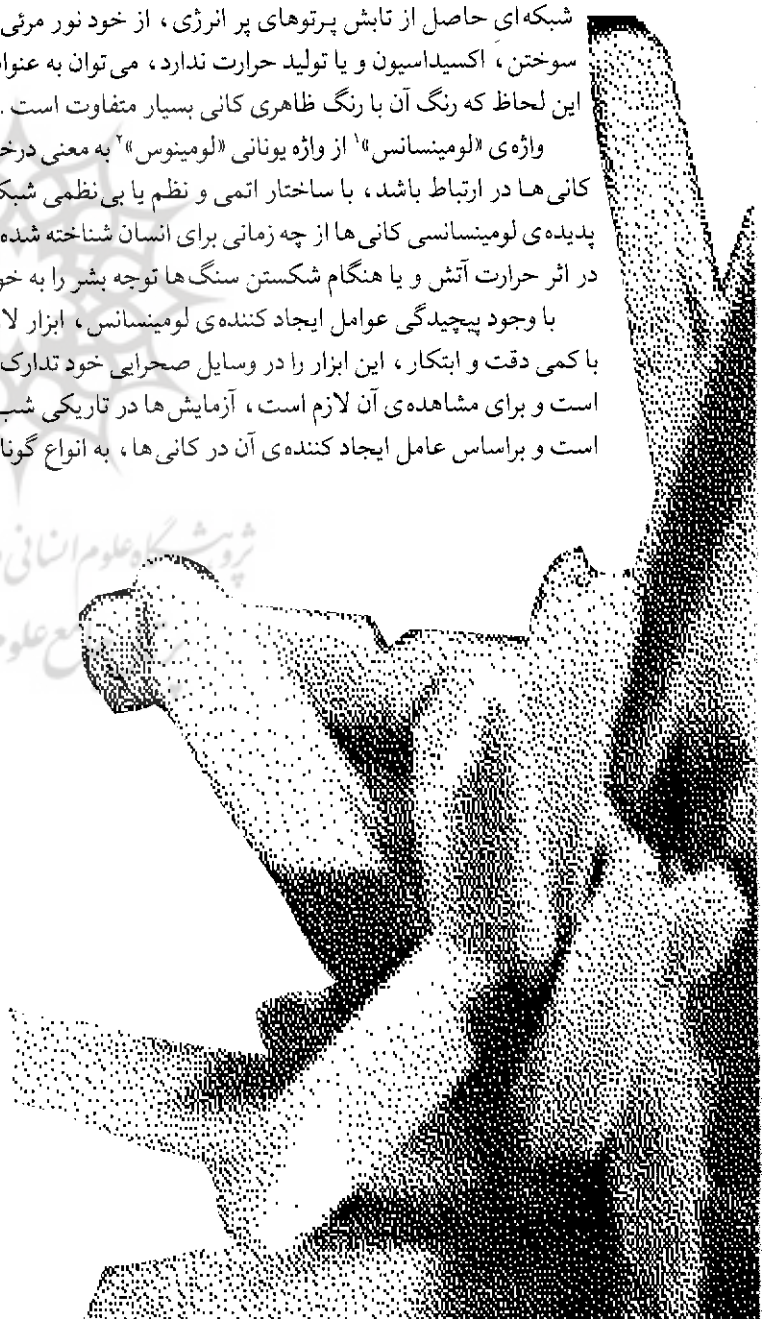
واژه‌ی «لومینسانس»[1] از واژه یونانی «لومینوس»[2] به معنی درخشان گرفته شده است. این پدیده بیش از آن‌که با ترکیب شیمیایی کانی‌ها در ارتباط باشد، با ساختار اتمی و نظم یا بی‌نظمی شبکه‌ی بلورین آن‌ها مرتبط است. به درستی مشخص نیست، پدیده‌ی لومینسانسی کانی‌ها از چه زمانی برای انسان شناخته شده است، اما مسلماً از گذشته‌های دور، نورافشانی برخی کانی‌ها در اثر حرارت آتش و یا هنگام شکستن سنگ‌ها توجه بشر را به خود جلب کرده است.

با وجود پیچیدگی عوامل ایجاد کننده‌ی لومینسانس، ابزار لازم برای مشاهده‌ی آن ساده هستند و هر زمین‌شناسی می‌تواند، با کمی دقت و ابتکار، این ابزار را در وسایل صحرایی خود تدارک ببیند. نور لومینسانس حاصل از کانی‌ها معمولاً بسیار ضعیف است و برای مشاهده‌ی آن لازم است، آزمایش‌ها در تاریکی شب و یا اتاقی کاملاً تاریک انجام پذیرند. لومینسانس واژه‌ای کلی است و براساس عامل ایجاد کننده‌ی آن در کانی‌ها، به انواع گوناگونی تقسیم می‌شود.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

نور و رنگ

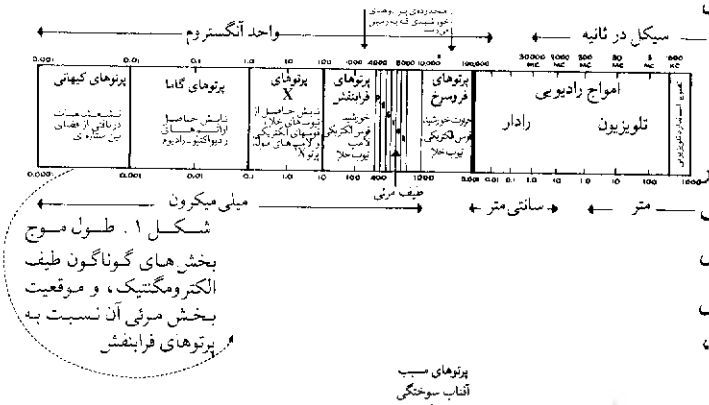
رنگ نور بستگی به طول موج آن دارد. نور سفید مجموعه‌ای از طول موج‌های بین چهار تا هفت هزار انگستروم[3] (هر انگستروم = یک میلیونیم سانتی‌متر) را شامل می‌شود که روی هم رفته، محدوده‌ی نور مرئی را تشکیل می‌دهند. رنگ هر شیئی هم بستگی به رنگ یا طول موج نوری دارد که از روی سطح آن منعکس می‌شود و یا از آن عبور می‌کند و به چشم ما می‌رسد. سیب سرخ به این دلیل سرخ رنگ دیده می‌شود که وقتی نور سفید به آن می‌تابد، تنها طول موج محدوده‌ی قرمز رنگ طیف (شش تا هفت هزار انگستروم) را به سوی چشم ما منعکس، و بقیه‌ی طول موج‌های طیف مرئی را جذب می‌کند. همچنین، شیشه‌ی شفاف سبز رنگ به این دلیل سبز دیده می‌شود که بخش سبز نور سفید را از خود عبور می‌دهد و بقیه‌ی طول موج‌ها را جذب و به حرارت تبدیل می‌کند.



در نتیجه، رنگ هر جسم حاصل بازتاب، عبور و جذب انتخابی طول موج‌های نور سفید است. مفهوم جذب انتخابی، به بخش‌های غیرمرئی طیف «الکترومگنتیک»[۴] نیز، همانند بخش مرئی، قابل تعمیم است. برای مثال، فیلتر ویژه‌ی لامپ فرابنفش طول موج کوتاه، نسبت به عبور این پرتوها شفاف است، در حالی که نور مرئی را جذب می‌کند و از خود عبور نمی‌دهد.

پرتوهای فرابنفش

پرتوهای فرابنفش برای چشم انسان قابل مشاهده نیستند و در محدوده‌ی طول موج‌های کوتاه و در نتیجه پر انرژی طیف الکترومگنتیک قرار می‌گیرند. ناحیه‌ی پرتوهای فرابنفش، از طول موج چهار هزار انگستروم، واقع در مجاورت رنگ بنفش محدوده‌ی نور مرئی آغاز می‌شود و تا طول موج ۱۰۰ انگستروم، یعنی حد بالای پرتوهای X، ادامه دارد (شکل ۱).

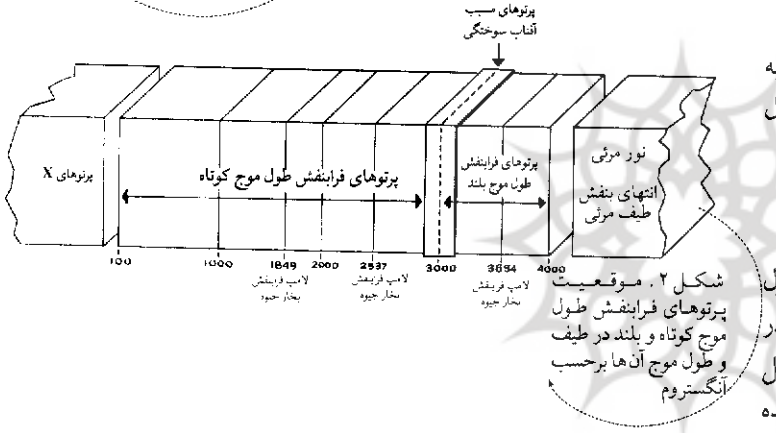


شکل ۱. طول موج بخش‌های گوناگون طیف الکترومگنتیک، و موقعیت بخش مرئی آن نسبت به پرتوهای فرابنفش

پرتوهای فرابنفش براساس طول موج، انرژی و تأثیراتشان، به دو گروه تقسیم می‌شوند: پرتوهای طول موج بلند[۵] و پرتوهای طول موج کوتاه.[۶]

پرتو فرابنفش طول موج بلند

ناحیه‌ی پرتوهای فرابنفش طول موج بلند در محدوده‌ی طول موج‌های سه تا چهار هزار انگستروم طیف الکترومگنتیک، و در مجاورت انتهای بنفش رنگ طیف مرئی واقع شده است (شکل ۲). این گروه از پرتوهای فرابنفش که اصطلاحاً «پرتو سیاه»[۷] نامیده می‌شوند، به طور گسترده‌ای در بازرسی صنعتی، دستگاه‌های تست اسکناس، کارهای نمایشی و تبلیغاتی، داروسازی و زیست‌شناسی مورد استفاده قرار می‌گیرند. مهم‌ترین منبع مولد پرتوفرابنفش طول موج بلند، لامپ‌های بخار جیوه هستند که این پرتوها را با طول موج ۳۶۵۴ انگستروم از خود منتشر می‌سازند. لامپ‌های استوانه‌ای شکل دستگاه‌های تست اسکناس و بعضی از لامپ‌های حشره‌کش‌های برقی از همین نوع هستند. بعضی از کانی‌ها، در برابر تابش پرتوفرابنفش، طول موج بلند فلورسانسی از خود نشان می‌دهند، اما اغلب کانی‌ها، در برابر پرتوی فرابنفش طول موج کوتاه، واکنش بهتری از خود نشان می‌دهند. شما در صحرا می‌توانید، از یک دستگاه تست اسکناس نسبتاً ارزان قیمت و قابل حمل که با باتری تغذیه می‌شود، به عنوان منبع مولد پرتو فرابنفش استفاده کنید.



شکل ۲. موقعیت پرتوهای فرابنفش طول موج کوتاه و بلند در طیف و طول موج آن‌ها برحسب آنگستروم

پرتوهای فرابنفش طول موج کوتاه

پرتوهای فرابنفش طول موج کوتاه، ناحیه‌ای از محدوده‌ی طیف الکترومگنتیک با طول موج بین سه هزار تا صد انگستروم را شامل می‌شود. این محدوده بین ناحیه‌ی مربوط به پرتوهای فرابنفش طول موج بلند و ناحیه‌ی پرتو X واقع شده است (شکل ۲). متداول‌ترین منبع مولد پرتوفرابنفش طول موج کوتاه، لامپ‌های قوس الکتریکی بخارجیوه[۸] هستند. بخش اعظم پرتو تولید شده از این لامپ‌ها دارای طول موج ثابت ۲۵۳۷ انگستروم است. البته این لامپ‌ها مقدار کمی پرتو فرابنفش طول موج بلند، نور مرئی و نیز مقدار کمی پرتوفرابنفش با طول موج ۱۸۴۹ انگستروم نیز تولید می‌کنند، اما تنها مقدار ناچیزی از پرتوهای دارای طول موج ۱۸۴۹ انگستروم می‌تواند از شیشه‌ی جداره‌ی لامپ عبور کند که آن هم پس از طی مسافتی کوتاه، توسط هوا جذب می‌شود. مولکول‌های اکسیژن هوا، در نتیجه‌ی جذب این طول موج به ازون تبدیل می‌شود. در نتیجه از این لامپ‌ها به عنوان اکسیدکننده‌ی قوی و مطبوع‌کننده‌ی هوا استفاده می‌شود.

تابش مستقیم پرتوهای فرابنفش طول موج کوتاه ۲۵۳۷ انگستروم روی باکتری‌ها، موجب از بین رفتن آن‌ها می‌شود. در نتیجه، از این خاصیت ضدعفونی‌کنندگی آن در صنایع بسته‌بندی مواد غذایی، بیمارستان‌ها، سیستم‌های تهویه‌ی مطبوع و گندزدایی، مکان‌های عمومی و غیره استفاده می‌شود. همچنین، گروه بزرگی از کانی‌های فلورسنت، نسبت به این نوع از پرتوهای فرابنفش از خود واکنش نشان می‌دهند. در صحرا، کانی‌هایی

نظیر «شتلیت» را با استفاده از همین خاصیت و به کمک یک لامپ فرابنفش طول موج کوتاه پرتابل، در تاریکی شب می‌توان یافت.

همین پرتوهای فرابنفش طول موج کوتاه، صدمات جدی را به چشم انسان وارد می‌کنند و همچنین، تابش طولانی مدت آن‌ها به پوست موجب ایجاد آفتاب سوختگی شدید می‌شود (شکل ۲). برخلاف پرتوهای فرابنفش طول موج بلند که از اکثر انواع شیشه، پلاستیک و سایر مواد شفاف عبور می‌کنند، پرتوهای طول موج کوتاه در برخورد با اکثر مواد شفاف جذب می‌شوند و از آن‌ها عبور نمی‌کنند. این پرتوها از شیشه‌ی معمولی یا پلاستیک‌های شفاف (به استثنای برخی غشاهای نازک پلاستیکی) عبور نمی‌کنند.

بدین ترتیب، پرتوهای فرابنفش طول موج کوتاه نمی‌توانند، از شیشه‌ی پنجره منزل به داخل نفوذ کنند و یا از عینک شما بگذرند و به چشمان شما صدمه بزنند. در حقیقت، این گروه از پرتوهای فرابنفش حتی نمی‌توانند از شیشه‌ی حباب لامپ مولدشان عبور کنند، مگر این که این حباب از نوعی شیشه‌ی خالص و ویژه تهیه شده باشد. به همین دلیل، لامپ‌های مولد پرتو فرابنفش طول موج کوتاه، در مقایسه با لامپ‌های طول موج بلند، بسیار گران قیمت‌تر هستند.

فیلترهای فرابنفش

تمام لامپ‌های مولد پرتوفرابنفش مقداری نور مرئی نیز از خود ساطع می‌کنند که معمولاً روی رنگ و شدت فلورسانسی ایجاد شده توسط کانی‌ها، اثر نامطلوبی می‌گذارد. بنابراین، در مسیر تابش پرتوهای فرابنفش، فیلتری شیشه‌ای به رنگ بنفش تیره قرار داده می‌شود تا ضمن عبور پرتوهای فرابنفش، تا حد امکان از عبور پرتوهای مرئی مزاحم جلوگیری کند.

انواع گوناگون فیلترهای شیشه‌ای به رنگ بنفش یا آبی تیره وجود دارند که از آن‌ها می‌توان به این منظور در لامپ‌های مولد پرتوهای فرابنفش طول موج بلند استفاده کرد. امروزه غالباً در ساخت حباب این لامپ‌ها از نوعی شیشه به رنگ آبی تیره استفاده می‌شود که نقش فیلتر را برای لامپ ایفا می‌کند. اما فیلترهای مورد استفاده برای لامپ‌های طول موج کوتاه، از نوعی شیشه‌ی مخصوص و گران قیمت تهیه می‌شود، زیرا همان گونه که پیش‌تر گفته شد، پرتوهای فرابنفش طول موج کوتاه، از شیشه‌های معمولی عبور نمی‌کنند.

تعریف فلورسانس[۹]

بعضی از کانی‌ها، در صورت قرار گرفتن در معرض تابش پرتوهای فرابنفش، از خود نور مرئی ساطع می‌کنند. این نور مرئی که تقریباً هر رنگی می‌تواند داشته باشد، اصطلاحاً «رنگ فلورسنت» آن کانی نامیده می‌شود. این رنگ فلورسنت در وهله‌ی نخست به ماهیت کانی و تا حدود کم‌تری به طول موج پرتو فرابنفش تابیده شده بستگی دارد. برای نخستین بار، **جورج استوکس**[۱۰] در اوایل دهه‌ی ۱۸۰۰ میلادی دریافت، «فلوریت» در نتیجه‌ی قرار گرفتن در معرض تابش پرتو فرابنفش خورشید، التهاب (رنگ فلورسنت) آبی رنگی را از خود نشان می‌دهد. استوکس ضمن مطالعات مفصلی که روی این پدیده انجام داد، نام «فلورسانس» را که از کانی فلوریت الهام گرفته بود، برای آن انتخاب کرد. براین اساس، کانی‌ها و موادی که این ویژگی را به نمایش می‌گذارند، «فلورسنت» نامیده می‌شوند.

براساس قانون لومینسانس، در هر جسم فلورسنت همواره طول موج نور فلورسنت ایجاد شده، از طول موج پرتوهای پرانرژی تحریک کننده، بلندتر است. در کانی‌شناسی توصیفی، فلورسانس جذب انرژی پرتوهای نامرئی فرابنفش و تابش نور مرئی با طول موج بلندتر تعریف شده است. اما فلورسانس، در تعریف جامع‌تر آن، تنها به تابش پرتوهای فرابنفش محدود نمی‌شود، بلکه تابش پرتوهای X و حتی نور مرئی نیز در کانی‌ها موجب بروز پدیده‌ی لومینسانس می‌شود که به دلیل واقع شدن در محدوده‌ی پرتوهای فروسرخ، اصطلاحاً «لومینسانس فروسرخ»[۱۱] نامیده می‌شود. این پدیده برای چشم انسان قابل رؤیت نیست و تنها با دستگاه‌های ویژه قابل آشکارسازی است.

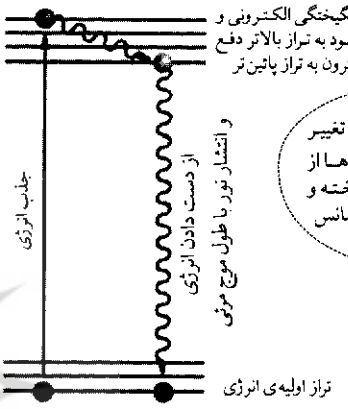
از زمان کشف پدیده‌ی فلورسانس توسط استوکس تا به امروز، اهمیت کاربردی آن روزبه‌روز افزایش یافته است. یکی از کاربردهای روزمره و آشنای این خاصیت در لامپ‌های فلورسنت خانگی (مهتابی) است. لامپ مهتابی اساساً یک لامپ خلأ مولد پرتو فرابنفش است. سطح دیواره‌ی داخلی این لامپ با لایه‌ای از پودر یک ماده‌ی فلورسنت غیرآلی (نظیر $CaWO_4$، $CaCO_3$ یا $ZnSiO_4$) پوشش داده شده است. تابش پرتو فرابنفش موجب درخشش فلورسنت این پوشش و در نتیجه، تابش نورمرئی از جدار خارجی لامپ می‌شود.

علت پدیده‌ی فلورسانس

تمام انواع تابش، از جمله پرتوهای فرابنفش، شکلی از انرژی محسوب می‌شوند. اکثر مواد پرتوهای فرابنفش را جذب و به حرارت تبدیل می‌کنند. اما برخی از مواد دارای ساختار اتمی ویژه‌ای هستند که از انرژی نهفته در این پرتوها تأثیر می‌پذیرند. در این ساختار اتمی، انرژی حاصل از پرتوفرابنفش هنگام برخورد با یک الکترون، انرژی خود را به الکترون می‌دهد. الکترون در نتیجه‌ی دریافت این انرژی اضافی به مدار الکترونی بالاتر که دورتر از هسته واقع شده و سطح انرژی بالاتری دارد، صعود می‌کند

(شکل ۳). یک الکترون برای باقی ماندن در مدار خود در یک تراز انرژی به‌خصوص، نیازمند مقداری انرژی ثابت است و هرگونه تغییر در مقدار این انرژی، موجب جابه‌جایی الکترون به مدارهای دورتر یا نزدیک‌تر به هسته می‌شود.

هنگامی که انرژی پرتو فرابنفش الکترون مورد نظر ما را هدف قرار داد و آن را به یک مدار دورتر از هسته راند، جای آن در مدار اولیه خالی می‌ماند. اما برای حفظ تعادل بار الکتریکی اتم، باید این فضای خالی پر شود. الکترون‌هایی که در مدارهای نزدیک‌تر به هسته قرار گرفته‌اند، برای صعود به مکان خالی واقع در مدار



شکل ۳. تبادل انرژی و تغییر سطح انرژی الکترون‌ها از وضعیت عادی به برانگیخته و برعکس در پدیده‌ی لومینسانس

بالاتر، دارای انرژی کافی نیستند. بنابراین، تنها راه برای پرشدن فضای خالی به وجود آمده این است که یکی از الکترون‌های واقع در یک مدار دورتر از هسته، به این مدار سقوط و این فضای خالی را پر کند.

هر الکترون جانشین شونده در حین سقوط به مدار پائین‌تر، مقدار مشخصی از انرژی خود را از دست می‌دهد. هر بسته‌ی انرژی که از جابه‌جایی الکترون‌ها آزاد می‌شود، کوانتوم[۱۲] نامیده می‌شود. نور فلورسنت یا نور مرئی، شار پیوسته‌ای از این کوانتوم‌های آزاد شده است. آنچه که عملاً در پدیده‌ی فلورسانس رخ می‌دهد، زنجیره‌ای از تبادلات انرژی است که به سرعت و توسط تعداد بی‌شماری الکترون روی می‌دهد. گروهی از الکترون‌ها انرژی می‌گیرند، در حالی که گروهی دیگر در حال آزادسازی انرژی هستند، به گونه‌ای که نور مرئی مشاهده شده پیوسته و یکنواخت است.

دامنه‌ی پدیده‌ی لومینسانس اغلب با کاهش دما گسترش می‌یابد. در دمای هوای مایع، تقریباً تمامی مواد آلی و بسیاری از مواد معدنی فلورسانس هستند، در حالی که اکثر موادی که در دمای معمولی فلورسانس هستند، در دماهای بالاتر از ۶۰۰ـ۵۰۰ درجه‌ی سانتی گراد، فلورسانسی خود را از دست می‌دهند.

نقص بلورین[۱۳] و فعال کننده‌ها[۱۴]

همان گونه که گفته شد، تنها تعداد محدودی از کانی‌ها خاصیت فلورسانس دارند و از این تعداد، تنها چند کانی به طور ذاتی فلورسانس هستند. در بیش‌تر کانی‌ها، پدیده‌ی لومینسانس با حضور آشفتگی‌های شبکه‌ی بلورین آن‌ها ارتباط مستقیم دارد. این آشفتگی شبکه، یا حاصل «نقص بلورین» است و یا از حضور «فعال کننده‌ها» منشأ می‌گیرد. پدیده‌ی نقص بلورین حاصل نبود تصادفی تعدادی آنیون در شبکه‌ی کانی است. در این حالت، تعدادی فضای خالی با پراکندگی تصادفی در شبکه به وجود می‌آید، بدون آن‌که به استحکام بلور لطمه‌ای وارد شود. «فعال کننده‌ها» کاتیون‌های بیگانه‌ای هستند که غالباً از گروه عناصر واسطه‌اند و در شبکه‌ی کانی‌ها، جانشین بخشی از عناصر اصلی ترکیب کانی شده‌اند. برای مثال، در کانی ویلمیت، عنصر فعال کننده مقدار ناچیزی Mn^{2+}است که جانشین بخشی از Zn^{2+} در شبکه‌ی این کانی شده است. در شئلیت، از جانشینی Pb^{2+} به‌جای Ca^{2+} و نیز Mo^{6+} به جای W^{6+}، به عنوان عوامل فلورسانس این کانی می‌توان نام برد.

مقدار فعال کننده‌ها نیز، مانند نوع آن‌ها، در تعیین رنگ و شدت فلورسانس کانی مؤثر است. برای مثال، جانشینی ۱ تا ۵ درصد Mn^{2+} به جای Ca^{2+} در شبکه‌ی کلسیت، موجب ایجاد فلورسانس قرمز تا نارنجی در این کانی می‌شود. اما حضور مقادیر کم‌تر یا بیش‌تر منگنز در این کانی، موجب از بین رفتن این خاصیت می‌شود. بنابراین رفتار لومینسانس در کانی‌ها، بیش‌تر یک پدیده‌ی تصادفی و غیرقابل پیش‌بینی است. بدین معنی که ممکن است، تنها بعضی از نمونه‌های یک کانی و یا نمونه‌هایی که تنها از یک ناحیه‌ی مشخص به دست می‌آیند، فلورسانس باشند. حتی ممکن است، در یک ناحیه‌ی خاص در کنار نمونه‌های فلورسانس یک کانی، نمونه‌هایی غیرفلورسانس از همان کانی را یافت. بنابراین، ویژگی‌های لومینسانس یک کانی را که در یک ناحیه‌ی خاص یافت شده است، نمی‌توان به نمونه‌های همان کانی که از سایر نقاط به دست آمده‌اند، تعمیم داد

فسفرسانس[۱۵]

اکنون که مشخص شد، چگونه یک کانی فلورسنت براثر تابش پرتوهای فرابنفش، نور مرئی از خود ساطع می‌کند، ببینیم پس از قطع پرتو فرابنفش چه اتفاقی می‌افتد. در بیش‌تر کانی‌های فلورسنت، با قطع پرتو فرابنفش، الکترون‌ها به سرعت به مدارهای اولیه‌ی خود برمی‌گردند و در نتیجه، پرتوافشانی لومینسانس آن‌ها نیز قطع می‌شود. اما در برخی از کانی‌ها، الکترون‌ها به آهستگی

رنگ فلورسانس فرابنفش	نام کانی‌ها
مایل به سفید	طول موج بلند: آمبلی گونیت، کلیمانیت، کوارتز (بعضی انواع کالسدونی) طول موج کوتاه: آنگلزیت، شئلیت
قرمز	طول موج بلند: بریل (چند نوع زمرد سرشار از کروم)، کروندوم (نوع یاقوت سرخ)، اسپینل (نوع قرمز رنگ) طول موج کوتاه: کلسیت، اسپینل (نوع قرمز رنگ)
نارنجی	طول موج بلند: کروندوم (نوع زرد رنگ سیلان)، الماس، لاپیس لازولی (به صورت لکه‌های پراکنده)، سودالیت (به صورت لکه‌های پراکنده)، اسپودومن (نوع کنزایت)، زیرکن طول موج کوتاه: کروندوم (نوع بی‌رنگ)، الماس
زرد	طول موج بلند: آنگلزیت، الماس، آپاتیت، فسژنیت، اسکاپولیت، زیرکن طول موج کوتاه: اوپال، پاولیت، زیرکن
زرد مایل به سبز	طول موج بلند: اوتونیت، اورانوکریشیت، آدامیت طول موج کوتاه: اوتونیت، اورانوکریشیت، آدامیت
سبز	طول موج بلند: آدامیت، ویلمیت، اوتونیت طول موج کوتاه: اوپال، ویلمیت، کالسدونی (بعضی انواع)
آبی	طول موج بلند: الماس، فلوریت، دانبوریت، ویتریت طول موج کوتاه: بنیتوئیت، فلوریت، شئلیت، الماس
بنفش	طول موج بلند: فلوریت، اسکاپولیت طول موج کوتاه: فلوریت

به مدارهای اولیه‌ی خود برمی‌گردند. در این کانی‌ها، پرتوافشانی لومینسانس تا بازگشت کامل تمام الکترون‌ها به مدارهای اولیه‌شان ادامه می‌یابد. این نورافشانی لومینسانس، پس از قطع تابش پرتو فرابنفش، فسفر سانس نامیده می‌شود. این نام تنها به دلیل شباهت ظاهری این پدیده به نور حاصل از سوختن فسفر در تاریکی برای آن انتخاب شده است، اما ارتباطی با فسفر ندارد. برخی از کانی‌ها برای چند لحظه فسفرسانس هستند، در حالی که بعضی دیگر برای مدت‌های طولانی به نوردهی (ولو با شدت ناچیز) ادامه می‌دهند. با قراردادن کانی روی فیلم‌های عکاسی حساس می‌توان تابش نور فسفرسانس را تا چند سال پس از قرارگرفتن آن‌ها در معرض تابش پرتوهای فرابنفش آشکار کرد.

ترمولومینسانس[۱۶]

بعضی از کانی‌ها در صورتی که در محیطی تاریک حرارت داده شوند، از خود نور مرئی ساطع می‌کنند. نام ترمولومینسانس نیز به معنی لومینسانس حاصل از حرارت است. در این کانی‌ها، انرژی جذب شده توسط کانی در پیوندهای شیمیایی بین اتم‌های آن «به دام می‌افتد» و در صورت اعمال حرارت، این انرژی به صورت نورافشانی آزاد می‌شود. ترمولومینسانس در محدوده‌ی دمای بین ۵۰ تا ۴۷۵ درجه‌ی سانتی‌گراد در کانی‌ها مشاهده می‌شود. حضور کاتیون‌های فعال‌کننده در کانی‌ها ترمولومینسانس الزامی است. در برخی از کانی‌ها، تنها یک بار پدیده‌ی ترمولومینسانس را به نمایش می‌گذارند و پس از آن، برای همیشه این خاصیت را از دست می‌دهند.

در این کانی‌ها، هنگام فرایند تبلور، گروهی از الکترون‌های برانگیخته در مدارهای الکترونی بالاتر، از مدار اصلی‌شان به دام می‌افتند و تثبیت می‌شوند. هنگام حرارت دادن کانی، این الکترون‌ها فرصت می‌یابند، به مدار اصلی‌شان سقوط کنند و در حین انتقال، انرژی ذخیره شده در خود را به صورت فوتون‌های

رنگ فسفرسانس	نام کانی‌ها
سفید	ژیپس، اوپال، اولکسیت
قهوه‌ای	آلبیت (به ندرت و پس از پرتوگیری فرابنفش طول موج کوتاه)
صورتی	کلیست، دیوپتاز
قرمز	ولاستونیت
نارنجی	اسفالریت، اسپودومن (نوع کنزایت)
نارنجی ـ زرد	اسکاپولیت
سبز	آدامیت، ویلمیت
سفید مایل به آبی	سلستیت، زیرکن
آبی کمرنگ	آمبلی گونیت، سروزیت، الماس
آبی یا بنفش	فلوریت

نور مرئی آزاد کنند.

تریبولومینسانس[17]

در تاریکی، بعضی از کانی‌ها، در نتیجه‌ی خراشیده یا خردشدن، ضربه خوردن و یا حتی در برخی موارد، تحت مالش قرار گرفتن، از خود لومینسانس نشان می‌دهند. نام تریبولومینسانس نیز برگرفته از واژه‌ی لاتین «تریبو»[18] به معنی مالش و اصطکاک است. در این کانی‌ها نیز، هنگام تبلور و در نتیجه‌ی حضور فعال‌کننده‌ها، انرژی حاصل از تبادلات الکترونی در پیوندهای اتمی به دام افتاده است. در نتیجه‌ی اعمال انرژی مکانیکی، این انرژی به شکل نورافشانی در محدوده‌ی طیف مرئی آزاد می‌شود.

تریبولومینسانس پدیده‌ای کمیاب و استثنایی است که معمولاً کیفیت آن از نمونه‌ای به نمونه دیگر تفاوت دارد. بعضی از نمونه‌های آمبلی گونیت[19]، کلسیت، فلدسپات‌ها، فلوریت، لپیدولیت، میکاها، پکتولیت[20] و کوارتز ممکن است تریبولومینسانس باشند. با وجود این، اسفالریت از جمله کانی‌هایی است که معمولاً این پدیده را به خوبی نشان می‌دهد. شاید نگین افسانه‌ای که از آن با نام «گوهر شب‌چراغ» یاد شده است نیز، ریشه در این واقعیت علمی داشته باشد!

تنبرسانس[21]

در اوایل دهه‌ی ۱۸۰۰ میلادی، نوعی سودالیت[22] با رنگ صورتی ناپایدار در گرینلند کشف شد. هنگامی که این کانی در معرض تابش نور روز قرار می‌گرفت، رنگ صورتی‌اش به سرعت کم‌رنگ می‌شد و هنگامی که مدتی در تاریکی قرار داده می‌شد، رنگ صورتی خود را باز می‌یافت! این تغییر رنگ از صورتی به بی‌رنگ و برعکس، بارها و بارها قابل تکرار بود. بعدها، کانی‌های دیگری نیز کشف شدند که دارای این ویژگی اعجاب‌انگیز بودند. این ویژگی تنبرسانس نامیده شد که از واژه‌ی لاتین «تنبر»[23] به معنی تاریکی گرفته شده است. کانی‌هایی که به صورت برگشت‌پذیر در تاریکی و یا در پاسخ به تابش یک طول موج نور، از خود درخشش مرئی ساطع می‌کنند و با قرارگرفتن در معرض تابش طول موج متفاوت، رنگ خود را از دست می‌دهند و بی‌رنگ می‌شوند، «تنبرسنت» نامیده می‌شوند. این خاصیت که «فتوکرومیسم بازگشت‌پذیر»[24] نیز نامیده می‌شود، تنها در تعداد انگشت شماری از کانی‌ها دیده می‌شود و نظیر واکنشی است که شیشه‌های فتوکرومیک عینک‌های طبی در مقابل تابش پرتوهای خورشید از خود نشان می‌دهند.

برای این نوع از سودالیت تنبرسنت که رنگ صورتی ناپایدار آن در معرض روشنایی روز بی‌رنگ می‌شود، نام ویژه‌ی

رنگ فلورسانس فرابنفش	نام کانی‌ها
مایل به سفید	کلسیت، اولیگوکلاز
سفید مایل به سبز	ویلمیت
صورتی	کروندوم (نوع یاقوت سرخ)
قرمز	اسمیت سونیت
نارنجی	کلسیت، توپاز، تورمالین (بعضی انواع قرمز رنگ)
زرد	کلسیت

«هاکمانیت»[۲۵] انتخاب شده است. دو روش برای بازگرداندن رنگ صورتی هاکمانیت وجود دارد:

ـ قرار دادن نمونه در یک محیط تاریک به مدت چند ساعت تا چندین هفته.

ـ قرار دادن نمونه در معرض تابش پرتوهای فرابنفش طول موج کوتاه یا بلند.

هاکمانیت یک کانی کمیاب پگماتیتی است که پیدایش‌های محدودی از آن در افغانستان، کانادا، گرینلند، گینه، ایالات متحده و روسیه گزارش شده است. در بعضی نمونه‌ها، برای ایجاد یک رنگ صورتی کمرنگ لازم است تا مدت‌های طولانی آن‌ها را در معرض تابش پرتوهای فرابنفش قرار داد. در حالی که در بعضی دیگر، رنگ صورتی کانی تقریباً بلافاصله پس از قرارگرفتن در معرض تابش پرتوهای فرابنفش طول موج کوتاه ظاهر می‌شود. در نمونه‌های اخیر که اکثراً از کانادا و روسیه به دست می‌آیند، پرتودهی اضافی نمونه به مدت چند دقیقه تا چند ساعت، موجب ظهور رنگ صورتی پررنگ تا قرمز توت‌فرنگی می‌شود که یک ته رنگ خفیف آبی نیز در آن به چشم می‌خورد. در چنین حالتی، نمونه در تاریکی فسفرسانس قرمز از خود نشان می‌دهد. تابش نور مرئی (طول موج‌های ۴۸۰۰ تا ۷۲۰۰ انگستروم) به سرعت این واکنش را در جهت عکس پیش می‌برد و بار دیگر نمونه بی‌رنگ می‌شود.

با وجود این که فتوکرومیسم در کانی‌ها بی‌نهایت تکرارپذیر است، اما هرگونه حرارت دادن نمونه تنبرسانس، آن را برای همیشه از بین می‌برد. تحقیقات انجام شده روی پدیده‌ی تنبرسانس نشان داده‌اند که وجود پدیده‌ی نقص بلورین و مراکز رنگین[۲۶] ناشی از آن، دست کم مسبب بروز بخشی از این پدیده است. مراکز رنگین، نوعی نقش بلورین هستند که در نتیجه‌ی نبود تعدادی آنیون در شبکه به وجود می‌آیند. محل خالی این آنیون‌ها در شبکه، با تعداد الکترون سرگردان (بار منفی) که متعلق به هیچ یک از آنیون‌های همسایه نیستند، اما با آن‌ها در اشتراک هستند، پر می‌شود. این مراکز رنگین و رفتار آن‌ها در جذب طول موج‌های متفاوت نور سفید، مسؤول رنگ آفرینی در بسیاری از کانی‌ها، از جمله باریت و فلوریت است.

در هاکمانیت احتمالاً تعدادی از اتم‌های کلر از شبکه حذف می‌شوند و برای حفظ توازن الکتریکی شبکه، هر الکترون آزادی که در مجاورت این حفرات قرار داشته باشد، به درون آن‌ها کشیده می‌شود و به دام آن‌ها می‌افتد و بدین ترتیب، مراکز رنگین شبکه شکل می‌گیرند. ظاهراً ابعاد این مراکز رنگین در هاکمانیت به گونه‌ای است که طول موج‌های سبز، زرد، نارنجی و تا حدودی آبی را جذب می‌کنند. بنابراین، هاکمانیت در نور سفید با بازتاب طول موج قرمز و تا حدودی آبی را به چشم ما انعکاس می‌دهد و رنگ صورتی این کانی را به وجود می‌آورد.

بروز رنگ‌های گوناگون در یک کانی، ناشی از آرایش‌های متنوعی است که تعداد ثابت الکترون‌های آن می‌توانند به خود بگیرند. در هاکمانیت، جذب انرژی پرتوهای فرابنفش موجب برانگیختگی تعداد زیادی از الکترون‌های شبکه می‌شود. این الکترون‌ها در حین دور شدن از هسته‌هایشان به دام حفره‌های شبکه می‌افتند و مراکز رنگین را به وجود می‌آورند. این مراکز رنگین نوظهور و واکنش آن‌ها در مقابل تابش طیف مرئی، موجب می‌شود که وقتی ما چراغ‌ها را روشن می‌کنیم، این کانی‌ها را صورتی تا قرمز ببینیم. نور سفید (طیف مرئی) نیز به الکترون‌ها انرژی می‌بخشد، اما نه به اندازه‌ی پرتو فرابنفش. نور سفید فقط به اندازه‌ی آزاد کردن الکترون‌ها از دام مراکز رنگین انرژی دارد، بنابراین، نمونه به تدریج و با بازگشت آن‌ها به مدارهای اصلی هسته‌هایشان، کمرنگ می‌شود. اما یک سؤال مهم بدون پاسخ باقی می‌ماند که پاسخ به آن میلیون‌ها دلار ارزش دارد: «چرا قرار گرفتن هاکمانیت در تاریکی مطلق موجب بازگشت رنگ صورتی به این کانی می‌شود؟ در تاریکی، انرژی لازم برای برانگیختن

الکترون‌ها و تشکیل مراکز رنگین که عامل ایجاد رنگ صورتی هستند، از کجا تأمین می‌شود؟»

سایر کانی‌های تنبرسنت عبارتند از:

ـ توگتوپیت[27]: رنگ صورتی کمرنگ برخی از نمونه‌های این کانی با قرارگرفتن در معرض تابش پرتوهای فرابنفش طول موج کوتاه و یا حتی نورشدید خورشید (نه منابع نور مصنوعی)، پررنگ‌تر می‌شود.

ـ الماس «آفتاب پرست»[28]: این الماس‌های زیتونی رنگ که در سال ۱۹۹۹ در معدن کوچکی در چین کشف شدند، در صورتی که در تاریکی نگهداری، یا به آرامی حرارت داده شوند، رنگشان موقتاً تغییر می‌کند. رنگ این الماس‌ها از زیتونی روشن تا تیره (فاز رنگین پایدار) و تا زرد روشن یا متوسط (فاز رنگین ناپایدار) متغیر است. در صورتی که الماس آفتاب‌پرست را برای مدت ۲۴ تا ۴۸ ساعت در محیطی تاریک بگذاریم و سپس در معرض نور روز قرار دهیم، رنگ آن از زرد ناپایدار به زیتونی پایدار تغییر می‌کند. پدیده‌ی تنبرسانس در این الماس‌ها تکرارپذیر است.

بعضی از انواع آمتیست و نیز توپازهای شرابی رنگ: رنگ آن‌ها در مجاورت نور خورشید کم‌رنگ می‌شود و یا کاملاً از بین می‌رود. ظاهراً تغییر رنگ در این دو کانی برگشت‌پذیر نیست.

ـ بعضی از انواع باریت: ممکن است رنگ آن‌ها در مجاورت پرتوهای فرابنفش از سفید به آبی و یا از زرد به خاکستری ـ سبز تغییر یابد.

مشاهده‌ی انواع گوناگون لومینسانس در کانی‌ها تجربه‌ای فراموش نشدنی است. برخی از مجموعه داران کانی‌ها، بخشی از مجموعه‌ی خود را به جمع‌آوری و نمایش کانی‌ها لومینسانس اختصاص می‌دهند. بعضی‌ها هم تنها به جمع‌آوری این گروه از کانی‌ها علاقه‌مند هستند. برای شکار نمونه‌های فلورسنت در صحرا دو راه وجود دارد:

یا در یک شب تاریک و بدون مهتاب با لامپ فلورسنت به شکار این کانی‌ها بروید و یا نمونه‌ها را به منزل بیاورید و یکی‌یکی در اتاقی تاریک آن‌ها را بررسی کنید. احتمال حضور کانی‌های فلورسنت در میان نمونه‌های شن و ماسه از همه بیش‌تر است؛ آن‌ها را به دقت مطالعه کنید. معادن زیرزمینی و روباز، رگه‌های معدنی و حفره‌های طبیعی حاوی بلورها و برش‌های جاده‌ها، مناسب‌ترین نقاط برای پی‌جویی کانی‌های فلورسنت به شمار می‌روند.

از هم‌اکنون در مجموعه‌ی کانی‌هایتان جایی را به کانی‌های لومینسانس ایران اختصاص بدهید و خرید یک لامپ فرابنفش را در اولویت برنامه‌هایتان قرار بدهید. حتی اکنون این مقاله را می‌خوانید، احتمالاً تعدادی کانی فلورسنت در میان نمونه‌های ویترین شما وجود دارند که شما از وجودشان بی‌اطلاعید. پس در گام نخست، با لامپ فرابنفش نمونه‌های مجموعه‌تان را بررسی کنید. مطمئن باشید، هزینه‌ای که برای خرید یک لامپ فلورسنت می‌پردازید، به تجربه‌ی زیبای آنچه خواهید دید، می‌ارزد.

* عضو هیأت علمی گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد آشتیان

زیرنویس

1. Luminscence
2. Luminus
3. Angstrom
4. Electromagnetic Spectrum
5. Long wave ultraviolet light (LW)
6. Short wave ultraviolet light (SW)
7. Black light
8. Mercury arc
9. Fluorescence
10. George Stocks
11. Infrared fluorescence
12. Quanta
13. Crystal deffect
14. Activators
15. Phosphoresence
16. Thermoluminscence
17. Triboluminscence
18. Tribo
19. Ambligonite
20. Pectolite
21. Tenebrescence
22. Sodalite
23. Tenebre
24. Rerversible Photochromism
25 Hackmanite
26. Color Center (F Center)
27. Tugtupite
28. Chameleon diamonds

منبع

1. Harry C. Wain (2002). The story of the fluorescence, Raytech Publishing Co.
2. Berry L.G. & Mason B. (1959). Mineralogy concepts, descriptions, determinations. W.H.Freeman and Company.
3. http://mywebpages.comcast.net/jtozour/Tenbrescence/Tenbrescence.html
4. http://www.mindat.org/min-1789.html
5. http://galleryvoltaire.com/hackmanite.html