# شعله‌های سبز و آبی

**شهناز پایه**
کارشناس ارشد شیمی فیزیک، معلم شیمی بابلسر

**اشاره**

**رنگ شـــعله به عوامل مختلفی بستگی دارد. مهم‌ترین آن، تابش جسم سیاه و طیف نشری است و طیف نشـــری و جذبی خطی نقش کمتری دارند. رنگ شعله اجاق گاز، آبی است. برخی از ستارگان و دنباله‌دارها نور آبی درخشانی دارند. دیدن شعله‌های ســـبز و آبی کوچک هنگام تماشای سوختن کاغذهای باطله یا آتش هیزم غیرمعمول نیســـت و بسیاری از مردم تصور می‌کنند که سوخت آلوده به مس، این رنگ‌ها را تولید می‌کند. اگر چه می‌تواند چنین باشد ولی دلیل واقعی آن هیجان‌انگیزتر است.**

**کلیدواژه‌ها:** تابش جسم سیاه، نوارهای سوان، طیف ستاره‌های کربنی

## مقدمه

شاید جالب‌ترین چیز در مورد آتش این باشد که جامدها و مایع‌ها نمی‌توانند بسوزند و تنها گازها می‌سوزند. هنگامی که شما کبریتی را به یک قطعه کاغذ نزدیک می‌کنید، دمای آن آنقدر بالا می‌رود که باعث خروج گازهای آتش‌گیر و درهم شکستن آن‌ها می‌شود. این گازها باعث شعله‌ور شدن آتش می‌شوند و تا زمانی که سوخت و گرما به مقدار کافی وجود داشته باشد، آتش تقویت می‌شود. مراحل تجزیه سوخت به گازهای آتش‌گیر، آذرکافت یا پیرولیز [1] نامیده می‌شود.

ســـوختن کامل، شعله آبی رنگی تولید می‌کند اما اگر سوختن ناقص باشـــد، اکسیژن کافی وجود ندارد تا با کربن ترکیب شود و مقداری از کربن به شـــکل ذره‌های میکروســـکوپی دوده در می‌آید و شعله‌هایی به رنگ‌های زرد و نارنجی ایجاد می‌کند. حال این پرسش پیش می‌آید که چرا ما رنگ شعله را آبی یا سبز می‌بینیم؟

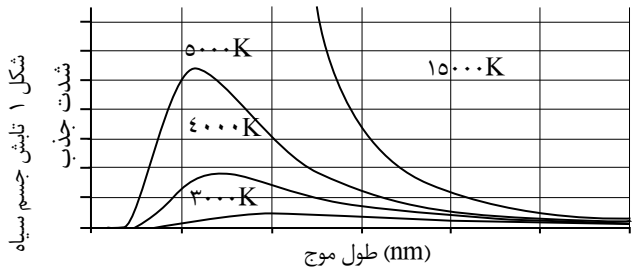
## توضیح نادرست ۱: شیمی

کســـانی که به اندازه کافی شیمی می‌دانند، رنگ سبز یا آبی شعله را به مس نسبت می‌دهند. ادعاهایی وجود دارد مبنی بر اینکه شعلهٔ آبی گاز ناشی از لوله مسی به کار رفته در اجاق گاز است که البته ادعای نادرستی است. منصفانه است که بگوییم شعله‌های آبی و سبز می‌توانند ناشی از مس هم باشند. در چراغ‌ها، آتش بازی‌ها و آتشدان‌های تزئینی، مس را برای ایجاد رنگ‌های سبز و آبی به کار می‌برند. چوب آغشته به قارچ‌کش‌های مس‌دار، کاغذ آلوده به جوهر حاوی مس یا گیره‌های مسی می‌توانند شعله آبی یا سبز ایجاد کنند اما به یقین، دلیل رنگ شعله آبی اجاق گاز یا مرکز درونی آبی رنگ شعله شمع، مس یا باریم یا عنصرهای دیگر منتشر کننده طول موج‌های سبز یا آبی نیست.

## توضیح نادرست ۲: فیزیک

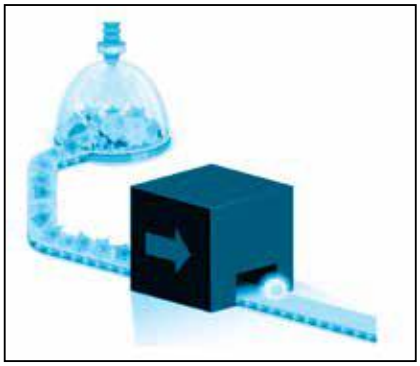
کسانی که به قدر کافی فیزیک می‌دانند، در مورد تابش جسم سیاه اطلاع دارند. این تابش از موادی که به دلیل گرما داغ می‌شوند،

**تابش جسم سیاه یک ابزار مهم در علم است زیرا رنگ نور تنها به دما وابسته است**




شکل ۱ تابش جسم سیاه

**رجل‌الجبار، یکی از آبی‌ترین ستارگان آسمان است که دمای سطح آن K ۱۲۰۰۰ است؛ دو برابر گرم‌تر از خورشید، ولی رجل‌الجبار به رنگ آبی شعله اجاق گاز نیست**



شکل ۲ تابش جسم سیاه مربوط به موادی است که به دلیل گرما داغ می‌شوند.

خارج می‌شود. هیچ بازتاب نور یا تابش نشری از اتم‌ها وجود ندارد و از این روست که اصطلاح «سیاه» به کار می‌رود، شکل ۱. آتش‌ها، لامپ‌های نور سفید، شهاب‌های اتمی و خورشید، مقداری تابش جسم سیاه منتشر می‌کنند ولی برای لیزرها، آتش بازی‌ها و چراغ‌های بخار سدیم چنین نیست. هر چه جسم داغ‌تر باشد، قله تابش بلندتر می‌شود و به سوی آبی در انتهای طیف می‌رود. اتوی لباس نور مرئی منتشر نمی‌کند و قله آن در فروسرخ است. یک قطعه آهن گداخته، در آغاز سرخ می‌شود، سپس به رنگ نارنجی و بعد به رنگ زرد در می‌آید. همان طور که داغ‌تر می‌شود، قله تابش آن جابه‌جا می‌شود اما هرگز سبز نمی‌شود. با این حال برخی چیزها به قدر کافی برای قله تابش سبز، داغ هستند مانند خورشید که دامنه‌ای از طول موج‌ها را ظاهر می‌کند. ستارگان بسیار داغ که به رنگ آبی ـ سفید ظاهر می‌شوند طیف‌های آبی و بنفش و فرابنفش می‌دهند.

تابش جسم سیاه یک ابزار مهم در علم است زیرا رنگ نور تنها به دما وابسته است. این به معنی آنست که ما می‌توانیم جریانی از گداره آتشفشانی یا ستاره‌ای را از فاصله‌ای دور ببینیم و دمای آن را اندازه‌گیری کنیم. در مورد ماه چطور؟ ماه و زهره به وسیله بازتاب نور خورشید می‌درخشند اما رنگی ندارند. آن‌ها تابش جسم سیاه را از خورشید بازتاب می‌دهند. نور بازتاب شده از سیاره‌ها، دمای خورشید را نشان می‌دهد و نه دمای سیاره را. از سوی دیگر، سیاره‌ها تابش پرانرژی را جذب می‌کنند و دوباره تابش فروسرخ را نشر می‌دهند که نشان دهنده دمای آن‌هاست.

برخی افراد، براساس تابش جسم سیاه ادعا می‌کنند که شعله‌های زرد، سرد و شعله‌های آبی، داغ هستند. همین‌طور هم هست اما تابش جسم سیاه ارتباطی به آن ندارد. رجل‌الجبار، یکی از آبی‌ترین ستارگان آسمان است که دمای سطح آن K ۱۲۰۰۰ است؛ دو برابر گرم‌تر از خورشید، ولی رجل‌الجبار به رنگ آبی شعله اجاق گاز نیست.

## پس جواب درست چیست؟

بیشتر رنگ‌های شعله‌ها وابسته به تابش جسم سیاه هستند، چه زغال افروخته سرخ یا آتش زرد و نارنجی هیزم. ولی اینکه چرا شعله‌ها آبی یا سبز هستند، شگفت‌انگیز است.

اتم‌ها و مولکول‌ها به روش‌های مختلف تابش می‌کنند. اتم‌های منفرد، می‌توانند نور را جذب یا تابش کنند. الکترون‌ها با جذب انرژی به سطح‌های انرژی بالاتر می‌روند و با برگشت به سطح‌های انرژی پایین‌تر، می‌توانند طیف نشری تولید کنند. شعله‌های آبی و سبز طیف نشری ایجاد می‌کنند. اما آن‌ها مس، باریم، سزیم یا عنصر دیگری ندارند که نور آبی یا سبز تولید کنند. پس چگونه این رنگ‌ها ایجاد می‌شوند؟ با کمال شگفتی پاسخ این است: کربن و هیدروژن اما نه به‌صورت اتم‌های جداگانه، بلکه به وسیله مولکول‌ها این تابش رنگ ایجاد می‌شود. در مولکول‌ها، الکترون‌ها مربوط به یک اتم نیستند و بین چند اتم به اشتراک گذاشته شده‌اند. این الکترون‌ها، اوربیتال‌های مولکولی را اشغال می‌کنند و اوربیتال‌های مولکولی هستند که رنگ‌های برگ‌ها، گل‌ها و رنگ‌های سنتزی را تولید می‌کنند. اوربیتال‌های مولکولی دنیا را رنگارنگ می‌کنند.

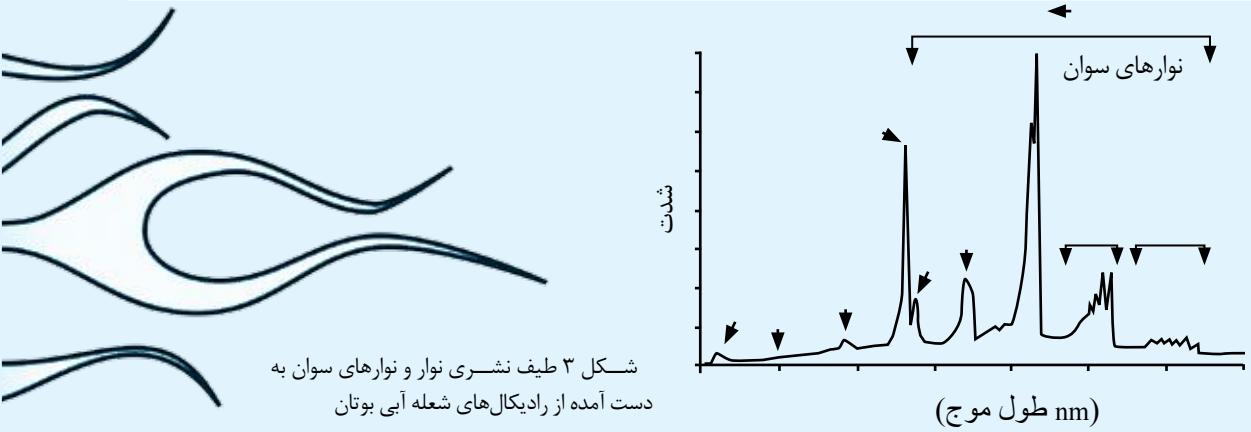
دلیل رنگ سبز و آبی شعله‌ها، نشرهای مولکولی به نام نوارهای سوان[۲] است. مرحله نخست در پیرولیز، شکستن مولکول‌های پیچیده

**طیف نوارها به شیمی‌دان‌ها اجازه می‌دهد که انرژی چرخشی و جرم مولکول‌های نشردهنده را بیابند**

**نوارهای سوان نه تنها رنگ شعله‌ها را ایجاد می‌کنند، بلکه به‌طور شگفت‌آوری باعث ایجاد رنگ ستارگان دنباله‌دار هستند**

به ساده‌تر است که معمولاً ذره‌های باردار الکتریکی معروف به رادیکال‌ها را تولید می‌کند. یکی از معمول‌ترین رادیکال‌ها شامل دو اتم کربن با فرمول $C_2$. است. اتم‌های کربن در مولکول $C_2$ برخی از اوربیتال‌های خود را با هم ترکیب می‌کنند و اوربیتال‌های مولکولی ایجاد می‌کنند. مولکول‌های $C_2$ پرانرژی در فرکانس‌های معینی تابش نشر می‌کنند. این نشر ناشی از الکترون‌ها در یک اتم کربن تنها نیست و از سطح‌های انرژی در اوربیتال‌های مولکولی ناشی می‌شود. این فرکانس‌ها نوارهایی از طیف ناحیه نارنجی تا آبی را اشغال می‌کنند اما در قسمت سبز و آبی قوی‌ترند. وقتی الکترون به سطح انرژی پایین‌تر می‌افتد، انرژی‌های چرخشی و ارتعاشی مولکول‌ها را به شدت آشفته می‌کند. این تغییرات نسبت به انرژی نور مرئی کوچک‌اند و اثر آن خلق خطوط نشری نزدیک به هم است که به یک خط تنها ترجیح دارد. در نتیجه یک نوار جذبی به جای یک خط تیز تشکیل می‌شود. طیف نوارها به شیمی‌دان‌ها اجازه می‌دهد که انرژی چرخشی و جرم مولکول‌های نشردهنده را بیابند.

نوارهای سوان طیف ویژه‌ای از ستارگان کربنی، ستارگان دنباله‌دار و سوخت‌های هیدروکربنی است. این طیف‌ها نخستین‌بار توسط ویلیام سوان[3]، فیزیک‌دان اسکاتلندی ـ که روی طیف حاصل از رادیکال $C_2$. مطالعه کرده بود ـ نامگذاری شد. نوارهای سوان شامل چند نوار ارتعاشی پی در پی توزیع شده در میان طیف مرئی است، شکل ۳.




شـــکل ۳ طیف نشـــری نوار و نوارهای سوان به دست آمده از رادیکال‌های شعله آبی بوتان

## برخی کاربردهای غیر قابل انتظار

نوارهای سوان نه تنها رنگ شعله‌ها را ایجاد می‌کنند ، بلکه به‌طور شگفت‌آوری باعث ایجاد رنگ ستارگان دنباله‌دار هستند.ستارگان دنباله‌دار مقدار زیادی نور آبی و سبز منتشر می‌کنند و بیشتر آن نشر نوار سوان است.

گاز $C_2$ نور سبز و آبی را منتشر می‌کند اما وقتی نور از میان آن می‌گذرد چه روی می‌دهد؟ بنا به یک قاعده کلی، وقتی نور از میان گازی عبور می‌کند، بسیاری از طول موج‌های نشر شده به وسیله این گاز جذب می‌شود.پس اگر گاز $C_2$ نور سبز و آبی را به شدت منتشر کند، باید آن را با همان شدت جذب کند. بنابراین یک ستاره با گاز $C_2$ در لایه خارجی‌اش، بیشتر رنگ آبی و سبزش را از دست خواهد داد و رنگ‌سرخ و بنفش را انتقال می‌دهد. ستارگان غنی از کربن، در آغاز سرد و بسیار سرخ بوده‌اند و به وسیله جذب نوار سوان، بر شدت رنگ سرخ آن‌ها افزوده شده است.

*** پی‌نوشت‌ها**

1.pyrolysis
2.Swan bands
3. Swan,W.
4. Holms

*** منابع**

1. Herzberg,G.” Molecular Spectra and Molecular Structure I. Spectra of Diatomic Molecules”, 2nd edition, Van Nostrand, New York, 1950 and K.P. Huber and G. Herzberg, Molecular Spectra and Molecular Structure IV. Constants of Diatomic Molecules, Van Nostrand Reinhold, New York, 1979.
2. SteinfeldJ.I.” Molecules and Radiation, An Introduction to Modern Molecular Spectroscopy”, 2nd edition, MIT Press, Cambridge, 1986, pages 171-174.