نورافشانی پدیده‌ای طبیعی در آسمان طیف‌نگاری

مهدیه سالارکیا

اشاره

«مقوله‌ای به نام شانس، در دنیای ما وجود خارجی ندارد.» چقدر به این گفته باور دارید؟ روان‌شناسان شانس را به فرصت‌های برابر و مشابه تعبیر کرده‌اند که برای همهٔ ما پیش می‌آید. ادامهٔ این داستان به واکنش افراد در برابر این فرصت‌ها بستگی دارد؛ اینکه بی‌تفاوت از کنار آن بگذرند یا بهرهٔ درستی از آن ببرند. برای نمونه ، مشاهده فروافتادن اشیا روی زمین، برای همهٔ ما و بسیاری از افراد، پیش از آنکه نیوتون ناظر آن باشد، تجربه‌ای آشنا و تکراری بوده است. تفاوت نیوتون با دیگران را تنها باید در چگونه دیدن این رویداد و غنیمت شمردن این فرصت برای نتیجه‌گیری یک قانون بزرگ دانست. با نگاهی به تاریخ علم، می‌بینیم که او این روش دیدن و اندیشیدن را بارها در جای جای فیزیک کلاسیک به نمایش می‌گذارد. نمونه دیگری از توانایی نیوتون در مدیریت فرصت‌ها را در سرگذشت طیف‌سنجی خواهیم دید.

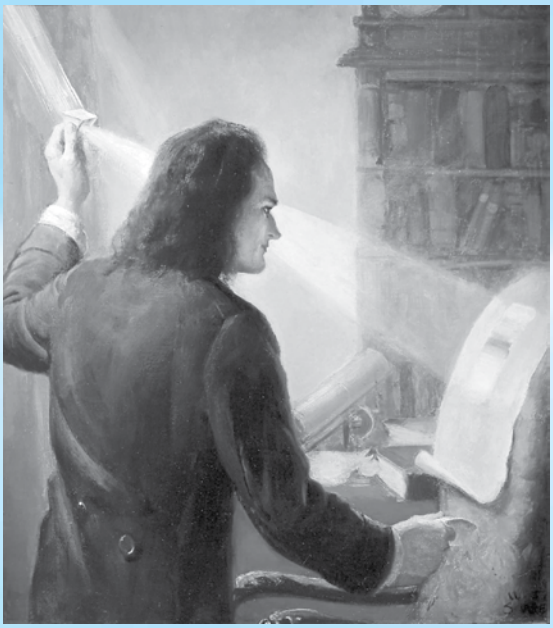
کلیدواژه‌ها: شانس، تاریخ علم، فضا، نور، طیف‌سنجی

مقدمه

همیشه از آغاز تا نتیجهٔ یک فرایند راهی مستقیم و هموار نیست. پیچ‌وخم و انحراف‌های اجتناب‌ناپذیر در طول این مسیر، گاه هر نوع ارتباط میان منظور اولیه و نتیجهٔ حاصل را بعید می‌کند. نمونه‌ای از این واقعیت را در سرگذشت طیف‌سنجی می‌بینیم؛ آنجا که نخست با تعیین ماهیت ذره‌ای برای نور آغاز می‌شود و پس از یک قرن، کشف ماهیت موجی آن روی می‌دهد. تجسم برقراری هر نوع ارتباط میان این یافته‌ها با دستگاه‌های مختلف طیف‌سنجی امروزی، دشوار است اما فقط تا وقتی که به‌خاطر آوریم برای رسیدن از چنان آغازی به نقطهٔ امروزی، زمانی نزدیک چهار قرن سپری شده است و همه می‌دانیم که گذشت زمان چه قدرتی در تغییر شرایط داد.

تولد طیف‌سنجی کلاسیک

از نخستین باری که انسان محو تماشای رنگین‌کمان شد طبیعت ماهیت طیفی نور را برای او به نمایش گذاشت. اما درک علمی این پدیده فراتر از توانایی‌اش بود. این ناتوانی تا نیمه دوم قرن هفدهم به درازا کشید و در سال ۱۶۶۶ نیوتون بود که با انجام آزمایشی اعلام کرد نور خورشید شامل مجموعهٔ پیوسته‌ای از هفت رنگی است که در رنگین‌کمان دیده می‌شوند و واژهٔ طیف را برای نام‌گذاری این مجموعه برگزید. دستگاهی که نیوتون برای تجزیهٔ نورخورشید از آن استفاده کرد شامل روزنه‌ای برای ورود نور، یک عدسی برای موازی کردن پرتوی نور، یک منشور شیشه‌ای برای



شکل ۱ طیف دستگاهی نوری است که می‌تواند خطوط طیفی را آشکار کند و شدت یا طول موج آن‌ها را اندازه بگیرد. نیوتون با طیف‌سنجی که خود ساخته بود، موفق به تجزیهٔ نور خورشید و مشاهدهٔ طیف نور مرئی شد.

ایجاد شکست و پراکندگی و پرده‌ای برای نمایش طیف به‌دست آمده بود، شکل ۱.

در واقع، نیوتون نخستین طیف‌سنج را تهیه کرد و از این‌رو به‌طور سنتی، به عنوان بنیان‌گذار علم طیف‌سنجی شهرت یافته است در حالی‌که، باید فعالیت‌های علمی یک فیلسوف و ریاضی‌دان آلمانی به نام آتاناسوس کرچر[۱] مقدمهٔ این کشف دانست.

کرچر در سال ۱٦٤٦ این فعالیت‌ها را در قالب فرهنگی دربارهٔ نور و سایه و معرفی ابزاری همچون آینهٔ ارشمیدس[۲] و فانوس جادویی ارائه کرده بود. از آنجا که وقتی نیوتون دوران دانشجویی‌اش را می‌گذراند تعیین ماهیت نور یکی از دغدغه‌های فیلسوفان به‌شمار می‌رفت، درصدد برآمد به جمع‌آوری و تحلیل اطلاعات در این زمینه بپردازد و به این ترتیب با فرهنگ کرچر ارتباط پیدا کرد. گفتنی است رومیان از توانایی منشورها برای ایجاد رنگ‌های هفت‌گانهٔ رنگین‌کمان آگاه بوده‌اند. این کار در دوران باستان به کمک تک‌بلورهای شفاف انجام می‌شد. نیوتون توضیح داد که طیف به‌دست آمده، از منشور یا تک بلور به کار رفته منشا نمی‌گیرد بلکه از نور خورشید نتیجه می‌شود. همچنین یادآور شد که در طیف رنگی به دست آمده مقدار انحراف رنگ‌ها، از بنفش به سمت سرخ کاهش می‌یابد. همین یافته بود که ماهیت ذره‌ای بودن نور را مشخص کرد به این معنی که ذره‌های سازندهٔ نور، اندازه‌های متفاوت دارند و با اینکه در دوران حیات نیوتون، آزمایش‌های کریستین هویگنس[۳] بحث موجی بودن نور را پیش کشید اما چون از توضیح پدیده‌های معرفی شده از سوی نیوتون ناتوان بود حدود یک قرن پس از آن، نظریهٔ ذره‌ای نور همچنان بر جهان علم حکم‌فرمایی می‌کرد.

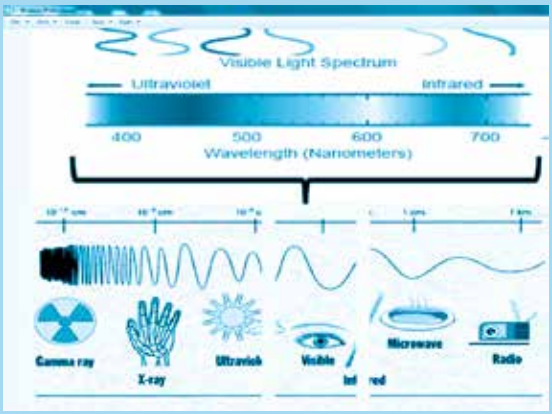
اجزای نامرئی ظاهر می‌شوند

کارل شیل[٤] ـ که به کاشف کلر شهرت دارد ـ در سال ۱۷۷۷ متوجه شد اجزای خارج از طیف مرئی، نزدیک خط پایانی رنگ بنفش، اثری مشابه نور خورشید بر نقره کلرید دارند و باعث سیاه شدن این ماده می‌شوند. با این حال تا ۲۵ سال بعد، نتیجه‌گیری سرنوشت‌سازی از این مشاهده به عمل نیامد.

در سال ۱۸۰۰، ویلیام هرشل[٥] در حال بررسی میزان گرمای اجزای نور خورشید دریافت که قدرت گرمایی رنگ‌های موجود در طیف، به سمت رنگ سرخ افزایش می‌یابد. او دماسنجی را خارج از محل رنگ سرخ در طیف مرئی قرار داد و متوجه شد گرمای این ناحیه حتی از محل رنگ سرخ بیشتر است. به این ترتیب او موفق به کشف ناحیهٔ فروسرخ در طیف الکترومغناطیس شد. یک سال بعد، ویلهلم ریتر[٦] آزمایش‌های ۲۵ سال پیش هرشل را به وجود ناحیهٔ فرابنفش، در ناحیهٔ مجاور به رنگ بنفش طیف رنگی ارتباط داد.

به این ترتیب دایرهٔ اطلاعات دربارهٔ طیف الکترومغناطیس، از ناحیهٔ مرئی به شناسایی محدودهٔ فروسرخ و فرابنفش فراتر رفت.

در همین سال آزمایش توماس یانگ[۷]، یکه‌تازی نظریهٔ ذره‌ای را در بیان ماهیت نور مورد تهدید قرار



شکل ۲ نمایش نواحی مختلف طیف الکترومغناطیس

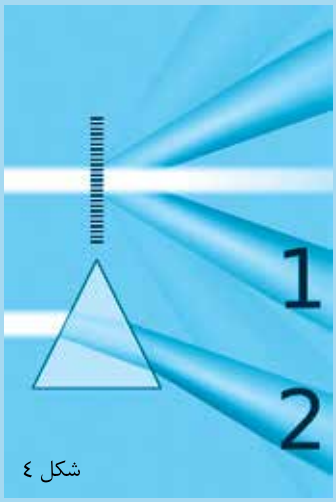
داد. یانگ به جای یک روزنه، از یک شکاف باریک برای گذراندن نور اســتفاده کرد و به الگویی دست یافت که به الگوی تداخلی نور معروف است. توضیح این الگو تنها با موجی بودن ماهیت نور امکان‌پذیر بود. یانــگ این پدیده را چنین توضیح داد: هنگامی کــه دو موج ـ که از منابع متفاوت نتیجه شــده‌اند ـ در جهتی کاملاً یکسان یا بسیار مشابه با هم تلاقی می‌یابند، بر یکدیگر اثر می‌گذارند. از آنجا که هر ذره‌ای در محیط از امواج اثر می‌پذیرد، اگر جهت حرکت ذره‌ها یکسان باشد موج، به انتشار خود ادامه می‌دهد وگرنه حرکت آن محدود و مختل می‌شود.

به این ترتیب نظریهٔ موجی نور جایــی در کنار نظریهٔ ذره‌ای یافــت تا به توضیح خواصی از نور بپــردازد که نظریهٔ ذره‌ای در بیان آن ناتوان بود.

در همین حال که سیر تحولات مربوط به نور سرعت گرفته بود ویلیام ولاستون[۷] وجود خطوطی سیاه رنگ را در طیف نور خورشید گزارش کرد. این مشاهده در سال ۱۸۰۲، یک سال پس از آزمایش یانگ و درجریان توجیه نتایج آزمایش ریتر روی داد. ولاســتون از شکافی بســیار باریک حدود 1mm، برای عبور نور استفاده کرد و همراه بــا رنگ‌های موجود در طیف مرئی، هفت خط ســیاه نیز مشــاهده کرد که پنج تای آن در مرز میان دو رنگ قرار داشــت

شــکل ۳ فرانهوفر در ســال ۱۸۱٤، کاربرد طیف‌سنجی در بررسی‌های کمی را زمینه‌سازی می‌کند.

یانگ به جای یک روزنه، از یک شکاف باریک برای گذراندن نور استفاده کرد و به الگویی دست یافت که به الگوی تداخلی نور معروف است



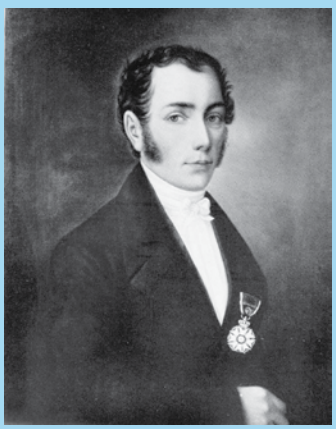
شکل ٤

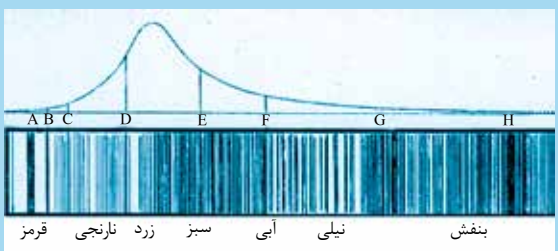
و دوتــای دیگر در مرز رنگ سبز مایل به زرد و آبی ظاهر شده بود.

پی بردن به نقش شکل و شرایط محل عبور نور، پیشــرفت ارزنده‌ای در مسیر پژوهش‌ها به‌شمار می‌رفــت و تغییر آن از یــک روزنه به شــکافی بسیار باریک، با حذف اثر تداخل امواج، طیف‌های خالص‌تــر و مناســبی را برای تفســیر فراهم می‌کرد. با ایــن حال از این زمان تا یک دهه بعد، پژوهش‌ها به مســیری دیگری وارد شد که به نظر می‌رسید روند پیشروی آن را کندکرده است اما در واقع چنین نبود.

بناگذاری اصول کمّی طیف‌سنجی

در ســال ۱۸۱٤، موفقیت‌های یک دانشمند آلمانی کاربرد طیف‌ســنجی را در بررســی‌های کمّــی زمینه‌ســازی کــرد. فرانهوفر[۸] جوان که در سال ۱۷۸۷ در مونیخ متولد شد به یافته‌های نیوتون در مورد طیف خورشید علاقه‌مند شد و هنگام جست‌وجوی روش‌هایی برای اصلاح تلســکوپ خود، همان خطــوط ســیاه رنگ





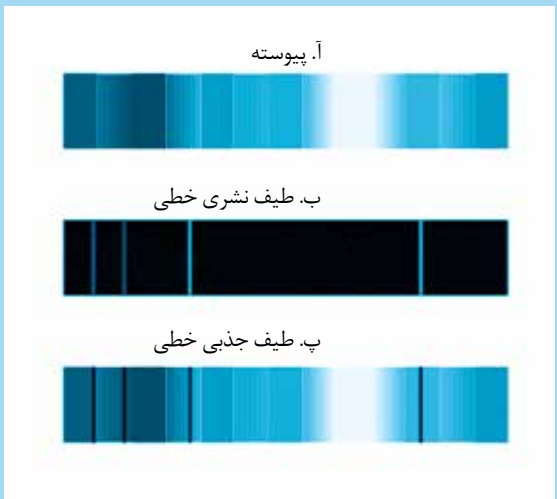
شکل ۵ فرانهوفر و خطوط طیفی که با نام او معروف شد.

با تشخیص وجود رابطه‌ای میان عنصرها و الگوهای طیفی آن‌ها در سال ۱۸۶۰، روش تجزیه بر پایهٔ طیف‌سنجی پایه‌گذاری شد

را که ولاستون گزارش داده بود مشاهده کرد. این یافته در جریان اندازه‌گیری قدرت پراکندگی انواع مختلف شیشه در برابر پرتوهایی با رنگ‌های متفاوت روی داد. او متوجه شد خط نارنجی درخشان مربوط به شعله‌ای که از آن استفاده می‌کرد، درست در محلی قرار دارد که خط D در شکل ۵ دیده می‌شود. این خط به وجود سدیم مربوط است که البته فرانهوفر از آن اطلاعی نداشت. این خط در شعله‌های الکل و گوگرد نیز دیده شده بود.

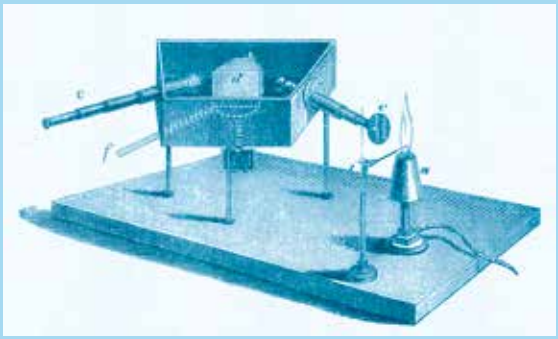
فرانهوفر ۵۷۴ خط سیاه را در طیف خورشید مشخص کرد. هشت تا از این خطوط که قوی‌تر بودند و او آن‌ها را از A تا G نام‌گذاری کرد، امروزه به خطوط فرانهوفر معروف‌اند. مشخص شد که خط D شامل دو خط بسیار نزدیک به هم است که D_1 و D_2 خوانده می‌شوند. به هرحال، موقعیت این خطوط در ناحیهٔ زردرنگ طیف مرئی بود و با گزارش فرانهوفر در مورد رنگ نارنجی تفاوت داشت.

در سال ۱۸۲۱ فرانهوفر اقدامی کرد که به انقلابی در پژوهش‌ها منجر شد و آن، استفاده از یک شبکهٔ پراکنندهٔ نور به جای منشور بود. به کمک این شبکه، طول موج دو خط سدیم یا دو خط D_1 و D_2 مشخص شد.



شکل ٦ معرفی انواع طیف

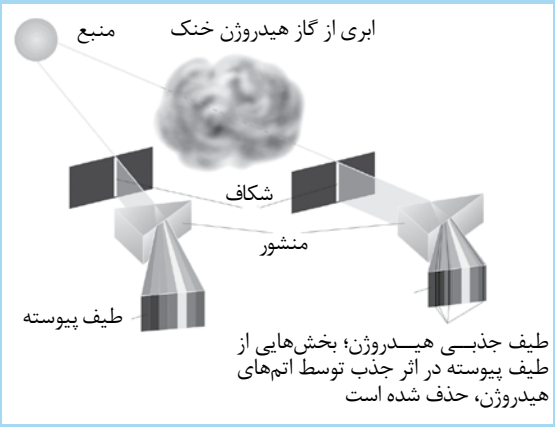
فرانهوفر در سن ۳۹ سالگی در حالی چشم از جهان فرو بست که نتوانسته بود دربارهٔ علت ظاهر شدن خطوط سیاه رنگ موجود در طیف خورشید توضیحی دهد؛ همان خطوطی که از سن ۲۷ سالگی آن‌ها را شناسایی کرد و هم‌اکنون نیز با نام او خوانده می‌شوند. امروزه ما آنچه را که فرانهوفر دیده بود، طیف جذبی می‌خوانیم.



شکل ۷ نمایی از طیف‌سنج کیرشهف و بونزن. این دو دانشمند ثابت کردند هر عنصر شیمیایی دارای خطوط طیفی مخصوص به خود است. با همین یافته، در سال ۱۸۶۰ موفق به معرفی دو عنصر منیزم و روبیدیم شدند.

تفسیر اتمی خطوط طیفی

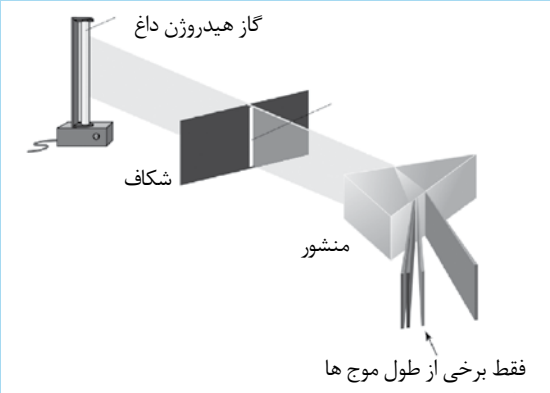
در سال ۱۸۲٦، نخستین گام در تفسیر طیف‌ها برداشته شد. جان هرشل ـ که پدرش ناحیهٔ فروسرخ را معرفی کرده بود ـ همراه با فاکس تالبوت[9] نشان دادند هنگامی که ماده‌ای گرم می‌شود و نور منتشر شدهٔ آن از طیف‌سنج می‌گذرد، برای هر یک از عنصرهای سازندهٔ آن ماده می‌توان یک خط طیفی مشاهده



شکل ۸ مقایسه طیف حاصل از یک گاز و طیف پیوسته خورشید .

کرد. این تعریف امروزی طیف نشری است.

دیوید بروستر[10] در سال ۱۸۳۲ پیش‌بینی کرد نور خورشید در هواکرهٔ آن مورد جذب گزینشی قرار می‌گیرد و خطوط سیاه رنگ موجود در طیف خورشید را ایجاد می‌کند. پس از آن دانشمندان پژوهش‌های خود را بر پاسخ به این پرسش متمرکز کردند: هر یک از این خطوط سیاه، از چه ماده‌ای منتشر می‌شود؟ در این راستا، ویلیام میلر[11] در آزمایشگاه، نور خورشید را از گازهای مختلف عبور داد و متوجه حضور خطوط سیاه جدیدی شد. در مجموع، فعالیت دانشمندان در دههٔ ۱۸۴۰، یافته‌های ارزنده‌ای را پیشکش جهان علم کرد که در جریان آن هم طیف‌نشری شعله‌ها، حاوی عنصرهای شیمیایی گوناگون بررسی و گردآوری شد و هم طیف جذبی مربوط به عنصرهای گازی مختلف به دست آمد اما هنوز رابطهٔ منسجمی میان این اطلاعات برقرار نشده بود تا اینکه در سال ۱۸۴۸ گوستاوکیرشهف[12]، موفق به ارائهٔ قانون معروف خود شد. او اعلام کرد در دمای ثابت، هر مادهٔ گازی می‌تواند همان طول موج‌هایی از نور را که جذب می‌کند، منتشر کند. یعنی جای خط‌های سیاه در طیف نشری یک ماده درست منطبق با خطوط سیاه در طیف جذبی همان ماده است. کیرشهف و رابرت بونزن[13] با ادامه پژوهش‌های خود و استفاده از روش‌های فرانهوفر ثابت کردند هر عنصر شیمیایی



شکل ۹ طیف نشری حاصل از یک گاز داغ و کم‌چگالی

دارای خطوط طیفی مخصوص به خود است. به این ترتیب سی و سه سال پس از فرانهوفر، علت ایجاد خطوط طیفی او شناسایی شد. با تشخیص وجود رابطه‌ای میان عنصرها و الگوهای طیفی آن‌ها در سال ۱۸۶۰، روش تجزیه بر پایهٔ طیف‌سنجی پایه‌گذاری شد. این دو دانشمند یافته‌های خود را دربارهٔ طیف هشت عنصر ـ که در چند ترکیب طبیعی به‌طور مشترک حضور داشتند ـ گزارش دادند و ثابت کردند طیف‌سنجی روشی کارآمد است برای تجزیه‌های کمّی و کیفی نمونه‌هایی حاوی مقدار بسیار جزئی از عنصرها، چنان‌که از همین راه چند عنصر شیمیایی را شناسایی کردند که تا آن زمان، هنوز شناخته نشده بودند.

کلام پایانی

جایی به نام توقف در جهان پر جنب‌وجوش ما وجود ندارد. انسان با امکاناتی که از علم و فناوری در اختیار گرفته است، در طالع هرگذرگاه تنگ و تاریکی، رسیدن به آزادراه‌هایی غرق در نور و رو به فرداهای نورانی‌تر را پیش‌بینی می‌کند. این تجربهٔ چندین بارهٔ تاریخ علم است: مشاهدهٔ پدیده‌هایی ساده که سابقهٔ طولانی در زمان‌های کهن داشته است، با سازمان‌دهی آزمایش‌های نظام‌مند به دست دانشمندانی همچون نیوتون، به مسیری هدایت می‌شود که با پیگیری پژوهشگران، چهار قرن پس از وی، روشی بسیار دقیق برای تشخیص و تعیین مقدار اجزای ترکیب‌ها ـ از پیچیده‌ترین نوع آن همچون خورشید، ستارگان مشابه آن و توده‌های بزرگ گاز در فضاهای میان ستاره‌ای گرفته تا نمونه‌های آزمایشگاهی ـ به جهان علم تقدیم می‌کند.

امروزه با تکیه بر تنوع طول موج اجزای طیف الکترومغناطیس، دستگاه‌های طیف‌سنجی گوناگونی طراحی شده‌اند که در هر یک، استفاده از پرتوها در محدودهٔ طول موجی معین، امکان شناسایی‌های کمّی و کیفی را فراهم می‌کنند. طیف‌سنج‌های UV، IR، NMR و ...، همه انواعی پیشرفته ازنورسنج بسیار ساده نیوتون هستند که درگذر زمان و با پیگیری دانشمندان گوناگون در اختیار ما قرار گرفته‌اند.

پی‌نوشت‌ها

1. Athanasius Kircher
2. burried mirror
3. huygens, Ch.
4. Scheele, C.W.
5. Herschel, w.
6. Ritter, J.W.
7. Wollaston, W.
8. Von Franhofer, J.
9. Talbot, W.H.F.
10. Brewster, D.
11. Miller, W.
12. Kirchhof, G.
13. Bunsen, R.

منابع

1. www.chemteam.info/electrons/spectrum-history.html
2. web.mit.edu/spectroscopy/history/spec-history.html