فهرست

پیشگفتار ۷

فصل ۱: امواج الکترومغناطیسی ۹

- مقدمه ۹
- معرفی طیف (بیناب) الکترومغناطیسی ۱۵
- درمان‌های فتودینامیک (PDT) ۲۲
- ایمنی در برابر لیزر ۳۹
- طبقه‌بندی لیزرها از نظر ایمنی ۳۹
- خلاصه ۴۰

فصل ۲: الکتروسرجری ۴۱

- مقدمه ۴۱
- بار الکتریکی ۴۱
- جراحی الکتریکی ۴۶
- یونتوفورز ۵۵
- خلاصه ۵۸

فصل ۳: امواج فراصوت ۵۹

- مقدمه ۵۹
- کاربرد امواج فراصوت در پزشکی ۶۵
- تشخیص فیبروز پوست با استفاده از الاستوگرافی فراصوتی ۷۱
- اثربخشی امواج فراصوت در کاربردهای مختلف ۷۴
- فراصوت کانونی شده با شدت بالا در درمان ۷۷
- خلاصه ۸۰

فصل ۴: رادیوتراپی ۸۱

- مقدمه ۸۱
- ساختمان هسته ۸۱
- انرژی همبستگی هسته ۸۳
- کاربردهای تشخیصی رادیوایزوتوپ‌ها ۹۰
- کاربردهای درمانی رادیوایزوتوپ‌ها: ۹۲
- فیزیک تابش ۹۵
- خلاصه ۱۰۰

فصل ۵: پلاسما ۱۰۱

- مقدمه ۱۰۱
- ویژگی‌های پلاسما ۱۰۱
- روش‌های درمان با پلاسمای اتمسفری سرد ۱۰۷
- مکانیسم اثر پلاسمای اتمسفری سرد بر روی سلول‌های سرطانی ۱۰۷
- خلاصه ۱۰۷

منابع ۱۰۹

واژه‌یاب ۱۱۱

پیشگفتار

بسمه تعالی

فناوری‌های مدرن در سال‌های اخیر، علم پزشکی را متحول ساخته است. در این میان رشته درماتولوژی نیز از این قاعده مستثنی نبوده و در حوزه‌های تشخیص و درمان پیشرفت‌های چشمگیری حاصل شده است. نگاهی اجمالی به روند روبه‌رشد شیوه‌های تشخیصی و درمانی نشان می‌دهد که استفاده از تکنولوژی‌های جدید، امکان تشخیص سریع‌تر، دقیق‌تر و همچنین درمان موثرتر و ایمن‌تر بیماری‌های پوست را فراهم کرده است. گروه قابل توجهی از این روش‌ها توسط علم میان رشته‌ای فیزیک پزشکی پایه‌ریزی شده‌است. از جمله می‌توان به نقش کلیدی رفتار بافت در برابر نور، لیزر، الکتریسیته، فراصوت و تابش‌های هسته‌ای اشاره نمود. لذا انتظار می‌رود همه پزشکان از جمله متخصصین پوست با مبانی فیزیک پزشکی آشنایی داشته باشند.

این مجموعه برای دستیاران و متخصصین پوست هدف‌گذاری شده است، بطوری‌که بتوانند با شناخت مبانی فیزیک پزشکی، رویکردی منطقی برای به‌کارگیری تجهیزات تشخیصی و درمانی پیدا کنند. در این کتاب پرداختن کامل به موارد بالینی استفاده از این تکنیک‌ها موردنظر نبوده، چراکه این مباحث در کتب مرجع درماتولوژی و مقالات مرتبط به صورت مبسوط بیان شده است. بلکه هدف این بوده که یک مجموعه فشرده از مبانی فیزیکی این تکنیک‌ها، برای درک بهتر عملکرد و کارایی بیشتر سامانه‌های مرتبط، فراهم گردد. امید می‌رود مجموعه پیش رو مورد استفاده پزشکان محترم قرار گیرد.

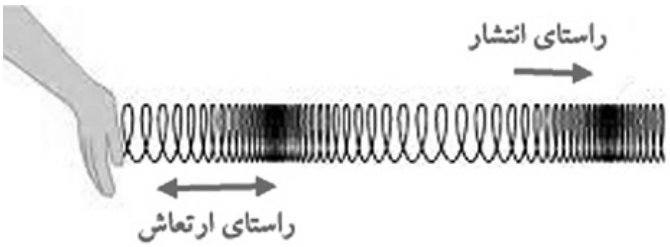
پاییز ۱۴۰

فصل ۱

امواج الکترومغناطیسی

مقدمه

امواج الکترومغناطیسی در نتیجه نوسان ذرات باردار تولید می‌شوند. امواج موجود در پیرامون ما از دو کیفیت انتشار متفاوت برخوردارند، گاهی به صورت طولی و گاه به شکل عرضی انتقال می‌یابند. در بروز این رفتار علاوه بر منبع، مسیر انتشار نیز دخیل است. در عمومی‌ترین دیدگاه، امواج به صورتهای طولی و عرضی منتشر می‌شوند. یک موج طولی حاصل تولید و انتشار هم راستاست. یعنی راستای ارتعاش مولد و انتشار موج یکسان خواهدبود. اما موج عرضی نتیجه ارتعاش و انتشار عمود بر یکدیگر است. امواج الکترومغناطیسی همواره عرضی منتشر می‌شوند.



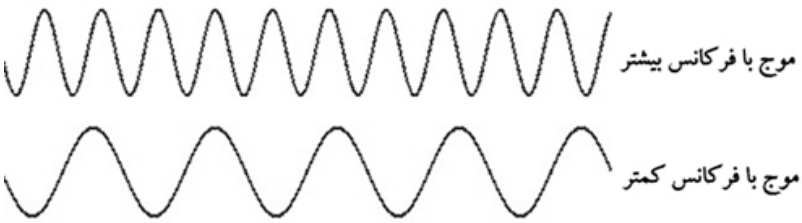
• شکل ۱-۱: راستای انتشار و ارتعاش در موج طولی

• شکل ۲-۱: راستای انتشار و ارتعاش در موج عرضی

قبل از پرداختن به موضوعات اصلی، مفاهیم پایه مرور می‌شود.

موج: موج حامل انرژی است و مقدار آن با گذشت زمان تغییر می‌کند. برای بیان این تغییرات مفاهیمی مانند فرکانس، دوره تناوب، دامنه، طول موج و فاز مطرح می‌شوند.

فرکانس (f): تعداد نوساناتی که توسط موج در یک ثانیه انجام می‌شود و واحد آن هرتز (Hz) است.



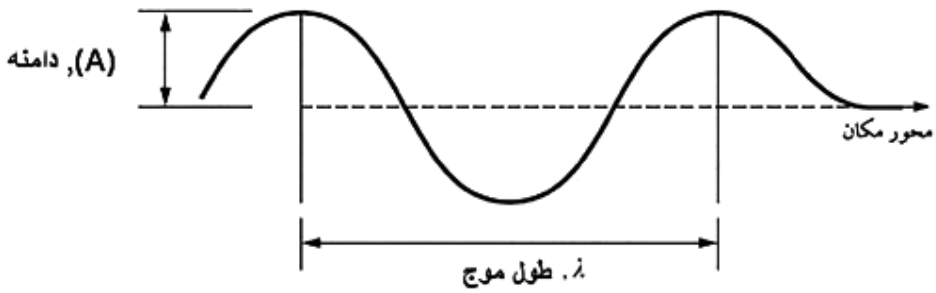
• شکل ۳-۱: مفهوم فرکانس

دوره تناوب یا پریود: مدت زمانی که یک نوسان کامل طول می‌کشد و واحد آن ثانیه است.

• شکل ۴-۱: مفهوم دوره تناوب

دامنه: بیانگر بیشترین تغییرات یک ویژگی وابسته به مولد موج است. این ویژگی می‌تواند در مورد امواج مکانیکی میزان جابجایی ذره مرتعش و در ارتباط با امواج الکترومغناطیسی شدت میدان الکتریکی ناشی از نوسان ذره باردار باشد، از روی شکل موج می‌توان گفت فاصله یک قله یا دره از خط مرکزی (خط سکون ذره) **دامنه موج** نام دارد.

طول موج (λ): فاصله بین دو قله متوالی موج یا فاصله بین دو نقطه متوالی نظیر هم روی یک موج است.

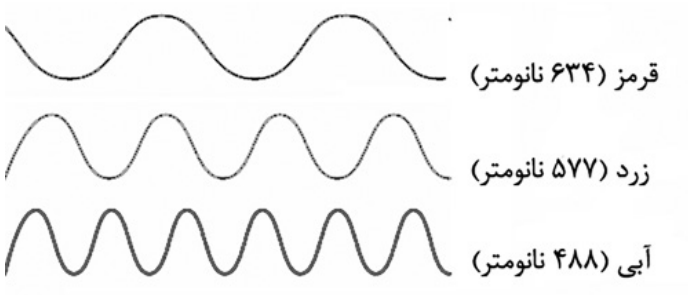


• شکل ۵-۱: مفهوم دامنه و طول موج

طوج موج معمولا به واحد نانومتر بیان می‌شود و در برخی موارد میکرومتر و آنگستروم نیز بکار می‌رود که رابطه این سه واحد به صورت زیر است:

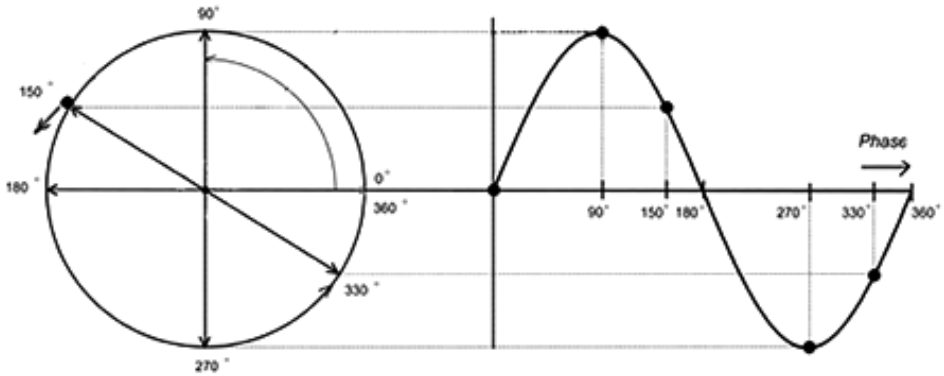
$$Å\ ۱۰ = ۰,۰۰۱\mu m = ۱nm$$

رابطه بین طول موج، سرعت و فرکانس موج: $\lambda = c/f$



• شکل ۶-۱: مقایسه طول موج‌های قرمز، زرد و آبی

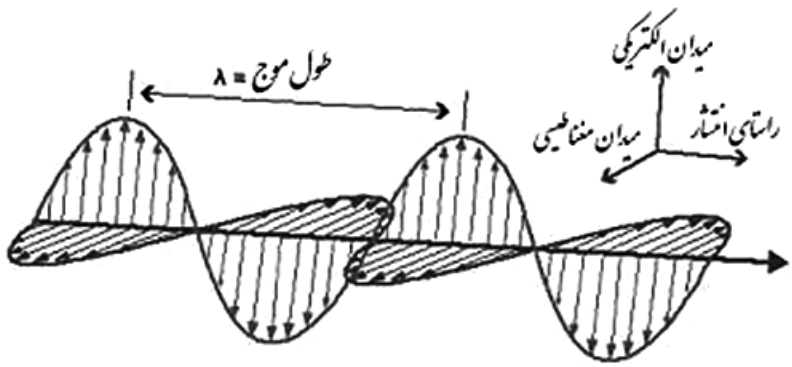
فاز موج: اگر یک ارتعاش کامل را از طریق جابجایی یک نقطه روی یک دایره، نظیر کنیم، می‌توان در هر لحظه موقعیت متحرک را روی دایره با توجه به زاویه طی شده نسبت به خط افق تعیین و بر روی یک محور افقی ترسیم نمود که همان شکل موج خواهد شد. در واقع فاز موج همان زاویه‌ای خواهد بود که در هر لحظه نسبت به امتداد افق (زاویه صفر درجه) طی شده است.



• شکل ۷-۱: مفهوم فاز

امواج الکترومغناطیسی

امواج الکترومغناطیسی حاصل ارتعاش ذرات باردار هستند. در نتیجه‌ی نوسان یک ذره باردار، در اطراف آن میدانهای الکتریکی و مغناطیسی بوجود می‌آید و برهم کنش این دو میدان، امواج الکترومغناطیسی را ایجاد می‌کند. امتداد میدان الکتریکی همان امتداد ارتعاش ذره باردار و امتداد میدان مغناطیسی عمود بر راستای ارتعاش ذره است. بدین ترتیب امواج الکترومغناطیسی حاصل نوسان میدانهای الکتریکی و مغناطیسی عمود بر هم اند که عمود بر صفحه این دو میدان منتشر می‌شوند.

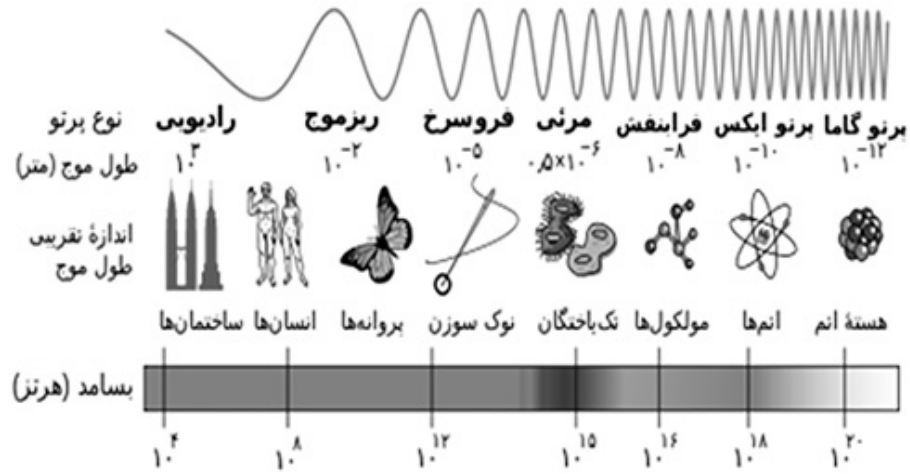


• شکل ۸-۱: موج الکترومغناطیس

نحوه تولید امواج الکترو مغناطیسی

همانطور که در شکل ۱-۱ مشاهده می‌شود، طیف امواج الکترومغناطیسی را محدوده گسترده‌ای از طول موج‌ها (از مرتبه ابعاد ساختمان‌ها و کوه‌ها گرفته تا ابعاد سلول، باکتری، ویروس و بالاخره مولکولها و اتمها) شامل می‌شود. پس چگونگی تولید آنها نیز متفاوت خواهدبود. صرفنظر از تابش گاما، عمده‌ترین شیوه تولید

امواج الکترومغناطیسی جذب انرژی و سپس نشر طول موج‌های مختلف ضمن برگشت اتم، مولکول یا یون به حالت پایه می‌باشد.



• شکل ۹-۱: معرفی طیف امواج الکترومغناطیسی و مقایسه طوج موج هر ناحیه با اندازه اشیا

در تولید کوتاهترین طول موج‌های بیناب (طیف)، آثار هسته‌ای دخالت می‌کنند. برای تولید امواج با طول موج بلندتر، تغییرات انرژی در ساختار اتمی و مولکولی روی می‌هد. در یک ساختار اتمی در وضعیت پایه، الکترون‌ها پایین‌ترین ترازهای انرژی نزدیک به هسته را اشغال کرده‌اند. اما اگر به آنها انرژی کافی داده شود، امکان انتقالشان به ترازهای بالاتر فراهم می‌گردد. در چنین شرایطی اتم در حالت برانگیخته است. این وضعیت تداوم نداشته و پس از زمان کوتاهی اتم به تراز پایه برمی‌گردد. این جابه جایی با تابش موج الکترومغناطیسی همراه است. این فرآیند گسیل خودبخودی است. نور لامپهای روشنایی، نور خورشید و نور چراغهای نئون همگی دستاورد تابش خودبخودی هستند.

اگرطی فرایند فروافت، فتون اولیه بدون آنکه جذب شود، به راه خود ادامه دهد و فتون دیگری هم جهت با فتون اول از اتم برانگیخته آزاد شود، نشر تحریکی (گسیل القایی) روی داده است. در این حالت با دو فتون هم فاز و موازی روبرو هستیم. این پدیده مبنای عملکرد منابع لیزری است که در بخشهای بعدی مورد بحث قرار خواهدگرفت.

رابطه زیر بین انرژی، طول موج و فرکانس یک موج الکترومغناطیسی برقرار است:

$$E = h\nu = h\frac{c}{\lambda} \qquad E = hf = \frac{hc}{\lambda}$$

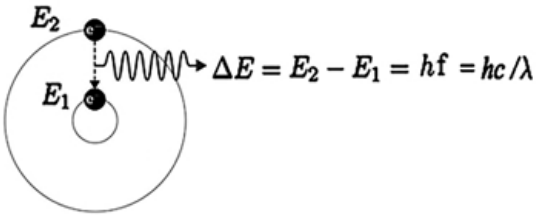
$$h = 6.625 \times 10^{-34}\ j.\sec$$

معمولا" انرژی فتونها را بر حسب الکترون ولت تعیین می‌کنند.

هر الکترون ولت (ev) معادل با انرژی کسب شده توسط یک الکترون تحت تاثیر اختلاف پتانسیل یک ولت است.

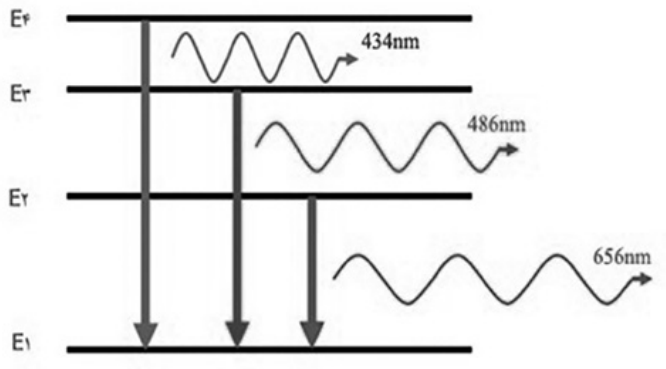
$$E = e.V$$

دراین رابطه e بارالکتریکی ذره باردار (الکترون)،V اختلاف پتانسیل اعمال شده به ذره و E انرژی کسب شده توسط ذره باردار در میدان الکتریکی می‌باشد.



• شکل ۱۰-۱: وابستگی انرژی و طول موج نشری به تفاوت انرژی دو تراز الکترونی

در یک ماده معین هر چه ترازهای الکترونی از هسته دورتر باشند، اختلاف انرژی بین دو تراز متوالی کمتر و هر چه به هسته نزدیک‌تر باشند، این تفاوت بیشتر است. تفاوت انرژی بین ترازهای الکترونی به عدد اتمی ماده نیز وابسته بوده و از اتمی به اتم دیگر فرق می‌کند.



• شکل ۱۱-۱: اختلاف انرژی ترازهای متوالی

جذب انرژی بیشتر می‌تواند موجب جداشدن الکترون آخرین تراز شده و اتم یونیزه گردد. بدیهی است در نتیجه یونش، ترازهای انرژی الکترونی اتم قدری جابجا می‌شود. بدین ترتیب تحریک یونی موجب نشر طول موج‌های کمی متفاوت نسبت به ساختار اتمی می‌گردد.

قرار گرفتن اتمها در یک آرایش مولکولی نیز به نوبه خود ترازهای انرژی جدیدی را در ساختار ماده فراهم می‌کند. در یک ساختار مولکولی علاوه بر ترازهای انرژی الکترونی، ترازهای انرژی چرخشی ناشی از دوران مولکول دور محور آن، و همچنین ترازهای انرژی نوسانی به سبب ارتعاش اتمها نسبت به وضعیت تعادلشان، بوجود می‌آید. اگر مولکول انرژی کافی جذب کند، می‌تواند از یک موقعیت دورانی یا ارتعاشی خارج و

برانگیخته شود. پس از آنکه مولکول به حالت برانگیخته در آمد، در این وضعیت باقی نمی‌ماند و اقدام به نشرموج الکترومغناطیسی می‌کند تا به تراز پایه بر گردد.

معرفی طیف (بیناب) الکترومغناطیسی

تابشهای الکترومغناطیسی را به دو دسته‌ی کلی تقسیم‌بندی می‌کنند: **یونیزان** و **غیر یونیزان**. در مورد طیف الکترومغناطیسی مرز این تقسیم‌بندی بین پرتوهای ایکس و فرابنفش روی می‌دهد. تابش‌های یونیزان در طیف امواج الکترومغناطیس می‌توانند باعث یونسازی شود و شامل پرتوهای گاما و ایکس هستند که در کوتاهترین طول موج‌های بیناب الکترومغناطیسی قرار می‌گیرند. تابش‌های غیر یونیزان دارای انرژی کافی برای یونیزه کردن اتم‌ها یا مولکول‌ها نیستند. انرژی این پرتوها کمتر از ۱۲/۴ الکترون ولت است و بترتیب از طول موج‌های کوتاه تا بلند عبارتند از پرتوهای فرابنفش، نور مرئی، فروسرخ، مایکروویو یا ریزموج، و امواج رادیویی.

نور

نور صورتی از انرژی الکترومغناطیسی است و شامل سه ناحیه فرابنفش، مرئی و مادون قرمز است که پس از انتشار قابلیت عبور، بازتاب، شکست، پراکندگی و جذب در مواد را دارد. در مورد نحوه انتقال نور دو نظریه تقریباً همزمان توسعه پیدا کرد، نظریه‌های ذره‌ای نیوتن و موجی هویگنس. رفتارهای مختلف نور را با این دو نظریه توجیه می‌کنند.

بر اساس نظریه نیوتن چشمه‌های نورانی، ذرات بدون وزنی گسیل می‌کنند که بصورت مستقیم با سرعت $3\times10^{8}\ m/s$ در خلاء منتشر می‌شود. پیشنهاد موجی بودن نور را هویگنس مطرح کرد. پدیده هایی نظیر تداخل و قطبش (پلاریزاسیون) با تئوری موجی و پدیده فتوالکتریک توسط تئوری ذره‌ای توجیه شد.

الف) رفتار موجی نور ب) رفتار ذره‌ای نور

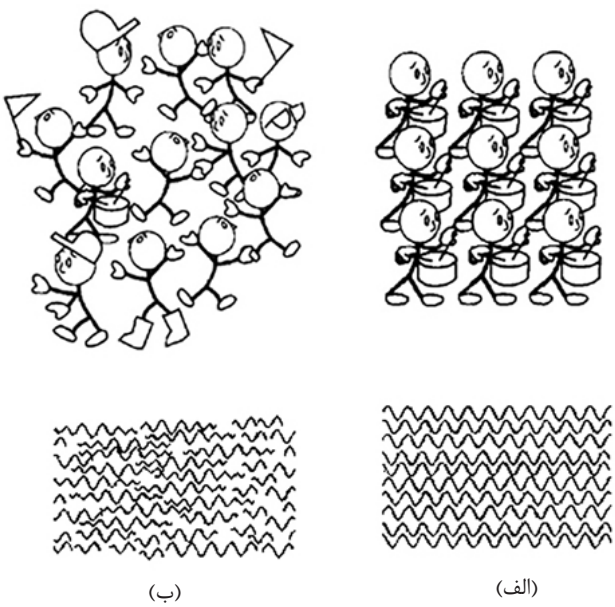
• شکل ۱۲-۱: الف) رفتار موجی نور ب) رفتار ذره‌ای نور

از آنجاکه نظریهٔ موجی نتوانست پاسخگوی بسیاری از سؤالات در بارهٔ ماهیت نور باشد، در ۱۹۰۰ پلانک آلمانی نظریهٔ کوانتومی نور را پیشنهاد کرد که به موجب آن الکترونها انرژی را به صورت گسسته در بسته‌هایی بنام کوانتوم انرژی صادر می‌کنند و بالاخره در ۱۹۰۵ انیشتن اصطلاح فتون را به عنوان واحدی برای اندازه‌گیری این بسته‌های انرژی معرفی نمود.

پلانک برای توجیه مشاهدات مربوط به تابش جسم سیاه، امواج الکترومغناطیسی را حاصل برهمکنش

میدانهای الکتریکی و مغناطیسی ناشی از ارتعاش ذرات باردار دانست. بدین ترتیب ردپای نظریه الکترومغناطیسی نور نیز ظاهر شد.

بطورکلی منابع نور مختلف قادر به تولید پرتوهای همدوس (کوهرنت) و غیرهمدوس (غیرکوهرنت) هستند. امواج کاملاً همدوس هستند اگر همواره تغییرات فاز و فرکانس یکسان داشته باشند. یعنی اگر نوری را که از یک چشمه خارج می‌شود، بطریقی به دو قسمت تقسیم کنیم و با هر یک از آنها یک چشمه جدید ایجاد کنیم، به اصطلاح دو چشمه ثانویه از یک چشمه اولیه ساخته می‌شود. هر نوع تغییر تصادفی در فاز یکی از آنها ایجاد شود، در دیگری نیز عینا تکرار می‌شود، لذا فاز چشمه‌های ثانویه ثابت می‌مانند. دو چشمه را که به این ترتیب از یک چشمه اولیه مشتق شده‌اند و رابطه فاز ثابتی دارند، همدوس و امواج نوری حاصل از آنها را امواج همدوس می‌گویند.



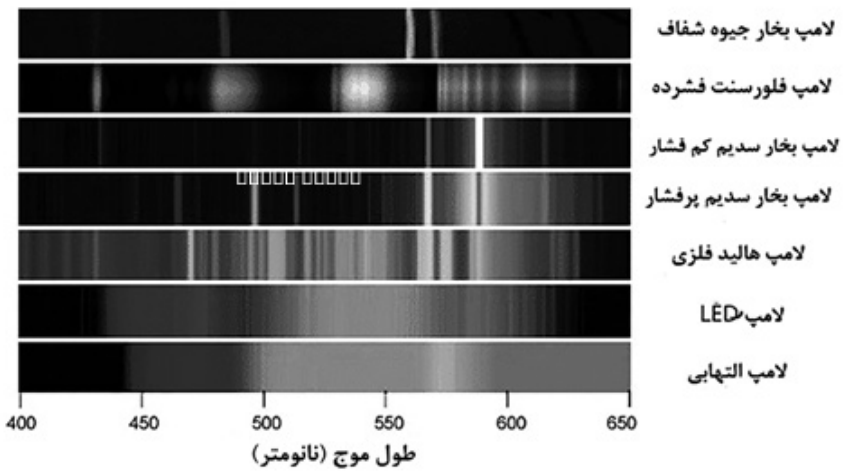
• شکل ۱۳-۱: الف) منابع همدوس ب) منابع غیرهمدوس

منابع تولید پرتوهای همدوس تک طول موج هستند، در حالیکه چشمه‌های نور غیرهمدوس، نور با طول موج‌های مختلف تولید می‌کنند. البته پهنای طیفی آنها در انواع مختلف متفاوت است که متداولترین آنها لامپهای تنگستن، گازی، مهتابی، هالوژن و LEDها هستند. در شکل زیر طیف خروجی از چند نوع از این منابع مشاهده می‌شود. برای محدود کردن باند طیفی منابع غیرهمدوس از مونوکروماتورها (تک رنگ کننده ها) استفاده می‌شود که از جمله آنها فیلترهای جذبی و تداخلی، رزوها یا توری‌ها (grating system) را می‌توان نام برد.

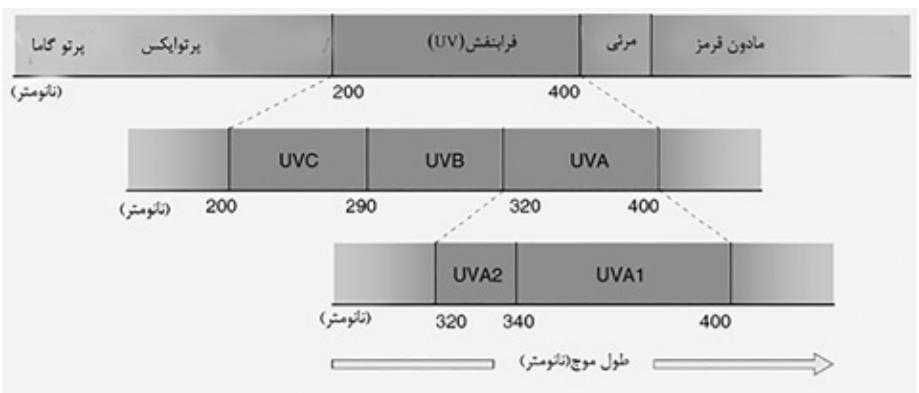
پرتوهای فرابنفش و کاربردهای آن

پرتوهای فرابنفش

که در طول موج‌های کوتاهتر از نور مرئی واقعند، به سه ناحیه فرابنفش نزدیک (A)، میانه (B) و دور (C) تقسیم شده‌اند.



• شکل ۱۴-۱: منابع تولید پرتوهای غیرهمدوس



• شکل ۱۵-۱: ناحیه گسترده شده فرابنفش در طیف امواج الکترومغناطیس[۱]

UVA در طول موج‌های (۳۹۰-۳۱۵) نانومتر قرار دارد و به دلیل نزدیکی این محدوده به نور دیدگانی به پرتو فرابنفش نزدیک نیز شناخته شده است.

UVB با طول موج‌های (۳۱۵ - ۲۸۰) نانومتر پرتو فرابنفش میانه نیز نامیده شده است. بیشترین