

فصل چهارم - موج‌های مکانیکی

۴

سرعت انتشار موج عرضی در طناب:

- $F$ : نیروی کشش ریسمان ( بر حسب نیوتون: N )
- $\mu$ : جرم و امر طول ریسمان ( بر حسب کیلوگرم بر متر: kg/m )
- $v$ : سرعت انتشار موج در ریسمان ( بر حسب متر بر ثانیه: m/s )
- $m$ : جرم ریسمان ( بر حسب کیلوگرم: kg )
- $L$ : طول ریسمان ( بر حسب متر: m )

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}, \quad \mu = \frac{m}{L}$$



اگر گپالی ریسمان و قطر آن را به ترتیب با  $\rho$  و  $D$  نمایش دهیم، فوایم داشت:

$$v = \sqrt{\frac{FL}{m}} = \frac{1}{D} \sqrt{\frac{FL}{\pi \rho}}$$

رابطه‌ی طول موج با سرعت، بسامد و دوره:

اگر بسامد موجی که در ریسمان منتشر می‌شود را با  $f$ ، سرعت انتشار موج در ریسمان و طول موج را به ترتیب با  $v$  و  $\lambda$  نمایش دهیم، داریم:

$$\lambda = \frac{v}{f} = vT$$

- بسامد ( $f$ ) فقط تابع شرایط پیشه‌ی تولید موج است و به شرایط محیط بستگی ندارد.
- سرعت انتشار موج ( $v$ ) فقط تابع شرایط محیط است و به بسامد و دامنه‌ی موج بستگی ندارد.
- طول موج ( $\lambda$ ) هم به شرایط محیط و هم به بسامد موج بستگی دارد.

تابع موج:

تابع موج، رابطه‌ای است که وضعیت نوسانی نقطه‌ای از محیط را که به فاصله‌ی  $x$  از مبدا مفاصلات (پشمه‌ی موج) واقع است، در لحظه‌ی  $t$  نشان می‌دهد:

$$u_y(x,t) = A \sin(\omega t \pm kx)$$



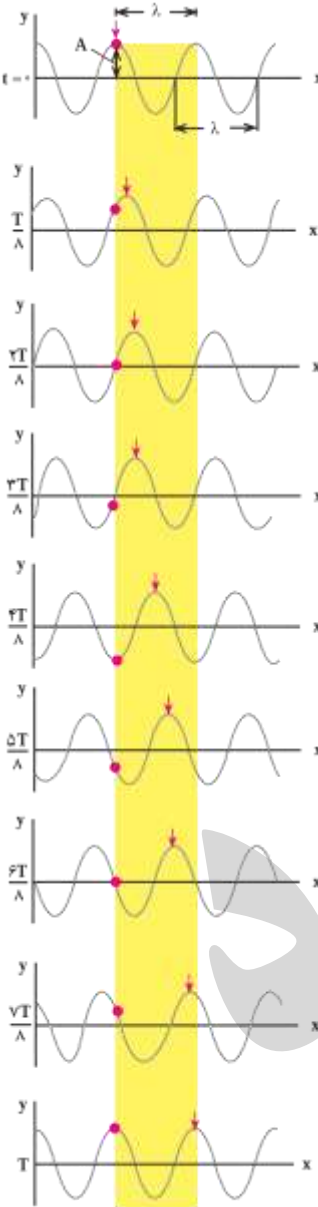
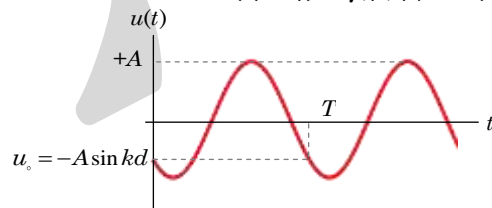
عبارت  $\omega t \pm kx$  را فاز موج می‌نامند و از آنجا که شکل موج تغییر نمی‌کند، لذا فاز موج هموار مقدار ثابتی باقی می‌ماند. بنابراین:

- اگر موج در جهت مثبت محور  $x$  حرکت کند، فاز موج آن به صورت  $\omega t - kx$  است.
- اگر موج در جهت خلاف مثبت محور  $x$  حرکت کند، فاز موج آن به صورت  $\omega t + kx$  است.
- در این رابطه،  $k$  عدد موج است و داریم:

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}, \quad \omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$$

$$v = \frac{\lambda}{T} = \frac{\omega}{k}$$

نمودار مکان - زمان ذره‌ای که در فاصله‌ی  $d$  از مبدا نوسان قرار دارد به صورت زیر است:



• رابطه‌ی طلایی در موج:

▪ اگر دو نقطه را در نظر بگیریم که در فاصله‌های  $x_1$  و  $x_2$  از یک پشمه‌ی موج (یا دو پشمه‌ی موج هم-فاز و هم بسامد) قرار داشته باشند، با یکدیگر اختلاف فاز  $\Delta\varphi$  خواهند داشت و موج با اختلاف زمانی  $\Delta t$  با آنها خواهد رسید و در اینصورت برای آنها می‌توان نوشت:

$$\frac{\Delta x}{\lambda} = \frac{\Delta\varphi}{2\pi} = \frac{\Delta t}{T}$$

• تداخل‌های سازنده و ویرانگر:

▪ اگر اختلاف راه دو موج مضرب صمیمی از طول موج  $(\Delta x = n\lambda)$  یا مضرب زوجی از نصف طول موج  $(\Delta x = 2n\frac{\lambda}{2})$  باشد، دو موج با یکدیگر هم‌فاز هستند و تداخل آنها سازنده خواهد بود.

▪ اگر اختلاف راه دو موج مضرب نیم صمیمی از طول موج  $(\Delta x = (n - \frac{1}{2})\lambda)$  یا مضرب فردی از نصف طول موج  $(\Delta x = (2n - 1)\frac{\lambda}{2})$  باشد، دو موج با یکدیگر در فاز مخالف هستند و تداخل آنها ویرانگر خواهد بود.

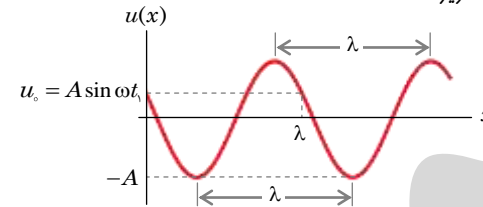


توجه:

○ به کمک رابطه‌ی طلایی در امواج می‌توان نوشت:

	$\Delta x$	$\Delta\varphi$	$\Delta t$
تداخل سازنده	$n\lambda$	$2n\pi$	$nT$
تداخل ویرانگر	$(2n-1)\frac{\lambda}{2}$	$(2n-1)\pi$	$(2n-1)\frac{T}{2}$

▪ نقش موج در لفظه‌ی دلفواه  $t_1$  به صورت زیر است:



• توان انتقال انرژی:

▪ مقدار متوسط توان انتقال انرژی از هر نقطه‌ی طناب در مدت زمان یک دوره از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$\bar{P} = 2\pi^2 A^2 f^2 \mu v$$

• ایجاد موج ایستاده در تار مرتعش (دو انتها بسته):

▪ اگر طول تار مرتعش،  $L$  و سرعت انتشار موج در تار  $v$  باشد، داریم:

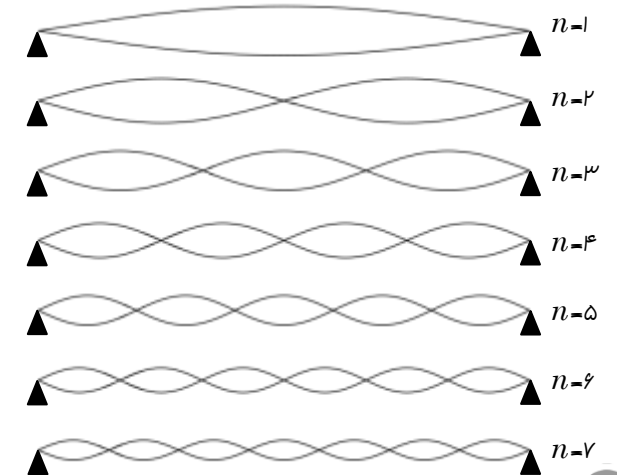
بسامد اصلی:

$$\lambda_1 = 2L, \quad f_1 = \frac{v}{2L}$$

بسامد  $nm$  (هماهنگ  $nm$ ):

$$\lambda_n = \frac{2L}{n}, \quad f_n = n \frac{v}{2L}$$

$$\lambda_n = \frac{\lambda_1}{n}, \quad f_n = n f_1$$



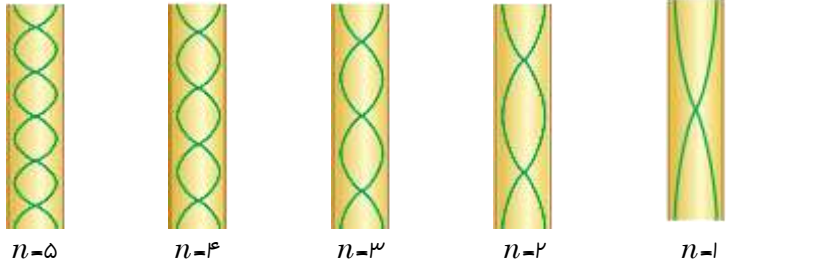
توجه:

- $n$ : تعداد شکم‌ها یا شماره‌ی هماهنگ است.
- در اینجا، تعداد گره‌ها، یکی بیشتر از تعداد شکم‌ها است.

فصل پنجم - صوت



۵



$n=5$     $n=4$     $n=3$     $n=2$     $n=1$

توجه: ⚠

- $n$ : تعداد گره‌ها یا شماره‌ی هماهنگ است.
- در اینجا، تعداد گره‌ها، یکی کمتر از تعداد شکم‌ها است.

ایجاد موج ایستاده در لوله‌ی صوتی یک انتها باز:

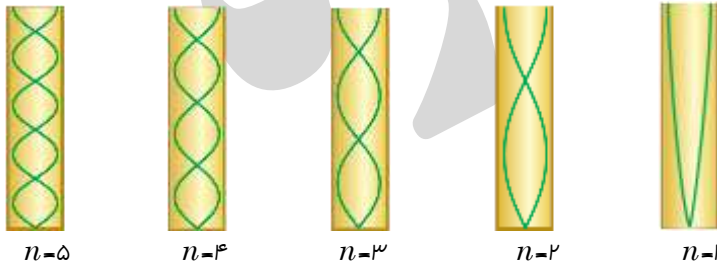
▪ اگر طول لوله‌ی بسته  $L$  و سرعت صوت در لوله  $v$  باشد، داریم:  
بسامد اصلی:

$$\lambda_1 = 4L, \quad f_1 = \frac{v}{4L}$$

بسامد  $m$ م (هماهنگ  $m$ م):

$$\lambda_{2n-1} = \frac{4L}{2n-1}, \quad f_{2n-1} = (2n-1) \frac{v}{4L}$$

$$\lambda_{2n-1} = \frac{\lambda_1}{2n-1}, \quad f_{2n-1} = (2n-1) f_1$$



$n=5$     $n=4$     $n=3$     $n=2$     $n=1$

$$v = \sqrt{\gamma \frac{RT}{M}}$$

- $T$ : دمای گاز (بر حسب کلوین: K)
- $\gamma$ : ضریب اتمیسیته (نسبت  $CMP$  به  $CMV$ )
- $R$ : ثابت عمومی گازها ( $8.314 \text{ J/mol.K}$ )
- $M$ : جرم مولی گاز (بر حسب کیلوگرم بر مول: kg/mol)
- $v$ : سرعت انتشار موج در گاز (بر حسب متر بر ثانیه: m/s)

توجه: ⚠

- به کمک قانون عمومی گازها می‌توان نوشت:

$$v = \sqrt{\gamma \frac{P}{\rho}}$$

در این رابطه،  $P$  فشار گاز (بر حسب پاسکال: Pa) و  $\rho$  چگالی گاز (بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب  $\text{kg/m}^3$ ) است.

ایجاد موج ایستاده در لوله‌ی صوتی دو انتها باز:

▪ اگر طول لوله‌ی بسته  $L$  و سرعت صوت در لوله  $v$  باشد، داریم:  
بسامد اصلی:

$$\lambda_1 = 2L, \quad f_1 = \frac{v}{2L}$$

بسامد  $m$ م (هماهنگ  $m$ م):

$$\lambda_n = \frac{2L}{n}, \quad f_n = n \frac{v}{2L}$$

$$\lambda_n = \frac{\lambda_1}{n}, \quad f_n = n f_1$$



برای دو شنونه  $A$  و  $B$  که به ترتیب در فاصله‌های  $r_A$  و  $r_B$  از یک پشمه‌ی صوت با توان ثابت قرار دارند، می‌توان نوشت:

$$\frac{I_B}{I_A} = \left(\frac{r_A}{r_B}\right)^2$$

توجه: ⚠

اگر یک شنونه در فاصله‌های  $r_1$  و  $r_2$  از دو پشمه‌ی صوت که با بسامدهای  $f_1$  و  $f_2$  و دامنه‌های  $A_1$  و  $A_2$  نوسان می‌کنند قرار داشته باشد، نسبت شدت صوتی که از این دو منبع می‌شنود برابر است با:

$$\frac{I_2}{I_1} = \left(\frac{f_2}{f_1}\right)^2 \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2 \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2$$

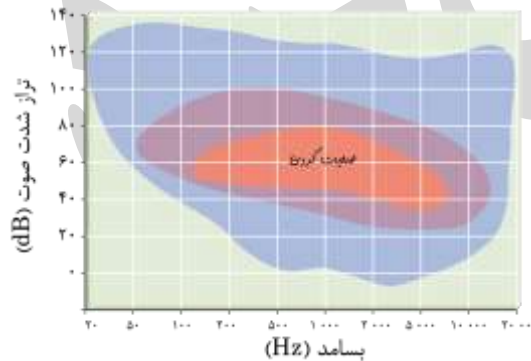


• تراز شدت صوت:

تراز شدت صوتی با شدت  $I$  به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\beta = 10 \cdot \log \frac{I}{I_0}$$

در این رابطه،  $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$  و یکای تراز شدت صوت، دسی‌بل (dB) است.

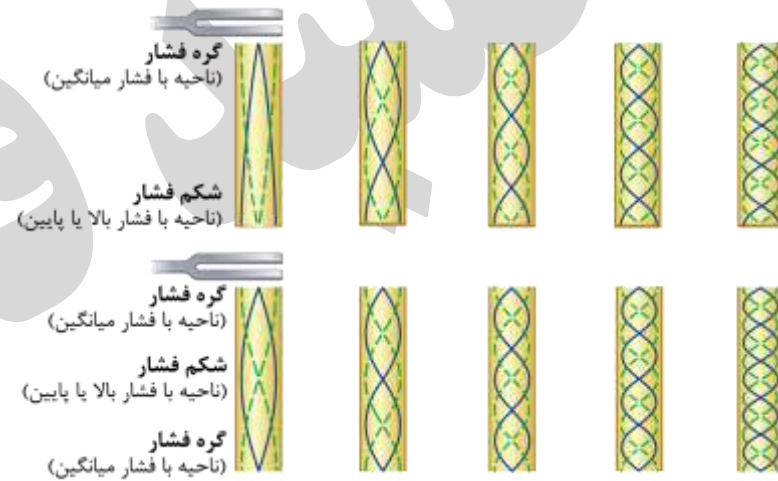


توجه: ⚠

- $n$ : تعداد گره‌ها یا شماره‌ی هماهنگ است.
- در اینجا، تعداد گره‌ها، برابر با تعداد شکم‌ها است.

توجه: ⚠

- صوت، یک موج طولی است و در اثر تراکم (افزایش فشار) و انبساط (کاهش فشار) لایه‌های هوا انتشار می‌یابد. نمودار فشار یا یکالی گاز درون لوله‌های صوتی به صورت زیر است:



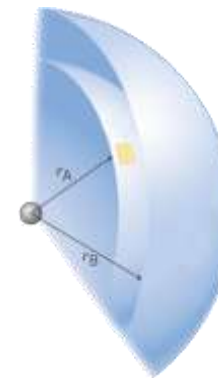
• شدت صوت:

اگر انرژی  $E$  در زمان  $t$  به سطح  $S$  که عمود بر راستای انتشار صوت است برسد، می‌توان شدت صوت را از رابطه‌ی زیر تعیین کرد:

$$I = \frac{E}{St}$$

اگر توان پشمه‌ی صوت ثابت و برابر  $P$  باشد و پشمه در تمام جهات فضا موج را به صورت یکسان گسیل کند، داریم:

$$I = \frac{P}{S} = \frac{P}{4\pi r^2}$$





توجه:

- افتلاف تراز شدت صوت دو نقطه که در فاصله‌های  $r_1$  و  $r_2$  از یک پشه‌ی موج قرار دارند، از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$\Delta\beta = \beta_2 - \beta_1 = 10 \cdot \log \frac{I_2}{I_1} = 20 \cdot \log \frac{r_1}{r_2}$$

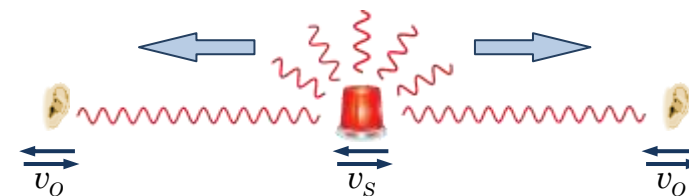
- با توجه به آنکه  $\log 2 = 0.3$  است، در انبام مناسب می‌توان از رابطه‌ی  $2 = 10^{0.3}$  کمک گرفت.

● پدیده‌ی دوپلر:

هنگامی که پشه‌ی صوت (Source) و شنونده (Observer) با سرعت نسبت به یکدیگر حرکت می‌نمایند، بسامد و طول موجی که شنونده دریافت می‌کند ممکن است با آنچه پشه ارسال می‌کند، متفاوت باشد.

- **تغییر بسامد:** اگر سرعت حرکت پشه را با  $v_s$ ، سرعت حرکت شنونده را با  $v_o$  و سرعت انتشار صوت در محیط را با  $v$  نشان دهیم، می‌توان رابطه‌ی میان بسامد موج گسیل شده از پشه ( $f_s$ ) و بسامد دریافتی توسط شنونده ( $f_o$ ) را به صورت زیر بیان کرد:

$$\frac{f_o}{v - v_o} = \frac{f_s}{v - v_s}$$



در این رابطه، جهت انتشار صوت از پشه به سمت ناظر مثبت در نظر گرفته شده است و علامت  $v_o$  و  $v_s$  در مقایسه با آن تعیین می‌گردد.



توجه:

- وقتی شنونده ساکن باشد و پشه با سرعت  $v_s$  به آن نزدیک شده و سپس با همین سرعت از آن دور شود، اگر بسامد صوتی که شنونده هنگام نزدیک شدن و دور شدن پشه می‌شنود را به ترتیب با  $f_1$  و  $f_2$  نمایش دهیم، فواید داشت:

$$\frac{f_1}{f_2} = \frac{v + |v_s|}{v - |v_s|}$$

▪ **تغییر طول موج:** تغییر طول موج دریافت شده توسط شنونده را در دو وضعیت بررسی می‌کنیم:

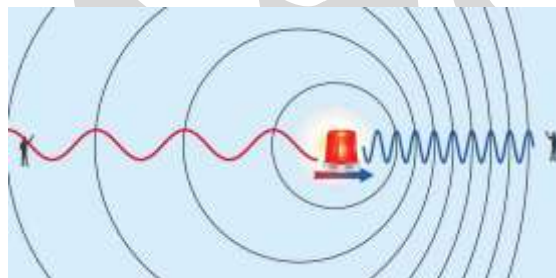
**الف) پشه‌ی صوت ساکن باشد:** در چنین حالتی طول موج اندازه‌گیری شده توسط شنونده با طول موج ارسالی توسط پشه برابر است و این مقدار ارتباطی به سرعت شنونده و جهت سرعت آن ندارد. اگر طول موج را در هوا، هنگامی که پشه ساکن است  $\lambda$  بنامیم، داریم:

$$\lambda_o = \lambda = \frac{v}{f_s}$$

**ب) پشه‌ی صوت با سرعت  $v_s$  حرکت کند:** در این حالت طول موج اندازه‌گیری شده توسط شنونده‌ای که در جلو و پشت پشه قرار دارد، به ترتیب به اندازه‌ی  $v_s T_s = \frac{v_s}{f_s}$  کمتر و

بیشتر از طول موج صوت ارسالی توسط پشه‌ی متحرک است.

$$\lambda_o = \lambda \pm \frac{v_s}{f_s} = \frac{v \pm v_s}{f_s}$$



توجه: 

○ در حالتی که شنونده درون منبعی قرار داشته باشد که با سرعت  $v_s$  به طرف یک مانع ساکن در حرکت است، بسامد صوت دریافت شده توسط فردی که همراه منبع در حرکت بوده است، از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید: (پرا)۹

$$f_o = \frac{v + v_s}{v - v_s} f_s$$

حمید فدائی فرد



فصل ششم - امواج الکترومغناطیسی

6

سرعت انتشار امواج الکترومغناطیسی در خلاء:

تمامی امواج الکترومغناطیسی در فلاء با سرعت ثابت C منتشر می‌شوند و می‌توان نشان داد:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \approx 3 \times 10^8 \frac{m}{s}$$

بنابراین رابطه‌ی میان طول موج و بسامد امواج الکترومغناطیسی، هنگامی‌که در فلاء (یا هوا) منتشر می‌شوند به صورت زیر است:

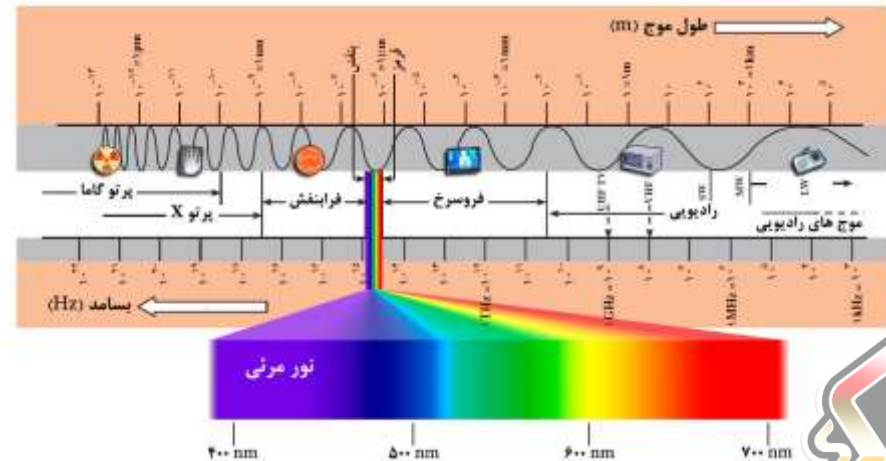
$$\lambda = \frac{c}{f}$$

توجه!

سرعت امواج الکترومغناطیسی، در محیط‌های شفاف مختلف متفاوت است. اگر سرعت امواج در محیط شفاف را با V و ضریب شکست محیط را با n نمایش دهیم، داریم:

$$n = \frac{c}{V}$$

طیف امواج الکترومغناطیسی:



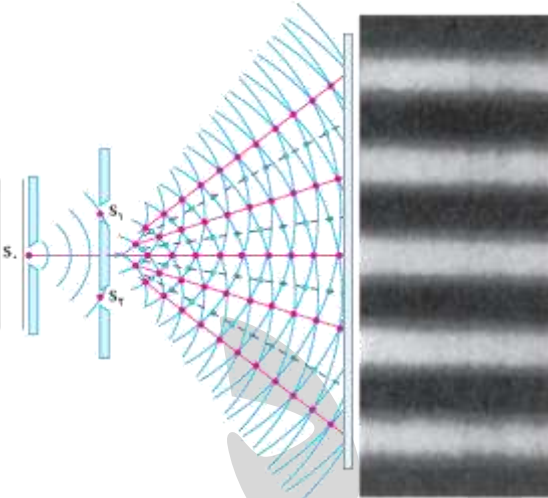
• آزمایش ینگ:

اگر دو پشمه‌ی نور هم بسامد، هم فاز و هم دامنه در فاصله‌ی a از هم قرار داشته باشند (یا به کمک ایبار دو شکاف به فاصله‌ی a از یکدیگر پهنین شرایطی را ایبار نماییم)، نورهای گسیل شده از آنها با یکدیگر تداخل می‌کنند و بر روی پرده‌ای به موازات دو شکاف و در فاصله‌ی D از آنها، نوارهای تداخلی تاریک و روشن تشکیل می‌شود.

اگر در آزمایش ینگ، طول موج نور مورد آزمایش را با λ، فاصله‌ی نور روشن m تا نور روشن مرکزی را با x<sub>n</sub> و فاصله‌ی نور تاریک m تا نور روشن مرکزی را با x<sub>m</sub> نشان دهیم، می‌توان نوشت:

$$\lambda = \frac{ax_n}{nD} \quad , \quad \lambda = \frac{ax_m}{(m-\frac{1}{2})D}$$

اگر اختلاف راه دو موج تا شکاف‌ها را با Δx، اختلاف فاز دو موج را با Δφ و اختلاف زمانی رسیدن دو موج به نقطه‌ی مورد نظر را با Δt نمایش دهیم، داریم:



$\Delta x = 4\frac{\lambda}{4}$	$\Delta \phi = 4\pi$	$\Delta t = 4\frac{T}{4}$
$\Delta x = 3\frac{\lambda}{4}$	$\Delta \phi = 3\pi$	$\Delta t = 3\frac{T}{4}$
$\Delta x = 2\frac{\lambda}{4}$	$\Delta \phi = 2\pi$	$\Delta t = 2\frac{T}{4}$
$\Delta x = \frac{\lambda}{4}$	$\Delta \phi = \pi$	$\Delta t = \frac{T}{4}$
$\Delta x = 0$	$\Delta \phi = 0$	$\Delta t = 0$
$\Delta x = \frac{\lambda}{4}$	$\Delta \phi = \pi$	$\Delta t = \frac{T}{4}$
$\Delta x = 2\frac{\lambda}{4}$	$\Delta \phi = 2\pi$	$\Delta t = 2\frac{T}{4}$
$\Delta x = 3\frac{\lambda}{4}$	$\Delta \phi = 3\pi$	$\Delta t = 3\frac{T}{4}$
$\Delta x = 4\frac{\lambda}{4}$	$\Delta \phi = 4\pi$	$\Delta t = 4\frac{T}{4}$

برای نور روشن m تا در حالت کلی داریم:

$$\Delta x = 2n\frac{\lambda}{4} \quad , \quad \Delta \phi = 2n\pi \quad , \quad \Delta t = 2n\frac{T}{4}$$

برای نور تاریک m تا در حالت کلی داریم:

$$\Delta x = (2m-1)\frac{\lambda}{4} \quad , \quad \Delta \phi = (2m-1)\pi \quad , \quad \Delta t = (2m-1)\frac{T}{4}$$

نحوه تولید، آنتن‌سازی و کاربرد طیف موج‌های الکترومغناطیسی

نام و حدود طول موج	جسمه	وسایل آنتن‌سازی	بعضی از ویژگی‌های خاص و کاربرد
پرتو گاما (γ) $1 \text{ Pm} = 10^{-15} \text{ m}$	هسته مواد رادیواکتیو و پرتوهای کیهانی	شمارش گرگانگ-مولر و فیلم عکاسی	فوتون‌های با انرژی بسیار بالا و با قدرت نفوذ بسیار زیاد. خیلی خطرناک کاربرد: پانتهای سرطانی را از بین می‌برد. برای پدا کردن ترک در فلزات. برای ضد عفونی کردن تجهیزات و وسایل
پرتو ایکس (X) $10^{-10} \text{ Pm} = 10^{-10} \text{ m}$	لایه پرتو X	فیلم عکاسی و صفحه فلوروسان	فوتون‌های بسیار پر انرژی و با قدرت نفوذ زیاد. خیلی خطرناک کاربرد: استفاده در پروتوگرافی. استفاده در مطالعه ساختار بلورها. معالجه بیماری‌های پوستی. استفاده در ترمو درمانی
فرا بنفش (UV) $10^{-8} \text{ nm} = 10^{-8} \text{ m}$	خورشید. جسم‌های خیلی داغ. جرقه الکتریکی. لایه بخار چوب	فیلم عکاسی. فونوسل	ویژگی‌ها: توسط تشنه جذب می‌شود. سبب بسیاری از واکنش‌های شیمیایی می‌شود. پخته‌های زنده را از بین می‌برد. کاربرد: لامپهای UV در پزشکی
نور مرئی $400 \text{ nm} = 4 \times 10^{-7} \text{ m}$ (سبز)	خورشید. جسم‌های داغ. لیزرها	چشم. فیلم عکاسی. فونوسل	ویژگی‌ها: در دین اجسام نقش اساسی دارد. برای رشد گیاهان و عمل فتوسنتز نقش حیاتی دارد. کاربرد: در سیستم‌های مخابراتی (لیزر و لایزهای نوری) مورد استفاده قرار می‌گیرد.
فروسرخ (IR) $10^{-4} \text{ m} = 10^{-4} \text{ m}$	خورشید. جسم‌های گرم. داغ	فیلم‌های مخصوص عکاسی	ویژگی: هنگامی که جذب می‌شود، پوست را گرم می‌کند. کاربرد: برای گرم کردن. برای فیلم برداری و عکاسی در مه و تاریکی. عکاسی IR توسط ماهواره‌ها
رادیویی $\gamma \text{m (VHF)}$	اجزای مایکروویو. آنتن‌های رادیویی و تلویزیونی	رادیو و تلویزیون	کاربرد: در آنتنی، رادیو، تلویزیون. مخابرات ماهواره‌ای و در رادارها برای آنتن‌سازی هوا پند، موبایل و کنتی

توجه: ⚠

در آزمایش ینگ، عرض تمامی نوارهای روشن و تاریک با هم برابر است و از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$w = \frac{\lambda D}{2a}$$

بنابراین فاصله‌ی نوار روشن  $m$  یا نوار تاریک  $m$  از نوار روشن مرکزی را می‌توان به کمک روابط زیر تعیین کرد:

$$x_n = 2nw \quad \text{و} \quad x_m = (2m-1)w$$

توجه: ⚠

اگر آزمایش ینگ را در محیط شغافی به ضریب شکست  $N$  که سرعت نور در آن  $V$  است انجام دهیم، طرح تداخلی متراکم‌تر می‌شود و داریم:

$$\lambda' = \frac{1}{N} \lambda = \frac{V}{c} \lambda, \quad w' = \frac{1}{N} w = \frac{V}{c} w, \quad x'_{n,m} = \frac{1}{N} x_{n,m}$$



اگر آزمایش ینگ را با نور سفید انجام دهیم، طری مطابق شکل مقابل را مشاهده خواهیم کرد.

توجه: ⚠

اگر اختلاف راه دو موج از شکاف‌ها را با  $\Delta x$  نمایش دهیم، داریم:

$$\frac{x_n}{D} = \frac{\Delta x}{a}$$



### • پدیده‌ی فوتوالکتریک:

اگر بسامد فوتون تابنده به صفحه‌ی فلزی،  $f$  و انرژی لازم برای جدا شدن الکترون مورد نظر از سطح فلز  $W$  باشد، در اینصورت انرژی جنبشی فوتوالکترئون‌ها از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$K = hf - W$$

اگر حداقل کار لازم برای قارچ کردن الکترون‌ها از یک فلز خاص برابر  $W_0$ ، بسامد قطع  $f_0$  و ولتاژ متوقف کننده را با  $V_0$  نشان دهیم، خواهیم داشت:

$$K_{\max} = hf - W_0$$

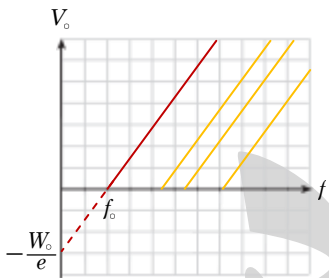
$$K_{\max} = eV_0$$

$$hf = W_0$$

توجه: ⚠

- پدیده‌ی فوتوالکتریک فقط زمانی رخ می‌دهد که بسامد مورد آزمایش از بسامد قطع بیش‌تر ( $f > f_0$ ) یا طول موج آن از طول موج قطع کوتاه‌تر باشد ( $\lambda < \lambda_0$ ).
- اگر در این رابطه، انرژی‌ها بر حسب الکترون - ولت مناسبه شوند، باید در نظر گرفته شود و در اینصورت انرژی جنبشی بیشینه‌ی فوتوالکترئون‌ها ( $K_{\max}$ ) به لحاظ عددی با ولتاژ متوقف کننده ( $V_0$ ) برابر است.

توجه: ⚠



- نمودار تغییرات ولتاژ متوقف کننده بر حسب بسامد پرتوهای تابنده به آن، برای فلزات مختلف به صورت شکل مقابل است.
- عرض از مبدا این خطوط  $-\frac{W_0}{e}$ ، طول از مبدا آنها  $f_0$  و شیب تمامی آنها  $\frac{h}{e}$  است.

توجه: ⚠

- رابطه‌ی مربوط به آزمایش فوتوالکتریک را می‌توان به صورت‌های زیر نوشت:

$$eV_0 = hf - hf_0 \Rightarrow \frac{eV_0}{hc} = \frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_0}$$

### فصل هفتم - فیزیک جدید



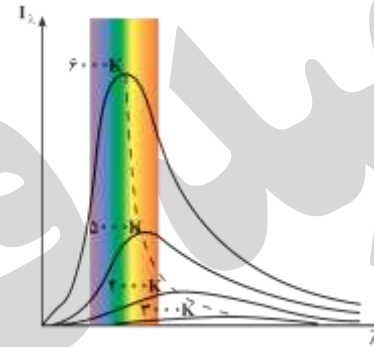
#### • نظریه‌ی تابشی:

نمودار تابندگی یک جسم ( $I_\lambda$ ) بر حسب طول موج‌های مختلف و دماهای متفاوت مطابق شکل زیر است. این نمودار نشان می‌دهد:

۱. هرچه دمای جسم بیشتر باشد، بیشینه‌ی منحنی، یعنی طول موجی که با بیشترین تابندگی کسب می‌شود، به طرف طول موج‌های کوتاه‌تر می‌رود.

$$\lambda_{\max} T = 2.9 \times 10^{-3} \text{ m.K}$$

۲. شدت تابشی کل کسب شده ( $I$ ) نیز با افزایش دما بیشتر می‌شود.



$$I = \int I_\lambda \cdot d\lambda = \text{مساحت زیر منحنی}$$

#### • نظریه‌ی پلانک درباره‌ی تابش:

مقدار انرژی‌ای که جسم به صورت تابش الکترومغناطیسی کسب می‌کند، همواره مقرب درستی از یک مقدار پایه است و این مقدار پایه به بسامد تابش الکترومغناطیسی بستگی دارد.

$$E = nhf$$

در این رابطه،  $n$  یک عدد صحیح مثبت و ضریب  $h$  ثابت پلانک نامیده می‌شود.

توجه: ⚠

- یکی از یلک‌های فرعی انرژی - که برای بیان انرژی‌های بسیار کوچک استفاده می‌شود - الکترون ولت (eV) است و با توجه به تعریف آن داریم:  
 $1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$   
 و ثابت پلانک برابر  $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ Js} = 4.14 \times 10^{-15} \text{ eV.s}$  است.



روابط ریاضی قابل استخراج از مدل اتمی بور:

✓ شعاع:

$$a_0 = \frac{h^2}{4\pi m k e^2} = 0.529 \text{ nm} \approx 0.5 \text{ \AA}$$

○ شعاع اولین لایه (شعاع اتم بور)

$$r_n = a_0 n^2, \quad n = 2, 3, \dots$$

○ شعاع لایه  $n$ ام

✓ سرعت:

$$v_1 = \sqrt{\frac{ke^2}{ma_0}} = 2/27 \times 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

○ سرعت الکترون در اولین لایه

$$v_n = \frac{v_1}{n}, \quad n = 2, 3, \dots$$

○ سرعت الکترون در لایه  $n$ ام

✓ انرژی جنبشی:

$$K_1 = \frac{ke^2}{2a_0} = 2/17 \times 10^{-18} \text{ J} = 13/6 \text{ eV}$$

○ انرژی جنبشی الکترون در اولین لایه

$$K_n = \frac{K_1}{n^2}, \quad n = 2, 3, \dots$$

○ انرژی جنبشی الکترون در لایه  $n$ ام

✓ انرژی پتانسیل:

$$U_1 = \frac{ke^2}{a_0} = 4/34 \times 10^{-18} \text{ J} = 27/2 \text{ eV}$$

○ انرژی پتانسیل الکترون در اولین لایه

$$U_n = \frac{U_1}{n^2}, \quad n = 2, 3, \dots$$

○ انرژی پتانسیل الکترون در لایه  $n$ ام

✓ انرژی مکانیکی کل:

$$E_R = -E_1 = \frac{2\pi^2 k^2 m e^4}{h^2} = 2/17 \times 10^{-18} \text{ J} = 13/6 \text{ eV}$$

○ انرژی مکانیکی الکترون در اولین لایه

$$E_n = -\frac{E_R}{n^2}, \quad n = 2, 3, \dots$$

○ انرژی مکانیکی الکترون در لایه  $n$ ام

و بر حسب الکترون - ولت داریم:

$$\frac{V_0}{1240} = \frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_0} \Rightarrow V_0 = 1240 \left( \frac{\lambda_0 - \lambda}{\lambda \lambda_0} \right)$$

• الگوهای اتمی:

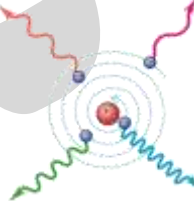
برای توضیح سافتار اتم، مدل‌های مختلفی ارائه شده است:



• الگوی اتمی تامسون (مدل کیک کشمشی) - ۱۸۹۹ م: در این الگو، اتم به صورت توزیع کروی یکنواختی از پروتون و بار مثبت در نظر گرفته شد که الکترون‌ها (بار منفی) مانند کشمش‌های درون یک کیک کشمشی درون آن قرار دارند.



• مدل اتمی رادرفورد - ۱۹۱۲ م: در الگوی اتمی رادرفورد، همه‌ی بارهای مثبت اتم در یک ناحیه‌ی مرکزی با حجم بسیار کوچک (هسته) متمرکز شده‌است و اطراف آن را الکترون‌ها با بار منفی، در فاصله‌ای بسیار زیاد احاطه کرده‌اند.



◀ اشکال اساسی این مدل: اگر الکترون را ساکن فرض کنیم، تحت تاثیر نیروی الکتروستاتیکی، روی هسته سقوط می‌کند. اگر الکترون در گردش به دور هسته فرض کنیم، چون حرکت شتابدار دارد، باید تابش کند و بسامد موج تابشی آن باید به تدریج زیاد شود و در نهایت الکترون پس از گسیل‌های متوالی باید روی هسته بیفتد! بنابراین این مدل، پایداری حرکت الکترون‌ها و طیف گسسته‌ی اتمی را نمی‌تواند توجیه کند.



• مدل اتمی بور - ۱۹۱۳ م: در این مدل، بور پیشنهاد کرد که قوانین فیزیک، در مقیاس‌های اتمی باید همراه با فرضیه‌های زیر در نظر گرفته شود:



۱. الکترون، تنها روی مدارهای دایره‌ای با شعاع‌های معینی حرکت می‌کند. این مدارها، مدارهای مانا نامیده می‌شوند.

۲. الکترون در حین حرکت روی یک مدار مانا، تابشی گسیل نمی‌کند. در این وضعیت می‌گوییم الکترون در یک حالت مانا است.

۳. شعاع مدارهای مانا، مقدارهای مشخص گسسته‌ای می‌توانند باشند.

۴. الکترون تنها هنگامی می‌تواند تابش الکترومغناطیسی گسیل کند که از یک حالت مانا به حالت مانای دیگر برود. در این صورت انرژی فوتون گسیل شده، برابر افتلاف انرژی بین دو تراز است.

$$hf = E_n - E_{n'}$$



در هر اتم هنگامی که یک الکترون از لایه  $n$  به لایه  $n'$  منتقل می‌شود، افتلاف انرژی میان این دو لایه را به صورت یک فوتون با بسامد  $f$  تابش می‌نماید.

$$hf = E_n - E_{n'}$$

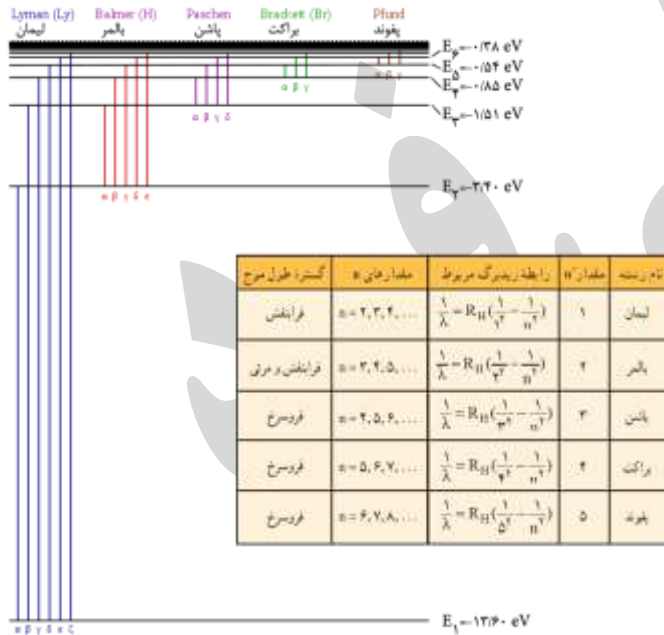
در اینصورت می‌توان طول موج تابشی را از رابطه‌ی زیر به دست آورد:

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{E_R}{hc} \left( \frac{1}{n'^2} - \frac{1}{n^2} \right) \Rightarrow \frac{1}{\lambda} = R_H \left( \frac{1}{n'^2} - \frac{1}{n^2} \right), \quad n > n'$$

که در این رابطه،  $R_H = 0.0109 \text{ nm}^{-1}$  است.

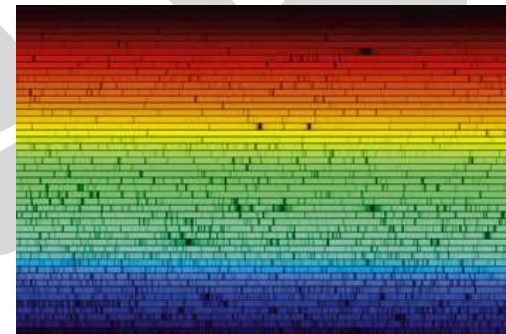
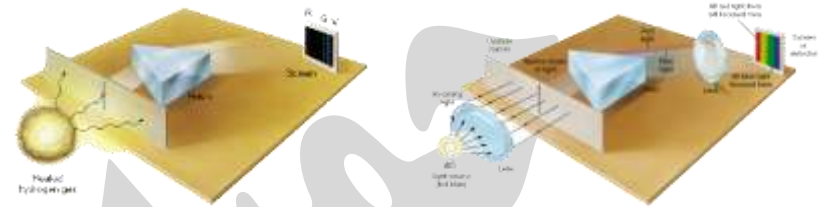
**توجه!**

اگر بفوایم الکترون، گذار مابین  $n$  به لایه  $n'$  انجام دهد، باید به اندازه‌ی افتلاف انرژی این دو لایه به آن انرژی دهیم. بنابراین می‌توان از رابطه‌ی قبل برای انرژی لازم استفاده کرد.



**طیف اتمی:**

- طیف پیوسته: طیف نور فرورشید و طیف تابش گرمایی از سطح اجسام جامد ملتوب.
- طیف گسیلی (نشری): طیف اتمی حاصل از نور گسیل شده از بخار عناصر.



**طیف جذبی:** طیف نور سفیدی که بعضی از قطعات با طول موج‌های آن جذب شده است. قطعات تاریکی که در طیف نور فرورشید دیده می‌شود، قطعات فرانوهر نام دارد. طول موج‌های مربوطه، توسط فرورشید حذف شده است.

**توجه!**

- مطالعه‌ی طیف گسیلی و جذبی عناصری مختلف نشان می‌دهد:
  - در طیف گسیلی و جذبی هر عنصر، طول موج‌های مشخصی وجود دارد که از ویژگی‌های آن عنصر است و طیف‌های گسیلی و جذبی هیچ دو عنصری مثل هم نیست.
  - اتم هر عنصر دقیقاً همان طول موج‌هایی را از نور سفید جذب می‌کند که اگر برانگیزفته شود، آنها را تابش می‌کند.

