

به نام خداوند جان و خرد

جزوه فصل ۳ فیزیک ۳ (نوسان و امواج)

نوسان دوره‌ای و حرکت هماهنگ ساده

- **حرکت دوره‌ای:** نوسان‌هایی را که هر چرخه آن در دوره‌های دیگر تکرار شود، نوسان دوره‌ای می‌نامند.
- **دوره تناوب (T):** مدت زمان طی کردن یک چرخه، دوره تناوب حرکت نامیده می‌شود و آن را با T نشان می‌دهند. دوره تناوب از جنس زمان می‌باشد و یکای آن در SI برابر ثانیه (s) است.
- **بسامد (فرکانس) (f):** تعداد نوسان‌های انجام شده (تعداد چرخه) در یکای زمان بسامد می‌نامند و آن را با f نشان می‌دهند. بسامد عکس دوره‌ی تناوب است، یعنی:

$$f = \frac{1}{T}$$

- **حرکت هماهنگ ساده:** به نوسان‌های سینوسی، حرکت هماهنگ ساده گفته می‌شود. در حرکت هماهنگ ساده، نوسانگر روی محور x بین $x = -A$ و $x = +A$ به جلو و عقب می‌رود که در آن A دامنه حرکت است.
- به نقطه وسط پاره‌خط نوسان، **نقطه تعادل** و به نقاط انتهایی آن، **نقاط بازگشت** گفته می‌شود.
- **دامنه حرکت:** بیشینه جابه‌جایی نسبت به نقطه تعادل را دامنه حرکت می‌نامند.
- مسافتی که نوسانگر در مدت یک دوره‌ی تناوب طی می‌کند، **چهار برابر دامنه نوسان** است.
- **بسامد زاویه‌ای:** یکی از کمیت‌هایی است که برای توصیف حرکت هماهنگ ساده به کار می‌رود و به دوره‌ی تناوب یا بسامد بستگی دارد و از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$$

نمودار مکان - زمان در حرکت هماهنگ ساده و بررسی کیفی کمیت‌ها

با توجه به نمودار سینوسی مکان-زمان:

- **معادله مکان - زمان:** $x(t) = A \cos \omega t$

• **تندی بیشینه، شتاب و نیروی وارد بر نوسانگر:**

$$\begin{aligned} v_{max} &= A\omega & \circ \\ a &= -\omega^2 x \Rightarrow a_{max} = A\omega^2 & \circ \\ F &= -m\omega^2 x \Rightarrow F_{max} = mA\omega^2 & \circ \end{aligned}$$

سامانه جرم - فنر: در سامانه جرم-فنر، دوره‌ی تناوب و بسامد زاویه‌ای از روابط روبه‌رو به‌دست می‌آیند:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

انرژی در حرکت هماهنگ ساده

انرژی مکانیکی: انرژی مکانیکی نوسانگر برابر مجموع انرژی جنبشی و انرژی پتانسیل آن است؛ یعنی:

$$E = K + U$$

اگر نیروی اصطکاک و مقاومت هوا نباشد، انرژی مکانیکی نوسانگر ثابت می‌ماند؛ بنابراین مجموع انرژی‌های جنبشی و پتانسیل (انرژی مکانیکی) نوسانگر در نقاط بازگشتی ($x = \pm A$)، نقطه‌ی تعادل ($x = 0$) و در هر نقطه‌ی دلخواه دیگری از مسیر با هم برابر است. در این صورت به همان اندازه که با افزایش جابه‌جایی از نقطه‌ی تعادل، انرژی پتانسیل افزایش می‌یابد، انرژی جنبشی کاهش می‌یابد و بالعکس.

رابطه‌ی انرژی مکانیکی: هرگاه وزنه‌ای به جرم m را به فنری با ثابت k متصل نموده و با دامنه‌ی A به نوسان درآوریم، انرژی مکانیکی سامانه‌ی جرم-فنر از رابطه‌های زیر به‌دست می‌آید:

$$E = \frac{1}{2}kA^2 = \frac{1}{2}m\omega^2 A^2 = 2\pi^2 mA^2 f^2$$

آونگ ساده

تعریف: دوره‌ی تناوب آونگ ساده فقط به شتاب گرانشی (g) و طول آونگ (L) بستگی دارد و از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$

بسامد زاویه‌ای: برای محاسبه‌ی بسامد زاویه‌ای آونگ از رابطه‌ی زیر استفاده می‌کنیم:

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{L}}$$

مفاهیم کلیدی نوسان:

- **بسامد طبیعی (f):** اگر دستگاهی (مانند آونگ ساده یا سامانه جرم-فنر) را از وضع تعادل منحرف و رها کنیم با بسامدی معین شروع به نوسان می‌کند که به آن بسامد طبیعی گفته می‌شود.
- **نوسان واداشته:** اگر نوسانگر را با اعمال یک نیروی خارجی، علاوه بر بسامد طبیعی به نوسان درآوریم، نوسان آن واداشته است.
- **نوسانات میرا:** اگر به جسم در حال نوسان نیروی خارجی اعمال نشود، با گذشت زمان دامنه‌ی آن کم و کمتر می‌شود و سرانجام متوقف می‌گردد؛ که به آن نوسانات میرا گفته می‌شود.
- **تشدید (رزونانس):** اگر بسامد نوسان‌های واداشته (f_d) با بسامد طبیعی (f) یک جسم برابر باشد ($f_d = f$)، جسم به نوسان در می‌آید و دامنه‌ی نوسان‌های آن بزرگ و بزرگ‌تر می‌شود تا سرانجام با یک دامنه‌ی معین به نوسان خود ادامه دهد. در چنین وضعیتی گفته می‌شود برای نوسانگر تشدید رخ داده است. در این حالت، نوسانگر با بیشترین دامنه نوسان می‌کند.

انواع موج و مشخصه‌های آن

موج‌ها را از لحاظ ماهیت به دو دسته تقسیم می‌کنند:

۱. **موج‌های مکانیکی:** مانند موج‌های روی سطح آب و موج‌های صوتی - برای انتشار خود به یک محیط مادی نیاز دارند.

۲. **موج‌های الکترومغناطیسی:** مانند نور مرئی، موج‌های رادیویی و تلویزیونی، میکروموج و پرتوهای X برای انتشار به محیط مادی نیاز ندارند.

- **موج عرضی:** اگر راستای نوسان ذره‌های محیط انتشار موج، عمود بر جهت انتشار موج باشد، موج را عرضی می‌نامند. موج عرضی با قله‌ها و دره‌ها قابل تشخیص است.
- **موج طولی:** اگر راستای نوسان ذره‌های محیط انتشار موج، در جهت انتشار موج باشد، موج را طولی می‌نامند. موج‌های طولی در فتر را با تراکم‌ها (جمع‌شدگی فتر) و انبساط‌ها (بازشدگی فتر) پی‌درپی می‌توان تشخیص داد. به عنوان مثالی از موج طولی، می‌توان از موج صوتی نام برد.

مفاهیم کلیدی:

- **جبهه موج:** هر یک از برآمدگی‌ها (قله یا ستیخ) یا فرورفتگی‌های (دره یا پاستیخ) ایجاد شده در محیط انتشار موج را جبهه موج می‌نامیم.
- **طول موج (λ):** فاصله‌ی بین دو برآمدگی (قله) یا دو فرورفتگی (دره) مجاور، طول موج نامیده می‌شود و آن را با λ نشان می‌دهند. یا می‌توان گفت، طول موج برابر با مسافتی است که موج در مدت یک دوره تناوب نوسان چشمه موج طی می‌کند.
- **دامنه (A):** بیشینه فاصله‌ی یک ذره از مکان تعادل، دامنه‌ی موج نامیده می‌شود که همان فاصله‌ی قله یا دره نسبت به سطح آرام یا ساکن است.
- **تندی انتشار موج (v):** اگر جبهه موج در مدت Δt مسافت L را طی کند، تندی انتشار موج از رابطه‌ی
- $v = \frac{L}{\Delta t}$ به دست می‌آید.

نکته: تندی انتشار موج به جنس و ویژگی‌های محیط انتشار موج بستگی دارد و مقدار آن در محیط ثابت است. اگر موج از یک محیط وارد محیط دیگری شود، تندی انتشار آن تغییر می‌کند.

رابطه‌ی تندی انتشار موج با دوره تناوب و بسامد:

چون موج در مدت یک دوره تناوب (T) به اندازه‌ی یک طول موج پیشروی می‌کند، با توجه به رابطه‌ی $v = \frac{L}{\Delta t}$ ، رابطه‌ی بین v ، T و λ به صورت زیر است:

$$v = \frac{\lambda}{T} \xrightarrow{T=\frac{1}{f}} \lambda = \frac{v}{f} \Rightarrow L = v\Delta t \xrightarrow{L=\lambda, \Delta t=T} \lambda = vT$$

تندی انتشار موج عرضی در تار: تندی انتشار موج عرضی در تار یا فنر از رابطه‌های زیر به دست می‌آید:

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

امواج الکترومغناطیسی:

امواج الکترومغناطیسی از رابطه‌ی متقابل میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی به وجود می‌آیند. طبق نظریه‌ی ماکسول، امواج الکترومغناطیسی باید لزوماً ناشی از تغییرات همزمان میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی باشد.

مشخصه‌های بارز موج الکترومغناطیسی:

۱. میدان الکتریکی $\vec{E}$ همواره عمود بر میدان مغناطیسی $\vec{B}$ است.
۲. میدان‌های الکتریکی $\vec{E}$ و مغناطیسی $\vec{B}$ همواره بر جهت حرکت موج عمودند، بنابراین موج الکترومغناطیسی، یک موج عرضی است.
۳. میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی هر دو نوسانی‌اند و بسامد و طول موج آن‌ها یکسان است.
۴. تغییر میدان مغناطیسی در فضا، میدان الکتریکی تولید می‌کند و بالعکس.
۵. میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی همگام با یکدیگر تغییر می‌کنند؛ یعنی به طور همزمان با هم بیشینه یا کمینه می‌شوند.
۶. امواج الکترومغناطیسی علاوه بر محیط مادی در خلأ نیز منتشر می‌شوند (نیاز به محیط مادی ندارند).
۷. تندی انتشار امواج الکترومغناطیسی در خلأ از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu \cdot \epsilon}} \approx 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

قاعده‌ی دست راست برای یافتن جهت انتشار موج الکترومغناطیسی:

اگر مطابق شکل، چهار انگشت دست راست را طوری در جهت میدان الکتریکی ($\vec{E}$) قرار دهیم که با خم کردن آن‌ها، چهار انگشت در جهت میدان مغناطیسی ($\vec{B}$) قرار گیرد (کف دست رو به میدان مغناطیسی از کف دست خارج شود)، در این حالت شست جهت انتشار موج ($\vec{v}$) را نشان می‌دهد.

طیف امواج الکترومغناطیسی:

این طیف شامل امواج رادیویی، میکروموج، فروسرخ، طیف نور مرئی، فرابنفش، پرتوهای X و پرتوهای گاما است، که از بلندترین طول موج (کمترین بسامد) تا کوتاه‌ترین طول موج (بیشترین بسامد) گسترده شده‌اند.

- گستره‌ی نور مرئی: در خلأ تقریباً از 400nm (نور بنفش) تا 700nm (نور قرمز) است.
- ترتیب طیف نور مرئی (به ترتیب کاهش طول موج / افزایش بسامد):

قرمز - نارنجی - زرد - سبز - آبی - نیلی - بنفش

موج صوتی

صوت یک موج مکانیکی و طولی است که توسط جسمی مرتعش از قبیل سیم گیتار، تارهای صوتی حنجره انسان، دیافراگم و ... تولید می‌شود.

ویژگی‌های تندی صوت:

۱. تندی انتشار صوت نیز مانند هر موج مکانیکی دیگری در یک محیط همگن ثابت و با رابطه‌ی $v = \lambda f$ به بسامد و طول موج مربوط می‌شود.

۲. تندی صوت به جنس محیط و دمای آن بستگی دارد.

۳. صوت در جامدها عموماً سریع‌تر از مایع‌ها و در مایع‌ها سریع‌تر از گازها حرکت می‌کند. به عبارت دیگر:

$$v_{\text{جامد}} < v_{\text{مایع}} < v_{\text{گاز}}$$

شدت صوت (I)

شدت صوت عبارت است از آهنگ متوسط انرژی‌ای که توسط موج به واحد سطح، عمود بر راستای انتشار صوت می‌رسد یا از آن عبور می‌کند که از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$I = \frac{P_{av}}{A}$$

(که در آن P_{av} آهنگ متوسط انرژی و A مساحت سطح است.)

تراز شدت صوت (β)

رابطه‌ی تراز شدت صوت به صورت مقابل است:

$$\beta = (10 \text{ dB}) \log \left(\frac{I}{I_0} \right)$$

در این رابطه، β تراز شدت صوت برحسب دسی‌بل (dB)، I شدت صوت و $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$ شدت صوت مرجع است. دقت کنید باید یکای I و I_0 یکسان باشد.

تن موسیقی

به صوت حاصل از چشمه‌های صوتی که نوسان آن‌ها به حرکت هماهنگ ساده نزدیک باشد (میرایی آن‌ها کم باشد)، **تن موسیقی** یا به اختصار، **تن** گفته می‌شود.

با شنیدن هر تن موسیقی، دو ویژگی را می‌توان از هم متمایز ساخت: (۱) **ارتفاع**، (۲) **بلندی**.

ارتفاع تن: بسامدی است که گوش انسان درک می‌کند؛ مثلاً اگر چند دیاپازون با بسامدهای مختلف به طور یکسان نواخته شوند، بسامد آن‌ها را می‌توان از کمترین تا بیشترین مقدار تشخیص داد.

پدیده‌ی ضربه و اثر دوپلر

پدیده‌ی ضربه (Beats):

وقتی گوش انسان دو صدا با بسامدهای نزدیک به هم را می‌شنود، نوساناتی در بلندی صدا احساس می‌کند که به آن **ضربه می‌گویند**.

- **نکته:** هرچه بسامد دو منبع به هم نزدیک‌تر باشند (اختلاف بسامد کمتر باشد)، ضربه آرام‌تر شنیده می‌شود.
- **بسامد ضربه** (f_{beat}): برابر با قدر مطلق تفاضل دو بسامد است:

$$f_{beat} = |f_1 - f_2|$$

اثر دوپلر (Doppler Effect):

اثر دوپلر مربوط به تغییر بسامدی است که ناظر (شنونده) هنگام حرکت نسبت به چشمه‌ی صوت احساس می‌کند، حتی اگر بسامد واقعی چشمه ثابت باشد.

تحلیل وضعیت‌های حرکت چشمه و ناظر:

۱. **حرکت چشمه:** اگر چشمه در حال حرکت باشد، طول موج امواج در جهت حرکت چشمه کوچک‌تر از طول موج در پشت سر آن است.
 ۲. **حرکت ناظر:** حرکت ناظر به سمت چشمه، باعث می‌شود ناظر امواج بیشتری را دریافت کند (بسامد بیشتری می‌شنود).
 ۳. **نزدیک شدن:** اگر چشمه به سمت ناظر ساکن حرکت کند، ناظر بسامد بیشتری می‌شنود.
 ۴. **دور شدن:** اگر چشمه از ناظر ساکن دور شود، ناظر بسامد کمتری می‌شنود.
- (به عبارت ساده: نزدیک شدن = افزایش بسامد دریافتی / دور شدن = کاهش بسامد دریافتی)

بازتاب موج و پژواک

بازتاب موج:

بازتاب امواج مکانیکی را می‌توان در سه حالت بررسی کرد:

۱. **بازتاب در یک بعد:** مانند بازتاب تپ ایجاد شده در فنر وقتی به تکیه‌گاه (مرز) می‌رسد.

۲. **بازتاب در دو بعد:** مانند بازتاب امواج سطحی آب از یک مانع.

۳. **بازتاب در سه بعد:** مانند بازتاب امواج صوتی.

مفاهیم پایه در نمودار پرتوی:

- **نمودار پرتوی:** یک پرتو، پیکان مستقیمی است که عمود بر جبهه‌های موج بوده و جهت انتشار موج را نشان می‌دهد.
- **زاویه تابش (θ_i):** زاویه‌ی بین خط عمود بر سطح مانع و پرتوی تابیده (فرودی).
- **زاویه بازتابش (θ_r):** زاویه‌ی بین خط عمود بر سطح مانع و پرتوی بازتاب‌شده.
- **قانون بازتاب عمومی:** همواره زاویه‌ی بازتابش برابر زاویه‌ی تابش است؛ یعنی:

$$\theta_r = \theta_i$$

پژواک (Echo):

اگر در برابر دیوار یا صخره بلندی که چند ده متر از شما فاصله دارد صدایی ایجاد نمایید، صوت ایجاد شده پس از بازتاب از روی دیوار یا صخره، با یک تأخیر زمانی به گوش شنونده که صوت اولیه را مستقیماً شنوده، خواهد رسید. به این پدیده پژواک می‌گویند.

- **نکته:** اگر تأخیر زمانی بین این دو صوت کمتر از ۰.۱S باشد، گوش انسان نمی‌تواند پژواک را از صوت مستقیم اولیه تمیز دهد.

روش مکان‌یابی پژواکی:

در این روش مکان جسم بر اساس امواج صوتی بازتابیده از آن تعیین می‌شود. همچنین برای تعیین مکان اجسام متحرک و نیز تندی آن‌ها از روش مکان‌یابی پژواکی به همراه اثر دوپلر استفاده می‌شود.

کاربردهای مکان‌یابی پژواکی:

۱. خفاش و دلفین برای آگاهی از اشیایی که بر سر راه آن‌ها قرار دارند.

۲. اندازه‌گیری تندی شارش خون در رگ‌ها.

۳. در دستگاه سونار (کشتی‌ها از این دستگاه برای مکان‌یابی اجسام زیر آب استفاده می‌کنند).

۴. در سونوگرافی.

بازتاب امواج الکترومغناطیسی و ویژگی‌های آن

بازتاب امواج الکترومغناطیسی:

بازتاب امواج الکترومغناطیسی یک بازتاب سه بعدی است و مانند سایر امواج از **قانون بازتاب عمومی** پیروی می‌کند.

- امواج الکترومغناطیسی تحت تابیده به یک سطح کاو، پس از بازتابش در کانون آن سطح جمع می‌شوند. به همین منظور برای دریافت امواج رادیویی (مانند امواج ارسالی از ماهواره‌ها) یا امواج فروسرخ خورشید برای گرم کردن آب و مواد غذایی از سطوح‌های کاو برای بازتابش استفاده می‌شود.
- **رادار دوپلری:** از رادار دوپلری برای تشخیص حضور هواپیما، تندی خودروها و ... استفاده می‌شود. مکان‌یابی پژواکی بر اساس امواج الکترومغناطیسی کار می‌کند.

بازتاب نور مرئی:

نور مرئی بخشی از طیف امواج الکترومغناطیسی است که از قانون بازتاب عمومی امواج پیروی می‌کند؛ یعنی زاویه تابش و بازتابش در هر بازتابی با هم برابرند.

- **بازتاب آینه‌ای یا منظم:** اگر سطح بازتابنده نور همچون آینه، بسیار هموار باشد، بازتاب نور را بازتاب آینه‌ای یا منظم می‌گویند.
- **بازتاب پخشنده یا نامنظم:** این بازتاب وقتی رخ می‌دهد که نور به سطحی غیرصیقلی و ناهموار برخورد نماید.

ملاک هموار یا ناهموار بودن سطح:

منظور از سطح ناهموار آن است که سطح در مقایسه با طول موج نور ناهموار باشد. به عنوان مثال، اگر ابعاد اجزای سطحی بسیار بزرگ‌تر از $1\mu m$ باشد، برای طول موج نور مرئی (در حدود $0.5\mu m$)، سطحی ناهموار محسوب می‌شود و اگر اجزای این سطح بسیار کوچک‌تر از $1\mu m$ باشد، برای این طول موج، سطحی هموار خواهد بود.

شکست موج

با عبور موج از یک مرز و ورود آن به محیط دیگر، تندی موج تغییر می‌کند و ممکن است جهت انتشار موج نیز تغییر کند و اصطلاحاً موج «شکست» پیدا کند.

شکست امواج یک بعدی:

وقتی موج سینوسی از سمت بخش نازک طناب به مرز جدایی دو بخش می‌رسد، بخشی از آن به صورت وارونه بازتابیده می‌شود و بخش دیگر با کاهش دامنه عبور می‌کند.

شکست نور و پدیده‌های وابسته

قانون شکست عمومی:

اگر تندی انتشار موج فرودی در محیط اول v_1 و تندی انتشار موج شکست‌یافته در محیط دوم v_2 باشد، رابطه بین زاویه‌های تابش (θ_1) و شکست (θ_2) به صورت زیر است:

$$\frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1} = \frac{v_2}{v_1}$$

ضریب شکست (n) :

نسبت تندی نور در خلأ (c) به تندی نور در یک محیط شفاف (v) است:

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

قانون شکست اسنل:

رابطه‌ی بین زاویه‌های تابش و شکست با استفاده از ضریب شکست محیط‌ها:

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

پدیده‌های مهم:

- **سراب:** در روزهای گرم، لایه‌های هوای نزدیک سطح زمین داغ‌تر بوده و چگالی کمتری دارند. این باعث کاهش ضریب شکست هوا در نزدیکی زمین شده و در نتیجه، امواج نور هنگام عبور از لایه‌های مختلف هوا خم شده و باعث ایجاد پدیده‌ی سراب می‌شوند.
- **پاشندگی (تجزیه نور):** عبور نور سفید از منشور باعث تجزیه آن به رنگ‌های مختلف می‌شود.
- **نکته:** رنگ بنفش بیشترین انحراف و رنگ قرمز کمترین انحراف را دارد.
- **ترتیب ضریب شکست:** $n_{\text{قرمز}} > n_{\text{نارنجی}} > n_{\text{زرد}} > n_{\text{سبز}} > n_{\text{آبی}} > n_{\text{بنفش}}$
- **ترتیب زاویه شکست:** $\hat{r}_{\text{قرمز}} < \hat{r}_{\text{نارنجی}} < \hat{r}_{\text{زرد}} < \hat{r}_{\text{سبز}} < \hat{r}_{\text{آبی}} < \hat{r}_{\text{بنفش}}$

یک عالمه شگرد مهم و کنکوری!

- شگرد ۱:** دامنه نوسان برابر نصف طول پاره خط نوسان است.
- شگرد ۲:** در هنگام نزدیک شدن نوسانگر به نقطه‌های بازگشت، حرکت آن کند شونده است.
- شگرد ۳:** در هنگام نزدیک شدن نوسانگر به نقطه تعادل، حرکت آن تند شونده است.
- شگرد ۴:** در هنگام عبور نوسانگر از نقطه تعادل، تندی آن بیشینه است.
- شگرد ۵:** در نقطه بازگشت، نوسانگر در یک بازه زمانی، باید تغییر سرعت در آن بازه را داشته باشیم.
- شگرد ۶:** دوره آونگ متناسب با جذر طول آن است.
- شگرد ۷:** در آونگ ساده، کم‌ترین زمان بین بیشینه تندی و کمینه آن برابر $T/4$ است.
- شگرد ۸:** آونگی که در مدت t تعداد n نوسان کامل انجام دهد، دوره آن برابر $T=t/n$ است.
- شگرد ۸:** بسامد موج تنها به چشمه موج بستگی دارد.
- شگرد ۹:** در انتشار موج هر ذره از محیط در جای خود نوسان می‌کند و همراه موج جا به جا نمی‌شود.
- شگرد ۱۰:** در یک موج فاصله بین یک قله و دره مجاور آن برابر نصف زول موج است.
- شگرد ۱۱:** رابطه تغییر تراز شدت صوت $(\Delta\beta)$:

تغییر تراز شدت صوت برحسب دسی‌بل (dB) به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\Delta\beta = \beta_r - \beta_l = (10 \text{ dB}) \log\left(\frac{I_r}{I_l}\right)$$

شگرد ۱۲: رابطه شدت صوت با بسامد، دامنه و فاصله:

رابطه شدت صوت (I) با بسامد چشمه‌ی صوت (f)، دامنه (A) و فاصله هر نقطه از چشمه (r) به صورت تناسبی زیر است:

$$\frac{I_r}{I_l} = \left(\frac{A_r}{A_l} \times \frac{f_r}{f_l} \times \frac{r_l}{r_r} \right)^2$$

شگرد ۱۳: امواج مکانیکی برای انتشار نیاز به محیط مادی دارند.

شگرد ۱۴: در پژواک، مسافتی که صوت طی می کند تا به چشمه صوت ساکن برگردد، دوبرابر فاصله شخص تا مانع است.

شگرد ۱۵: با افزایش ضریب شکست هر محیط، زاویه شکست در آن محیط کاهش می یابد.

شگرد ۱۶: بسامد از ویژگی های چشمه موج است و به محیطی که موج در آن حرکت می کند بستگی ندارد.

شگرد ۱۷: ضریب شکست یک محیط معین برای نور هایی با طول موج کوتاه تر، بیشتر است و نور با ضریب شکست بزرگتر، بیشتر منحرف می شود.

شگرد ۱۸: در حرکت نوسانی هر ذره از محیط حرکت نوسانی ذره ماقبل خود را تکرار می کند.