آزمایش شماره ۱۰

بررسی فیزیک امواج صوتی

۱۰-۱ هدف آزمایش:

بررسی رابطه شدت فرکانس امواج صوتی با زیروبمی صدا

بررسی رابطه شدت امواج صوتی با فاصله

بررسی تشدید به‌وسیله دیاپازون و لوله‌های صوتی

۱۰-۲ وسایل موردنیاز:

اسپیکر، ژنراتور، صوت سنج، خط‌کش، سرنگ حاوی آب، لوله شیشه‌ای، پایه فلزی، دیاپازون، کوبه لاستیکی

۱۰-۳ تئوری آزمایش:

اگر با دودست یک لاستیک را بکشیم طول لاستیک زیاد می‌شود یا به سخن دیگر، لاستیک کش می‌آید. علت این موضوع آن است که فاصله بین مولکول‌ها در قسمت‌های میانی لاستیک زیاد شده و مولکول‌ها بین دو سر لاستیک زیاد شده و مولکول‌ها به‌طرف دو سر لاستیک کشانده می‌شوند و در نتیجه فاصله میان مولکول‌ها در دو سر لاستیک کم می‌شود. بدین ترتیب در قسمت میانی لاستیک رقت مولکولی و در دو سر آن تراکم مولکولی ایجاد می‌شود. اکنون اگر دو سر لاستیک را رها کنیم مولکول‌ها دوباره به‌جای اولیه خود بر می‌گردند. هوا نیز دارای همین خاصیت ارتجاعی است، منتهی به‌مراتب بیشتر از لاستیک. هر رقت و تراکم مولکولی در هوا موجب رقت و تراکم‌های دیگر می‌گردد. بدین معنی که هنگامی که یک‌لایه از مولکول‌های هوا به جلو رانده می‌شود این لایه به نوبه خود لایه دیگری را به جلو می‌راند و خود به حال اول بر می‌گردد. لایه جدیدی نیز لایه دیگری را، و به همین ترتیب این عمل بارهاوبارها تکرار می‌گردد تا انرژی به پایان برسد. آوا یا صوت از ارتعاش مولکول‌های هوا حاصل می‌شود. ارتعاش یعنی حرکت مولکول‌های هوا از جای خود در مسیر معین و بازگشت آنها به‌جای اولیه. این پدیده فیزیکی را اصطلاحاً موج می‌نامیم. امواج صوتی، امواج مکانیکی طولی هستند. این فیزیک امواج می‌توانند در

جامدات، مایعات و گازها منتشر شوند. ذرات مادی منتقل‌کننده این فیزیک امواج، در راستای انتشار موج نوسان می‌کنند. موج صوتی دارای مولفه‌های است، از قبیل فرکانس، طول‌موج، دامنه و غیره.

بسامد یا فرکانس (υ یا *f*): بسامد به تعدادی حرکت نوسانی کامل (یک دوره تناوب) در مدت‌زمان معین گویند. اگر زمان این نوسان‌ها را یک ثانیه در نظر بگیریم تعدادشان با واحد هرتز (Hz) نشان داده می‌شود. هر چه بسامد صوتی کمتر باشد صدا بم‌تر و هر اندازه که بسامد بیشتر باشد صدا زیرتر شنیده می‌شود. انسان قادر است صداهای تولید شده در محدودهٔ فرکانسی ۲۰ Hz تا ۲۰ k Hz را بشنود.

سرعت پیشروی (c): سرعت انتشار موج در فضا را سرعت موج می‌گویند و برحسب متر بر ثانیه [m/s] بیان می‌شود.

طول‌موج (λ): فاصله‌ای که یک نوسان کامل طی می‌کند و واحد آن متر است. هر چه این طول کمتر باشد صدای حاصل زیرتر و هر چه بلندتر باشد صدا بم‌تر است.

$$\lambda = c/\upsilon \qquad (1)$$

تناوب(T) : زمانی که یک نوسان کامل طول می‌کشد.

$$T = 1/\upsilon \qquad (2)$$

دامنه موج (A): ارتفاع موج‌های صوتی را دامنه گویند. حداکثر مسافتی که موج از وسط تا قله یا تورفتگی طی می‌کند. دامنه هر چه کوتاه‌تر باشد شدت صدای ایجاد شده کمتر است، و هر چه دامنه موج بیشتر باشد صدا بلندتر است.

شدت صوت (I): انرژی ای که در واحد زمان از واحد سطح محیط که بر راستای انتشار موج عمود است می‌گذرد شدت صوت نامیده می‌شود و واحد آن w/m^2 است.

$$I = E/At = P/A \qquad (3)$$

تراز شدت صوت (β): لگاریتم (در پایه ده) نسبت شدت آن صوت به صوت مبنا ($I_0 = 10^{-12}\ w/m^2$). حاصل این تقسیم نشان می‌دهد که شدت صوت موردنظر چندبرابر کمترین شدت لازم برای شنیدن صوتی با بسامد Hz 1000 است (چون گوش انسان نسبت به گستره وسیعی از شدت‌ها حساس است؛ لذا از آن لگاریتم در پایه ۱۰ گرفته می‌شود).

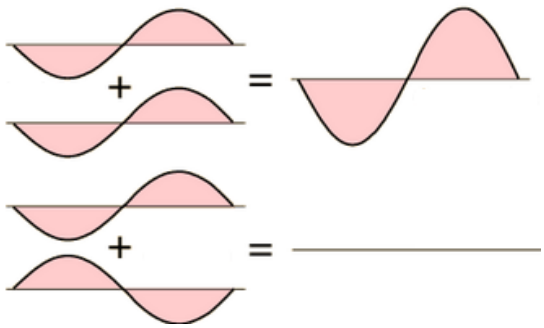
$$\beta = K \operatorname{Log} I/I_0 \qquad (4)$$

K مقداری است ثابت که اگر K=1 باشد واحد β (بل) است و اگر K=10 باشد β (برحسب دسی‌بل) است.

فیزیک امواج مکانیکی طولی در گستره وسیعی از بسامدها به وجود می‌آیند و در این میان بسامدهای فیزیک امواج صوتی در محدوده‌ای قرار گرفته‌اند که می‌توانند گوش و مغز انسان را برای شنیدن تحریک کنند (گستره شنیده‌شدنی: ۲۰ هرتز تا حدود ۲۰۰۰۰ هرتز). فیزیک امواج مکانیکی طولی را که بسامدشان زیر گستره شنیده‌شدنی باشد امواج فروصوتی، و آنهایی که بسامدشان بالای این گستره باشد، امواج فراصوتی گویند. فیزیک امواج فروصوتی، معمولاً توسط چشمه‌های بزرگ تولید می‌شوند. امواج زمین‌لرزه‌ای از آن جمله‌اند. بسامدهای بالای مربوط به فیزیک امواج فراصوتی را می‌توان به‌وسیله ارتعاشات کشسان یک بلور کوارتز که بر اثر تشدید با یک میدان الکتریکی متناوب در بلور القا شده است، ایجاد کرد.

علاوه بر آزمایش‌های مربوط به هوا، جامدات و مایعات نیز برای صوت ناقل خوبی هستند. هر کس می‌داند که با گذاشتن گوش خود به زمین می‌تواند حرکت عابرین پیاده و چهارپایان را از مسافت نسبتاً زیادی بشنود. همچنین اگر گوش خود را به ریل راه‌آهن بچسبانیم حرکت قطار را ممکن است از چندین کیلومتر بشنویم. خاصیت انتقال صوت در جامدات و مایعات قوی‌تر از خاصیت مزبور در گازها است. امواجی که هم‌زمان در یک محیط منتشر می‌شوند، می‌توانند با هم جمع شوند. برحسب اینکه رابطه بین دامنه، بسامد و فاز این امواج چگونه باشد، پدیده‌های متفاوتی رخ خواهد داد که در ادامه به شرح آنها می‌پردازیم:

تداخل: تداخل دو موج سینوسی هم دامنه و هم بسامد می‌تواند سازنده باشد یا ویرانگر.



تداخل سازنده (هم‌فاز)

تداخل ویرانگر (180^o اختلاف‌فاز)

شکل 1 تداخل سازنده و ویرانگر امواج

موج ایستا: زمانی پدید می‌آید که دو موج یکسان که در خلاف جهت هم حرکت می‌کنند با هم جمع شوند. موج ایستا معمولاً از ترکیب یک موج با بازتابش خودش تشکیل می‌شود.

ضربان یا زنش: از تداخل دو موج با دامنه یکسان و بسامد اندکی متفاوت ایجاد می‌شود. این نام‌گذاری به‌خاطر صدایی است که از زنش امواج صوتی به گوش می‌رسد؛ زیرا یکی از موج‌ها سریع‌تر از موج دیگر حرکت می‌کند، بنابراین قسمتی از موج به‌صورت سازنده برهم نهاده می‌شود و قسمت دیگر به‌صورت ویرانگر.

تشدید: اگر هوای داخل لوله صوتی بسته را با یک دیاپازون به ارتعاش درآوریم، صوتی با بسامد معین در لوله ایجاد می‌شود. هنگامی که طول لوله را به‌وسیله‌ای تغیر دهیم برای طول‌های معینی این صوت تشدید می‌گردد. در واقع چنانچه فرکانس دیاپازون برابر فرکانس صوت اصلی یا برابر فرکانس هارمونیک‌های صوت اصلی باشد و یا طول لوله مضرب صحیحی از $\lambda/4$ گردد، هوای داخل لوله صوتی به حالت تشدید درمی‌آید. دامنه ارتعاش زیاد شده و صدای بلندی شنیده خواهد شد.

پراش: امواج هنگام برخورد با موانعی که نسبت به طول‌موجشان کوچک هستند، خم می‌شوند. این پدیده را پراش می‌نامند.

اثر داپلر: هرگاه گیرنده‌ای به سمت یک منبع ساکن که از خود موج صوتی می‌فرستد برود، بسامد صوتی که می‌گیرد بیشتر از وقتی است که نسبت به منبع ساکن باشد (شنونده صدا را زیرتر می‌شنود) و اگر از منبع صوت دور شود، موجی را با بسامد کمتر می‌گیرد (شنونده صدا را بم‌تر می‌شنود). اگر منبع موج نیز از گیرنده دور یا به او نزدیک شود، بسامد صوتی که شنونده می‌شنود نیز به ترتیب کمتر و یا بیشتر می‌شود. اثر داپلر در فیزیک امواج می‌گوید که بسامد ظاهری یک موج بر اثر حرکت فرستنده یا گیرنده آن تغییر می‌کند.

اگر بسامد موج تولید شده در منبع f_s باشد و سرعت شنونده و منبع به ترتیب v_0 و v_s باشد، بسامد موجی که شنونده می‌شنود f_0، از رابطه زیر به دست خواهد آمد:

$$f_0 = f_s\,[(v \pm v_0)/(v \pm v_s)] \qquad (6)$$

قسمت اول آزمایش:

بررسی رابطه شدت فرکانس با زیروبمی صدا

روش انجام آزمایش: با اتصال ژنراتور به یک اسپیکر، امواجی با فرکانس‌های به ترتیب ۲۰۰ هرتز و ۱، ۲ و ۱۰ کیلوهرتز ایجاد کرده و صداهای حاصله را با هم مقایسه کنید.

قسمت دوم آزمایش:

بررسی رابطه شدت امواج صوتی با فاصله

روش انجام آزمایش: شدت صوت با مربع فاصله از چشمه صوت نسبت وارون دارد، بنابراین اگر شدت صوت در فاصله D_1 از چشمه صوت برابر I_1 و در فاصله D_2 برابر I_2 باشد می‌توان نوشت:

$$\frac{I_2}{I_1} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2 \qquad (۷)$$

با اتصال ژنراتور به یک اسپیکر، امواجی با فرکانس‌های به ترتیب ۱، ۲ و ۱۰ کیلوهرتز ایجاد کرده و برای آشکارکردن امواج، از یک صوت سنج استفاده کنید. در حالیه صوت سنج را از اسپیکر دور می‌کنید مقادیر ترازهای شدت صوت را برای فاصله‌های مختلف در جدول صفحه بعد یادداشت کنید.

	فاصله (cm)							
فرکانس (KHz)	۰	۴	۸	۱۲	۱۶	۲۰	۵۰	۱۰۰
۱								
۲								
۱۰								

قسمت سوم آزمایش:

بررسی تشدید به‌وسیله دیاپازون و لوله‌های صوتی

روش انجام آزمایش:

بار اول) یک دیاپازون را در دست گرفته و با کوبه لاستیکی آن را به ارتعاش در آورید، ملاحظه خواهید کرد که صدای ارتعاش ضعیفی از دیاپازون به گوش می‌رسد. درحالی‌که دیاپازون در حال ارتعاش است آن را از روی جعبه تشدید در جای خود بگذارید .صدای دیاپازون تغییر می‌کند. علت را بیان کنید.

بار دوم) دو دیاپازون هم فرکانس را بر روی جعبه‌های خود قرار داده و جعبه‌ها را (از طرف بازشان) در مقابل هم قرار دهید و با کوبه لاستیکی یکی از آن‌ها را به ارتعاش درآورید. در این حال سریعاً با دست شاخه‌های این دیاپازون مرتعش را بگیرید تا دیگر نوسان نکند. در این صورت ملاحظه خواهید کرد که دیاپازون هم فرکانس دوم با دامنه بسیار کم ارتعاش می‌کند بی‌آنکه به شاخه‌های آن ضربه‌ای وارد شده باشد. علت را بیان کنید.

بار سوم) لوله شیشه‌ای را به‌وسیله پایه فلزی به طور قائم قرار دهید و لوله لاستیکی را از یک طرف به سرنگ حاوی آب وصل کنید. اسپیکری را به ژنراتوری با فرکانس‌های مشخص وصل کرده و در دهانه لوله قرار دهید. ارتفاع آب را تغییر دهید تا با اسپیکر به تشدید درآید. در این موقع صدا شدیدتر شنیده می‌شود. چون برای نخستین‌بار عمل رزونانس رخ‌داده است؛ ازاین‌رو انتهای لوله شیشه‌ای (سطح آب) محل گره است و تنها یک شکم نیز در دهانه لوله قرار دارد. طول لوله را در این هنگام $L1$ را یادداشت کنید. به همین ترتیب با تکرار آزمایش و پایین آوردن سطح آب در لوله تا جایی که امکان دارد تشدیدهای دوم و سوم و. را پیدا کنید. در حالت تشدید در لوله‌های بسته، در قسمت بسته گره و در قسمت باز شکم به وجود می‌آید. باتوجه‌به نکات فوق شرط تشدید در لوله‌های بسته برابر است با:

$$L= (2k-1)\frac{\lambda}{4} \qquad (8)$$

که در آن λ طول‌موج و k عدد صحیح (تعداد تشدید) است. با استفاده از لوله‌های بسته و تشکیل تشدید در آنها می‌توان سرعت صوت را در هوا اندازه گرفت. برای این کار از رابطه بین سرعت صوت در گازها با فرکانس صوت f و طول‌موج آن استفاده می‌کنیم.

$$(v=\lambda f) \qquad (9)$$

اگر دراین‌رابطه λ (طول‌موج منتشر شده) و فرکانس آن معلوم باشد، سرعت صوت در هوا به دست می‌آید.

فرکانس(KHz)	L_1 (cm)	L_2 (cm)	L_3 (cm)	L_4 (cm)	طول‌موج	سرعت صوت
۱						
۲						

سؤالات:

۱- مقیاس دسی‌بل و صوت مبنا را به طور کامل شرح دهید.

۲- شباهت‌ها و اختلاف کانال گوش با لوله صوتی چیست و چه نتایجی دارد؟

۳-چگونه می‌توانم در لوله صوتی، موج ایستاده تشکیل دهیم؟

۴- تراز صوتی گفتگوی درگوشی دو نفر برابر 20 dB است. شدت صوت گفتگو درگوشی را به دست آورید.

۵- نتایج هر یک از سه قسمت آزمایش را بیان کنید.