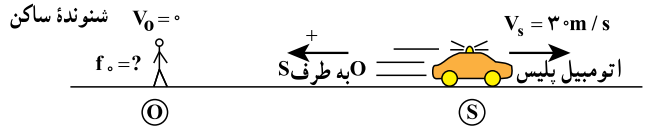
مثال پیشنهادی

اگر شنونده ساکن و آژیر در مثال قبلی با سرعت ۳۰m/s از شنونده دور شود، شنونده چه بسامدی را می‌شنود؟

پاسخ : متغیر هدف، بسامد f_o است که توسط شنونده که در پشت چشمهٔ متحرک است شنیده می‌شود.

شکل ۴۳ وضعیت را نشان می‌دهد. از مثال قبل می‌دانیم که $f_s=۳۰۰Hz$ است و داریم $v_o=۰$ و $v_s=۳۰\ m/s$ از معادله (۵ــ۲۱) داریم :



شکل ۴۳

$$f_o=\frac{v}{v+v_s}f_s=\frac{۳۴۰m/s}{۳۴۰m/s+۳۰m/s}(۳۰۰Hz)=۲۷۶Hz$$

چشمه و شنونده از هم دور می‌شوند، بنابراین بسامد f_o که توسط شنونده شنیده می‌شود کمتر از بسامد f_s گسیل شده توسط چشمه است.

در اینجا روش دیگری است که شما می‌توانید نتیجهٔ خود را امتحان کنید. از مثال قبلی، طول موج پشت چشمه ۱/۲۳ m است، پس :

$$f_o=\frac{V}{\lambda_o}f_s=\frac{۳۴۰m/s}{۱/۲۳m}=۲۷۶Hz$$

اگرچه چشمه متحرک است، سرعت موج v نسبت به شنوندهٔ ساکن تغییر نمی‌کند.

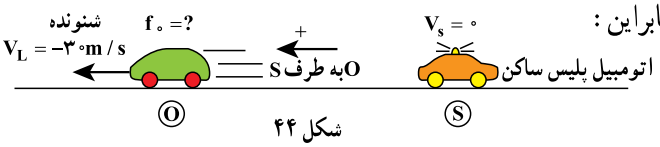
مثال پیشنهادی

اگر آژیر ساکن باشد و شنونده با سرعت ۳۰m/s از آژیر دور شود، شنونده چه بسامدی را می‌شنود؟

پاسخ : باز متغیر هدف بسامد f_o است که توسط شنونده شنیده می‌شود، ولی حالا شنونده در حرکت و چشمه ساکن است.

شکل ۴۸ وضعیت را نشان می‌دهد. بنابراین :

از معادلهٔ مربوطه داریم :



شکل ۴۴

$$f_o=\frac{V-V_o}{V}f_s=\frac{۳۴۰m/s+۳۰m/s}{۳۴۰m/s}=(۳۰۰Hz)=۲۷۴Hz$$

توجه : دوباره بسامد شنیده شده توسط شنونده کمتر از بسامد چشمه است. توجه کنید که سرعت نسبی چشمه و شنونده ($v-v_o$) است، ولی انتقال دوپلری تفاوت دارد زیرا سرعت‌ها نسبت به هوا متفاوت‌اند.

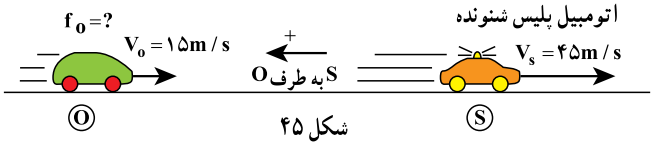
مثال پیشنهادی

اگر آژیر با سرعت ۴۵ m/s نسبت به هوا از شنونده دور شود و شنونده با سرعت ۱۵ m/s نسبت به هوا به طرف آژیر حرکت کند، شنونده چه بسامدی را می‌شنود؟

پاسخ : حالا هر دوی شنونده و چشمه در حرکت‌اند، یک بار دیگر متغیر هدف ما بسامد f_o شنیده شده توسط شنونده است.

شکل ۴۵ وضعیت را نشان می‌دهد.

یک بار دیگر از معادلهٔ (۵ــ۲۴) استفاده می‌کنیم، داریم :



شکل ۴۵

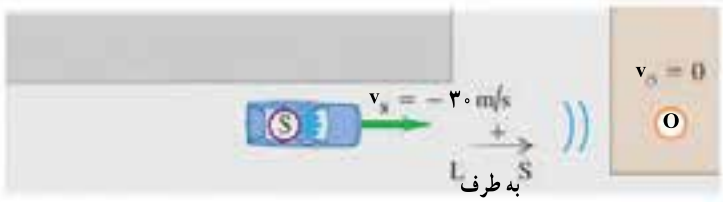
$$f_o=\frac{V+V_o}{V+V_s}f_s=\frac{۳۴۰m/s+۱۵m/s}{۳۴۰m/s+۴۵m/s}=(۳۰۰Hz)=۲۷۷Hz$$

توجه : بسامد شنیده شده توسط شنونده باز هم کمتر از بسامد چشمه است ولی مقدار با مقدار در دو مثال قبل متفاوت است، حتی اگرچه چشمه و شنونده در هر سه مورد با سرعت ۳۰ m/s از هم دور می‌شوند. علامت انتقال دوپلری (یعنی، آیا f_o کمتر از f_s است یا بزرگتر) به چگونگی حرکت چشمه و شنونده نسبت به یکدیگر بستگی دارد، برای تعیین مقدار انتقال بسامد دوپلری باید سرعت‌های چشمه و شنونده را نسبت به هوا بدانیم.

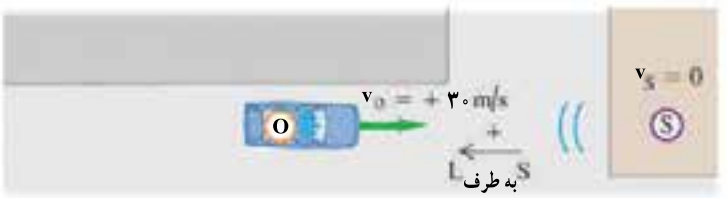
مثال پیشنهادی

اتومبیل پلیس با آژیر ۳۰۰Hz با سرعت ۳۰ m/s به طرف یک انبار کالا حرکت می‌کند و می‌خواهد با شکستن در وارد شود. رانندهٔ ماشین پلیس چه بسامد بازتابیده را از انبار می‌شنود؟

پاسخ : در این وضعیت به ترتیب نشان داده شده در شکل ۴۶ دو انتقال دوپلری وجود دارد. در انتقال اول انبار «شنوندهٔ» ساکن است. بسامد صوتی که به انبار می‌رسد، و آن را f_W می‌نامیم، بزرگتر از ۳۰۰Hz است زیرا چشمه در حال نزدیک شدن است. در انتقال دوم، انبار به صورت یک چشمه صوتی با بسامد f_W عمل می‌کند، و شنونده رانندهٔ ماشین پلیس است، او بسامدی بزرگتر از



الف) صوت از آژیر ماشین پلیس (چشمهٔ s) به انبار (شنوندهٔ O) حرکت می‌کند.



ب) صوت بازتابیده از انبار (چشمهٔ s) که به ماشین پلیس (شنوندهٔ L) حرکت می‌کند.

شکل ۴۶

f_W می‌شنود زیرا او در حال نزدیک شدن به چشمه است.

برای یافتن f_W از معادلهٔ (۵ــ۲۱) که به جای $f_\circ$ مقدار f_W را قرار داده‌ایم استفاده می‌کنیم. برای این قسمت از مسئله، $v_o = v_W = \circ$ (انبار ساکن است) و $v_s = +۳\circ m/s$.

برای تعیین بسامد شنیده شده توسط راننده، که متغیر هدف ماست، دوباره از معادلهٔ مربوطه استفاده می‌کنیم. ولی حالا f_W را به جای f_S قرار می‌دهیم. برای قسمت دوم مسئله، $v_S = \circ$ است زیرا انبار ساکن چشمه است و سرعت شنونده (راننده) برابر است، $v_o = ۳\circ m/s$.

بسامدی که به انبار می‌رسد برابر است با :

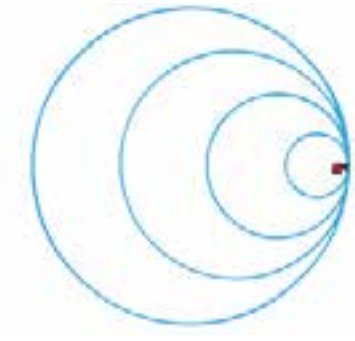
$$f_w = \frac{v}{v - v_S} f_S = \frac{۳۴\circ m/s}{۳۴\circ m/s + (-۳\circ m/s)}(۳\circ\circ Hz) = ۳۲۹Hz$$

آنگاه بسامد شنیده شده توسط راننده برابر است با :

$$f_o = \frac{V + V_L}{V} f_w = \frac{۳۴\circ m/s + ۳\circ m/s}{۳۴\circ m/s}(۳۲۹Hz) = ۳۵۸Hz$$

توجه : چون دو انتقال دوپلری وجود دارد، صدای بازتابیده‌ای که توسط راننده شنیده می‌شود، حتی بسامد بزرگتری از صدای شنیده شده توسط شنوندهٔ ساکن در انبار دارد.

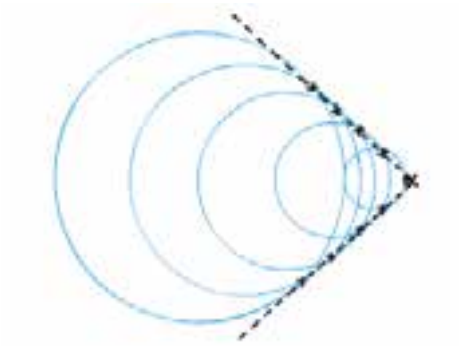
وقتی اندازهٔ سرعت چشمه با اندازهٔ سرعت امواجی که تولید می‌کند یکی می‌شود، چیز حیرت‌انگیزی به وقوع می‌پیوندد. امواج جلو چشمه روی هم انباشته می‌شوند. حشرهٔ مثال قبل را درنظر بگیرید که با سرعتی برابر سرعت موج حرکت می‌کند. آیا می‌توان دید که حشره همراه موجی حرکت می‌کند که به وجود آورده است؟ امواج به جای آنکه جلوتر از حشره حرکت کنند، روی هم قرار می‌گیرند و درست مقابل حشره تلنبار می‌شوند (شکل ۴۷). حشره درست در لبهٔ حملهٔ امواجی حرکت می‌کند که به‌وجود آورده است.



شکل ۴۷ ــ طرح موج حاصل از حشره‌ای که با سرعت موج شنا می‌کند.

همین اتفاق هنگامی رخ می‌دهد که هواپیما با سرعت برابر سرعت صوت حرکت کند. در روزهای اولیهٔ تولید هواپیمای جت،گمان می‌کردند انباشته شدن امواج صوتی جلو هواپیما «دیواری صوتی» به‌وجود می‌آورد، و هواپیما برای حرکت با سرعت بیش از سرعت صوت باید این «دیوار صوتی را بشکند». آنچه واقعاً اتفاق می‌افتد این است که قلّه‌های موج همپوشان جریان هوای روی بال‌ها را مختل و هدایت هواپیما را دشوار می‌سازند. اما این دیوار واقعی نیست. درست همان‌طور که قایق می‌تواند به راحتی سریعتر از امواجی حرکت کند که تولید کرده است، هواپیمای با توان کافی نیز می‌تواند به‌راحتی با سرعتی بیش از سرعت صوت حرکت کند. دراین صورت می‌گوییم فراصوتی است. هواپیمای فراصوتی در هوای هموار و بدون آشفتگی حرکت می‌کند، زیرا هیچ موج صوتی جلو آن منتشر نمی‌شود. همین‌طور، حشره‌ای که با سرعتی بیش از اندازهٔ سرعت امواج آب حرکت کند همواره وارد سطح آرام و بدون موج می‌شود.

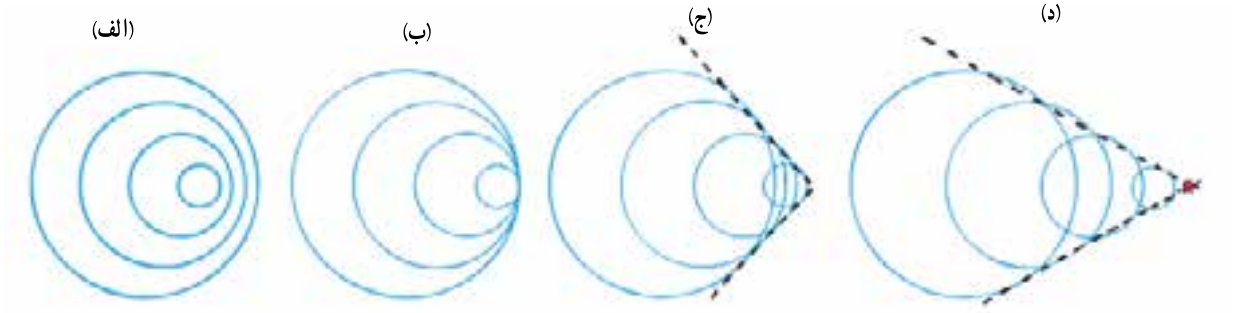
وقتی حشره با سرعتی بیش از اندازهٔ سرعت موج شنا کند، در حالت ایده‌آل، طرح موجی مطابق شکل ۴۸ به‌وجود می‌آورد.



شکل ۴۹ ــ موج کمانی، این طرح را حشره‌ای به‌وجود آورده است که با سرعتی بیشتر از سرعت موج شنا می‌کند. نقطه‌هایی که در آنها امواج مجاور همپوش می‌شوند (×) به شکل v است.

حشره از امواجی که تولید کرده است جلومی‌افتد. امواج در لبه‌ها همپوشان می‌شوند و به شکل V درمی‌آیند که **موج کمانی** نامیده می شود، و به‌نظر می‌رسد که پشت سر حشره کشیده شده است. موج کمانی تولید شده پشتِ سرقایق سریعی که سطح آب را می‌شکافد موج نوسانی عادی نیست، بلکه نوعی آشفتگی ناشی از امواج دایره‌ای همپوشان بسیار است.

برخی از طرح‌های تولیدی چشمه‌هایی که با سرعت‌های مختلف در حرکت‌اند در شکل ۴۹ نشان داده شده است. توجه کنید، پس از آنکه سرعت چشمه از سرعت موج تجاوز کرد، سرعت فزایندهٔ چشمه، شکل V بسته‌تری به‌وجود می‌آورد.



شکل ۴۹ ــ طرح‌های تولیدی حشره‌ای که با سرعت‌های فزاینده‌ای شنا می‌کند. همپوشانی در لبه‌ها فقط وقتی روی می‌دهد که حشره سریع‌تر از سرعت موج شنا کند.

کاربرد اثر دوپلر در اندازه‌گیری سرعت‌ها

اثر دوپلر را می‌توان برای محاسبهٔ سرعت یک چشمهٔ متحرک به‌کار گرفت (اگر بسامد مشاهده شده معلوم باشد می‌توان سرعت چشمه را محاسبه کرد). رادار پلیس برای تعیین سرعت اتومبیل، انتقال دوپلری، میکروموج‌هایی که از آن باز می‌تابند را اندازه‌گیری می‌کند. اتومبیل متحرک وقتی امواج را باز می‌تاباند همچون یک چشمهٔ متحرک عمل می‌کند و بسامد آن به اندازه‌ای که به سرعت اتومبیل بستگی دارد جابه‌جا می‌شود. به همین ترتیب، برای محاسبهٔ حرکت ستارگان و سایر اجسام نجومی نسبت به زمین، انتقال دوپلری در نوری که این اجسام گسیل می‌کنند را اندازه می‌گیرند.

امواج فراصوتی که به داخل بدن فرستاده می‌شوند با هر حرکتی در اشیایی که آنها را باز می‌تاباند انتقال دوپلر پیدا می‌کنند. مثلاً با مشاهدهٔ انتقال دوپلری فراصوت بازتابیده از گلبول‌های خون می‌توان سرعت خون را اندازه‌گیری کرد. عموماً، از جابه‌جایی دوپلر فراصوت برای بررسی حرکت قلب جنین استفاده می‌کنند. در دورهٔ آبستنی، دست کم چهار هفته پیش از آنکه با گوشی معمولی پزشکی بتوان حرکت قلب جنین را تشخیص داد با استفاده از فراصوت این حرکت را تشخیص می‌دهند، زیرا نوفهٔ زمینهٔ فراصوت خیلی ناچیز است. وانگهی، سرعت قلب جنین بیشتر از هر سرعت دیگری است که در ناحیهٔ شکم وجود دارد، و همین امر جابه‌جایی را با وضوح بیشتری نسبت به سایر حرکت‌ها به‌دست می‌دهد.

مثال پیشنهادی

خفاش‌ها با ارسال موج‌های فراصوت و با توجه به بازتاب آنها، محل شکارشان را پیدا می‌کنند. فرض کنید خفاشی با سرعت ۲۰ m/s به‌طرف شرق در حرکت است، و در همان حال موجی صوتی با بسامد ۵×۱۰^{۴} Hz به جلو می‌فرستد. خفاش دیگری که با سرعت ۱۵m/s به طرف خفاش اولی در حرکت است، این موج را دریافت می‌کند. موج با چه بسامدی به خفاش دوم می‌رسد؟ سرعت صوت را در هوا ۳۴۰ m/s بگیرید.

پاسخ :

$v_S=۲۰ m/s$ ، $f_S=۵\times۱۰^{۴}$ Hz ، $v_O=۱۵ m/s$

$v=۳۴۰ m/s$ ، $f_O=?$

$$f_o=\left(\frac{V+V_o}{V-V_S}\right)f_S$$

$$=\left(\frac{۳۴۰+۱۵}{۳۴۰-۲۰}\right)\times۵\times۱۰^{۴}=۵/۵۵\times۱۰^{۴}\,Hz$$

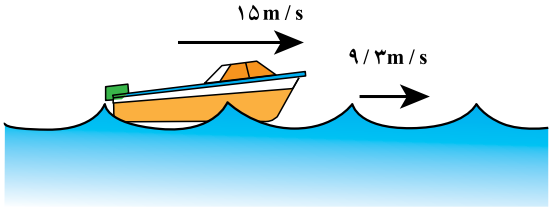
مثال پیشنهادی

یک قایق موتوری با سرعت ۱۵m/s در جهت گروهی از امواج آب به بسامد ۰/۱۷ Hz و سرعت (نسبت به آب شکل ۸۵ ۹/۳m/s حرکت می‌کند. قلّه‌های موج با چه بسامدی به قایق می‌کوبند؟

پاسخ : چون قایق موتوری در حرکت خود از منبع امواج دور می‌شود، باز هم از معادله (۱ــ۳۸) با علامت منفی استفاده می‌کنیم :

$$f_o=f_S\left(\frac{V-V_o}{V}\right)$$

$$=۰/۱۷Hz\left(۱-\frac{۱۵m/s}{۹/۳m/s}\right)=-۰/۱۰Hz$$



شکل ۵۰ ــ قایق موتوری از امواج پیشی می‌گیرد.

علامت منفی نشانگر این است که قایق موتوری با آهنگ ۰/۱۰s یعنی در هر ۱۰ ثانیه یک بار از روی موج‌ها رد می‌شود.

دانستنی ۵ــ۵

امواج ضربه‌ای

در این دانستنی در مورد؛ موج ضربه‌ای که در واقع از دو مخروط تشکیل شده، یک مخروط پرفشار که رأس آن در سر هواپیماست و یک مخروط کم فشار که رأس آن دم هواپیماست و دیوار صوتی، مطالبی آورده شده است.

پرسش‌ها و تمرین‌های پیشنهادی بخش ۵ـ۵

۱ــ دو موتور سوار که سرعت هر کدام ۲۵ m/s است، با هم مسابقه می‌دهند. هر دو موتورسیکلت مجهز به بوق‌های مشابه‌اند که با بسامد ۹۰۰ Hz به صدا در می‌آیند. این دو، وقتی به هم نزدیک می‌شوند، چه بسامدی را خواهند شنید؟ وقتی که از هم دور می‌شوند، چطور؟ سرعت صوت را ۳۴۰ m/s بگیرید.

جواب : ۱۰۴۰ Hz، ۷۷۷ Hz

۲ــ سکاندار یک قایق سریع‌السیر موتوری که به سوی یک صخره می‌راند، بوق قایق را به صدا درمی‌آورد. زنی بالای صخره ایستاده است و آن را می‌شنود. بسامدهای صدای بوق، صدایی که زن می‌شنود، و صدای پژواکی را که سکاندار می‌شنود، مقایسه کنید. کدام یک از این سه، بالاترین بسامد، و کدام یک پایین‌ترین بسامد است؟

۳ــ دو خودرو به سوی هم حرکت می‌کنند و بوق می‌زنند. تغییرات ارتفاع صوت را که هر یک از راننده‌ها هنگام گذاشتن از کنار هم می‌شنوند، توصیف کنید.

۴ــ امواج اقیانوس به طول موج ۱۰۰ m دارای دورهٔ تناوب ۸/۰ s هستند. یک قایق موتوری با سرعت ۹/۰ m/s مستقیماً به‌سوی یکی از این موج‌ها می‌راند. سرعت امواج نسبت به قایق موتوری چقدر است؟ قله‌های موج با چه بسامدی به دماغهٔ قایق برخورد می‌کنند؟

۵ــ دو اتومبیل در یک جاده، در دو جهت مخالف حرکت می‌کنند. سرعت اتومبیل اول ۹۰/۰ km/h و سرعت دومی ۶۰/۰ km/h است. بوق‌های هر دو اتومبیل صدایی با بسامد ۵۲۴ Hz تولید می‌کنند. بسامد اصواتی را که هر یک از راننده‌ها از اتومبیل دیگر می‌شنود، حساب کنید. فرض کنید که در این جاده باد نمی‌وزد.

۶ــ قطاری با سرعت ۷۵ km/h به یک کوه نزدیک می‌شود. رانندهٔ قطار سوت آن را که بسامد ۴۲۰ Hz ایجاد می‌کند، به صدا درمی‌آورد. بسامد پژواکی که راننده از بازتاب در کوه می‌شنود، چقدر است؟

۷ــ فرض کنید قطار در حال حرکتی حامل یک فرستنده و یک گیرندهٔ صوت است به‌طوری‌که هر دو دارای یک سرعت نسبت به هوا هستند. نشان دهید که در این مورد، جابه‌جایی دوپلر ناشی از حرکت منبع، جابه‌جایی دوپلر ناشی از حرکت گیرندهٔ صوت را حذف می‌کند ــ بسامد دریافتی گیرنده با بسامد تولید شده در منبع برابر است ــ.

دانستنی ۵ــ۶

پرسش و پاسخ‌های هیجان‌انگیز در مبحث صوت[1]

در این دانستنی تعدادی پرسش به همراه پاسخ از سلسله مقالات نمایش هیجان‌انگیز فیزیک که در مجله رشد آموزش فیزیک چاپ شده‌اند، انتخاب گردیده است.

۱ــ برگرفته از : سلسله مقالات نمایش هیجان‌انگیز فیزیک مجلهٔ رشد آموزش فیزیک

۱ــ ت : دمای هوا

۲ــ از بین آزمایش‌های مختلف، آزمایشی که اجرایی‌تر است انتخاب شود.

۳ــ سرعت انتشار صوت در آب با استفاده از جدول ۱ــ۱ تقریباً ۱۵۰۰m/s است. با توجه به رابطهٔ $\lambda = v/f$، طول موج برابر است با :

$$\lambda = \frac{۱۵۰۰\,m/s}{۴\times ۱۰^{۵}\,Hz} = ۳/۷۵\times ۱۰^{-۳}\,m$$

۴ــ با توجه به مثال ۵ــ۱، سرعت انتشار صوت در هوای $۲۷^{\circ}C$، تقریباً ۳۴۷m/s است. با توجه به زیاد بودن سرعت انتشار نور در مقابل سرعت صوت، از زمان رسیدن برق صرفنظر می‌شود. پس می‌توانیم بنویسیم :

$$\Delta x = vt$$

$$\Delta x = ۳۴۷ \times ۵ = ۱۷۳۵\,m$$

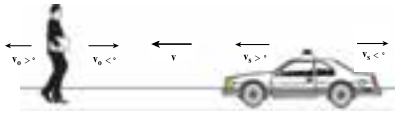
پرسش ۵ــ۳

در رابطهٔ ۵ــ۲۳، اگر $v > v_s$ باشد، f_0 منفی می‌شود. این نتیجه را چگونه می‌توان تحلیل کرد؟

در حالت کلی که چشمهٔ صوت و ناظر هر دو در حرکت‌اند، بسامدی که ناظر می‌شنود از رابطهٔ زیر بدست می‌آید :

$$f_0 = \frac{v - v_0}{v - v_s} f_s \qquad (۵ــ۲۴)$$

در این رابطه سرعت صوت v به طرف ناظر را مثبت فرض کرده‌ایم. علامت v_0 و v_s در مقایسه با v مشخص می‌شود. اگر v_0 یا v_s با v هم‌جهت باشند، مثبت و در غیر این صورت منفی خواهند بود (شکل ۵ــ۱۸).



شکل ۵ــ۱۸

تمرین‌های فصل پنجم

۱ــ کدام یک از عامل‌های زیر بر سرعت صوت در هوا مؤثر است؟

الف) شکل موج ب) دامنهٔ موج پ) بسامد موج ت) دمای هوا

۲ــ آزمایشی برای اندازه‌گیری سرعت صوت در آب طراحی کنید.

۳ــ دلفین، مانند خفاش، از خود فراصوت گسیل می‌کند. طول موج صوت دلفین با بسامد $۴\times ۱۰^{۵}\,Hz$ در آب چقدر است؟

۴ــ ناظری در سطح زمین ایستاده است. صدای رعد ۵ ثانیه پس از مشاهدهٔ برق به گوش او می‌رسد. اگر دمای هوا $۲۷^{\circ}C$ باشد، فاصلهٔ ناظر از محلّ ایجاد رعد و برق چقدر است؟

۵ــ

زمان × سرعت انتشار صوت = مسافت

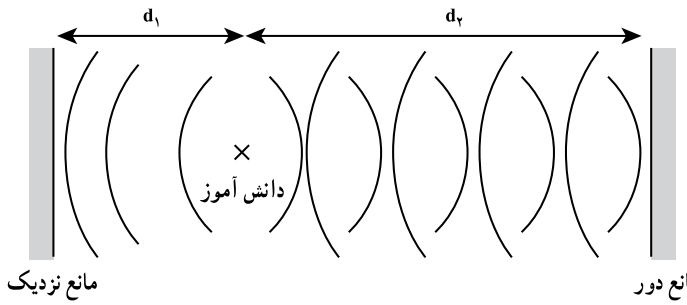
$$۲d_۱ = v\times t_۱$$

$$۲\times ۲۴۰ = v \times ۱/۵$$

$$v = \frac{۴۸۰}{۱/۵} = ۳۲۰\,m/s$$

$$۲d_۲ = v\times t_۲ = ۳۲۰ \times ۲/۵ = ۸۰۰\,m$$

$$d_۲ = \frac{۸۰۰}{۲} = ۴۰۰\,m$$

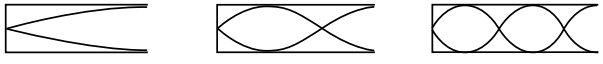


۶ــ الف)

$$f_n = \frac{(۲n-۱)v}{۴L} \Rightarrow f_۱ = \frac{v}{۴L} \Rightarrow L = \frac{v}{۴f_۱}$$

$$L = \frac{۳۴۰}{۴\times ۶۰} = \frac{۳۴}{۲۴} = \frac{۱۷}{۱۲}\,m = ۱/۴۱m$$

ب) (شکل‌های الف، ب و پ صفحه ۱۴۳ کتاب درسی)



۵ــ دانش‌آموزی بین دو صخرهٔ قائم ایستاده است و فاصلهٔ او از صخرهٔ نزدیک ۲۴۰ متر است. دانش‌آموز فریاد می‌زند و اولین پژواک صدای خود را پس از ۱/۵ ثانیه و صدای پژواک دوم را ۱ ثانیه بعد از پژواک اول می‌شنود.

الف) سرعت صوت در هوا را به دست آورید.

ب) فاصلهٔ بین دو صخره را محاسبه کنید.

۶ــ یک انتهای لوله‌ای صوتی، باز و انتهای دیگر آن بسته است. الف) طول لوله برای این که هوای داخل لوله در بسامد اصلی ۶۰Hz به تشدید درآید، چقدر است؟ ب) با رسم شکل، هماهنگ اصلی و هماهنگ‌های سوم و پنجم آن را نمایش دهید. پ) طول موج صوت اصلی و هماهنگ‌های سوم و پنجم آن را تعیین کنید. (سرعت صوت را ۳۴۰m/s در نظر بگیرید.)

۷ــ تمرین ۶ را در حالتی که هر دو انتهای لولهٔ صوتی باز است، حل کنید.

۸ــ طول یک لولهٔ صوتی که هر دو انتهای آن باز است، ۱/۷m است. بسامد هماهنگ سوم این لوله را محاسبه کنید. (سرعت صوت را ۳۴۰m/s در نظر بگیرید.)

۹ــ یک چشمهٔ صوت، موج‌های کروی در هوا گسیل می‌کند. الف) نسبت شدت صوت در دو نقطه را که فاصلهٔ آنها از چشمهٔ صوت d_1 و $2d_1$ است، محاسبه کنید. ب) کاهش شدت صوت گسیل شده از چشمه عملاً بیشتر از آن است که در قسمت (الف) به دست می‌آید. علت چیست؟

۱۰ــ دو نفر به فاصله‌های d_1 و d_2 از یک چشمهٔ صوت ایستاده‌اند. تراز شدت صوت برای این دو نفر به ترتیب ۲۰dB و ۱۰dB است. نسبت $\frac{d_2}{d_1}$ را حساب کنید.

۱۱ــ در فاصلهٔ ۲۰m از چشمهٔ صوتی تراز شدت صوت ۶۰dB است. با این فرض که جذب صوت به وسیلهٔ هوا قابل چشم‌پوشی است، در چه فاصله‌ای از این چشمه می‌توان صوت را به زحمت شنید؟ آیا به نظر شما، پاسخ به دست آمده منطقی است؟

۱۲ــ دو قطار با سرعت یکسان ۳۴m/s به طرف یکدیگر در حرکت‌اند، یکی از آنها صوتی را با بسامد ۵۰۰Hz گسیل می‌کند. بسامد صوتی که مسافر قطار دیگر می‌شنود، چقدر است؟ (سرعت صوت را ۳۳۴m/s فرض کنید.)

۱۳ــ یک ماشین آتش‌نشانی با سرعت ۴۰m/s به یک اتومبیل که با سرعت ۲۰m/s در حرکت است، نزدیک می‌شود و از آن سبقت می‌گیرد. بسامد صوتی را که رانندهٔ اتومبیل می‌شنود، در دو حالت زیر حساب کنید :

الف) قبل از رسیدن ماشین آتش‌نشانی به اتومبیل

پ)

$$\lambda_{2n-1}=\frac{4L}{2n-1}\Rightarrow \lambda_1=\frac{4\times\frac{17}{12}}{1}=\frac{17}{3}m$$

$$\lambda_3=\frac{4\times\frac{17}{12}}{3}=\frac{17}{9}m \quad و \quad \lambda_5=\frac{4\times\frac{17}{12}}{5}=\frac{17}{15}m$$

۷ــ الف)

$$f_n=\frac{nv}{2L}\Rightarrow f_1=\frac{v}{2L}\Rightarrow L=\frac{v}{2f_1}=\frac{340}{2\times60}=\frac{17}{6}m$$

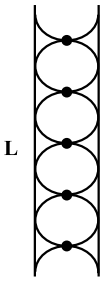
ب) (شکل‌های الف، ب ، پ و ث صفحه ۱۴۴ کتاب درسی)

پ)

$$\lambda_n=\frac{2L}{n}\Rightarrow \lambda_1=\frac{2\times\frac{17}{6}}{1}=\frac{17}{3}m$$

$$\lambda_3=\frac{2L}{3}=\frac{17}{9}m$$

$$\lambda_5=\frac{2L}{5}=\frac{17}{15}m$$



۸ــ

$$f_n=\frac{nv}{2L}\Rightarrow f_3=\frac{3\times340}{2\times1/7m}=300Hz$$

۹ــ الف)

$$I=\frac{E}{A.t}=\frac{P}{4\pi r^2}$$

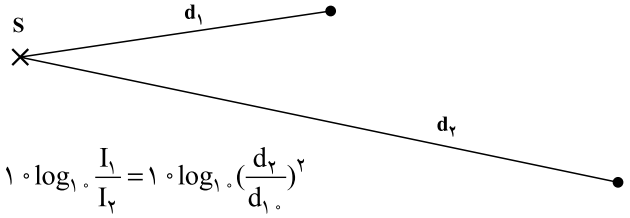
$$r_1=d_1\Rightarrow I_1=\frac{P}{4\pi d_1^2}$$

$$r_2=2d_1\Rightarrow I_2=\frac{P}{4\pi(2d_1)^2}=\frac{P}{16\pi d_1^2}\Rightarrow \frac{I_2}{I_1}=\frac{\frac{P}{16\pi d_1^2}}{\frac{P}{4\pi d_1^2}}=\frac{1}{4}$$

ب) قسمتی از انرژی صوتی در محیط انتشار جذب شده و تبدیل به گرما می‌شود.

۱۰ــ

$$\beta=10\log_{10}\frac{I}{I_0}$$



$$\beta_1-\beta_2=10\log_{10}\frac{I_1}{10}-10\log_{10}\frac{I_2}{I_0}=10\log_{10}\frac{I_1}{I_2}=10\log_{10}(\frac{d_2}{d_1})^2$$

$$20dB-10dB=10\log_{10}(\frac{d_2}{d_1})^2=20\log_{10}\frac{d_2}{d_1}$$

$$۱۰\text{dB} = ۲۰\log_{۱۰}\frac{d_۲}{d_۱} \Rightarrow \frac{۱}{۲} = \log_{۱۰}\frac{d_۲}{d_۱} \Rightarrow ۱۰^{\frac{۱}{۲}} = \frac{d_۲}{d_۱} \Rightarrow \frac{d_۲}{d_۱} = \sqrt{۱۰}\text{m} \simeq ۳/۳\text{m}$$

۱۱ــ منظور از اینکه صوتی را به زحمت بشنویم؛ یعنی در آستانه شنوایی باشد. ($\beta \simeq ۰\text{dB}$)

$$\beta_۱ - \beta_۲ = ۱۰\log_{۱۰}\frac{I_۱}{I_۲} = ۲۰\log_{۱۰}\frac{d_۲}{d_۱}$$

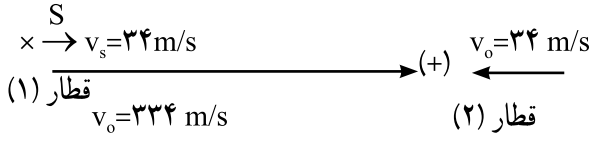
$$۶۰\text{dB} - ۰\text{dB} = ۲۰\log_{۱۰}\frac{d_۲}{d_۱}$$

$$۳ = \log_{۱۰}\frac{d_۲}{d_۱}$$

$$\frac{d_۲}{d_۱} = ۱۰^{۳} \Rightarrow \frac{d_۲}{۲۰} = ۱۰^{۳} \Rightarrow d_۲ = ۲۰\times ۱۰^{۳} = ۲۰\text{km}$$

این فاصله منطقی به نظر نمی‌رسد. زیرا در فاصله‌ای خیلی کمتر از ۲۰km ما صدای ۶۰dB (معادل همهمه در فروشگاه) را نمی‌شنویم. علت این موضوع جذب زیاد انرژی صوتی توسط محیط انتشار است.

۱۲ــ

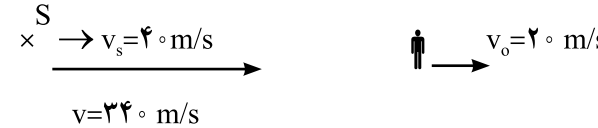


با توجه به رابطهٔ $\frac{f_o}{v-v_o} = \frac{f_s}{v-v_s}$ و اینکه جهت v_o عکس جهت v است می‌توانیم بنویسیم :

$$\frac{f_o}{v+v_o} = \frac{f_s}{v-v_s} \Rightarrow f_o = \frac{v+v_o}{v-v_s}f_s = \frac{۳۳۴+۳۴}{۳۳۴-۳۴}\times ۵۰۰$$

$$f_o = \frac{۳۶۸}{۳۰۰}\times ۵۰۰ = ۶۱۳/۳\text{Hz}$$

۱۳ــ الف)



$$f_o = \frac{v-v_o}{v-v_s}f_s = \frac{۳۴۰-۲۰}{۳۴۰-۴۰}\times ۸۵۵\text{Hz} = ۹۱۲\text{Hz}$$

ب)

$$f_o = \frac{v+v_o}{v+v_s}f_s = \frac{۳۴۰+۲۰}{۳۴۰+۴۰}\times ۸۵۵\text{Hz} = ۸۱۰\text{ Hz}$$

۱۴ــ توجه داشته باشیم که طول موج فقط به علت حرکت چشمهٔ موج تغییر می‌کند و ربطی به حرکت ناظر (شنونده) ندارد.

$$\lambda = \lambda_s - v_sT_s = \frac{v}{f_s} - \frac{v_s}{f_s} = \frac{v-v_s}{f_s} \quad \Rightarrow \quad \lambda = \frac{۳۳۰-۳۰}{۶۰۰} = ۰/۵\text{m}$$

ب) بعد از عبور ماشین آتش‌نشانی از آن. بسامد آژیر ماشین آتش‌نشانی ۸۵۵Hz و سرعت صوت در هوا ۳۴۰m/s است.

۱۴ــ یک چشمهٔ صوت با سرعت ۳۰m/s در حرکت است. بسامد چشمهٔ صوت ۶۰۰Hz و سرعت صوت در هوا ۳۳۰m/s است. طول موج صوت را در جلو و عقب این چشمه حساب کنید.

۱۵ــ خودرویی با سرعت ۷۲km/h در جاده‌ای در حال حرکت است. صدای آژیر خودرو با بسامد ۶۸۰Hz به صخره‌ای واقع در جلوی مسیر خودرو برخورد می‌کند. صوت بازتاب شده با چه بسامدی به گوش راننده می‌رسد؟ (سرعت صوت را ۳۴۰m/s در نظر بگیرید.)

۱۶ــ یک پردهٔ صماخ به قطر ۰/۷۵ سانتی‌متر به مدت ۲ ساعت صوتی با تراز شدت ۹۰dB را جذب می‌کند. در این مدت، پردهٔ گوش چه مقدار انرژی بر حسب ژول جذب کرده است؟

۱۷ــ سرعت صوت در بافت‌های بدن تقریباً مساوی سرعت صوت در آب دریاست، (۱۵۰۰m/s) قسمتی از یک موج فراصوت که به داخل خون فرستاده می‌شود، به وسیلهٔ گلبول‌های خون بازتابیده می‌شود. اگر بسامد پژواک برگشتی ۴۰۰Hz بیشتر از بسامد ۲MHz اولیه باشد، سرعت حرکت خون چه مقدار است؟ (توجه کنید که در اینجا دو جابه‌جایی دوپلری وجود دارد.)

۱۶۰

$$\lambda = \lambda_s + v_s T_s = \frac{v + v_s}{f_s} \Rightarrow \qquad \lambda = \frac{۳۳۰ + ۳۰}{۶۰۰} = \frac{۳۶۰}{۶۰۰}\,m = ۰/۶m$$

۱۵ــ در اینگونه مسائل یک بار صخره به عنوان شنونده فرض می‌شود و سپس صخره به عنوان چشمه و خودرو به عنوان شنونده درنظر گرفته می‌شود :

گام اول :

$$\underset{\text{خودرو}}{S} \times \longrightarrow v_s = ۲۰\,m/s \qquad \underset{v = ۳۴۰\,m/s}{\longrightarrow} \qquad v_o = ۰ \times \overset{O}{} \quad \underset{\text{صخره}}{}$$

$$f_{o۱} = \frac{v - v_o}{v - v_s} = f_s = \frac{۳۴۰ - ۰}{۳۴۰ - ۲۰} \times ۶۸۰Hz = \frac{۱۷}{۱۶} \times ۶۸۰Hz = ۷۲۲/۵\ Hz$$

گام دوم :

$$\overset{O}{} \qquad \longleftarrow \times v'_s = ۰$$
$$\times \longrightarrow v_o = ۲۰\,m/s \qquad v = ۳۴۰\,m/s \text{ صخره}$$

خودرو

$$f'_s = f_{o۱}$$

$$f_o = \frac{v + v_o}{v - v_s} f'_s = \frac{۳۴۰ + ۲۰}{۳۴۰ - ۰} \times \frac{۱۷}{۱۶} \times ۶۸۰Hz = \cdots Hz$$

۱۶ــ

$$I=\frac{E}{A.t}\Rightarrow E=I\times A\times t$$

جلو

$$\beta=۱۰\log_{۱۰}\frac{I}{I_{\circ}}\Rightarrow ۹۰=۱۰\log_{۱۰}\frac{I}{۱۰^{-۱۲}}\Rightarrow ۱۰^{۹}=\frac{I_{\text{جلو}}}{۱۰^{-۱۲}}$$

عقب $۱۰^{-۳}\,J/m^{۲}.s$ اعقب

$$A=\pi r^{۲}=\pi(\frac{d}{۲})^{۲}=\pi\times(\frac{۰/۷۵\times۱۰^{-۲}}{۲})^{۲}=۴/۴۱\times۱۰^{-۵}m^{۲}$$

$$E=۱۰^{-۳}J/m^{۲}.s\times۴/۴۱\times۱۰^{-۵}m^{۲}\times(۲\times۳۶۰۰s)=۳/۱۷۵\times۱۰^{-۴}J$$

۱۷ــ در این مسئله در گام اول گلبول‌های خون به عنوان شنونده فرض می‌شوند و در گام دوم گلبول به عنوان چشمهٔ موج درنظر گرفته می‌شود.

گام اول :

S

$v_s=۰$ فرستنده $\xrightarrow{\times}$ $v=۱۵۰۰m/s$ $\xleftarrow{}$ $v_o=v'$ گلبول قرمز

$$f_o=\frac{v+v_o}{v-v_s}f_s=\frac{۱۵۰۰+v'}{۱۵۰۰-۰}\times۲\times۱۰^{۶}Hz$$

گام دوم :

$v'_o=۰$ گیرنده $\xleftarrow{}$ $v=۱۵۰۰m/s$ $\times s'$ $\xleftarrow{}$ $v_s=v'$ گلبول قرمز

$$f'_o=\frac{v-v'_o}{v-v'_s}f_{s'}\ ,\ f_o=f_{s'}$$

$$f_{o'}=\frac{۱۵۰۰-۰}{۱۵۰۰-v'}\times\frac{۱۵۰۰+v'}{۱۵۰۰-۰}\times۲\times۱۰^{۶}Hz$$

$$۲,۰۰۰,۰۰۰+۴۰۰=\frac{۱۵۰۰+v'}{۱۵۰۰-v'}\times۲\times۱۰^{۶}Hz\Rightarrow v'=۰/۱۵m/s=۱۵cm/s$$

برای دیدن نمونه آزمون تشریحی و چهارگزینه‌ای فصل به CD ضمیمهٔ کتاب راهنما معلم یا سایت گروه فیزیک مراجعه کنید.