اثر دوپلر

کریستیان دوپلر [1] فیزیکدان و ریاضیدان اتریشی (شکل ۱) در سال ۱۸۴۲ میلادی نشان داد که رنگ یک جسم نورانی به حرکت نسبی جسم وناظر بستگی دارد. این اثر که اثر دوپلر نامیده می‌شود در مورد تمام امواج مشاهده می‌شود. دوپلر به برقراری این اثر در باره امواج صوتی نیز اشاره کرده است.

شکل ۱: تصویر کریستیان دوپلر. برای اطلاعات بیشتر در مورد این فیزیکدان و ریاضیدان می‌توانید به آدرس `http://en.wikipedia.org/wiki/Christian_Doppler` مراجعه نمایید.

وقتی یک چشمه صوت (مانند سوت قطار) نسبت به محیط انتشار حرکت می‌کند، اگر به شنونده نزدیک شود صدا زیرتر (بسامد بیشتر) و اگر از شنونده دور شود صدا بم‌تر (بسامد کمتر) خواهد بود. همچنین اگر شنونده در محیطی که صوت منشر می‌شود به چشمه صوت نزدیک شود، بسامد صوت بیشتر و اگر از چشمه دور شود بسامد صوت کمتر خواهد بود. بنابرین بسامد صوتی که شنونده دریافت می‌کند بستگی به حرکت نسبی چشمه صوت و شنونده در محیط انتشار صوت دارد.

مدل و نظریه

فرض کنیم که چشمه صوت و آشکارساز (ناظر) نسبت به محیطی که صوت در آن منتشر می‌شود ساکن باشند. بسامدی که آشکارساز دریافت می‌کند برابر است با $\nu = \frac{u}{\lambda}$ که u سرعت انتشار صوت در محیط و λ طول موج آن است. اگر چشمه صوت با سرعت $u_s < u$ (نسبت به محیط انتشار) به طرف آشکارساز حرکت کند، بازای هر نوسان چشمه مسافت $\frac{u_s}{\nu}$

[1] Christiaan Doppler

را طی می‌کند و طول موجی که آشکارساز دریافت می‌کند برابر است با:

$$\lambda' = \lambda - \frac{u_s}{\nu} = \frac{u - u_s}{\nu} \quad (۱)$$

بسامد موجی که آشکارساز دریافت می‌کند برابر است با:

$$\nu' = \frac{u}{\lambda'} = \frac{\nu}{۱ - \frac{u_s}{u}} \quad (۲)$$

یعنی بسامدی که آشکارساز دریافت می‌کند از بسامد ν بزرگتر است. اگر چشمه صوت با سرعت u_s از آشکارساز دور شود، طول موجی که آشکارساز دریافت می‌کند برابر است با:

$$\lambda'' = \lambda + \frac{u_s}{\nu} = \frac{u + u_s}{\nu} \quad (۳)$$

بسامد موجی که آشکارساز دریافت می‌کند برابر است با:

$$\nu'' = \frac{u}{\lambda'} = \frac{\nu}{۱ + \frac{u_s}{u}} \quad (۴)$$

یعنی بسامدی که آشکارساز دریافت می‌کند از بسامد ν کوچکتر است.

اگر آشکارساز با سرعت $u_o < u$ به طرف چشمه حرکت کند، در یک ثانیه تعداد نوسان‌های بیشتری را دریافت می‌کند یعنی بسامدی که آشکارساز دریافت می‌کند برابر است با:

$$\nu' = \nu + \frac{u_o}{\lambda} = \nu(۱ + \frac{u_o}{u}) \quad (۵)$$

بنابراین بسامدی که آشکارساز دریافت می‌کند از بسامد ν بزرگتر است.

اگر آشکارساز با سرعت u_o از چشمه صوت دور شود بسامدی که آشکارساز دریافت می‌کند برابر است با:

$$\nu'' = \nu - \frac{u_o}{\lambda} = \nu(۱ - \frac{u_o}{u}) \quad (۶)$$

در حد $u_s << u$، می‌توان نشان داد که معادله ۲ به معادله ۵ و معدله ۴ به معادله ۶ تبدیل می‌شود یعنی بین حالتی که چشمه صوت متحرک است با حالتی که آشکاساز متحرک است تفاوتی وجود ندارد.

وسایل آزمایش

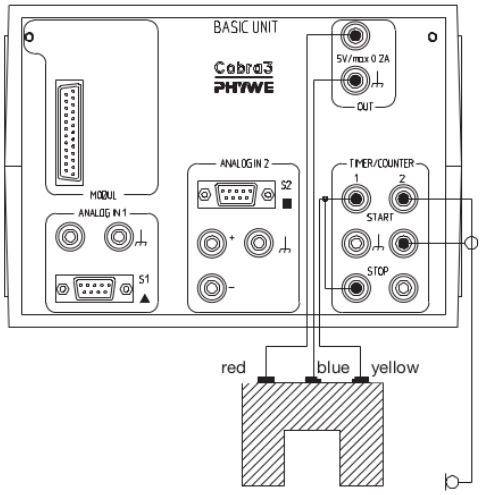
دستگاه Ultrasonic ، فرستنده امواج Ultrasonic ، آشکارساز امواج Ultrasonic ، دستگاه Cobra3 ، سد نوری، ریل به طول ۹۰ سانتی‌متر، ماشین برای حرکت روی ریل، صفحه به طول ۱۰ سانتی‌متر برای نصب کردن روی ماشین، پایه استوانه‌ای شکل (۲ عدد)، میله به طول ۱۶ سانتی‌متر، میله به طول ۶۰ سانتی‌متر ، گیره برای قرار دادن سد نوری روی میله، کابل BNC ، تطبیق دهنده BNC، سیم رابط (۵ عدد).

روش آزمایش

اندازه‌گیری سرعت حرکت ماشین روی ریل

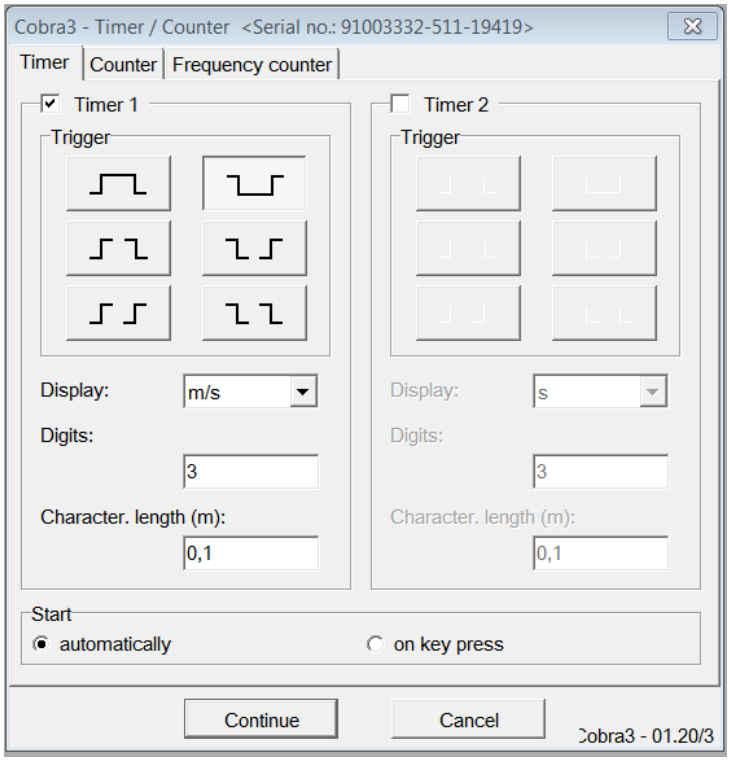
- مطابق شکل‌های ۲ و ۳ مدار آزمایش رابببندید. برای اندازه‌گیری سرعت حرکت ماشین روی ریل از سدنوری استفاده می‌کنیم که مطابق شکل ۳ به دستگاه Cobra3 وصل می‌شود. فرستنده و آشکارساز امواج Ultrasonic به دستگاه Ultrasonic وصل می‌شوند و برای ثبت بسامدی که آشکارساز دریافت می‌کند این دستگاه به دستگاه Cobra3 وصل می‌شود.

شکل ۲: آزمایش اثر دوپلر



شکل ۳: نحوهٔ اتصال سیم‌های سد نوری و دستگاه Ultrasonic به دستگاه Cobra3

- کابل USB دستگاه Cobra3 را به کامپیوتر متصل کرده و برنامهٔ Measure را اجرا کنید.
- از نوار بالا روی Gauge کلیک کرده و گزینهٔ Timer/Counter را انتخاب کنید. صفحه‌ای مانند شکل ۴ باز خواهد شد. از نوار بالا روی Timer کلیک کنید، پارامترهای این صفحه را درست مانند شکل ۴ تنظیم کنید.

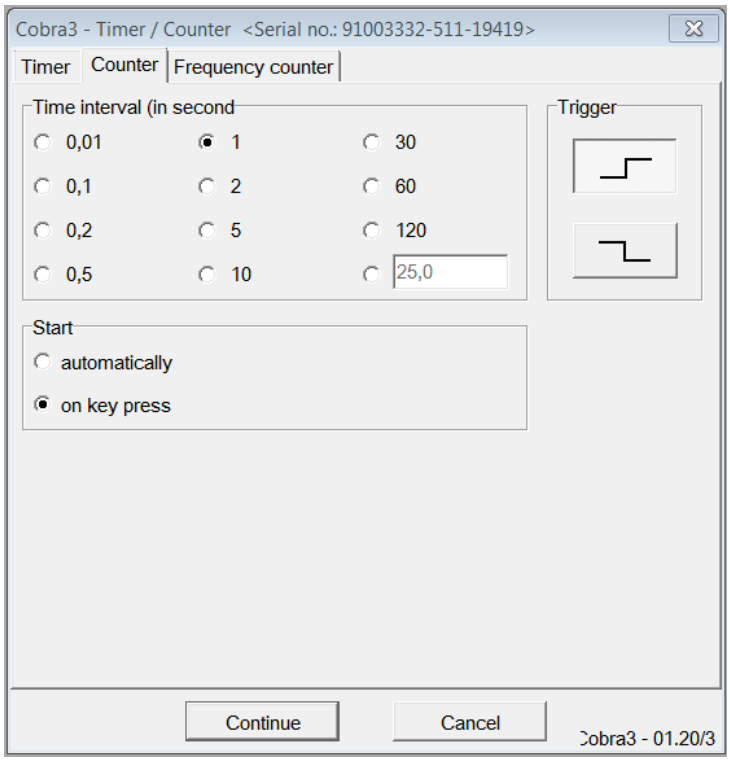


شکل ۴: تنظیم پارامترها برای اندازه‌گیری سرعت حرکت ماشین روی ریل

- روی Continue کلیک کنید و سرعت حرکت ماشین را ثبت کنید. سرعت ماشین را چندین بار در دو جهت مخالف اندازه‌گیری کنید واطمینان حاصل کنید که تقریباً یکسان است.

بررسی اثر دوپلر برای امواج Ultrasonic

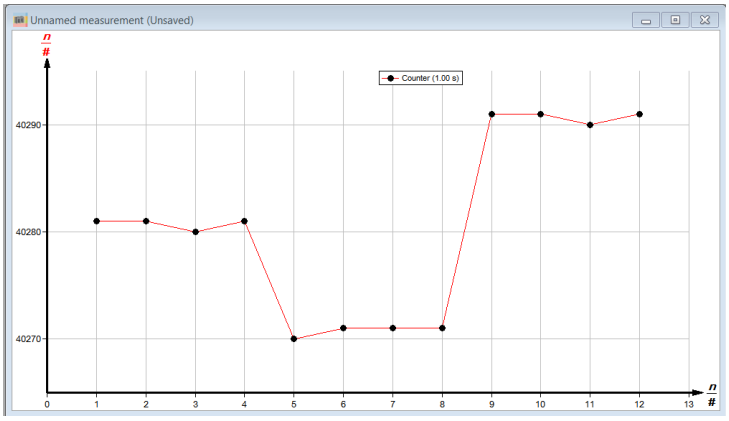
- در شکل ۴ از نوار بالا روی Counter کلیک کنید، پارامترهای این صفحه را درست مانند شکل ۵ تنظیم کنید.



شکل ۵: تنظیم پارامترها برای بررسی اثر دوپلر

- با استفاده از تنظیم کننده‌های دستگاه Ultrasonic دامنه فرستنده و تقویت کننده آشکارساز را روی مقدار متوسط تنظیم کنید. اطمینان حاصل کنید در وضعی که آشکارساز بیشترین فاصله را از فرستنده دارد امواج دریافت شده به اندازه کافی تقویت شده باشند.

- با کلیک کردن روی space اندازه‌گیری شروع می‌شود. در سه حالت، حالتی که فرستنده به آشکارشاز نزدیک می‌شود، حالتی که فرستنده و آشکارساز ساکن هستند و حالتی که فرستنده از آشکارساز دور می‌شود چندین بار بسامد دریافت شده به وسیله آشکارساز را اندازه‌گیری کنید (شکل ۶) با فرض اینکه سرعت انتشار امواج $۳۴۰m/s$ است، نتایج به دست آمده از نمودار را با نظریه مقایسه کنید.



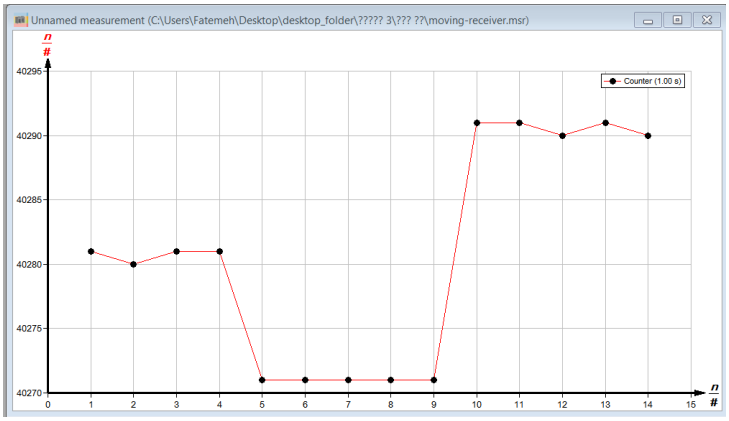
شکل ۶: اثر دوپلر برای فرستنده متحرک

- با تغییر سرعت چشمه صوت آزمایش را تکرار کنید و جدول ۱ را کامل کنید.
- با استفاده از روش کمترین مربعات منحنی نمایش تغییرات ν' را بر حسب u_s رسم کنید و به وسیله شیب‌خط سرعت انتشار امواج در محیط را تعیین کنید.

$\nu =$ ( )		
u_s( )	ν'( )	ν''( )

جدول ۱: اثر دوپلر برای حالتی که چشمه صوت با سرعت u_s به آشکارساز نزدیک و یا دور می‌شود

- آشکارساز امواج Ultrasonic را روی ماشین قرار دهید و آزمایش را تکرار کنید (شکل ۷) با فرض اینکه سرعت اتشار امواج $۳۴۰m/s$ است، نتایج به دست آمده از نمودار را با نظریه مقایسه کنید. آیا بین حالتی که فرستنده متحرک است با حالتی که آشکارساز متحرک است تفاوتی وجو دارد؟



شکل ۷: اثر دوپلر برای آشکارساز متحرک

- با تغییر سرعت آشکارساز آزمایش را تکرار کنید و جدول ۲ را کامل کنید.
- با استفاده از روش کمترین مربعات منحنی نمایش تغییرات ν'' را بر حسب u_o رسم کنید و به وسیله شیب‌خط سرعت انتشار امواج در محیط را تعیین کنید.

$\nu =$ ( )		
u_o( )	ν'( )	ν''( )

جدول ۲: اثر دوپلر برای حالتی که آشکارساز با سرعت u_o به چشمه صوت نزدیک و یا دور می‌شود