

اثر دوپلر

کریستیان دوپلر^۱ فیزیکدان و ریاضیدان اتریشی (شکل ۱) در سال ۲۴۱۸ میلادی نشان داد که رنگ یک جسم نورانی به حرکت نسبی جسم و ناظر بستگی دارد. این اثر که اثر دوپلر نامیده می شود در مورد تمام امواج مشاهده می شود.

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 می توانید به آدرس http://en.wikipedia.org/wiki/Christian_Doppler مراجعه نمایید.

وقتی یک چشمه صوت (مانند سوت قطار) نسبت به محیط انتشار حرکت می کند، اگر به شنونده نزدیک شود صدایتر (بسامد بیشتر) و اگر از شنونده دور شود صدا بم تر (بسامد کمتر) خواهد بود. همچنین اگر شنونده در محیطی که صوت منشر می شود به چشمه صوت نزدیک شود، بسامد صوت بیشتر و اگر از چشمه دور شود بسامد صوت کمتر خواهد بود. بنابراین بسامد صوتی که شنونده دریافت می کند بستگی به حرکت نسبی چشمه صوت و شنونده در محیط انتشار صوت دارد.

^۱ Christiaan Doppler

مدل و نظریه

فرض کنیم که چشمه صوت و آشکارساز (ناظر) نسبت به محیطی که صوت در آن منتشر می شود ساکن باشند. بسامدی که آشکارساز دریافت می کند 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 $\frac{u_s}{\nu}$ را طی می کند و طول موجی که آشکارساز دریافت می کند برابر است با:

$$\lambda' = \lambda - \frac{u_s}{\nu} = \frac{u - u_s}{\nu} \quad (1)$$

بسامد موجی که آشکارساز دریافت می کند برابر است با:

$$\nu' = \frac{u}{\lambda'} = \frac{\nu}{1 - \frac{u_s}{u}} \quad (2)$$

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

$$\lambda'' = \lambda + \frac{u_s}{\nu} = \frac{u + u_s}{\nu} \quad (3)$$

بسامد موجی که آشکارساز دریافت می کند برابر است با:

$$\nu'' = \frac{u}{\lambda''} = \frac{\nu}{1 + \frac{u_s}{u}} \quad (4)$$

یعنی بسامدی که آشکارساز دریافت می کند از بسامد ν کوچکتر است.

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

$$\nu' = \nu + \frac{u_o}{\lambda} = \nu \left(1 + \frac{u_o}{u}\right) \quad (5)$$

بنابراین بسامدی که آشکارساز دریافت می کند از بسامد ν بزرگتر است.

اگر آشکارساز با سرعت u_0 از چشمه صوت دور شود بسامدی که آشکارساز دریافت می کند برابر است با:

$$\nu'' = \nu - \frac{u_0}{\lambda} = \nu \left(1 - \frac{u_0}{u}\right) \quad (6)$$

در حد $u \ll u_s$ ، می توان نشان داد که معادله ۲ به معادله ۵ و معادله ۴ به معادله ۶ تبدیل می شود یعنی بین حالتی که چشمه صوت متحرک است با حالتی که آشکارساز متحرک است تفاوتی وجود ندارد.

وسایل آزمایش

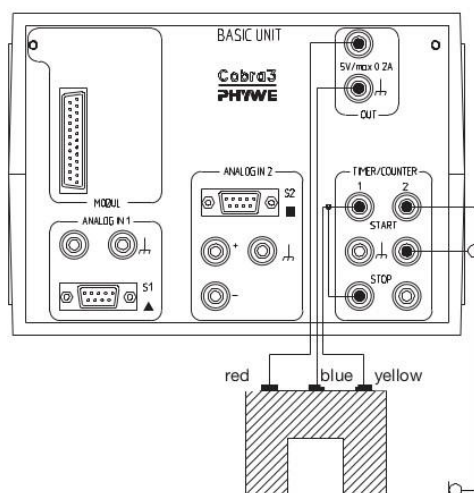
دستگاه Ultrasonic، فرستنده امواج Ultrasonic، آشکارساز امواج Ultrasonic، دستگاه Cobra3، سد نوری، ریل به طول ۹۰ سانتی متر، ماشین برای حرکت روی ریل، صفحه به طول ۱۰ سانتی متر برای نصب کردن روی ماشین، پایه استوانه ای شکل ۲ (عدد)، میله به طول ۶۱ سانتی متر، میله به طول ۰۶ سانتی متر، گیره برای قرار دادن سد نوری روی میله، کابل BNC، تطبیق دهنده BNC، سیم رابط ۵ (عدد) روش آزمایش

اندازه گیری سرعت حرکت ماشین روی ریل

- مطابق شکل های ۲ و ۳ مدار آزمایش را ببندید. برای اندازه گیری سرعت حرکت ماشین روی ریل از سدنوری استفاده می کنیم که مطابق شکل ۳ به دستگاه Cobra3 وصل می شود. فرستنده و آشکارساز امواج Ultrasonic به دستگاه Ultrasonic وصل می شوند و برای ثبت بسامدی که آشکارساز دریافت می کند این دستگاه به دستگاه Cobra3 وصل می شود.

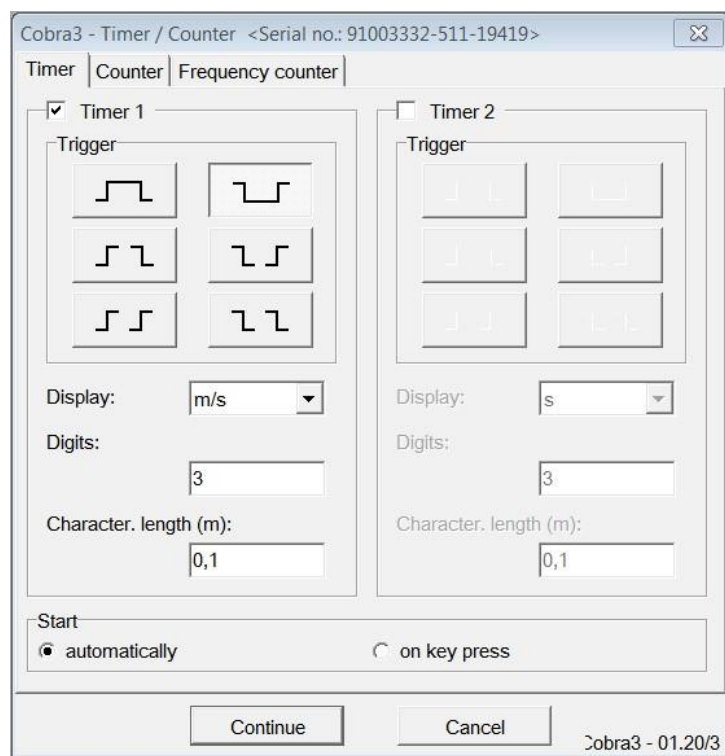


شکل ۲: آزمایش اثر دوپلر



شکل ۳: نحوه اتصال سیم های سد نوری و دستگاه Ultrasonic به دستگاه Cobra3

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

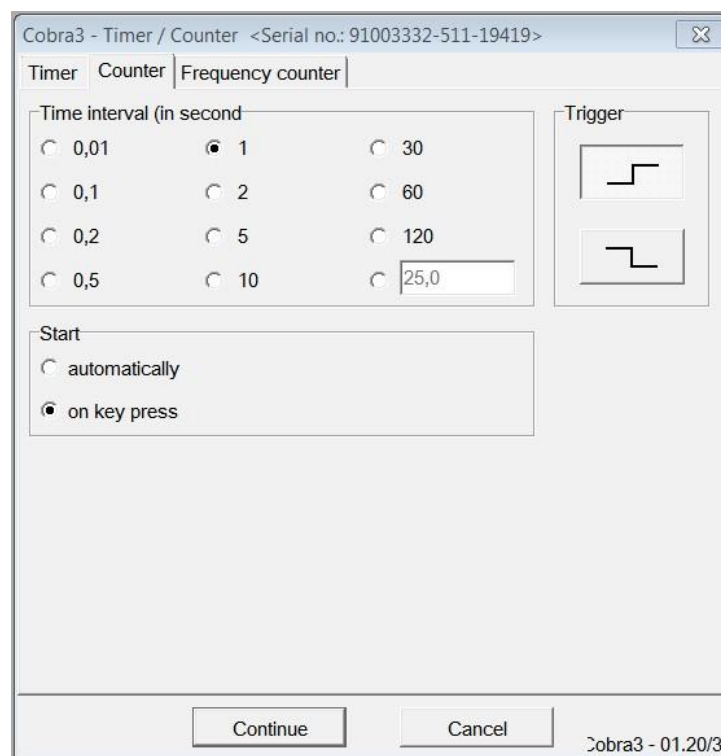


شکل ۴: تنظیم پارامترها برای اندازه گیری سرعت حرکت ماشین روی ریل

- روی Continue کلیک کنید و سرعت حرکت ماشین را ثبت کنید. سرعت ماشین را چندین بار در دو جهت مخالف اندازه گیری کنید و اطمینان 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.

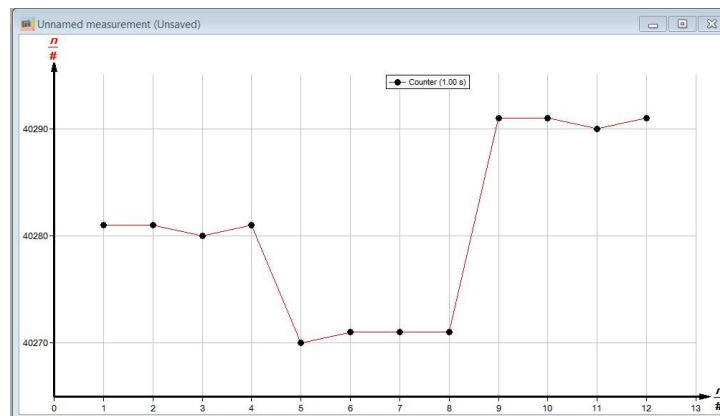


شکل ۵: تنظیم پارامترها برای بررسی اثر دوپلر

- با استفاده از تنظیم کننده های 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 اندازه گیری شروع می شود. در سه حالت، حالتی که فرستنده به آشکارساز نزدیکی شود، حالتی که فرستنده و آشکارساز ساکن هستند و حالتی که فرستنده از آشکارساز دور می شود چندینبار بسامد دریافت شده به وسیله آشکارساز را اندازه گیری کنید (شکل ۶) با فرض اینکه سرعت انتشار امواج $m/s^{۳۴۰}$ است، نتایج به دست آمده از نمودار را با نظریه مقایسه کنید.

۵



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 v' را بر حسب U_s رسم کنید و به وسیله شیب خط سرعت انتشار امواج در محیط را تعیین کنید.

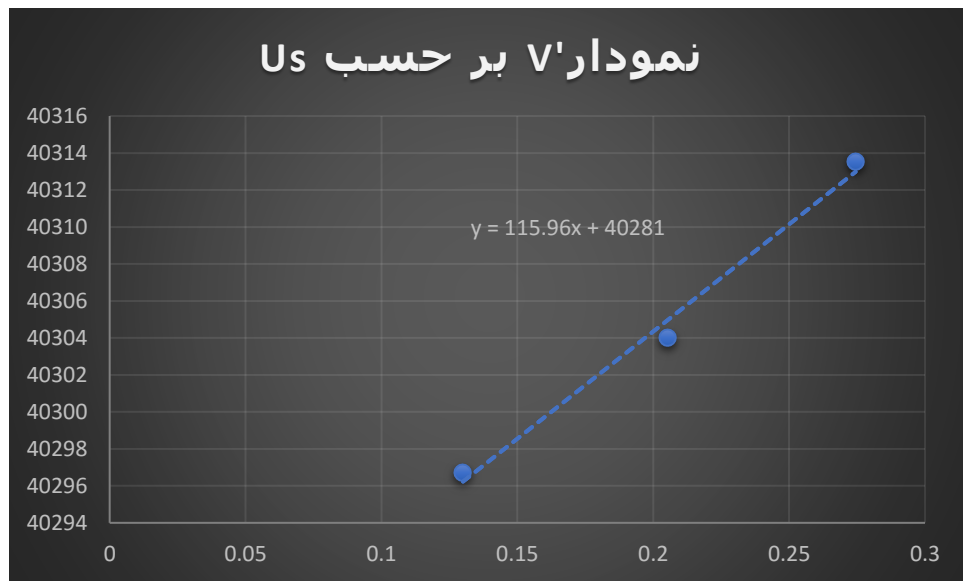
متأسفانه همانطور که خودتان هم اشاره فرمودید، میزان کمی شیب داشت و سرعت نزدیک یا دور شدن ماشین از منبع یا مشاهده گر، با هم برابر نبودند و برای همین بالاجبار برای کمتر شدن خطای این آزمایش سرعت های رفت را در یک جدول و سرعت های برگشت را در جدولی دیگر مینویسیم. (در این حالت خطا در حدود دو درصد خواهد بود ولی در حالتی که در آزمایشگاه محاسبه شد و به شما تحویل داده شد خطا در حدود ۱۵ درصد بود، پس به نظر معقول و منطقی است که این جداسازی داده ها را انجام دهیم.)

U_s	v'	v
0.13	40296.7	40281
0.2055	40304	40281
0.2745	40313.5	40281

جدول ۱-۱: اثر دوپلر برای حالتی که چشمه صوت با سرعت u_s به آشکارساز نزدیک می شود.

$U(s)$	V''	V
0.15	40264	40281
0.238	40253	40281
0.3475	40242.5	40281

جدول ۱-۲: اثر دوپلر برای حالتی که چشمه صوت با سرعت u_s از آشکارساز دور می شود.



نمودار V' بر حسب U_s .

حال مطابق دستور کار داریم:

$$v' = \frac{v}{1 - \frac{u_s}{u}}$$

مطابق بسط زیر هنگامی که $x \xrightarrow{\text{approaches}} \text{zero}$:

$$\frac{1}{1-x} = 1 + x + x^2 + \dots$$

اما دو جمله اول از این بطن برای ما کافی است پس با قرار دادن در معادله:

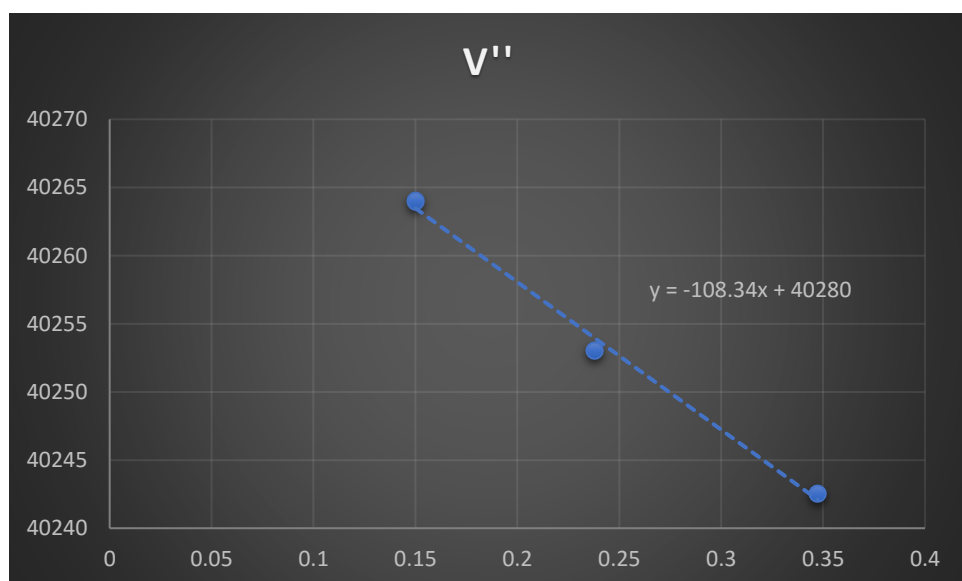
$$v' = v \left(1 + \frac{u_s}{u} \right) \xrightarrow{so} v' = v + \frac{v}{u} u_s$$

شیب خط از روی نمودار برابر ۱۱۵٫۹۶ است و فرکانس هم از جدول ۴۰۲۸۱ هرتز خوانده میشود:

$$u = \frac{v}{\text{line - slope}} \xrightarrow{so} u = \frac{40281}{115.96} = 347.37 \text{ m/s}$$

$$\frac{347.37 - 340}{340} \times 100 = \%2.2 \text{ مقدار خطا هم برابر:}$$

نمودار v'' بر حسب U_s هم در شکل زیر رسم شده:



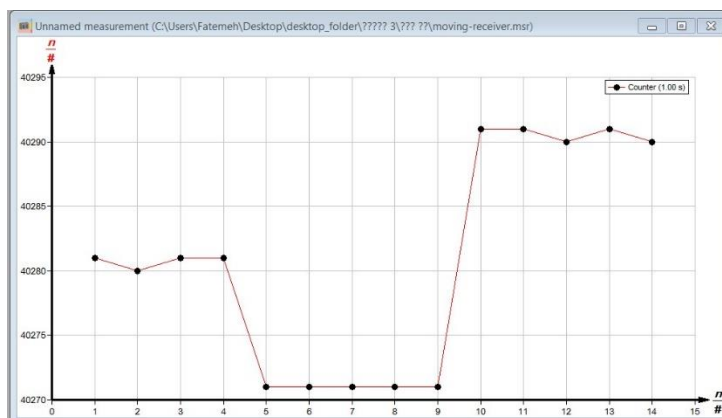
که برای محاسبه سرعت دو باره از بسط بالا استفاده کنیم نتیجه میشود که از همان رابطه بالا سرعت بدست می آید فقط باید قدر مطلق شیب را جاگذاری کنیم، سرعت در این حالت هم برابر با 371.8 m/s بدست می آید.

- آشکارساز امواج Ultrasonic را روی ماشین قرار دهید و آزمایش را تکرار کنید (شکل ۷) با فرض اینکه سرعت انتشار امواج 340 m/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 وجود دارد؟

علی الاصول وقتی سرعت ما نسبت به سرعت صوت ناچیز است می توانیم از بسط استفاده کنیم و خواهیم دید که معادلات ۲ به معادله ۴ و معادله ۴ به معادله ۶ تبدیل می شود. پس در سرعت های پایین نسبت به سرعت صوت تفاوت محسوسی بین نمودارها وجود ندارد.

$$v' = \frac{v}{1 - \frac{u_s}{u}} \xrightarrow{\text{by } u \sin g - \text{expansion}} v' = v \left(1 + \frac{u_{s-or-o}}{u} \right)$$

$$v'' = \frac{v}{1 + \frac{u_s}{u}} \xrightarrow{\text{by } u \sin g - \text{expansion}} v'' = v \left(1 - \frac{u_{s-or-o}}{u} \right)$$



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 v'' را بر حسب u_0 رسم کنید و به وسیله شیب

خطسرعت انتشار امواج در محیط را تعیین کنید.

متاسفانه همانطور که خودتان هم اشاره فرمودید، میز کمی شیب داشت و سرعت نزدیک یا دور شدن ماشین از منبع یا مشاهده گر، با هم برابر نبودند و برای همین بالاجبار برای کمتر شدن خطای این آزمایش سرعت های رفت را در یک جدول و سرعت های برگشت را در جدولی دیگر مینویسیم.

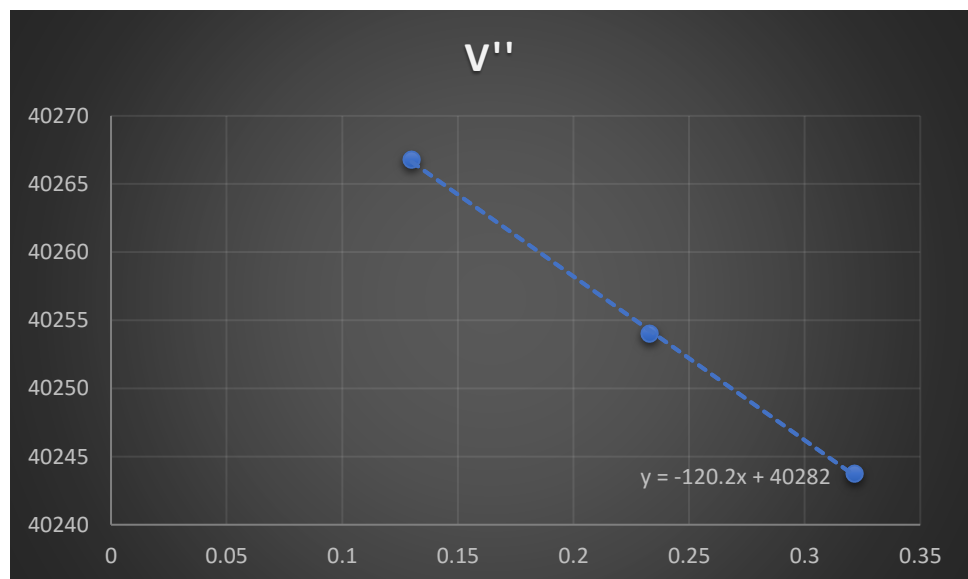
$U(o)$	v'	v
0.124	40295	40281
0.2045	40304.75	40281
0.2745	40311.75	40281

جدول ۱-۲: اثر دوپلر برای حالتی که آشکارساز با سرعت u_0 به چشمه صوت نزدیک می شود.

$U(o)$	v''	v
0.13	40266.75	40281
0.233	40254	40281
0.3215	40243.75	40281

جدول ۲-۲: اثر دوپلر برای حالتی که آشکار ساز با سرعت u_0 از چشمه صوت دور می شود.

نمودار هم به شکل زیر است:



که به کمک محاسبات سر راست که در بالا انجام شد، و این محاسبات مشابه همینجا هم تکرار میشوند بدست می آوریم :

$$u = \frac{v}{line - slope} \xrightarrow{so} u = \frac{40281}{120.2} = 335.17 m / s$$

درصد خطا برابر ۱,۴- است و این آزمایش با دقت به نسبت خوبی انجام شده است. (متاسفانه فاصله ی بین لاین

های این فایل کمی زیاد است و این مشکل به خاطر تبدیل از pdf به فایل word صورت گرفته.)

نمودار دیگر هم یعنی V' بر حسب UO به این شکل است:

