سرعت صوت

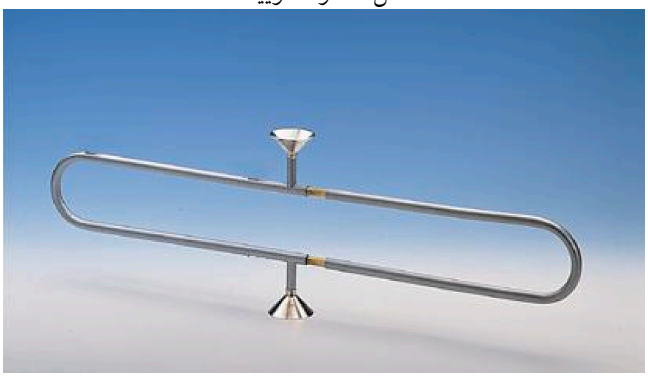
پارسا رنگریز

آزمایشگاه فیزیک ۳، دانشکده فیزیک، دانشگاه صنعتی شریف

۱ مقدمه

لوله کوییِنک (شکل ۱) وسیله‌ای است که با استفاده از آن می‌توان پدیده تداخل امواج صوتی را بررسی کرد و طول موج را بدست آورد. سپس برای بسامد معلوم، سرعت صوت را تعیین کرد و یا با دانستن سرعت صوت، بسامد آن را تعیین کرد. این وسیله به نام فیزیکیدان آلمانی جورج هرمن کوییِنک (شکل

شکل ۱: لوله کوییِنک



۲) نامگذاری شده است.

۲ مدل و نظریه

اگر معادله‌های توصیف‌کننده حرکت موج خطی باشند، اصل برهم‌نهی برقرار است، یعنی تغییر مکان هر ذره در یک لحظه معین برابر است با مجموع تغییر مکان‌هایی که هر یک از موج‌ها به تنهایی به ذره می‌دهند. فرض کنیم دو موج خطی هماهنگ (تخت) با بسامد یکسان ω و اختلاف فاز $\Delta\phi$ در یک راستا منتشر می‌شوند.

$$\begin{aligned} A_1(x,t) &= A_1 e^{i(k_1 x-\omega t)} \\ A_2(x,t) &= A_2 e^{i(k_2 x-\omega t)} \end{aligned} \qquad (۱)$$

شکل ۲: جورج هرمن کوییِنک

که k عدد موج در راستای x است:

$$|k_1| = |k_2| = k = \frac{2\pi}{\lambda} \qquad (۲)$$

اگر دو موج در خلاف جهت هم حرکت کنند، $k_1 = -k_2 = k$ خواهد بود، در نتیجه

$$\begin{aligned} A_r &= (A_1 e^{ikx} + A_2 e^{-i(kx+\Delta\phi)} e^{-i\omega t} \\ &= (A_1 e^{i(kx+\Delta\phi/2)} + A_2 e^{i(kx+\Delta\phi/2} e^{-i(\omega t+\Delta\phi/2)} \\ &= [(A_1 - A_2) e^{i(kx+\Delta\phi/2)} + A_2 (e^{i(kx+\Delta\phi/2)} + e^{-i(kx+\Delta\phi/2)} \times e^{-i(\omega t+\Delta\phi/2)} \\ &= A_{r_1} e^{i(kx-\omega t)} + A_{r_2} \cos(kx + \Delta\phi/2) e^{-i(\omega t+\Delta\phi/2)} \end{aligned} \tag{۳}$$

که دامنه موج تخت $A_{r_1} = A_1 - A_2$ و دامنه موج ایستاده برابر است با

$$A_{r_2} \cos(kx + \Delta\phi/2) = 2A_2 \cos(kx + \Delta\phi/2) \tag{۴}$$

بنابراین حاصل برهم‌نهی دو موج تخت با بسامد یکسان ω، اختلاف فاز $\Delta\phi$ و عدد موج یکسان که در خلاف جهت هم حرکت می‌کنند و دامنه‌های آن‌ها متفاوت است، یک موج تخت و یک موج ایستاده خواهد بود. اگر دامنه دو موج یکسان باشد، یعنی:

$$A_1 = A_2 \tag{۵}$$

حاصل برهم‌نهی دو موج فقط موج ایستاده خواهد بود و دامنه موج تخت برابر صفر است. در لوله کوییِنک، موج صوت به دو مولفه همدوس تقسیم می‌شود، این دو مولفه پس از حرکت در خلاف جهت همدیگر، با هم ترکیب شده و به آشکارساز می‌رسند. اگر مسیری که مولفه‌های موج طی می‌کنند یکسان باشد، دامنه آن‌ها برابر خواهد بود، یعنی

$$A_1 = A_2 \tag{۶}$$

و موج حاصل از برهم‌نهی آن‌ها موج ایستاده است. با افزایش اختلاف مسیر دو مولفه، A_2 کاهش می‌یابد، یعنی دامنه موج ایستاده کم شده و دامنه موج تخت افزایش می‌یابد.
از معادله ۴ قسمت حقیقی موج برایند برابر است با:

$$P = (A_1 - A_2) \cos(kx - \omega t) + 2A_2 \cos(kx + \Delta\phi/2) \tag{۷}$$

اگر آشکارساز در $x = 0$ قرار داده شود:

$$P = (A_1 - A_2) \cos(\omega t) + 2A_2 \cos(\Delta\phi/2) \cos(\omega t + \Delta\phi/2) \tag{۸}$$

در حد $A_1 \approx A_2$ دامنه موج برایند تقریبا برابر است با:

$$2A_2 \cos(\Delta\phi/2) \tag{۹}$$

و دامنه موج به ازای

$$\Delta\phi/2 = (2n+1)\pi/2, \quad n = 0, \pm1, \pm2, \cdots \tag{۱۰}$$

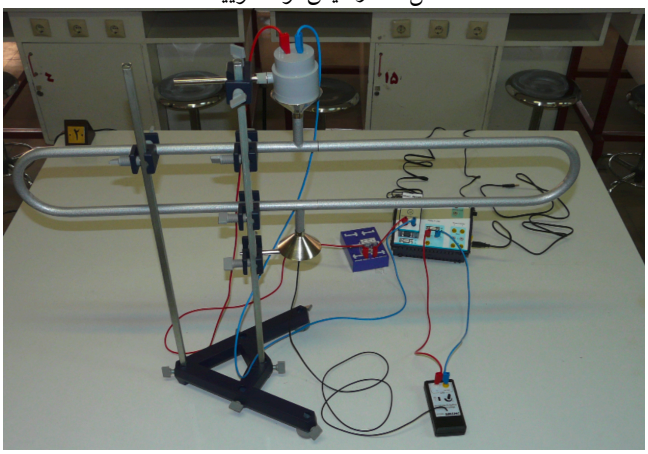
کمینه خواهد شد. اختلاف فاز برای دو کمینه متوالی برابر 2ϕ خواهد بود. بنابراین اگر اختلاف مسیر دو مولفه $2\Delta d$ باشد:

$$k \times 2\Delta d = 2\pi \implies 2\Delta d = \lambda \tag{۱۱}$$

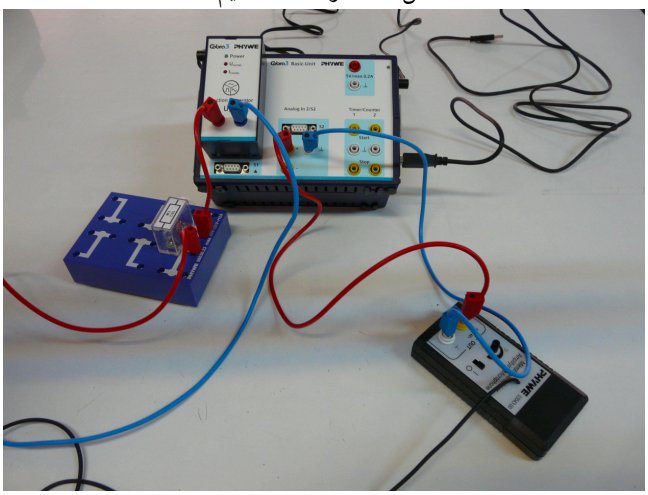
۳ وسایل آزمایش

دستگاه کبرا ۳، نوسان‌ساز برای اتصال به دستگاه کبرا۳، لوله کوییِنک، بلندگو، میکروفون، میله برای نگه‌داشتن میکروفون، پایه مثلثی شکل، میله به طول ۶۳ سانتی‌متر (۲ عدد)، گیره نود درجه (۵ عدد)، مقاومت ده اهمی، جعبه اتصال و سیم رابط (۵ عدد).

شکل ۳: آزمایش لوله کوییِنک



شکل ۴: نحوه اتصال سیم‌ها



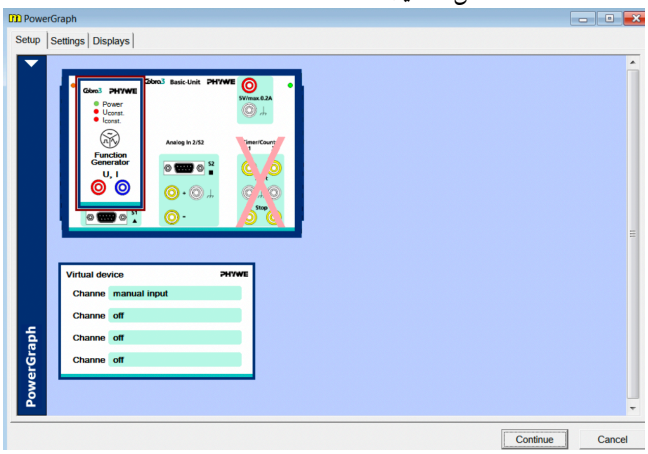
۴ روش آزمایش

مطابق شکل ۳ و۴ مدار آزمایش را ببندید. نوسان‌ساز متصل به دستگاه کبرا ۳ موج با بسامدهای مختلف تولید می‌کند که با وصل کردن آن به بلندگو امواج صوتی در لوله کوییک تولید می‌شود. میکروفون متصل به دستگاه کبرا ۳ شدت موج حاصل از تداخل امواج صوتی در لوله کوییک را به دستگاه کبرا ۳ منتقل می‌کند.

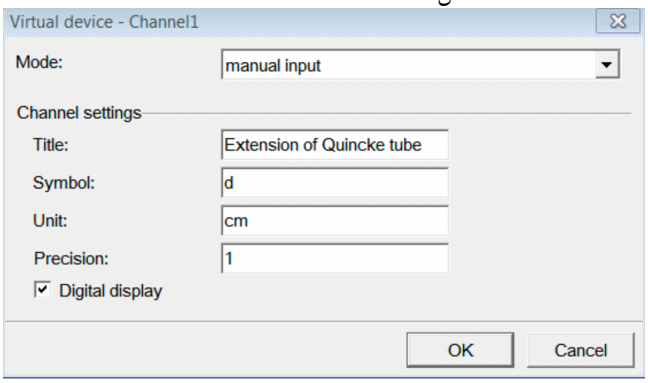
کابل USB دستگاه کبرا ۳ را به کامپیوتر متصل کرده و برنامه Measure را اجرا کنید.

از نوار بالا روی Gauge کلیک کرده و گزینه PowerGraph را انتخاب کنید. صفحه‌ای مانند شکل ۵ باز خواهد شد. با کلکی کردن روی گزینه Channel در پنجره Device Virtual صفحه‌ای باز می‌شود، پارامترهای این صفحه را درست مانند شکل ۶ تنظیم کنید. در شکل ۵ روی FunctionGenerator

شکل ۵: ایجاد صفحه VirtialDevice

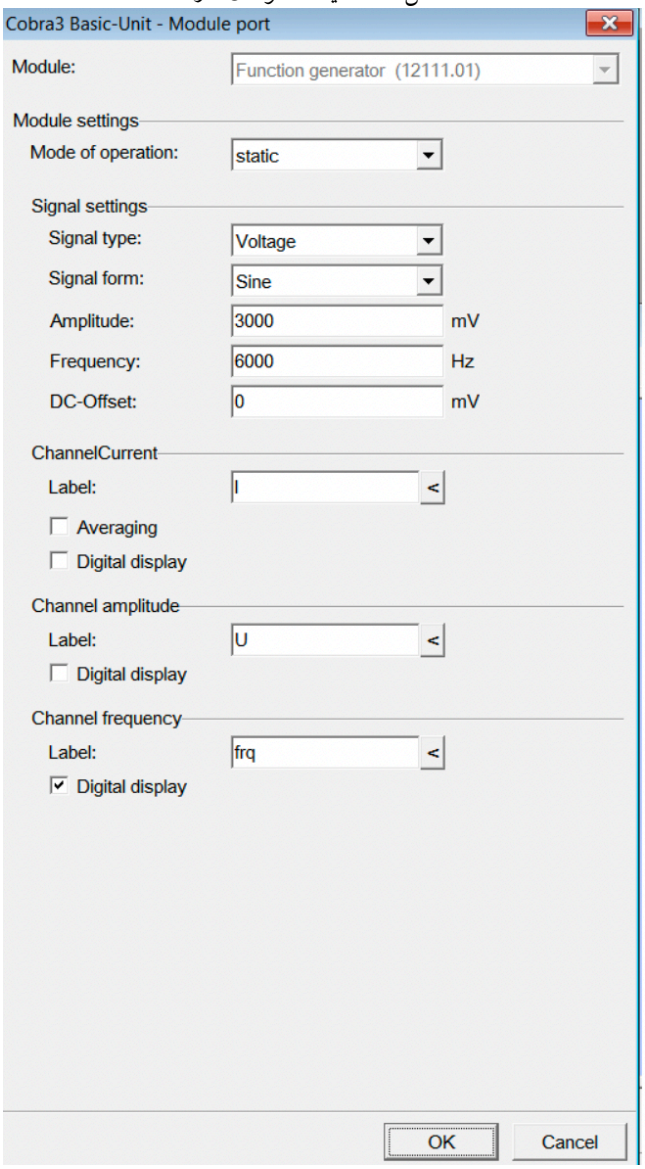


شکل ۶: صفحه Virtual-Device



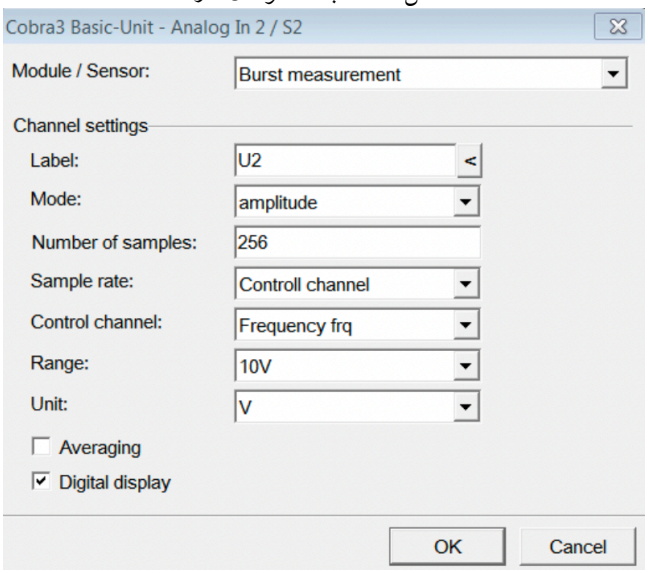
کلیک کنید. پنجره‌ای مانند شکل ۷ باز خواهد شد.، در این پنجره نوع موج و بسامد آن را تعیین می‌کنیم. پارامترها را دقیقا مانند شکل ۷ تنظیم کنید. در شکل ۵ روی $AnalogIn2/S2$ کلیک کنید. پنجره‌ای

شکل ۷: تنظیمات نوسان‌ساز

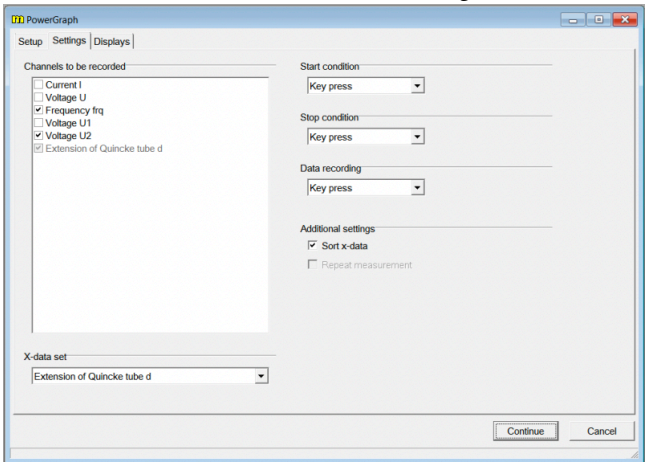


مانند شکل ۸ باز خواهد شد، در این پنجره می‌توان تنظیمات لازم برای ثبت شدت موج به وسیله میکروفون را انجام داد. پارامترها را دقیقا مانند شکل ۸ تنظیم کنید. در شکل ۵ از نوار بالا روی Displays کلیک کنید. پنجره‌ای مانند شکل ۱۰ باز خواهد شد، با انتخاب *newdisplay* در قسمت Diagram صفحه جدیدی برای تنظیم پارامترهای نمودار باز خواهد شد، پارامترها را دقیقا مانند شکل ۱۰ تنظیم کنید. میکروفون را روشن کنید و تقویت کننده آن را روی مقدار متوسط قرار دهید. پس از تنظیمات لازم برنامه

شکل ۸: تنظیمات نوسان‌ساز



شکل ۹: تنظیمات برنامه برای اندازه‌گیری



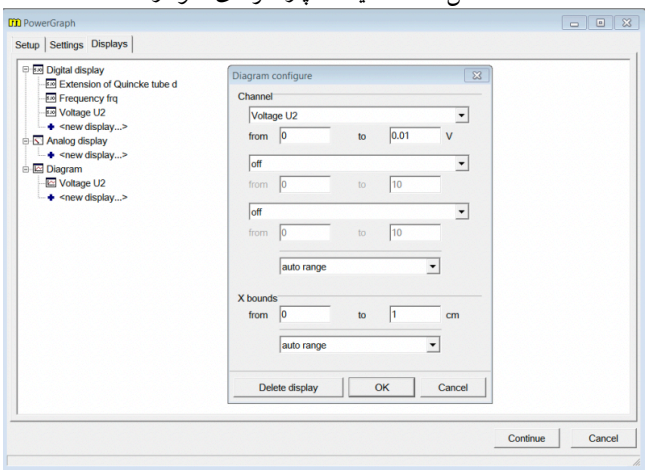
و انتخاب بسامد در شکل ۵ روی Continue کلیک کنید.

بازوی متحرک لوله کوییک را روی اولین درجه بندی حک شده قرار داده و در صفحه باز شده عدد صفر را وارد کنید. ورودی دکمه $SaveValue$ کلیک کنید.

اکنون Δd را افزایش دهید و قسمت قبل را تکرار کنید. پس از مشاهده حداقل چهار کمینه روی دکمه $StopMeasurement$ کلیک کنید.

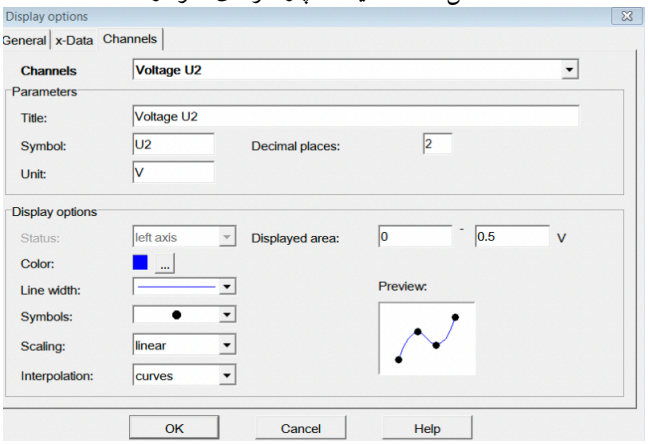
برای نمودار رسم شده روی دکمه $DisplayOptions$ کلیک کنید و با انتخاب Channels صفحه‌ای مانند شکل ۱۱ باز خواهد شد، در این صفحه می‌توان منحنی حاصل از درون‌یابی نقاط ثبت شده را رسم

شکل ۱۰: تنظیمات پارامترهای نمودار



کرد. پارامترها را مانند شکل ۱۱ تنظیم کنید. برای منحنی رسم شده با استفاده از Survey فاصله بین

شکل ۱۱: تنظیمات پارامترهای نمودار



چهار بیشینه یا کمینه را بدست آورید. با تقسیم کردن عدد به دست آمده بر سه، Δd و در نتیجه λ بدست می‌آید. نتایج حاصل را در جدول ۱ یادداشت کنید.

مطابق جدول ۱ بسامد کوج را با استفاده از پنجره $FunctionGenerator$ تغییر دهید و طول موج را بدست آورید.

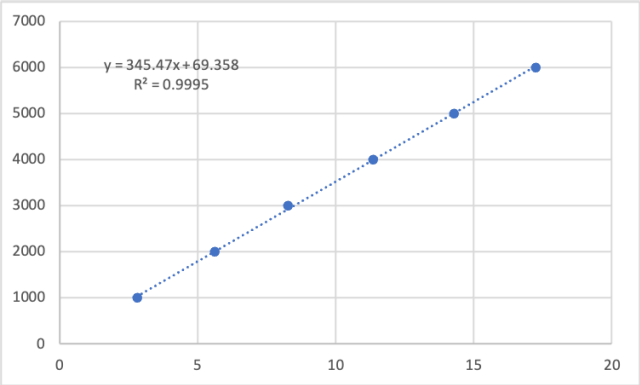
۵ جدول داده‌ها

جدول ۱: تغییرات طول موج بر حسب بسامد

1000	2000	3000	4000	5000	6000	$\nu(Hz)$
17.8	8.9	6.1	4.4	3.5	2.9	$\Delta d(cm)$
0.356	0.178	0.121	0.088	0.07	0.058	$\lambda(m)$
2.809	5.618	8.264	11.346	14.286	17.241	$1/\lambda(m^{-1})$

۶ نمودار داده‌ها

شکل ۱۲: نمودار جدول ۱



۷ خطا

به طور کلی اگر y یک تابعی از x_i تا x_n باشد و برای هر کدام از x_iها، $\langle x_i \rangle$ و Δx_i مشخص باشند، آنگاه Δy اینگونه محاسبه می‌شوند:

$$\Delta y = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \Delta x_i \right)^2} \qquad (۱۲)$$

بنابراین در تمامی جداولی که میانگین حساب می‌شده این مقدار خطا محاسبه گشته و سپس با خطای دستگاه‌ها مقایسه شده و بیشینه این خطا بعنوان خطا گزارش شده است.

برای محاسبه خطای خط برازش در نمودارها می‌توان نوشت:

$$\Delta b = b \sqrt{\frac{1}{n-2} \left(\frac{1}{R^2} - 1 \right)} \qquad (۱۳)$$

۸ نتیجه‌گیری

از روی شیب می‌توان سرعت را بدست آورد. بنابراین داریم:

$$v_{sound} = 345 \pm 4 m/s \quad (۱۴)$$