

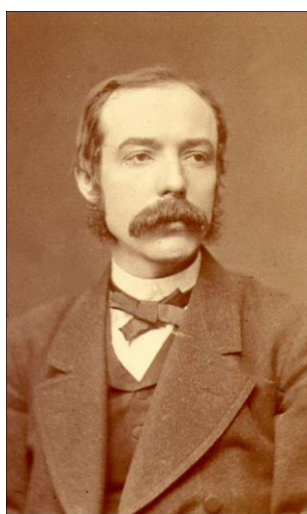
## تعیین سرعت صوت با استفاده از لوله Quincke

لوله Quincke (شکل ۱) وسیله ای است که با استفاده از آن می توان پدیده تداخل امواج صوتی را بررسی کرد و طول موج را به دست آورد. سپس برای بسامد معلوم، سرعت صوت را تعیین کرد و یا با دانستن سرعت صوت، بسامد آن را تعیین کرد.



شکل ۱: لوله Quincke وسیله ای برای مشاهده تداخل امواج صوتی

این وسیله به نام فیزیکدان آلمانی Georg Hermann Quincke (شکل ۲) نام گذاری شده است.



شکل ۲: تصویر Georg Hermann Quincke برای اطلاعات بیشتر در مورد این فیزیکدان

می توانید به آدرس **<http:>**

مراجعه .

*en//نمایید*

*.wikipe*

*dia.org*

*/wiki/G*

*eorg\_He*

*rmann\_Q*

*uincke*

مدل و نظریه

اگر معادله های توصیف کننده حرکت موج خطی باشند، اصل برهم نهی برقرار است، یعنی تغییر مکان هر ذره در یک لحظه معین برابر است با مجموع تغییر مکان هایی که هر یک از موج ها به تنهایی به ذره می دهند. فرض کنیم دو موج خطی هماهنگ (تخت) با بسامد یکسان  $\omega$  و اختلاف فاز  $\Delta\varphi$  در یک راستا منتشر می شوند.

$$(۱) \quad A_1(x,t) = A_1 e^{i(k_1 x - \omega t)}$$

$$(۲) \quad A_2(x,t) = A_2 e^{i(k_2 x - \omega t - \Delta\varphi)}$$

که  $k$  عدد موج در راستای  $x$  است:

$$2\pi$$

$$|k_1| = |k_2| = k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (3)$$

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

$$\begin{aligned} A_r &= (A_1 e^{ikx} + A_2 e^{-i(kx+\Delta\varphi)}) e^{-i\omega t} \\ &= (A_1 e^{i(kx+\frac{\Delta\varphi}{2})} + A_2 e^{-i(kx+\frac{\Delta\varphi}{2})}) e^{-i(\omega t+\frac{\Delta\varphi}{2})} \\ &= [(A_1 - A_2) e^{i(kx+\frac{\Delta\varphi}{2})} + A_2 (e^{i(kx+\frac{\Delta\varphi}{2})} + e^{-i(kx+\frac{\Delta\varphi}{2})})] \times e^{-i(\omega t+\frac{\Delta\varphi}{2})} \\ &= A_{r1} e^{i(kx-\omega t)} + A_{r2} \cos(kx + \frac{\Delta\varphi}{2}) e^{-i(\omega t+\frac{\Delta\varphi}{2})} \end{aligned} \quad (4)$$

که دامنه موج تخت  $A_{r1} = A_1 - A_2$  و دامنه موج ایستاده  $A_{r2} \cos(kx + \frac{\Delta\varphi}{2}) = 2A_2 \cos(kx + \frac{\Delta\varphi}{2})$  است. بنابراین حاصل برهم نهی دو موج تخت با بسامد یکسان  $\omega$ ، اختلاف فاز  $\Delta\varphi$  و عدد موج یکسان که در خلاف جهت هم حرکت می کنند و دامنه های آنها متفاوت است، یک موج تخت و یک موج ایستاده<sup>۱</sup> خواهد بود. اگر دامنه دو موج یکسان باشد، یعنی:  $A_1 = A_2$ ، حاصل برهم نهی دو موج فقط موج ایستاده خواهد بود و دامنه موج تخت برابر صفر است.

در لوله Quincke موج صوت به دو مؤلفه همدوس تقسیم می شود، این دو مؤلفه پس از حرکت در خلاف جهت همدیگر، با هم ترکیب شده و به آشکارساز می رسند. اگر مسیری که مؤلفه های موج طی می کنند یکسان باشد، دامنه آنها برابر خواهد بود، یعنی:  $A_1 = A_2$  و موج حاصل از

<sup>۱</sup> در یک موج تخت دامنه موج برای همه نقاط  $x$  یکسان است ولی در موج ایستاده دامنه موج برای  $x$ های مختلف یکسان نیست.

برهم نهی آنها موج ایستاده است. با افزایش اختلاف مسیر دو مؤلفه،  $A_2$  کاهش می یابد، یعنی دامنه موج ایستاده کم شده و دامنه موج تخت افزایش می یابد.

از معادله ۴ قسمت حقیقی موج برابری است با:

$$P = (A_1 - A_2) \cos(kx - \omega t) + 2A_2 \cos\left(kx + \frac{\Delta\varphi}{2}\right) \cos\left(\omega t + \frac{\Delta\varphi}{2}\right) \quad (5)$$

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

$$P = (A_1 - A_2) \cos(\omega t) + 2A_2 \cos\left(\frac{\Delta\varphi}{2}\right) \cos\left(\omega t + \frac{\Delta\varphi}{2}\right) \quad (6)$$

در حد  $A_1 \approx A_2$ ، دامنه موج برابری تقریباً برابر است با:  $2A_2 \cos\left(\frac{\Delta\varphi}{2}\right)$  و دامنه موج بازای

$$\frac{\Delta\varphi}{2} = (2n + 1)\frac{\pi}{2}, \quad n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (7)$$

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

$$k \times 2\Delta d = 2\pi \quad (8)$$

$$2\Delta d = \lambda \quad (9)$$

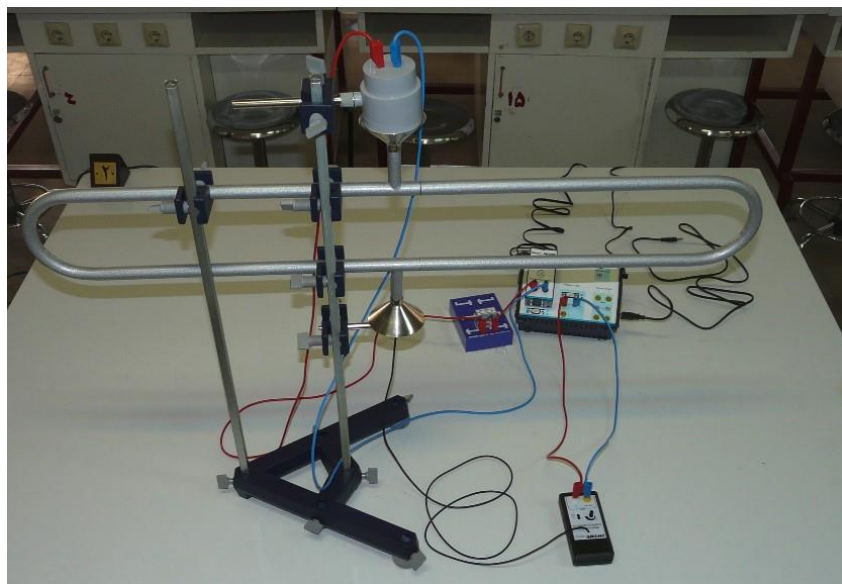
## وسایل آزمایش

دستگاه Cobra3، نوسان ساز (Function generator) برای اتصال به دستگاه Cobra3، لوله Quincke، بلندگو، میکروفن، میله برای نگه داشتن میکروفن، پایه مثلثی شکل، میله به طول

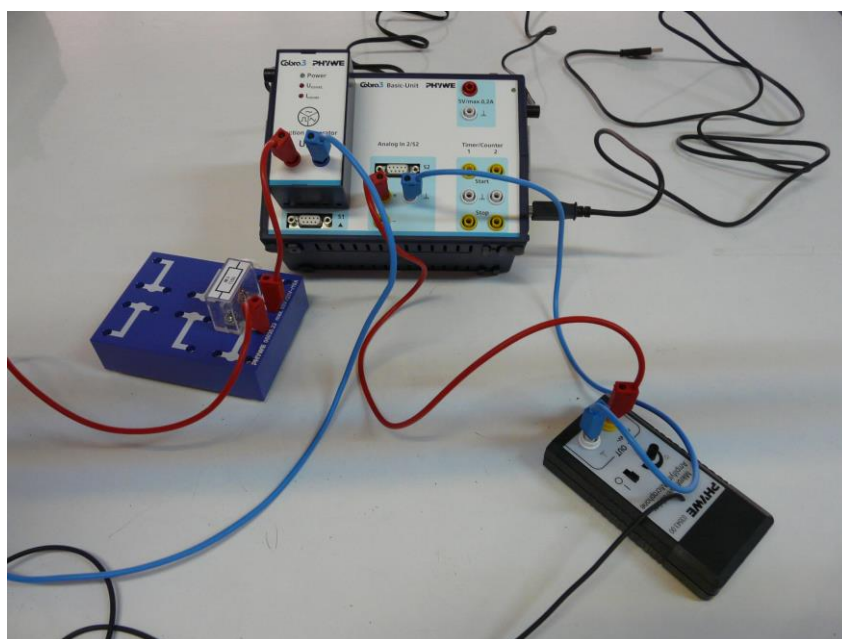
۳۶ سانتی متر ۲ (عدد)، گیره نود درجه ۵ (عدد)، مقاومت ۱۰  $\Omega$  ، جعبه اتصال، سیم رابط ۵)

### عدد. روش آزمایش

- مطابق شکل های ۳ و ۴ مدار آزمایش را ببندید. نوسان ساز (Function generator) متصل به دستگاه Cobra3 موج با بسامدهای مختلف تولید می کند که با وصل کردن آن به بلندگو امواج صوتی در لوله Quincke تولید می شود. میکروفن متصل به دستگاه Cobra3 شدت موج حاصل از تداخل امواج صوتی در لوله Quincke را به دستگاه Cobra3 منتقل می کند.
- کابل USB دستگاه Cobra3 را به کامپیوتر متصل کرده و برنامه Measure را اجرا کنید.
- از نوار بالا روی Gauge کلیک کرده و گزینه PowerGraph را انتخاب کنید. صفحه ای مانند شکل ۵ باز خواهد

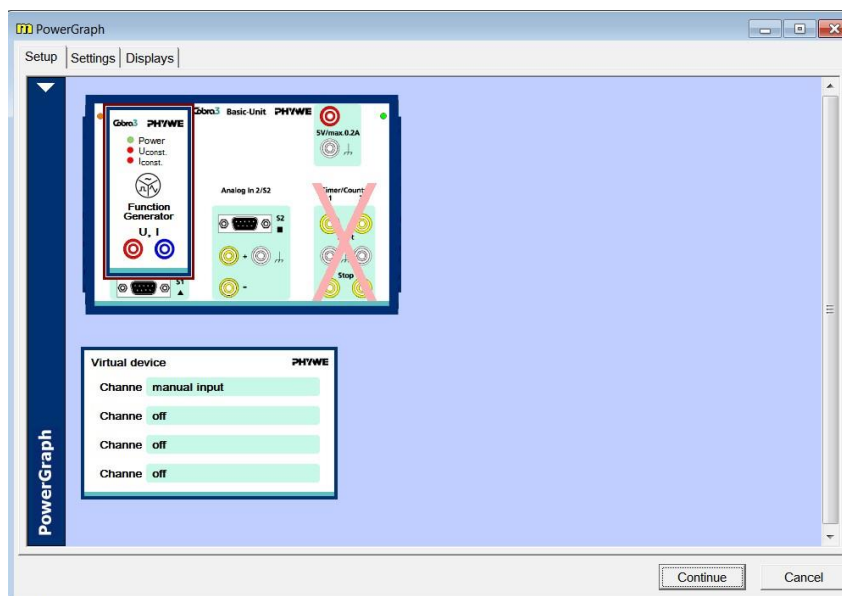


شکل ۳: آزمایش لوله Quincke

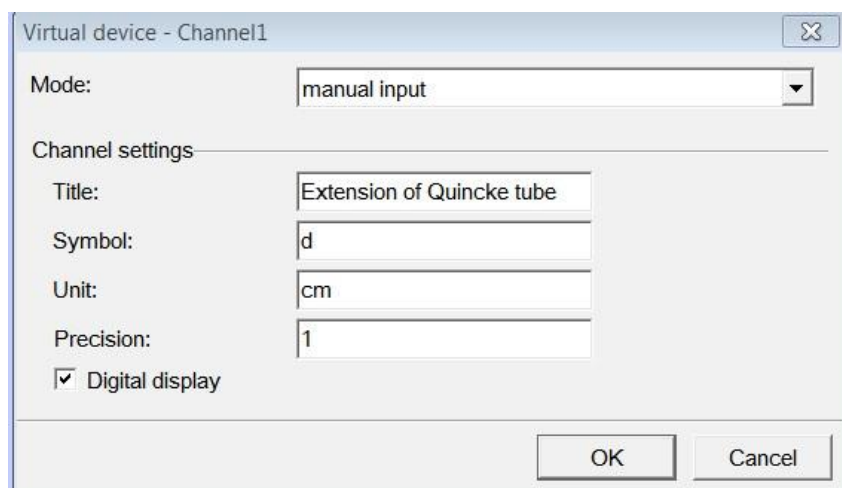


شکل ۴: نحوه اتصال سیم ها

شد (اگر پنجره virtual device باز نشده بود از نوار بالا در قسمت Setup روی مثلث سفید رنگ کلیک کرده و Add device را انتخاب کنید) با کلیک کردن روی Channel در پنجره virtual device صفحه ای باز می شود، پارامترهای این صفحه را درست مانند شکل ۶ تنظیم کنید.



: ایجاد صفحه ۵ شکل virtual-device



: صفحه ۶ شکل virtual-device

- در شکل ۵ روی Function Generator کلیک کنید. پنجره ای مانند شکل ۷ باز خواهد شد، در این پنجره نوع موج و بسامد آن را تعیین می کنیم. پارامترها را دقیقا مانند شکل ۷ تنظیم کنید.

۵

Cobra3 Basic-Unit - Module port

Module: Function generator (12111.01)

Module settings

Mode of operation: static

Signal settings

Signal type: Voltage

Signal form: Sine

Amplitude: 3000 mV

Frequency: 6000 Hz

DC-Offset: 0 mV

ChannelCurrent

Label: I

☐ Averaging

☐ Digital display

Channel amplitude

Label: U

☐ Digital display

Channel frequency

Label: frq

☒ Digital display

OK Cancel

: تنظیمات نوسان ساز شکل ۷ (Function genrator)



- در شکل ۵ روی Analog In 2/S2 کلیک کنید. پنجره ای مانند شکل ۸ باز خواهد شد، در این پنجره می توان تنظیمات لازم برای ثبت شدت موج به وسیله میکروفن را انجام داد. پارامترها را دقیقاً مانند شکل ۸ تنظیم کنید.

Cobra3 Basic-Unit - Analog In 2 / S2

Module / Sensor: Burst measurement

Channel settings

Label: U2

Mode: amplitude

Number of samples: 256

Sample rate: Controll channel

Control channel: Frequency frq

Range: 10V

Unit: V

☐ Averaging

☒ Digital display

OK Cancel

شکل ۸: تنظیمات برای ثبت شدت موج به وسیله میکروفن

- در شکل ۵ از نوار بالا روی Settings کلیک کنید. پنجره ای مانند شکل ۹ باز خواهد شد، پارامترها را دقیقاً مانند شکل ۹ تنظیم کنید.

PowerGraph

Setup Settings Displays

Channels to be recorded

☐ Current I

☐ Voltage U

☒ Frequency frq

☐ Voltage U1

☒ Voltage U2

☒ Extension of Quincke tube d

Start condition

Key press

Stop condition

Key press

Data recording

Key press

Additional settings

☒ Sort x-data

☐ Repeat measurement

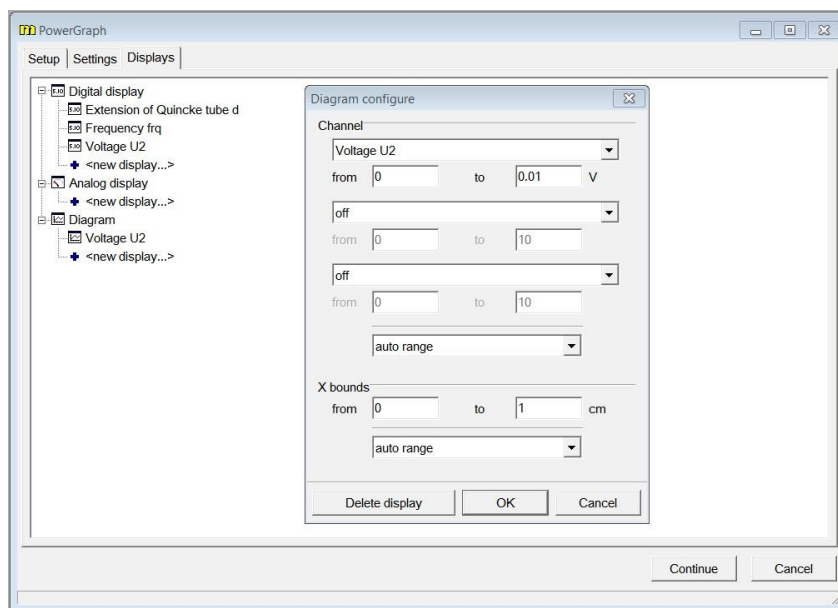
X-data set

Extension of Quincke tube d

Continue Cancel

شکل ۹: تنظیمات برنامه برای اندازه گیری

- در شکل ۵ از نوار بالا روی Displays کلیک کنید. پنجره ای مانند شکل ۱۰ باز خواهد شد، با انتخاب new display در قسمت Diagram صفحه جدیدی برای تنظیم پارامترهای نمودار باز خواهد شد، پارامترها را دقیقاً مانند شکل ۱۰ تنظیم کنید.



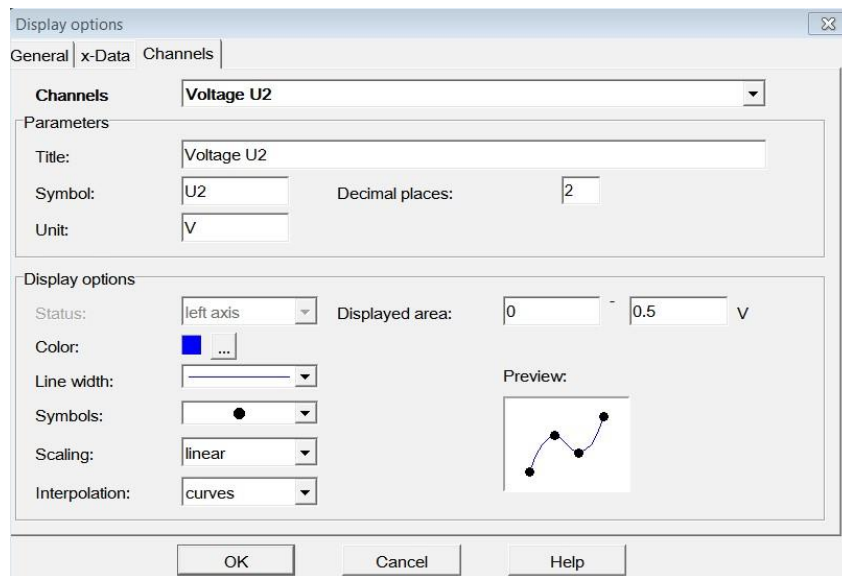
شکل ۱۰: تنظیمات پارامترهای نمودار

- میکروفن را روشن کنید و تقویت کننده آن را روی مقدار متوسط قرار دهید. پس از تنظیمات لازم برنامه و انتخابی‌ساز در شکل ۵ روی continue کلیک کنید.
- بازوی متحرک لوله Quincke را روی اولین درجه بندی حک شده قرار داده و در صفحه باز شده عدد صفر را وارد کنید و روی دکمه Save value کلیک کنید.
- $\Delta d$  را افزایش دهید و قسمت قبل را تکرار کنید. پس از مشاهده حداقل چهار مینیمم روی دکمه Stop

measurment کلیک کنید.

- برای نمودار رسم شده روی دکمه Display options کلیک کنید و با انتخاب Channels صفحه ای مانند شکل

۱۱ باز خواهد شد، در این صفحه می توان منحنی حاصل از درون یابی نقاط ثبت شده را رسم کرد. پارامترها را مانند شکل ۱۱ تنظیم کنید.



شکل ۱۱: تنظیمات پارامترهای نمودار

- برای منحنی رسم شده با استفاده از Survey فاصله بین چهار ماکزیمم یا مینیمم را به دست آورید. با تقسیم کردن عدد به دست آمده بر سه،  $\Delta d$  و در نتیجه  $\lambda$  به دست می آید. نتایج حاصل را در جدول ۱ یادداشت کنید.
- مطابق جدول ۱ بسامد موج را با استفاده از پنجره Function Generator تغییر دهید و طول موج را به دست آورید.

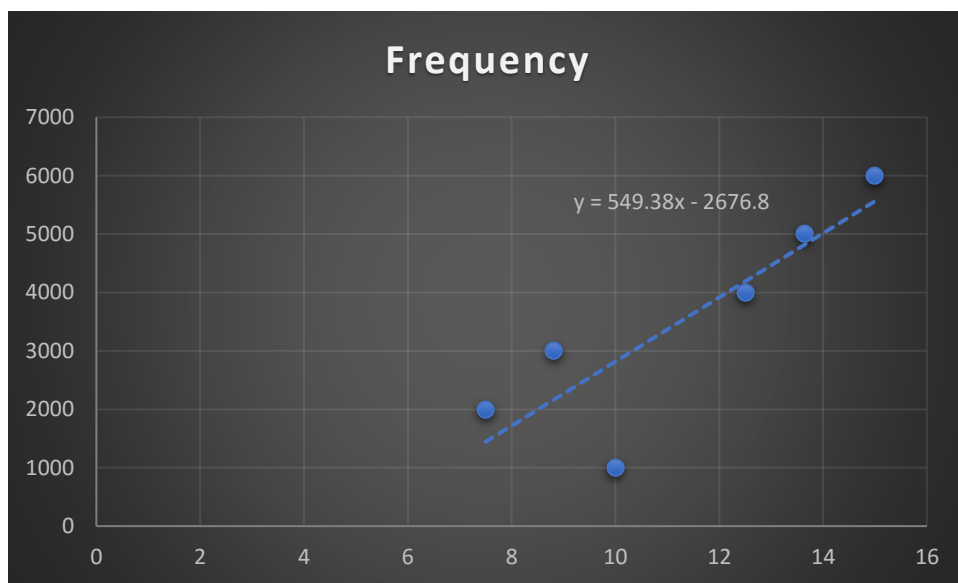
• با روش کمترین مربعات منحنی نمایش تغییرات بسامد بر حسب عکس طول موج را رسم کنید

• با استفاده از شیب خط سرعت صوت را تعیین کنید.

|                            |       |       |      |        |       |       |
|----------------------------|-------|-------|------|--------|-------|-------|
| $\nu(\text{Hz})$           | ۶۰۰۰  | ۵۰۰۰  | ۴۰۰۰ | ۳۰۰۰   | ۲۰۰۰  | ۱۰۰۰  |
| $\Delta d(\text{cm})$      | ۱۰    | ۱۱    | ۱۲   | ۱۷     | ۲۰    | ۱۵    |
| $\lambda(\text{m})$        | ۰,۰۶۶ | ۰,۰۷۳ | ۰,۰۸ | ۰,۱۱۳۳ | ۰,۱۳۳ | ۰,۱۰۰ |
| $1/\lambda(\text{m}^{-1})$ | ۱۵,۰  | ۱۳,۶۴ | ۱۲,۵ | ۸,۸۳   | ۷,۵   | ۱۰,۰  |

جدول ۱: تغییرات طول موج بر حسب بسامد

رسم منحنی تمام داده های ما به صورت زیر است.

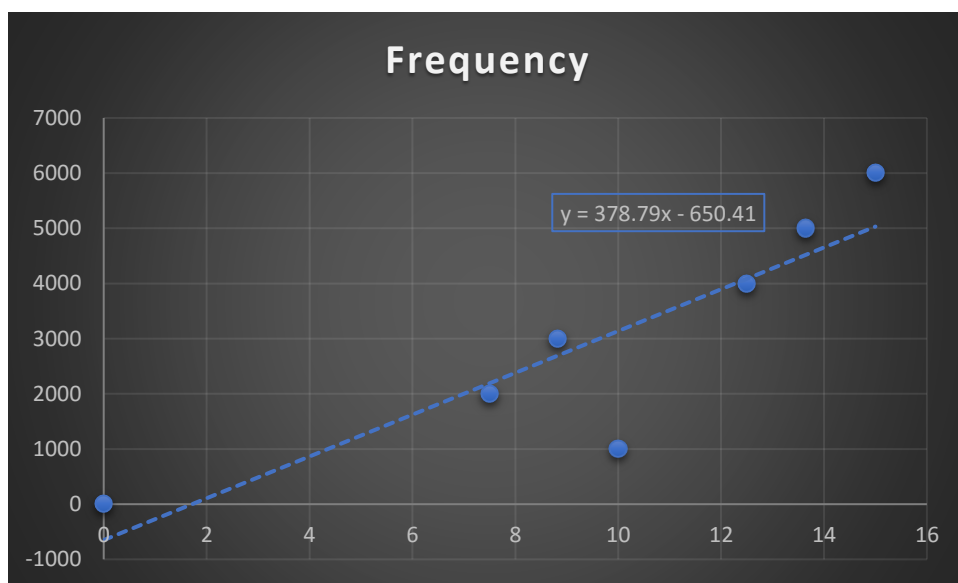


که مقدار سرعت صوت را برابر ۵۴۹,۳۸ متر بر ثانیه بدست میدهد و این خطا است.

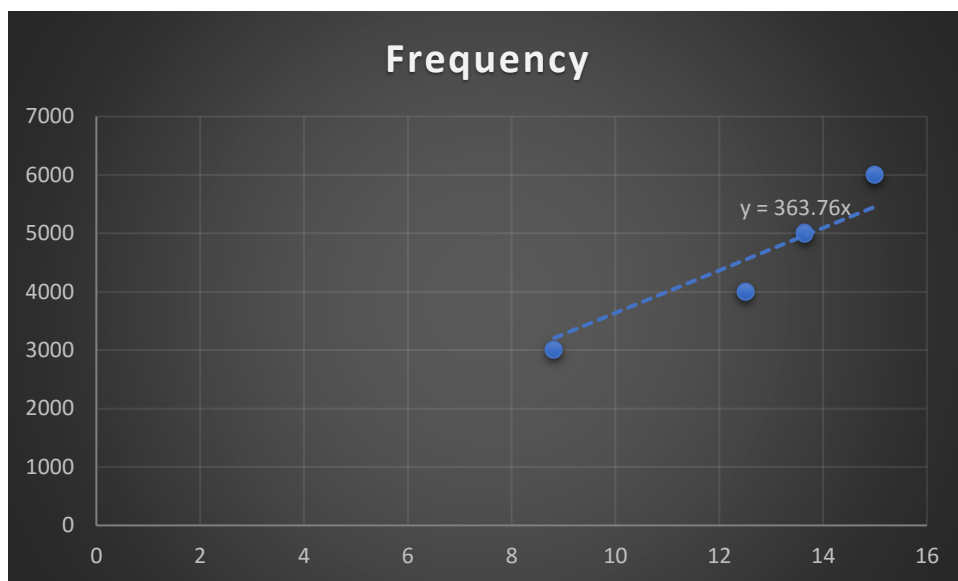
برای اصلاح نمودار از یک حقه میتوان استفاده کرد و این دانستن این نکته است که نمودار بایستی از مبدا عبور کند زیرا

$$v = \frac{V}{\lambda}$$

پس اگر داده صفر و صفر را به صورت دستی وارد کنیم، خواهیم داشت:



یعنی سرعت صوت در حالت جدید حدود ۳۸۰ متر بر ثانیه است و یک اصلاح اساسی صورت می گیرد. مطابق فرمایش شما نیز سعی کردیم داده ی مربوط به فرکانس ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ را در نظر نگیریم که نمودار حاصله به صورت



بالا است و سرعت را در حدود ۳۶۳ متر بر ثانیه به دست میدهد.