## تعيين سرعت صوت با استفاده از لولهٔ Quincke

لولهٔ Quincke (شکل ۱) وسیلهای است که با استفاده از آن میتوان 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: لولهٔ Quincke وسیلهای برای مشاهده تداخل امواج صوتی

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



شکل ۲: تصویر Georg Hermann Quincke برای اطلاعات بیشتر در مورد این فیزیکدان میتوانید به آدرس : http en.wikipedia.org/wiki/Georg\_Hermann\_Quincke/ مراجعه نمایید.

## مدل و نظریه

اگر معادلههای توصیف کننده 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  $\omega$  و اختلاف فاز  $\Delta arphi$  در یک راستا منتشر میشوند.

$$A_1(x,t) = A_1 e^{i(k_1 x - \omega t)} \tag{1}$$

$$A_{\mathbf{Y}}(x,t) = A_{\mathbf{Y}}e^{i(k_{\mathbf{Y}}x-\omega t-\Delta\varphi)} \tag{Y}$$

که 
$$k$$
 عدد موج در راستای  $x$  است:

$$|k_1| = |k_{\mathsf{T}}| = k = \frac{\mathsf{T}\pi}{\lambda} \tag{(T)}$$

اگر دو موج در خلاف جهت هم حرکت کنند،  $k_1 = -k_7 = k$  خواهد بود، در نتیجه:

$$A_{r} = (A_{\gamma}e^{ikx} + A_{\gamma}e^{-i(kx+\Delta\varphi)})e^{-i\omega t}$$

$$= (A_{\gamma}e^{i(kx+\frac{\Delta\varphi}{\gamma})} + A_{\gamma}e^{-i(kx+\frac{\Delta\varphi}{\gamma})})e^{-i(\omega t+\frac{\Delta\varphi}{\gamma})}$$

$$= [(A_{\gamma} - A_{\gamma})e^{i(kx+\frac{\Delta\varphi}{\gamma})} + A_{\gamma}(e^{i(kx+\frac{\Delta\varphi}{\gamma})} + e^{-i(kx+\frac{\Delta\varphi}{\gamma})})] \times e^{-i(\omega t+\frac{\Delta\varphi}{\gamma})}$$

$$= A_{r\gamma}e^{i(kx-\omega t)} + A_{r\gamma}\cos(kx+\frac{\Delta\varphi}{\gamma})e^{-i(\omega t+\frac{\Delta\varphi}{\gamma})}$$
(\*)

که دامنه موج تخت  $A_{r1} \cos(kx + \frac{\Delta \varphi}{r}) = r A_r \cos(kx + \frac{\Delta \varphi}{r}) = r A_r \cos(kx + \frac{\Delta \varphi}{r})$  است. بنابراین حاصل برهمنهی دو موج تخت با بسامد یکسان  $\omega$ ، اختلاف فاز  $\varphi \Delta$  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:  $A_1 = A_1$ , حاصل برهمنهی دو موج فقط موج ایستاده خواهد بود و دامنه موج تخت برابر صفر است.

در لولهٔ Quincke موج صوت به دو مؤلفه همدوس تقسیم میشود، این دو مؤلفه پس از حرکت در خلاف جهت همدیگر، با هم ترکیب شده و به آشکارساز میرسند. اگر مسیری که مؤلفههای موج طی میکنند یکسان باشد، دامنه آنها برابر خواهد بود، یعنی :  $A_1 = A_7$  و موج حاصل از برهمنهی آنها موج ایستاده است. با افزایش اختلاف مسیر دو مؤلفه،  $A_7$  کاهش مییابد، یعنی دامنه موج ایستاده کم شده و دامنه موج تخت افزایش مییابد. ازمعادله ۴ قسمت حقیقی موج برایند برابر است با:

$$P = (A_{1} - A_{\overline{Y}})\cos(kx - \omega t) + \underline{Y}A_{\overline{Y}}\cos(kx + \frac{\Delta\varphi}{\underline{Y}})\cos(\omega t + \frac{\Delta\varphi}{\underline{Y}})$$
( $\Delta$ )

در یک موج تخت دامنه موج برای همه نقاط 
$$x$$
 یکسان است ولی در موج ایستاده دامنه موج برای  $x$ های مختلف یکسان نیست.

اگر آشکارساز در •x = x قرار داده شود:

$$P = (A_{1} - A_{r})\cos(\omega t) + \mathbf{Y}A_{r}\cos(\frac{\Delta\varphi}{\mathbf{Y}})\cos(\omega t + \frac{\Delta\varphi}{\mathbf{Y}})$$
(8)

در حد  $A_1pprox A_1$ ، دامنه موج برایند تقریباً برابر است با:  $(rac{\Delta arphi}{2})$  و دامنه موج بازای

$$\frac{\Delta\varphi}{\mathbf{Y}} = (\mathbf{Y}n + \mathbf{1})\frac{\pi}{\mathbf{Y}} \qquad , \qquad n = \mathbf{0}, \pm \mathbf{1}, \pm \mathbf{Y}, \dots$$
(Y)

کمینه خواهد شد. اختلاف فاز برای دو کمینه متوالی برابر ۲ $\pi$  خواهد بود. بنابراین اگر اختلاف مسیر دو مؤلفه ۲ $\Delta d$ باشد:

$$k \times \mathbf{Y} \Delta d = \mathbf{Y} \pi \tag{A}$$

$$\mathbf{Y}\Delta d = \lambda \tag{9}$$

## وسايل آزمايش

دستگاه Cobra3 ، نوسانساز (Function genrator) برای اتصال به دستگاه Cobra3 ، لولهٔ Quincke ، بلندگو، میکروفن، میله برای نگهداشتن میکروفن، پایه مثلثی شکل، میله به طول ۶۳ سانتیمتر (۲ عدد)، گیره نود درجه (۵ عدد)، مقاومت ۱۰۵ ، جعبه اتصال، سیم رابط (۵ عدد).

## روش آزمایش

- مطابق شکلهای ۳ و ۴ مدار آزمایش راببندید. نوسانساز (Function genrator) متصل به دستگاه Cobra3 مطابق شکلهای ۳ و ۴ مدار آزمایش راببندید. نوسانساز (Function genrator) متصل به دستگاه Quincke تولید می شود.
   میکروفن متصل به دستگاه Cobra3 شدت موج حاصل از تداخل امواج صوتی در لولهٔ Quincke را به دستگاه میکرد.
  - كابل USB دستگاه Cobra3 را به كامپيوتر متصل كرده و برنامهٔ Measure را اجرا كنيد.
- از نوار بالا روی Gauge کلیک کرده و گزینهٔ PowerGraph را انتخاب کنید. صفحهای مانند شکل ۵ باز خواهد



شكل ٣: آزمايش لولهٔ Quincke



شكل ۴: نحوهٔ اتصال سيمها

شد (اگر پنجرهٔ 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 پنجرهٔ virtual device صفحهای باز میشود، پارامترهای این صفحه را درست مانند شکل ۶ تنظیم کنید.

111 PowerGraph	
Setup Settings Displays	
Virtual device       Prive         Channe off       Channe off	E
	Continue Cancel

شکل ۵: ایجاد صفحه virtual-device

Virtual device - Channel1	X
Mode:	manual input
Channel settings	
Title:	Extension of Quincke tube
Symbol:	d
Unit:	cm
Precision:	1
Digital display	
	OK Cancel
	OK Cancel

شکل ۶: صفحه virtual-device

 در شکل ۵ روی Function Generator 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.

Cobra3 Basic-Unit - Modul	e port	<b>×</b>
Module:	Function generator (1211	1.01) 💌
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	1	
Label:	<	1
Averaging		1
Digital display		
Channel amplitude		
Label:	U <	
Digital display		
Channel frequency		
Label:	frq <	]
Digital display		
	C	K Cancel

شکل ۷: تنظیمات نوسانساز (Function genrator)

در شکل ۵ روی Analog In 2/S2 کلیک کنید. پنجرهای مانند شکل ۸ باز خواهد شد، در این پنجره میتوان
 تنظیمات لازم برای ثبت شدت موج به وسیلهٔ میکروفن را انجام داد. پارامترها را دقیقا مانند شکل ۸ تنظیم کنید.

Cobra3 Basic-Unit - Analog	g In 2 / S2		X
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			
		ОК	Cancel

شکل ۸: تنظیمات برای ثبت شدت موج به وسیلهٔ میکروفن

 در شکل ۵ از نوار بالا روی Settings کلیک کنید. پنجرهای مانند شکل ۹ باز خواهد شد، پارامترها را دقیقا مانند شکل ۹ تنظیم کنید.

TTD PowerGraph		- • ×
Image: Setup Settings Displays         Channels to be recorded         Channels to be recorded         Users         Voltage U         Voltage U1         Voltage U2         Extension of Quincke tube d	Start condition Key press Stop condition Key press Stop condition Key press Additional settings Stop conductions Stop conditional settings Repeat measurement	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·
X-dala set		
	Continue	Cancel

شکل ۹: تنظیمات برنامه برای اندازهگیری

در شکل ۵ از نوار بالا روی Displays کلیک کنید. پنجرهای مانند شکل ۱۰ باز خواهد شد، با انتخاب new در شکل ۵ از نوار بالا روی Displays کلیک کنید. پنجرهای نمودار باز خواهد شد، پارامترها را دقیقا display
 مانند شکل ۱۰ تنظیم کنید.

Digital display	Diagram	configure			83	
Frequency frq	Channe	1				
IN Voltage U2	Volta	age U2			-	
Analog display>	from	0	to	0.01	V	
	off				•	
Voltage U2	from	0	to	10		
	off				•	
	from	0	to	10		
		auto range			•	
	X bound	ls				
	from	0	to	1	cm	
		auto range			•	
			1			-
	De	lete display		ОК	Cancel	

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 انتخاب بسامد در شکل ۵ روی continue کلیک کنید.
- بازوی متحرک لولهٔ Quincke را روی اولین درجهبندی حک شده قرار داده و در صفحه باز شده عدد صفر را وارد کنید وروی دکمه Save value کلیک کنید.
- Ad 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 صفحهای مانند شکل
   ۱۱ باز خواهد شد، در این صفحه میتوان منحنی حاصل از درونیابی نقاط ثبت شده را رسم کرد. پارامترها را
   مانند شکل ۱۱ تنظیم کنید.

Display options	1			×
General x-Data C	hannels			1
Channels	Voltage U2			•
Parameters				
Title:	Voltage U2			
Symbol:	U2	Decimal places:	2	
Unit:	V			
Display options				
Status:	left axis 💌	Displayed area:	0 0.5	v
Color:				
Line width:		]	Preview:	
Symbols:	• •	]	•	
Scaling:	linear -	]		
Interpolation:	curves	]		
	ОК	Cancel	Help	

شکل ۱۱: تنظیمات پارامترهای نمودار

- مطابق جدول ۱ بسامد موج را با استفاده از پنجرهٔ 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

$\nu(Hz)$	9000	۵۰۰۰	4000	۳000	<b>Y</b> 000	1000
$\Delta d(cm)$						
$\lambda(m)$						
$1/\lambda(m^{-1})$						

با استفاده از شیب خط سرعت صوت را تعیین کنید.

جدول ۱: تغییرات طول موج بر حسب بسامد