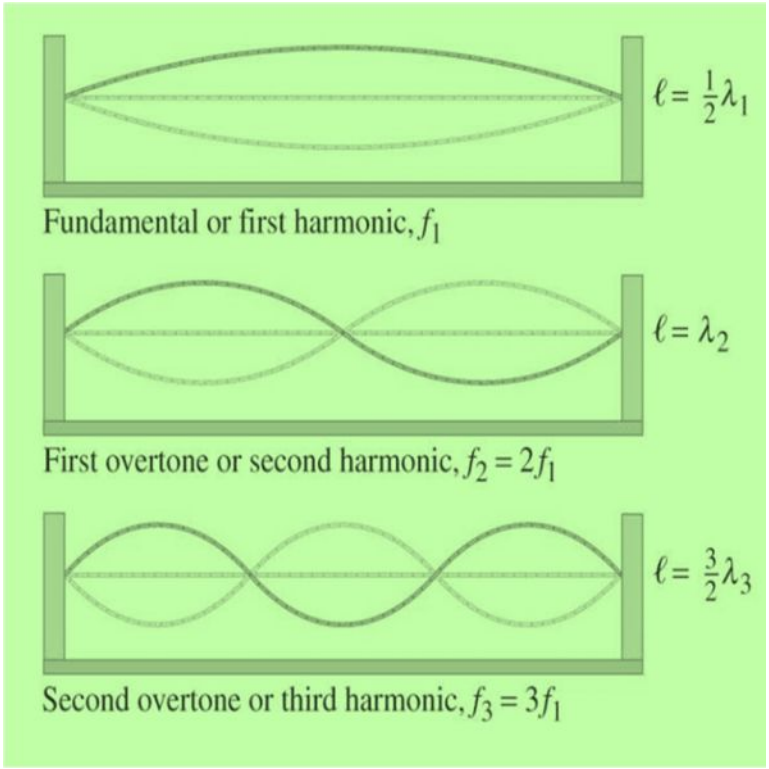
بسم الله الرحمن الرحیم

چشمه های صوت موسیقیایی (musical sound)

آلات موسیقی

- ❖ تار مرتعش و ایجاد موج عرضی
- ❖ لوله ها و ابزار بادی



یادآوری: تشکیل موج ایستاده عرضی در تار مرتعش

- اگر سیم در فرکانس تشدید مرتعش شود با بیشینه دامنه نوسان می کند
- در مدهای نوسانی؛ طول موج ایستاده متناسب با طول سیم است
- سیم در حال نوسان، با به ارتعاش درآوردن لایه های هوا در مجاورت آن موج صوتی ایجاد می نماید

$$\lambda = \frac{2l}{n}$$

چگونگی تشکیل امواج ایستاده طولی

در لوله های صوتی، امواج ایستاده بگونه ای تشکیل می شود که در آن شرایط، لایه های هوا با دامنه بزرگی به نوسان در می آیند

امواج صوتی منتشر شده در لوله های صوتی، در مرزها موج منعکس می شود.

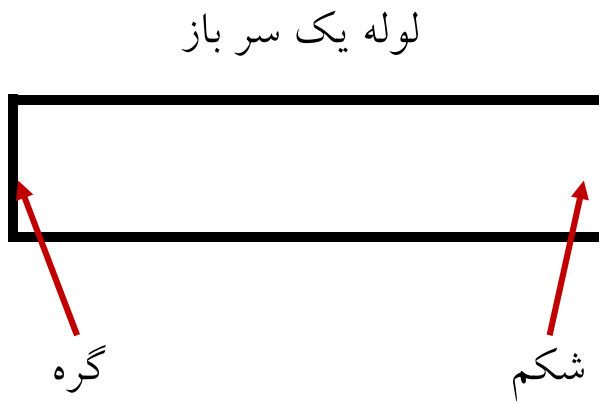
برای لوله های صوتی دو نوع مرز وجود دارد

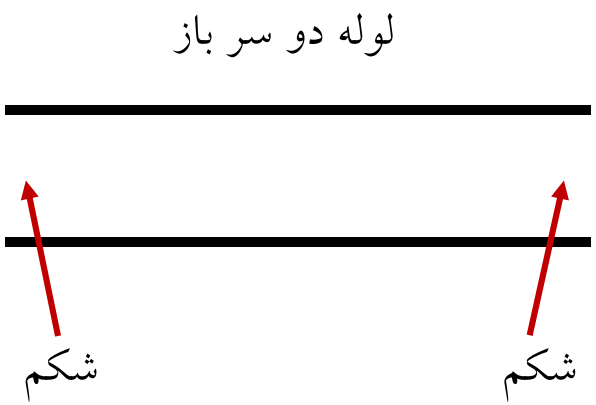
- ✓ مرز نرم در انتهای باز لوله
- ✓ مرز سخت در انتهای بسته لوله

انواع لوله های صوتی:

با توجه به تفاوت مرزها، دو نوع لوله صوتی وجود دارد

- لوله دو سر باز
- لوله یک سر باز



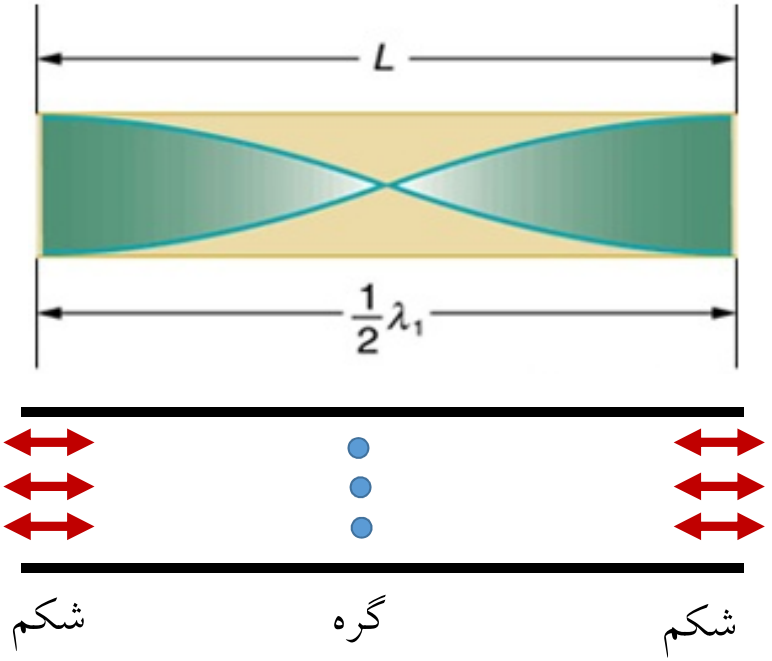


* با برخورد موج صوتی به هر دو مرز، موج منعکس می شود
* در محل مرز سخت؛ برهم نهی امواج فرودی و انعکاسی منجر به تشکیل یک گره با دامنه صفر می شود
* در محل مرز نرم؛ برهم نهی امواج فرودی و انعکاسی منجر به تشکیل یک شکم با دامنه بیشینه می شود
* در طول لوله های صوتی، برهم نهی تعداد زیادی امواج سبب تشکیل موج ایستاده می شود
* طول موج ایستاده متناسب با طول لوله موسیقیایی است
* فرکانس مدهای تشدید با طول لوله تناسب دارد
* در فرکانس های تشدید، لایه های هوا با دامنه حداکثری و تقویت شده نوسان می کنند
* لایه های هوا در بیرون از لوله و در مجاورت آن، با فرکانسی برابر با فرکانس تشدیدی لوله نوسان کرده و صوت با دامنه زیاد را منتشر می نمایند

Film 1 & 2

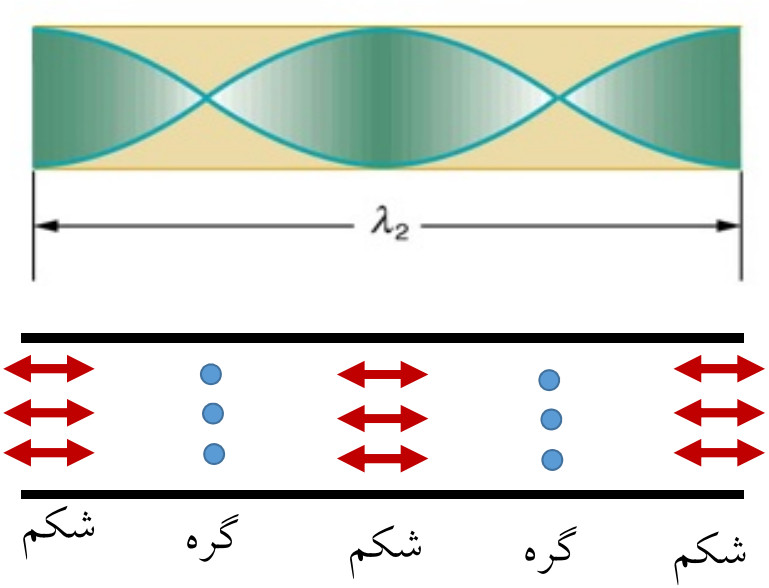
لوله دو سر باز

هارمونیک اول (مد نوسانی اصلی)



$$L = \frac{1}{2}\lambda_1 \quad \rightarrow \quad \lambda_1 = 2L$$

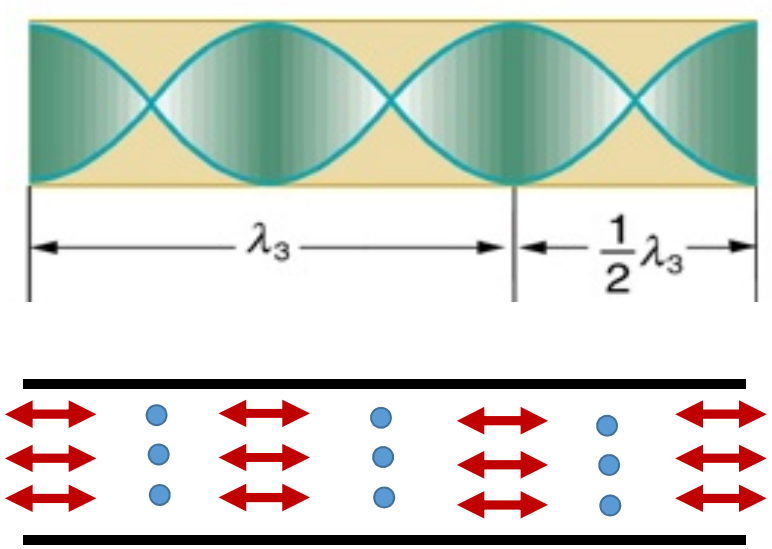
هارمونیک دوم



$$L = \frac{2}{2}\lambda_2 \quad \rightarrow \quad \lambda_2 = L$$

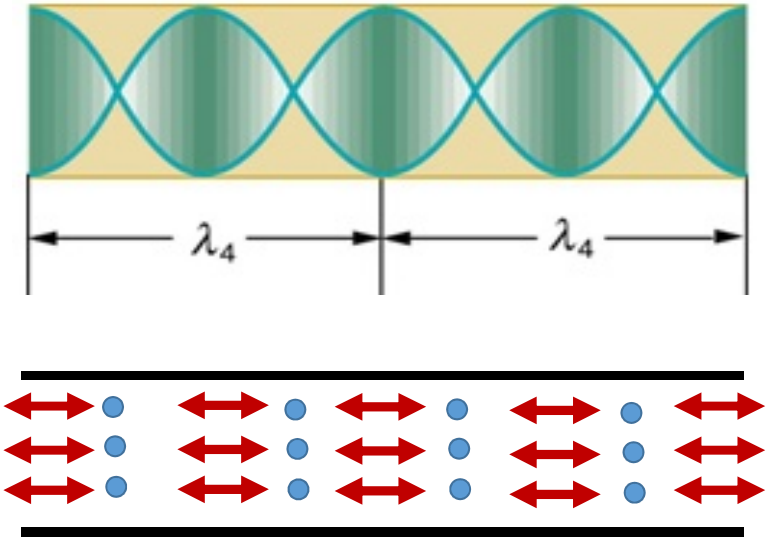
لوله دو سر باز

هارمونیک سوم



$$L = \frac{3}{2}\lambda_3 \quad \rightarrow \quad \lambda_3 = \frac{2}{3}L$$

هارمونیک چهارم



$$L = \frac{4}{2}\lambda_4 \quad \rightarrow \quad \lambda_4 = \frac{1}{2}L$$

فرمول فرکانس تشدید در لوله دو سرباز

در دو انتهای لوله دو شکم وجود دارد که در آنها دامنه تغییر فشار کمینه مقدار است

فاصله میان گره و شکم متوالی برابر با $\frac{\lambda}{2}$ است

لوله مضرب صحیحی از $\frac{\lambda}{2}$ است

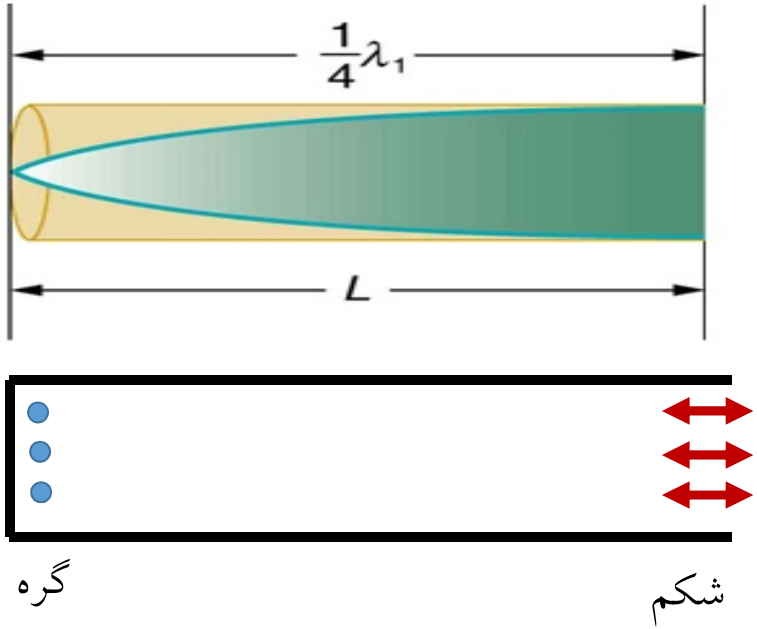
$$L = n\frac{\lambda}{2} \quad \rightarrow \quad \lambda = \frac{2L}{n} \qquad n = 1, 2, 3, \ldots$$

فرکانس تشدید مد n ام $\qquad f = \frac{v}{\lambda} \quad \rightarrow \quad f = \frac{nv}{2L} \qquad n = 1, 2, 3, \ldots$

عدد هارمونیک: اعداد صحیح مثبت

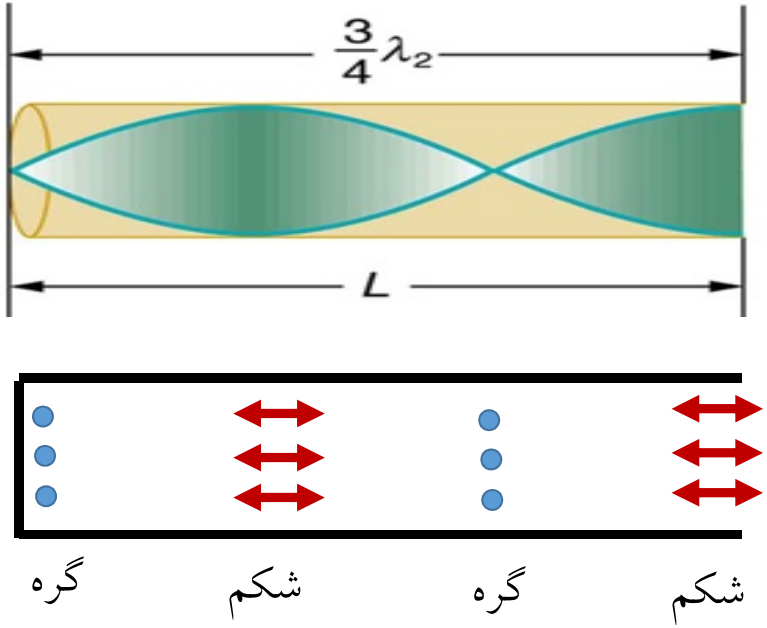
لوله یک سر باز

هارمونیک اول (مد نوسانی اصلی)



$$L = \frac{1}{4}\lambda_1 \quad \rightarrow \quad \lambda_1 = 4L$$

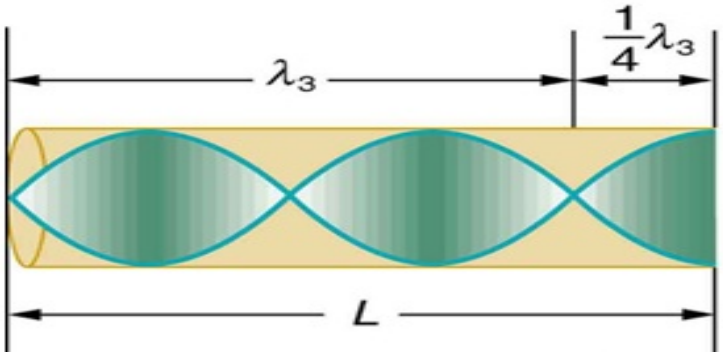
هارمونیک دوم

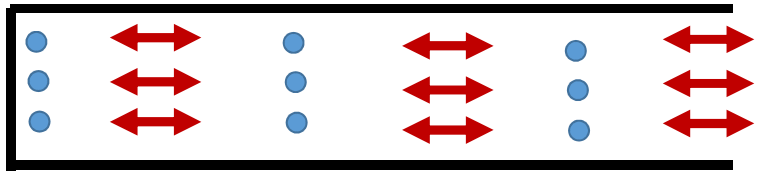


$$L = \frac{3}{4}\lambda_2 \quad \rightarrow \quad \lambda_2 = \frac{4}{3}L$$

لوله یک سر باز

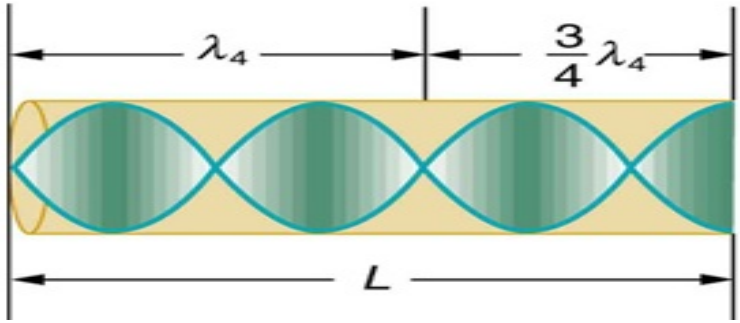
هارمونیک سوم

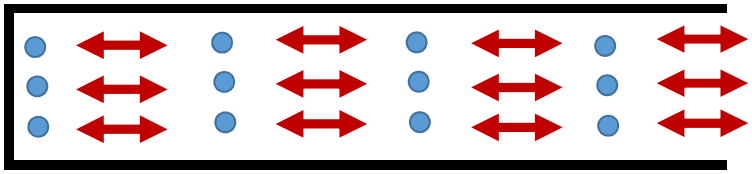




$$L = \frac{5}{4}\lambda_3 \quad \rightarrow \quad \lambda_3 = \frac{4}{5}L$$

هارمونیک چهارم





$$L = \frac{7}{4}\lambda_4 \quad \rightarrow \quad \lambda_4 = \frac{4}{7}L$$

فرمول فرکانس تشدید در لوله یک سرباز

فاصله میان گره و شکم متوالی برابر با $\frac{\lambda}{2}$ است

در انتهای بسته لوله گره تشکیل می شود

نقاط گره بیشینه دامنه تغییرات فشار را دارند

و در انتها باز لوله شکم

فرکانس اصلی در $L = \frac{\lambda}{4}$ رخ می دهد

طول لوله مضرب فردی از $\frac{\lambda}{4}$ است

$$L = n\frac{\lambda}{4} \quad \rightarrow \quad \lambda = \frac{4L}{n} \qquad n = 1, 3, 5, \ldots$$

$$f = \frac{v}{\lambda} \quad \rightarrow \quad f = \frac{nv}{4L} \qquad n = 1, 3, 5, \ldots$$

فرکانس تشدید مد n ام

عدد هارمونیک: اعداد صحیح مثبت **فرد**

- Longitudinal Open at both ends
  - $f_n = n\, v/2L \quad (n = 1, 2, 3, 4\ldots)$

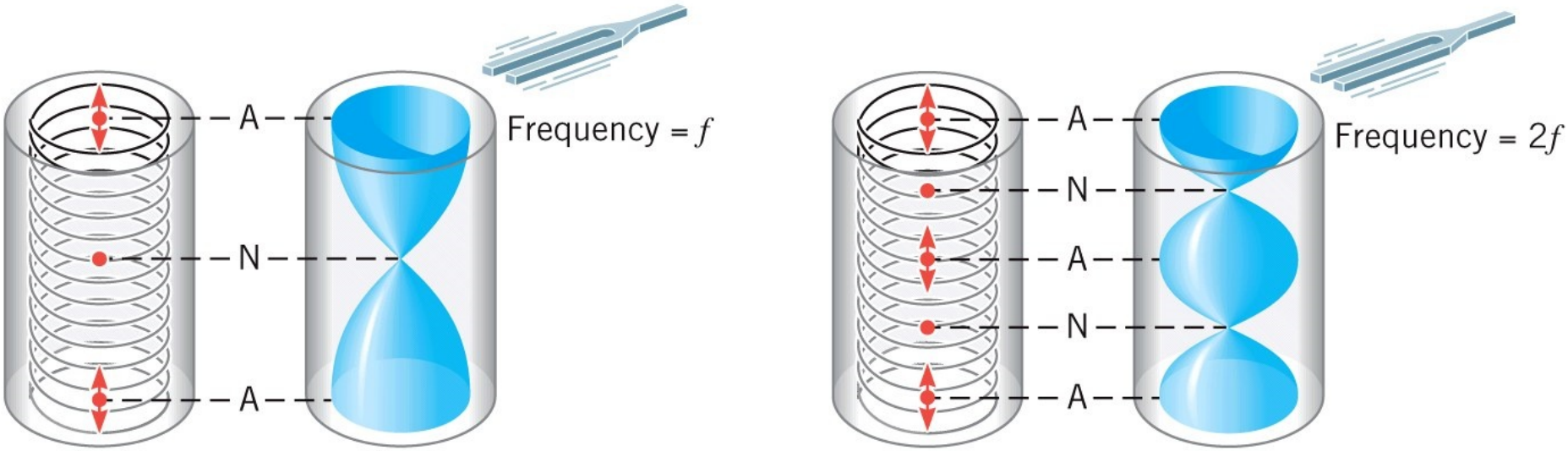


Figure 17.20

© John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

- Longitudinal Open at One end
  - $f_n = n\, v/4L \quad (n = 1, 3, 5, 7\ldots)$

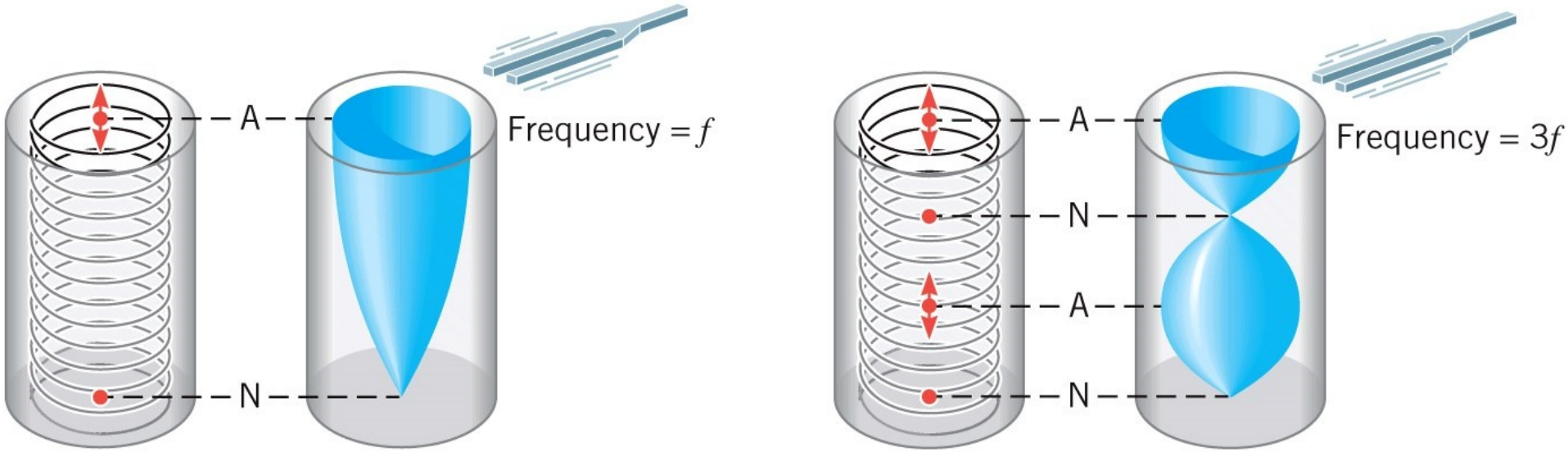


Figure 17.22
© John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

کوییز:

طول لوله فلوت 0.6 m است. اگر دمای هوا 20°C باشد کمترین فرکانسی که با فلوت می توان نواخت چند است

نکات :

- فرکانس تشدید در هر دو نوع لوله، با طول آلات موسیقیایی به صورت $\frac{1}{L}$ رابطه دارد
- با کاهش طول لوله فرکانس موج صوتی ایستاده در لوله بزرگتر خواهد شد
- در لوله های دو سرباز؛ موج ایستاده با فرکانس های هم زوج و هم فرد تشکیل می شود
- در لوله های یک سرباز؛ موج ایستاده با فرکانس های فقط فرد تشکیل می شود

در یک کنسرت معمولا مدهای نوسانی با فرکانسهای مختلف به صورت همزمان منتشر می شود و آنچه به گوش شنونده می رسد حاصل برهم نهی آنها است

Film 3 & 4

کوانتش (Quantization)

هنگامی که امواج در سیستم هایی با شرایط مرزی ترکیب می شوند فقط فرکانس های خاصی از امواج در سیستم مجاز خواهند بود

فرکانسهایی که کوانتیده هستند

کوانتیده بودن کمیت ها قلب مکانیک کوانتومی می باشد

در علم کوانتوم مکانیک برای شرح بسیاری از پدیده های کوانتومی از آنالیز موج تحت شرایط مرزی استفاده می شود

همچنین از کوانتومی بودن می توان برای فهم رفتار ابزارآلات موسیقیایی مبتنی بر تار مرتعش یا لوله هوا استفاده نمود

تاثیر دما بر صوت ایجاد شده توسط ابزار موسیقی

با افزایش دما در لوله های هوا:

سرعت صوت افزایش می یابد

فرکانس افزایش می یابد

صوت ایجاد شده شارپ می گردد

با افزایش دما در تارهای مرتعش

تار ناشی از افزایش دما کشیده می شود

تنش داخل تار کاهش خواهد داشت

سرعت انتشار صوت در سیم کاهش می یابد

فرکانس کاهش می یابد

صوت ایجاد شده flat خواهد بود

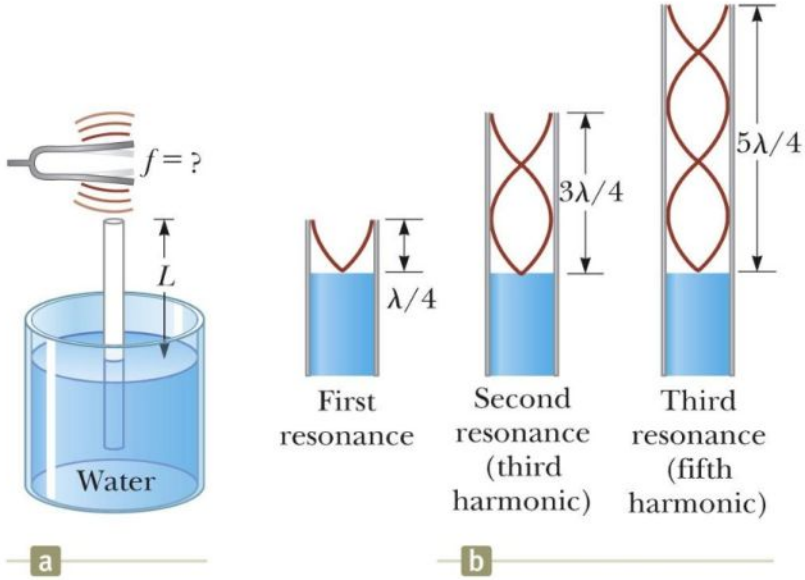
Resonance in Air Columns, Example

A tuning fork is placed near the top of the tube.

When *L* corresponds to a resonance frequency of the pipe, the sound is louder.

The water acts as a closed end of a tube.

The wavelengths can be calculated from the lengths where resonance occurs.

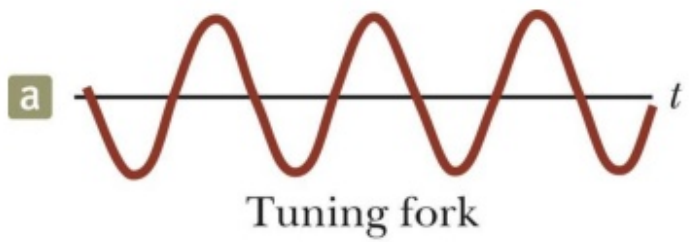


Film 5

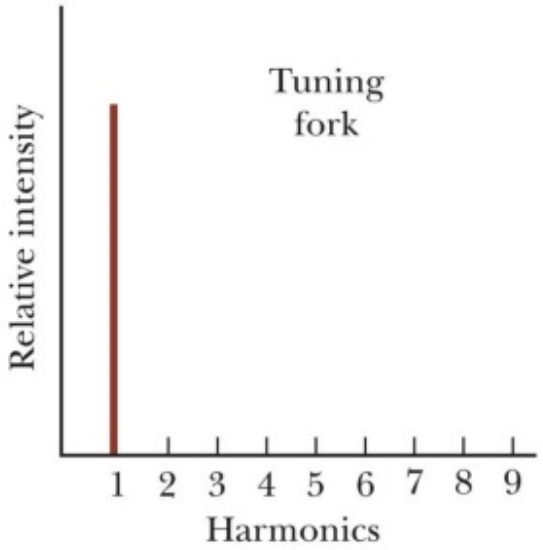
مدهای تشدید در بعضی از ابزار موسیقی (Fork)

Quality of Sound – Tuning Fork

A tuning fork produces only the fundamental frequency.



Film 6



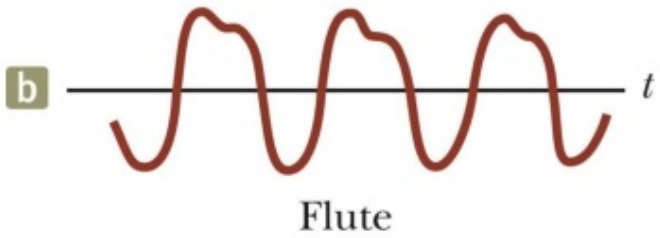
مدهای تشدید در بعضی از ابزار موسیقی (Flute)

Quality of Sound – Flute

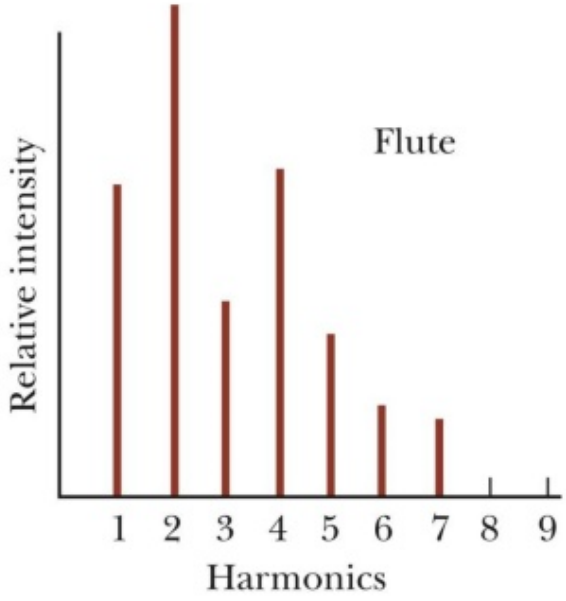
The same note played on a flute sounds differently.

The second harmonic is very strong.

The fourth harmonic is close in strength to the first.



Flute

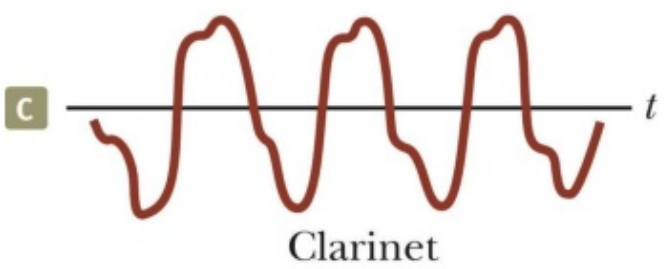


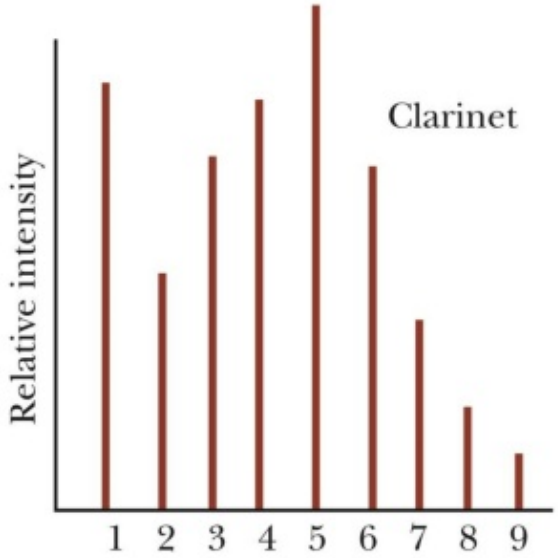
مدهای تشدید در بعضی از ابزار موسیقی (Clarinet)

Quality of Sound – Clarinet

The fifth harmonic is very strong.

The first and fourth harmonics are very similar, with the third being close to them.





اثر داپلر

در اثر حرکت نسبی چشمه و آشکارساز، فرکانس صوت رسیده به آشکارساز متفاوت از فرکانس صوت در محل چشمه خواهد بود

چشمه Source ← S

آشکارساز Detector ← D

فرکانس صوت در محل چشمه ← f

فرکانس صوت از دید آشکارساز ← f′

با دور شدن چشمه و آشکارساز نسبت به هم، فرکانس رسیده به آشکارساز کوچکتر خواهد بود

$f' < f$

با نزدیک شدن چشمه و آشکارساز نسبت به هم، فرکانس رسیده به آشکارساز بزرگترخواهد بود

$f' > f$

قاعده علامت سرعتها:

سرعت آشکارساز (v_D)

- ✓ D به S نزدیک شود $+v_D$
- ✓ D از S دور شود $-v_D$
- ✓ D ساکن $v_D = 0$

سرعت چشمه (v_S)

- ➢ S به D نزدیک شود $-v_s$
- ➢ S از D دور شود $+v_s$
- ➢ S ساکن $v_s = 0$

$$f' = f\frac{v \pm v_D}{v \pm v_S}$$

?

حالت اول) D متحرک نسبت به هوا و S ساکن

حالت دوم S متحرک نسبت به هوا و D ساکن

Film 7 & 8

اثبات رابطه اثر داپلر

حالت اول)

الف) D و S هر دو ساکن

انتشار موج = حرکت جبهه موج

امواج چشمه:

امواج تخت

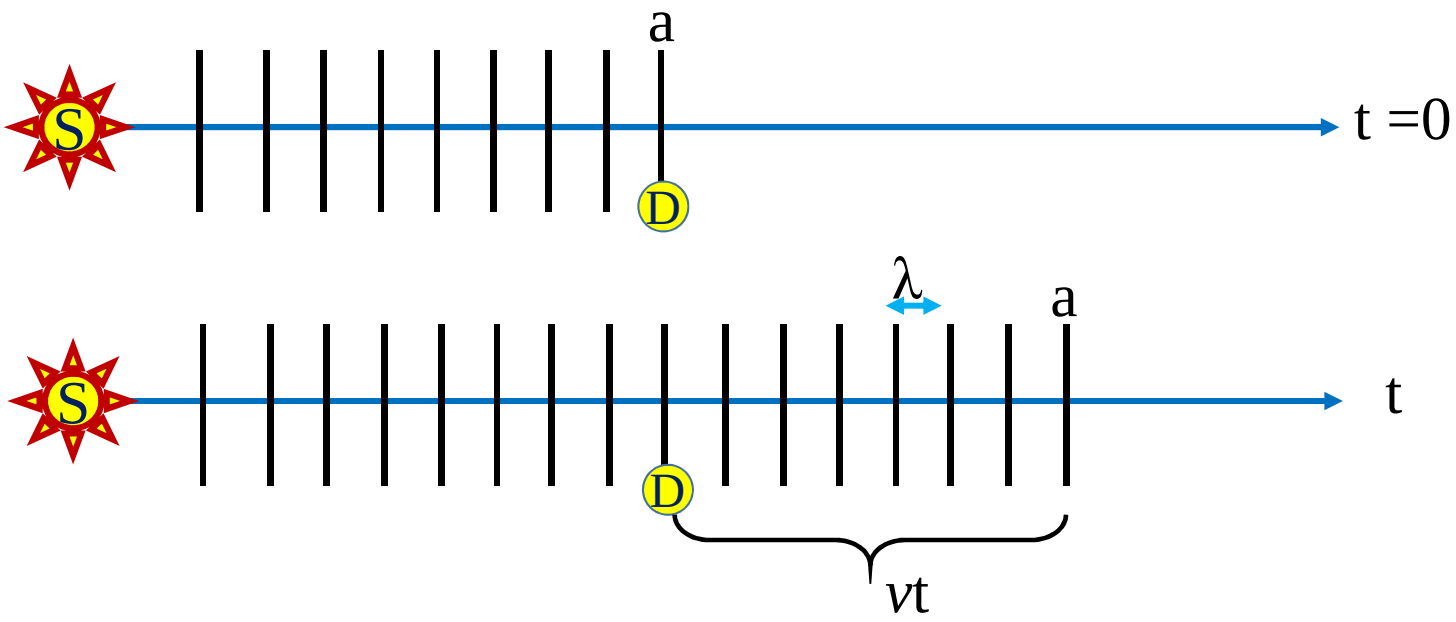
با طول موج λ

با فرکانس f

با سرعت v

هر جبهه موج در مدت t به اندازه vt پیش می رود

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



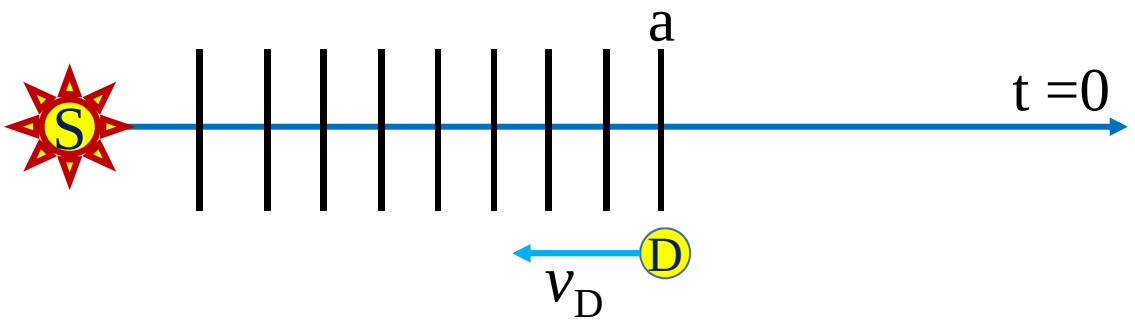
تعداد جبهه های موج گذشته از روی D $= \dfrac{vt}{\lambda}$

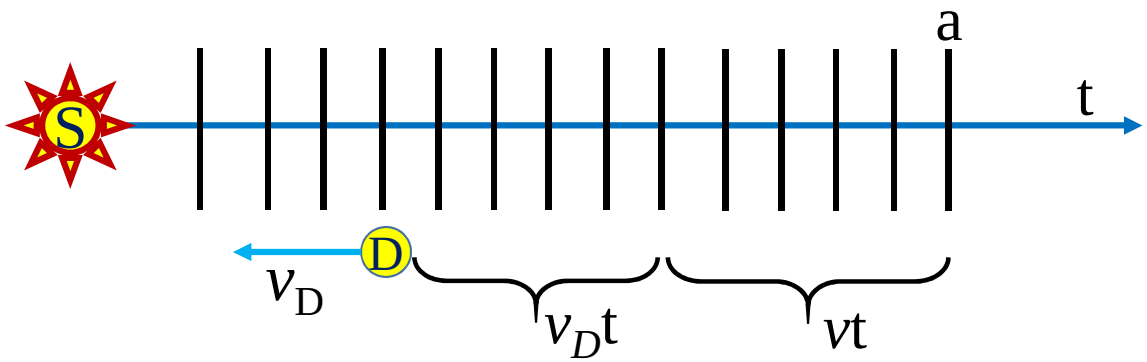
فرکانس = نرخ عبور جبهه های موج با فاصله λ از روی آشکارساز $= \dfrac{\text{تعداد جبهه های عبوری}}{\text{مدت زمان عبور}}$

$$f' = \frac{\frac{vt}{\lambda}}{t} = \frac{v}{\lambda} = f$$

حالت اول)

ب) D به S نزدیک شود



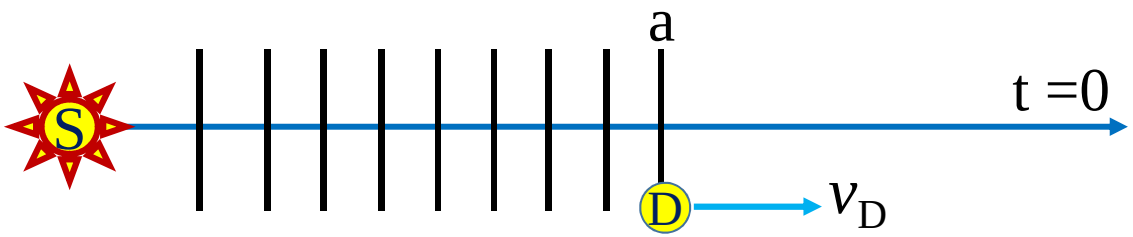


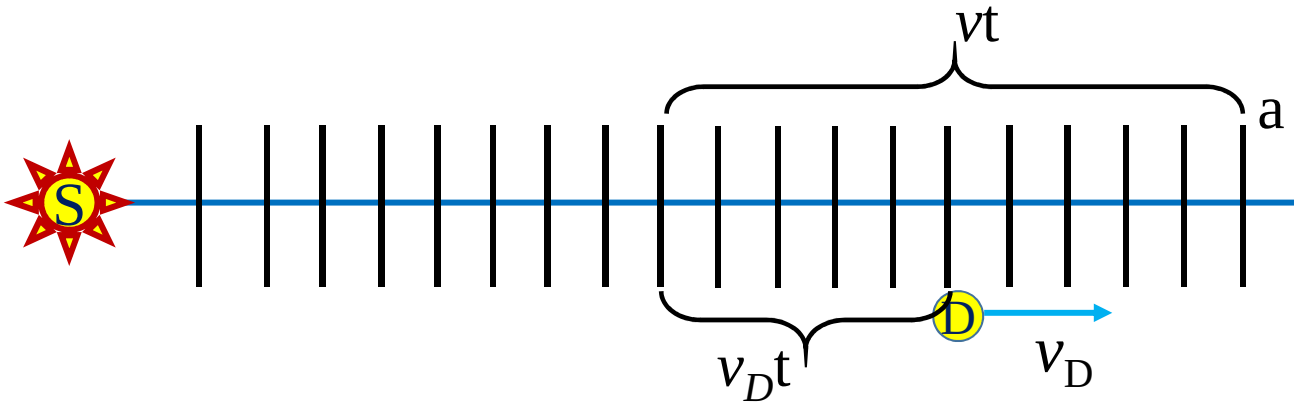
$$\frac{(v+v_D)t}{\lambda}$$

$$f' = \frac{\frac{(v+v_D)t}{\lambda}}{t} = \frac{v+v_D}{\lambda} = \frac{v+v_D}{\frac{v}{f}} \quad \rightarrow \quad f' = f\frac{v+v_D}{v}$$

حالت اول)

ج) D از S دور شود





$$\frac{(v-v_D)t}{\lambda}$$

$$f' = \frac{\frac{(v-v_D)t}{\lambda}}{t} = \frac{v-v_D}{\lambda} = \frac{v-v_D}{\frac{v}{f}} \quad \rightarrow \quad f' = f\,\frac{v-v_D}{v}$$

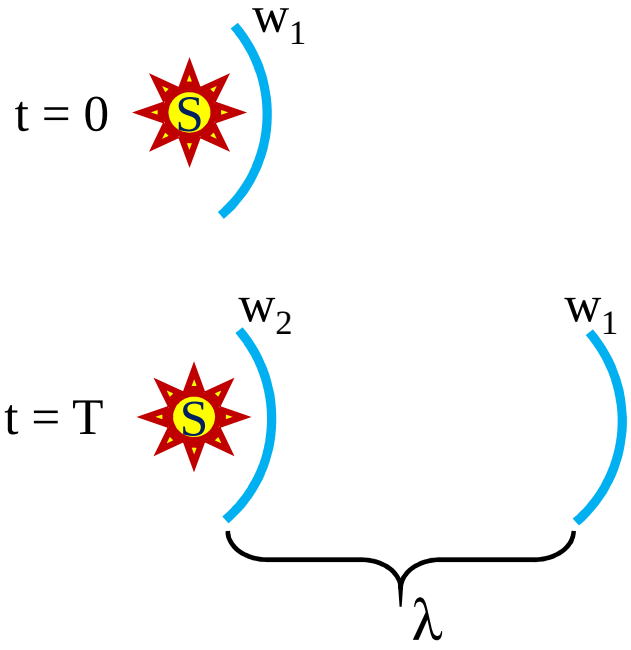
حالت دوم)

الف) D و S هر دو ساکن

در این رهیافت دو جبهه موج متوالی ارسال شده از چشمه بررسی می شود

چشمه چه ساکن چه متحرک، در هر دوره تناوب یک جبهه موج ارسال می نماید

در $t = 0$ جبهه w_1 و بعد از $t = T$ جبهه w_2 را خواهد فرستاد

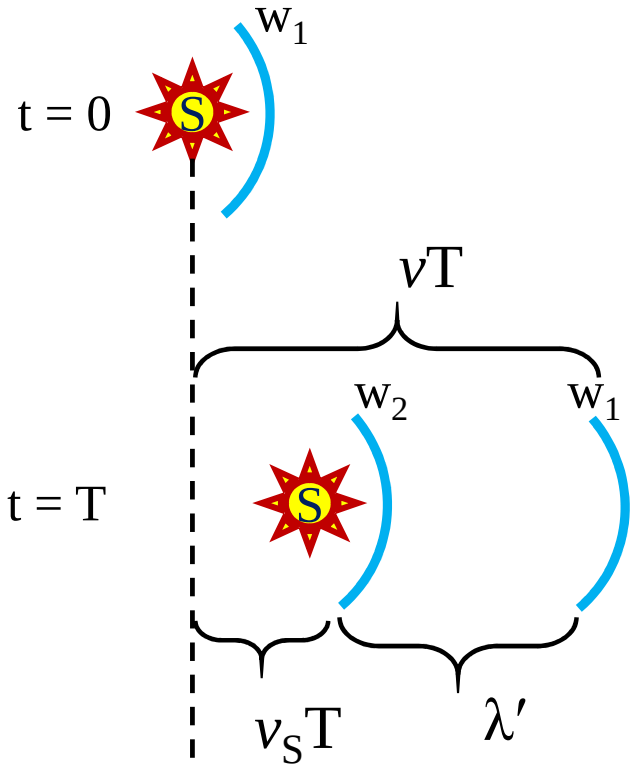


فاصله دو جبهه موج بعد از T $\leftarrow \lambda = vT$

آشکارساز ساکن هم همین طول موج را مشاهده می کند

حالت دوم)

ب) D ساکن و S به D نزدیک می شود



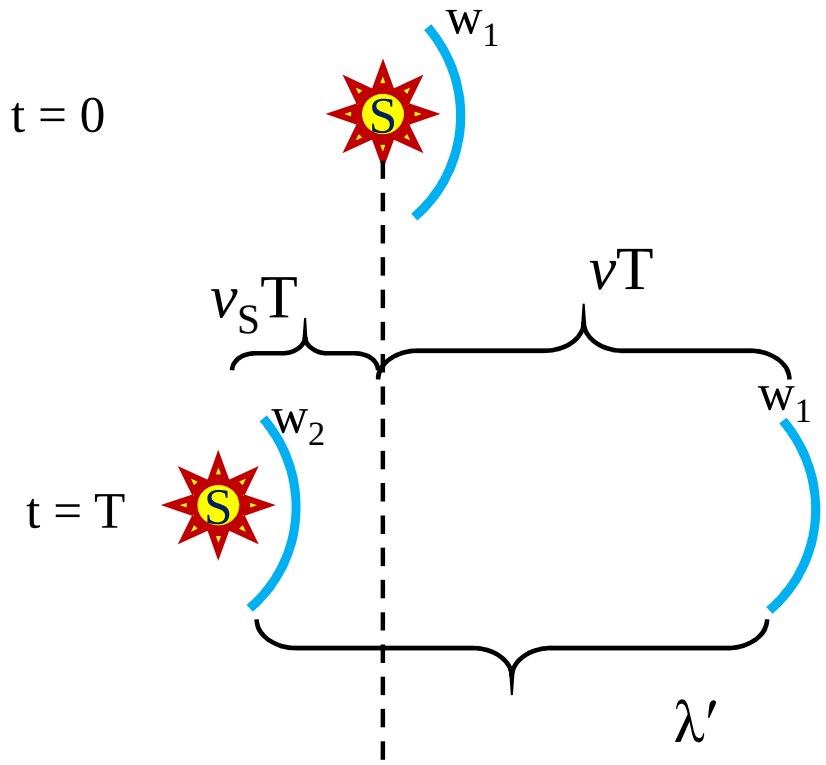
طول موجی که آشکارساز می بیند $\lambda' = (v - v_S)T$

$$f' = \frac{v}{\lambda'} = \frac{v}{(v - v_S)T} \quad , \quad T = \frac{1}{f}$$

$$f' = f\,\frac{v}{v - v_S}$$

حالت دوم)

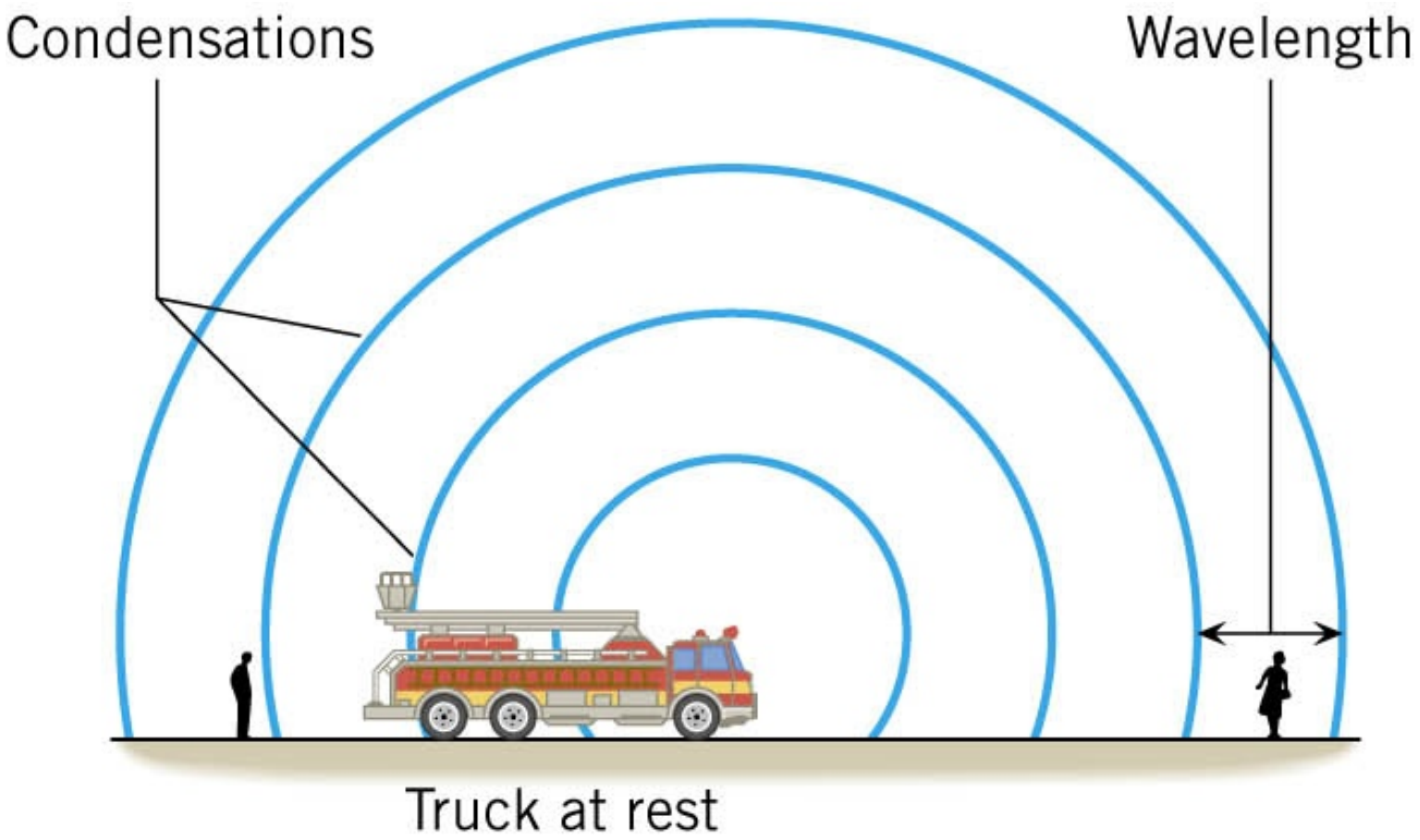
ج) D ساکن و S از D دور می شود

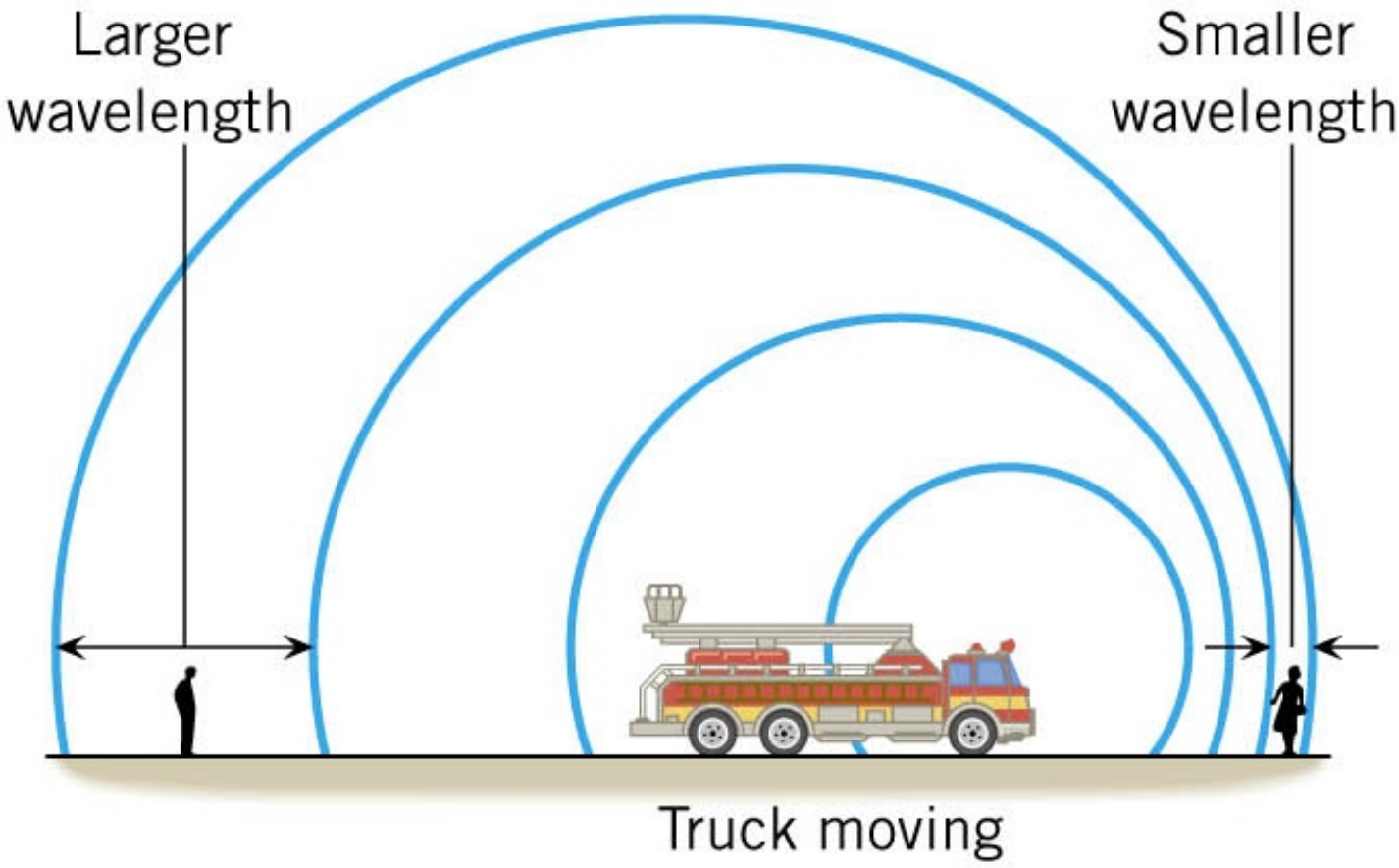


طول موجی که آشکارساز می بیند $\lambda' = (v + v_S)T$

$$f' = \frac{v}{\lambda'} = \frac{v}{(v + v_S)T} \quad , \quad T = \frac{1}{f}$$

$$f' = f\,\frac{v}{v + v_S}$$


Condensations
Wavelength
Truck at rest


Larger
wavelength
Smaller
wavelength
Truck moving

Quiz

A duck is flying overhead while you stand still. As it moves away, you hear its quack at 190 Hz. Because you are a brilliant naturalist, you know that this type of duck quacks at 200 Hz. How fast is the duck flying?

NEXRAD

- NEXt generation weather RADar
- Sends out radio waves
- Wave bounce off water drops in storms
- Radar receives echoes
- Computer checks to compare the frequencies
- Can compute to see how fast the clouds are spinning

Sub A (source) travels at 8.00 m/s emitting at a frequency of 1400 Hz.

The speed of sound in the water is 1533 m/s.

Sub B (observer) travels at 9.00 m/s.

What is the apparent frequency heard by the observer as the subs approach each other? Then as they recede from each other?

Approaching each other:

$$? = \left(\frac{v + v_o}{v - v_s}\right) ? = \left(\frac{1533\ \text{m/s} + (+9.00\ \text{m/s})}{1533\ \text{m/s} - (+8.00\ \text{m/s})}\right) 1400\,Hz)$$

$$= 1416\,Hz$$

Receding from each other:

$$? = \left(\frac{v + v_o}{v - v_s}\right) ? = \left(\frac{1533\ \text{m/s} + (-9.00\ \text{m/s})}{1533\ \text{m/s} - (-8.00\ \text{m/s})}\right) 1400\,Hz)$$

$$= 1385\,Hz$$

Ultrasound

Used in obstetrics to examine a fetus, used to examine some organs, and blood flow

High frequency sound aimed at target

Sound reflects at boundary of tissues with different acoustic impedances

Computer compiles picture from where echoes come from

Cavitron Ultra Surgical Aspirator

- Used to remove inoperable brain tumors
- Tip of instrument vibrates at 23 kHz
- Shatters tumor tissue that comes in contact
- Better precision than a knife

High-Intensity Focused Ultrasound

Sound is focused on a region of the body.

The waves entering the body don’t do damage

Only damage done where focused (like sun and magnifying glass)

The focused energy at target causes heating which kills abnormal cells

Doppler Flow Meter

Transmitter and receiver placed on skin

High frequency sound emitted

Sound reflects off of blood cells

Since cells are moving, Doppler effect exists

Computer can find rate of flow by counting the returned frequency

Used to find areas of narrowed blood vessels

Narrowest area → fastest flow