

## ظاهرة دوبلر

وهي من الظواهر المألوفة إذا وجدت سرعة نسبية بين مصدر الصوت والسامع تغيرت درجة الصوت التي تستقبلها أذن السامع وتسمى هذه الظاهرة بظاهرة دوبلر (هو التغير في التردد أو بالطول الموجي نتيجة لحركة المصدر مقتربا أو مبتعدا عن المستمع).

إن تأثير دوبلر في الصوت يحدث عندما يكون هناك حركة نسبية بين كل من :

1- مصدر الموجة الصوتية

2- الوسط الناقل للموجة

3- المستقبل الذي يستلم الموجة (المستمع)

إن تأثير دوبلر في الصوت غير متماثل فعندما يقترب المصدر من السامع بسرعة معينة فإن درجة الصوت تبدو مختلفة عن الحالة التي يقترب فيها السامع من المصدر بنفس السرعة .  
ولإيجاد العلاقة الكمية لتأثير دوبلر يجب أن نأخذ جميع الحركات بعين الاعتبار (حركة المصدر والوسط والمستقبل) وسنفرض إن جميع الحركات منتظمة وباتجاه واحد .

قانون تغير التردد بتأثير ظاهرة دوبلر هو :

$$\frac{f}{f_0} = \frac{c+u-w}{c+u-v_s}$$

u : سرعة الهواء ،

c : سرعة الموجة الصوتية

v\_s : سرعة المصدر ،

w : سرعة السامع وجميعها باتجاه واحد

f : تردد الصوت الذي تسمعه الأذن c الظاهري ، f\_0 : تردد الصوت المنبعث من المصدر الحقيقي

وأما طريقة الاستنتاج فهي كالآتي :

$$c = f_0 \lambda$$

• إذا كان المصدر ساكن فبعد ثانية واحدة تكون الذبذبة الأولى قد ابتعدت مسافة ثانية واحدة عن المصدر c

• أما لو تحرك المصدر من الثانية الواحدة فان سرعته v تمثل المسافة الحقيقية التي تقطعها الموجة الصوتية في الثانية الواحدة (c-v) وبذلك فان طول الموجة الصوتية الجديدة λ' تساوي

$$\lambda' = (c - v) / f_0$$

وعندما تمر هذه الأمواج بمستمع ساكن فسوف يشعر بأنه يستمع إلى نغمة ترددها

$$f = \frac{c}{\lambda'} = \frac{f_0 c}{c-v} = f_0 \left( \frac{c}{c-v} \right)$$

أي إن التردد الظاهري أكبر من التردد الحقيقي كما إن التردد الظاهري ينقص لو كان المصدر متحركا مبتعدا عن المستمع ويكون في هذه الحالة

$$f = f_0 \left( \frac{c}{c+v} \right)$$

لنفرض إن المستمع نفسه تحرك في اتجاه حركة المصدر نفسه w فان الأمواج تشغل في الثانية الواحدة المسافة (c-w) وبما إن طول الموجة لا يتغير بحركة المستمع فان التردد الظاهري الذي يسمعه السامع يكون

$$f = \frac{c-w}{\lambda} , \lambda = \frac{c}{f_0} , \frac{1}{\lambda} = \frac{f_0}{c}$$

$$f = f_0 \left( \frac{c-w}{c} \right)$$

أما إذا كان اتجاه الحركة للمستمع بعكس اتجاه حركة المصدر فان المعادلة تصبح

$$f = f_0 \left( \frac{c+w}{c} \right)$$

وإذا تحرك الوسط (بتأثير الريح) بسرعة قدرها  $u$  باتجاه حركة المصدر تكون سرعة الموجة في أي لحظة  $(c+u)$  وان طول الموجة سيتغير أيضا

$$\lambda' = \frac{c+u}{f_0}, \quad f_0 = \frac{c+u}{\lambda'}$$

أي إن التردد لا يتغير بتأثير الريح. إذا كان المصدر أو المستمع متحركا في وسط متحرك فنغوض عن سرعة الصوت في المقدار  $(c+u)$  في المعادلات السابقة فمعادلة المصدر المتحرك هي :

$$f = f_0 \left( \frac{c+u}{c+u-v} \right) \quad \text{للمصدر المتحرك}$$

$$f = f_0 \left( \frac{c+u-w}{c+u} \right) \quad \text{للمستمع المتحرك}$$

أما إذا كان الثلاثة (المصدر والمستمع والوسط) في حركة فان

$$f = f_0 \left( \frac{c+u-w}{c+u-v} \right)$$

أما إذا الوسط (سرعة الريح مثلا) باتجاه معاكس فان إشارتها تنعكس .

$$f = f_0 \left( \frac{c-u-w}{c+u-v} \right)$$

الحالة الاولى // عندما المصدر متحرك والمستمع ساكن

مثال // يطلق قطار صوت تردده  $500\text{Hz}$  وهو يغادر المحطة بسرعة  $30\text{m/sec}$  . اوجد تردد الصوت الذي يستقبله مستمع ساكن خلف القطار اذا كانت سرعة الصوت  $340\text{m/sec}$  ؟

$$f' = f_0 \left( \frac{v}{v+v_s} \right)$$

$$f' = 500 \left( \frac{340}{340+30} \right) = 459 \text{ Hz}$$

استخدمنا الاشارة الموجبة لان المصدر مبتعد عن السامع (خلف القطار)

$f'$ : التردد الظاهري

$f$ : التردد الحقيقي

$v_s$ : سرعة المصدر

$v$ : سرعة الصوت في الوسط

الحالة الثانية// عندما يكون المصدر ساكن والمستمع متحرك

مثال// يتحرك راكب دراجة بسرعة منتظمة مقدارها  $9\text{m/sec}$  نحو مصدر صوتي ساكن تردده  $100\text{Hz}$  . احسب التردد الذي يسمعه راكب الدراجة في حالة اقترابه من المصدر وفي حالة ابتعاده عن المصدر . افرض سرعة الصوت  $335\text{m/sec}$  .

التردد الذي يسمعه راكب الدراجة عندما يقترب من المصدر نستخدم المعادلة التالية

$$f' = f_0 \left( \frac{v}{v+v_s} \right)$$

$$f' = 1000 \left( \frac{335+9}{335} \right) = 102.7 \text{ Hz}$$

V : سرعة الصوت في الوسط

$V_D$  : سرعة المستمع

1- التردد الذي يسمعه راكب الدراجة عندما يبتعد عن المصدر

$$f' = f_0 \left( \frac{v-v_D}{v} \right)$$

$$f' = 100 \left( \frac{335-9}{335} \right) = 97.3 \text{ Hz}$$

**الحالة الثالثة // عندما يتحرك المصدر والمستمع معا**

مثال // تتحرك سيارة اسعاف محدثة صوتا تردده (1000Hz) مقتربة من سيارة مرور متحركة باتجاهها ،

اذا كانت سرعة سيارة الاسعاف (40m/sec) ، سرعة السيارة (35m/sec) ، سرعة الصوت

(340m/sec). اوجد : 1- تردد الصوت الذي يسمعه سائق سيارة المرور .

2-تردد الصوت الذي يسمعه سائق سيارة المرور اذا كانت حركة السيارتين متباعدتين عن بعضهما

البعض.

الحل // 1- نختار الاشارة السالبة ليكون التردد الذي يسمعه سائق سيارة المرور اقل ما يمكن في حالة

الاقتراب

$$f' = f_0 \frac{v-v_D}{v+v_S}$$

$$f' = 1000 \left( \frac{340-35}{340+40} \right) = 802.6 \text{ Hz}$$

2-نختار الاشارة ليكون التردد الذي يسمعه سائق سيارة المرور اكبر ما يمكن في حالة الابتعاد

$$f' = f_0 \frac{v+v_D}{v-v_S} = 1000 \left( \frac{340+35}{340-40} \right) = 1250 \text{ Hz}$$

مثال// سيارة تتحرك بسرعة (20 m/ sec) تطلق بوقاً بتردد (500 Hz) تقترب من مراقب ساكن ثم تتجاوزها،

أحسب التغير في درجة الصوت. خذ سرعة الصوت في الهواء الساكن (340 m / sec) ؟

$$1) f' = f_0 \frac{v}{v-v_S} , f' = 500 * \frac{340}{340-20} = 531 \text{ Hz}$$

$$2) f' = f_0 \frac{v}{v+v_S} , f' = 500 * \frac{340}{340+20} = 472 \text{ Hz}$$

نجد إن التغير في درجة الصوت هو

$$\frac{f}{f'} = \frac{472}{531} \approx 0.9$$

مثال// تطلق سيارة اطفاء صفارة بتردد (450Hz) بينما كانت مسرعة بسرعة (130K/h)، اوجد التردد الذي يسمعه شخص يتحرك على رصيف الطريق بسرعة 3m/sec في الاتجاه المعاكس عندما يقترب منها وعندما يبتعد عنها ، علما ان سرعة الصوت 340m/sec .

$$V_s = 130 \text{ k/h} = 36 \text{ m/sec}$$

نحسب التردد الذي يسمعه الشخص عندما يقترب من سيارة الاطفاء

$$f' = f \cdot \frac{v + v_D}{v - v_s} = 450 \left( \frac{340 + 3}{340 - 36} \right) = 513.6 \text{ Hz}$$

نحسب التردد الذي يسمعه الشخص عندما يبتعد عن سيارة الاطفاء

$$f' = f \cdot \frac{v - v_D}{v + v_s} = 450 \left( \frac{340 - 30}{340 + 36} \right) = 40.3.3 \text{ Hz}$$

### الخلاصة

(1) عندما يتحرك المصدر والمستمع معا نستخدم

$$f' = f \left( \frac{v \pm v_D}{v \pm v_s} \right)$$

الحالة الاولى // نستخدم الاشارة الموجبة في المقام والسالبة في البسط عندما يتحرك المستمع بعكس اتجاه حركة المصدر (مبتعدين عن بعضهما) مما يؤدي الى نقصان في التردد الذي يسمعه المستمع .

الحالة الثانية // نستخدم الاشارة الموجبة في البسط والسالبة في المقام عندما يتحرك المستمع باتجاه المصدر (مقتربين من بعضهما) مما يؤدي الى زيادة في التردد الذي يسمعه المستمع

$$f' = f \left( \frac{v + v_D}{v - v_s} \right)$$

\*\*\*\*\*

(2) عندما يكون المصدر ساكن والمستمع متحرك . هناك حالتين :

الحالة الاولى // يتحرك المستمع مقتربا من المصدر مما يؤدي الى زيادة كبيرة في التردد

$$f' = f \left( \frac{v + v_D}{v} \right)$$

الحالة الثانية // يتحرك المستمع مبتعدا عن المصدر السامن وتكون الاشارة سالبة اي تعني الابتعاد وتقصان في التردد

$$f' = f \left( \frac{v - v_D}{v} \right)$$

$v_D$ : سرعة المستمع

\*\*\*\*\*

(3) عندما يكون المصدر متحرك والمستمع ساكن

نستخدم الإشارة السالبة في المعادلة عندما يتحرك المصدر مقتربا من المستمع حيث يكون التردد الظاهري اكبر من التردد الحقيقي

$$f' = f\left(\frac{v}{v-v_s}\right)$$

نستخدم الإشارة الموجبة عندما يتحرك المصدر مبتعدا عن المستمع حيث يكون التردد الظاهري اقل من التردد الحقيقي .

$$f' = f\left(\frac{v}{v+v_s}\right)$$

\*\*\*\*\*