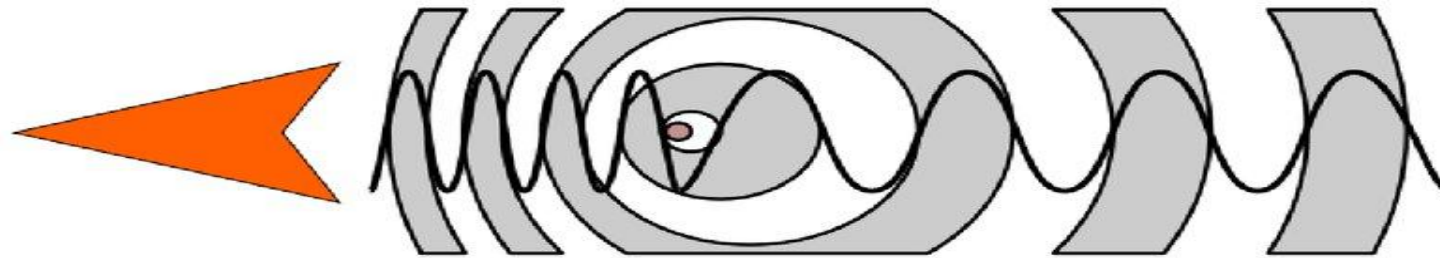


Эффект Доплера

При движении источника излучения от приемника изменяется длина волны :

- при приближении – длина волны уменьшается (спектр поглощения смещен в синюю сторону)
- при удалении – длина волны увеличивается (спектр поглощения смещен в красную сторону)

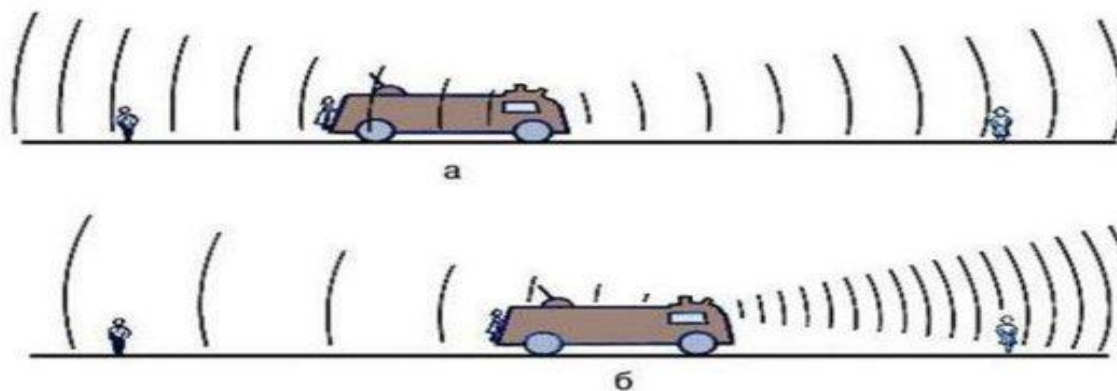




Эффект Доплера

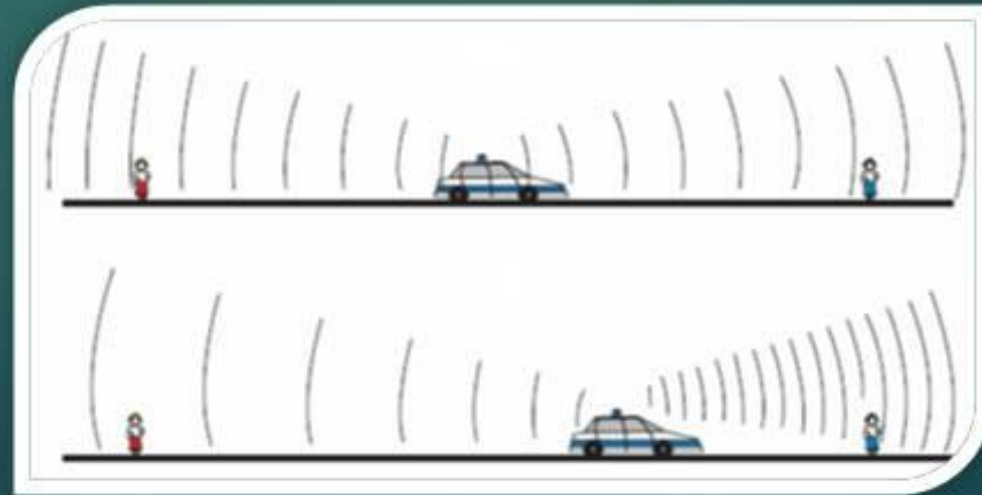
■ **Эффект Доплера** — это изменение частоты и, соответственно, длины волны излучения, воспринимаемое наблюдателем (приёмником), вследствие движения источника излучения и/или движения наблюдателя.

■ На основании волновой теории он вывел, что **приближение** источника света к наблюдателю **увеличивает** наблюдаемую частоту, **отдаление** уменьшает её.

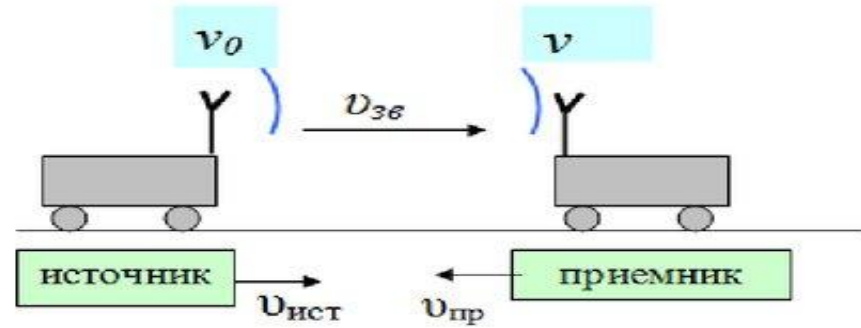


Как наблюдать эффект Доплера?

- ▶ Поскольку явление характерно для любых волн и потоков частиц, то его очень легко наблюдать для звука. Частота звуковых колебаний воспринимается на слух как высота звука. Надо дождаться ситуации, когда быстро движущийся автомобиль или поезд будет проезжать мимо вас, издавая звук, например, сирену или просто звуковой сигнал. Вы услышите, что когда автомобиль будет приближаться к вам, высота звука будет выше, потом, когда автомобиль поравняется с вами, резко понизится и далее, при удалении, автомобиль будет сигналить на более низкой ноте.



Эффект Доплера.



Эффект Доплера - это явление, состоящее в том, что испускаемая и регистрируемая частоты волны различаются, если источник и приемник движутся относительно друг друга.

$\nu_{ист}$ - скорость движения источника

$\nu_{пр}$ - скорость движения приёмника

$$\nu = \nu_0 \frac{\nu_{ze} + \nu_{пр}}{\nu_{ze} - \nu_{ист}} \quad \text{- сближение}$$

ν_{ze} - скорость распространения волны

ν_0 - частота колебания источника

$$\nu = \nu_0 \frac{\nu_{ze} - \nu_{пр}}{\nu_{ze} + \nu_{ист}} \quad \text{- удаление}$$

Продольный эффект Доплера

$$\theta = 0$$

$$v = v_0 \frac{\sqrt{1 - v/c}}{\sqrt{1 + v/c}}$$

Наблюдается при движении приемника вдоль линии, соединяющей его с источником. При малых относительных скоростях v ($v \ll c$), пренебрегая членами второго порядка малости, $v = v_0(1 - v/c)$.

При удалении источника и приемника друг от друга (при их положительной относительной скорости) наблюдается сдвиг в более длинноволновую область ($v < v_0$, $\lambda > \lambda_0$) — так называемое *красное смещение*. При сближении же источника и приемника (при их отрицательной относительной скорости) наблюдается сдвиг в более коротковолновую область ($v > v_0$, $\lambda < \lambda_0$) — так называемое *фиолетовое смещение*.

Эффект Доплера

Эффект Доплера - изменение частоты волны, воспринимаемой наблюдателем (приемником) благодаря относительному движению источника волн и наблюдателя.

Если источник волн приближается к наблюдателю, число прибывающих к нему волн в каждую секунду превышает число испускаемых источником. Если источник волн удаляется от наблюдателя, то число испускаемых им волн больше, чем прибывающих к наблюдателю.

Приемник и источник приближаются друг к другу:

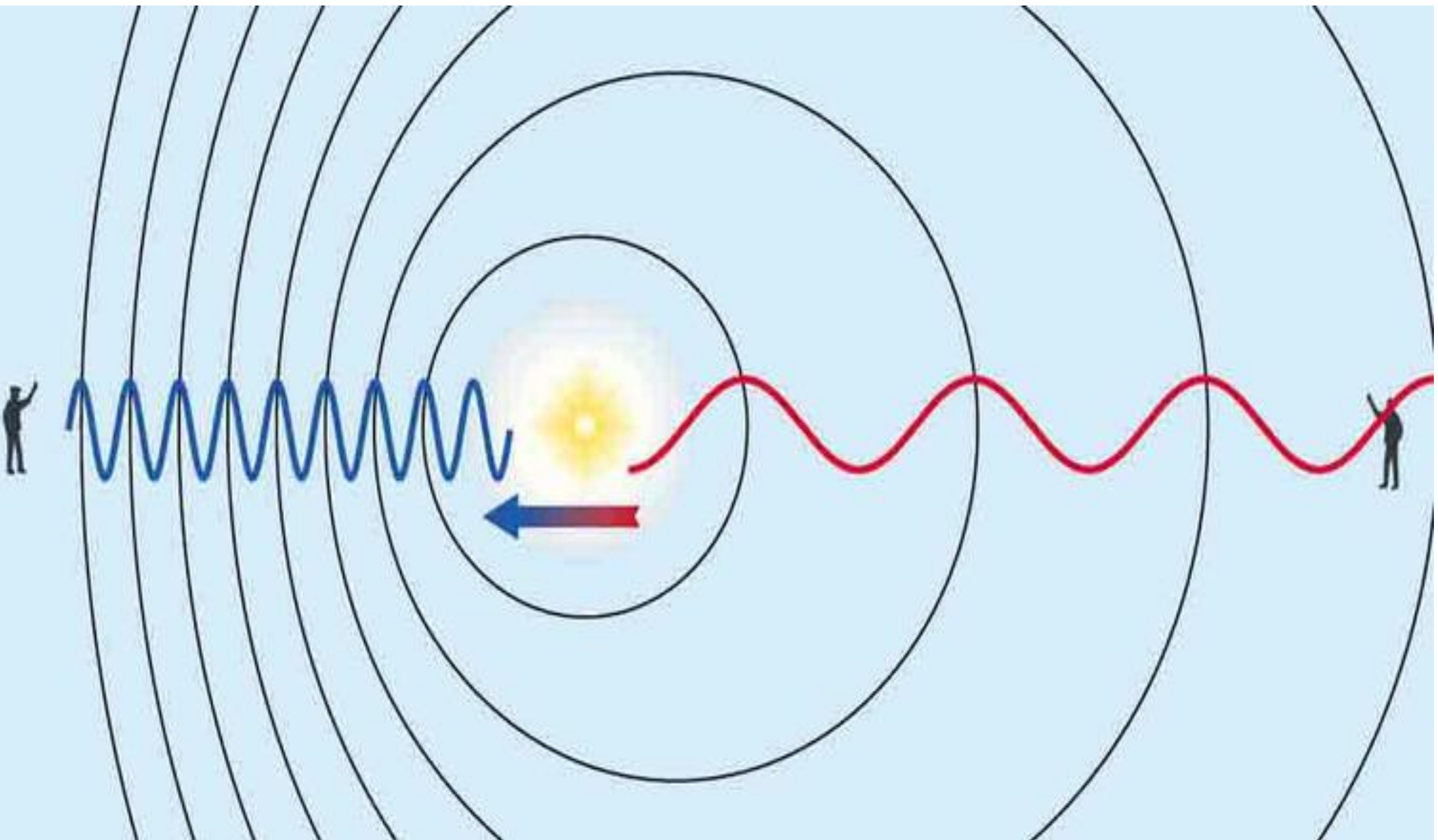
$$V_{\text{приемника}} = \frac{V_0 + V_{\text{приемника}}}{V_0 - V_{\text{источника}}} V_{\text{источника}}$$

Приемник и источник удаляются друг от друга:

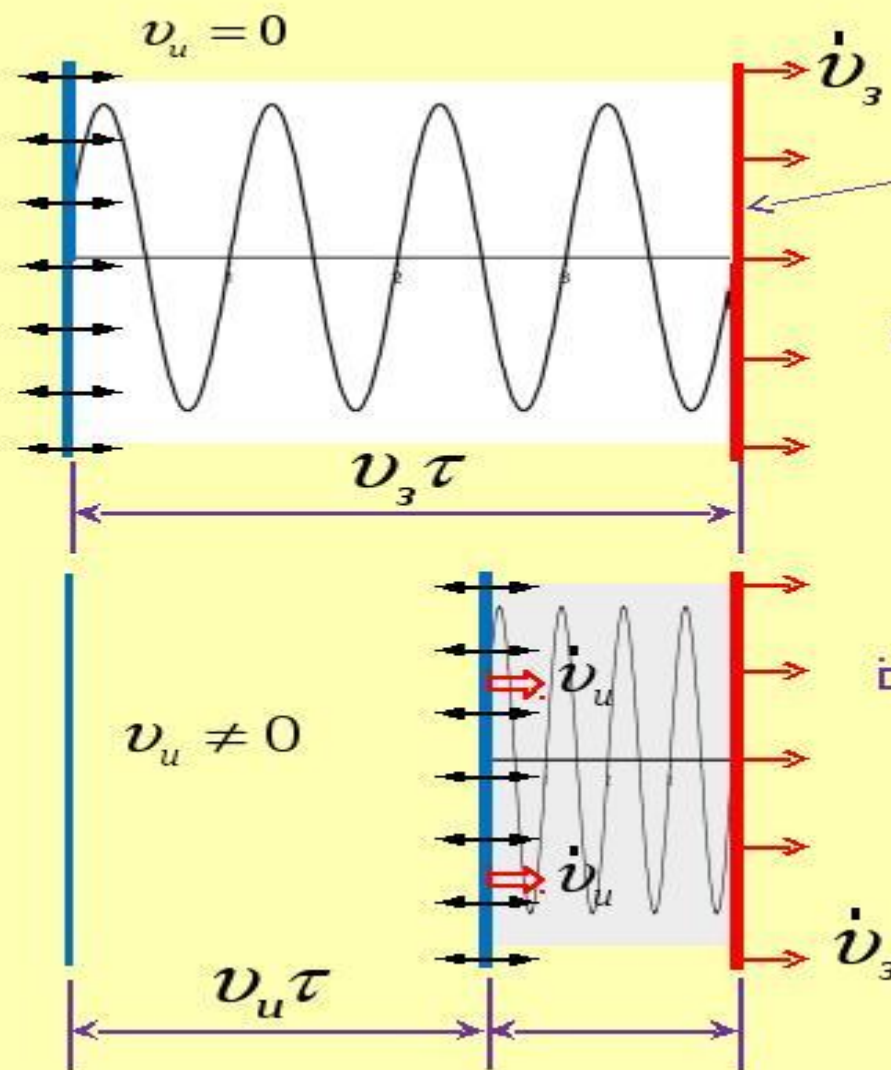
$$V_{\text{приемника}} = \frac{V_0 - V_{\text{приемника}}}{V_0 + V_{\text{источника}}} V_{\text{источника}}$$

Изменение частоты волн вследствие эффекта Доплера называют доплеровским сдвигом частоты.

Используется для измерения скорости движения различных тел.



Эффект Доплера



Положение фронта волны через τ секунд...

$\Rightarrow v_3 \tau = N \lambda_0$

$\Rightarrow (v_3 - v_u) \tau = N \lambda$

$$\frac{v_3 \tau}{(v_3 - v_u) \tau} = \frac{N \lambda_0}{N \lambda}$$

$$\frac{v_3}{v_3 - v_u} = \frac{\lambda_0}{\lambda} = \frac{v}{v_0}$$

$$v = \frac{v_3}{v_3 - v_u} v_0$$



Эффект Доплера

$$V_{пр} = V_{ист} \frac{c + v_{пр}}{c - v_{ист}}$$

- При пользовании этой формулой необходимо соблюдать правило знаков. Скорости источника и приемника берутся положительными при их сближении и отрицательными при удалении.
- Эта формула справедлива для движения вдоль одной прямой. Если это не так, то в нее подставляются не сами скорости, а их проекции на прямую соединяющую источник и приемник.

Эффект Доплера (продолжение)

- Если *источник и приёмник разбегаются* относительно друг друга, то *частота приёмника $\nu_{пр}$ будет меньше*, чем частота источника $\nu_{ист}$:

$$\nu_{пр} < \nu_{ист}$$

- В общем случае, когда *движутся, разбегаясь, оба объекта*:

$$\nu_{\text{р}} = \nu_{\text{ис}} \frac{v_{\text{а}} - v_{\text{р}}}{v_{\text{а}} + v_{\text{ис}}}$$

где $v_{\text{в}}$ – скорость распространения волны относительно источника,
 $v_{\text{ист}}$ – скорость источника, движущегося к приёмнику,
 $v_{\text{пр}}$ – скорость приёмника.

- Обобщим формулу:

$$\nu_{\text{р}} = \nu_{\text{ис}} \frac{v_{\text{а}} \pm v_{\text{р}}}{v_{\text{а}} \mp v_{\text{ис}}}$$

■ Верхние знаки – *сближение*, нижние – *удаление* источника от приёмника

- **Вывод:** Эффект Доплера состоит в изменении частоты волны $\nu_{пр}$, воспринимаемой *приёмником* (наблюдателем), в зависимости от относительной скорости движения $\nu_{ист}$ **источника** волн и *приёмника* (наблюдателя) $\nu_{пр}$.

- **Пример:** Если *машина* с включённой сиреной *приближается*, то наблюдатель, стоящий на тротуаре, будет слышать *звук всё более высокой частоты* (высокого тона), если же, проехав мимо, эта *машина удаляется*, то *частота звука понижается* (тон резко снижается до низкого).



Использование эффекта Доплера в радиолокации

- Эффект Доплера (в радиолокации) – частота принимаемого РЛС отраженного сигнала зависит от радиальной скорости объекта.



- Формула для доплеровского смещения частоты

$$\Delta f_{\text{д}} = -f_0 \frac{2V \cos \alpha}{c}$$

- Оценка величины доплеровского смещения частоты

$$\Delta f_{\text{д}} \approx f_0 \frac{2 \cdot 250 [\text{м/с}]}{3 \cdot 10^8 [\text{м/с}]} = 1,7 \cdot 10^{-6} f_0 \rightarrow \begin{array}{l} \text{проблемы при регистрации;} \\ \text{искажение спектра сигнала} \end{array}$$