



# Эффект Доплера

Применение для различных видов волн

**Доплер Кристиан** (1803–1853), австрийский физик и астроном, член Венской АН (1848 г.). Учился в Зальцбурге и Вене. С 1847 г. профессор Горной академии в Хемнице, с 1850 г. профессор Политехнического института и университета в Вене. Основные труды посвящены абберации света, теории микроскопа и оптического дальномера, теории цветов и др. В 1842 г. теоретически обосновал зависимость частоты колебаний, воспринимаемых наблюдателем, от скорости и направления движения наблюдателя относительно источника колебаний.

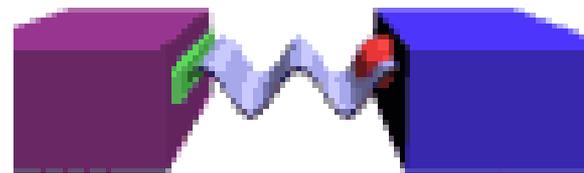
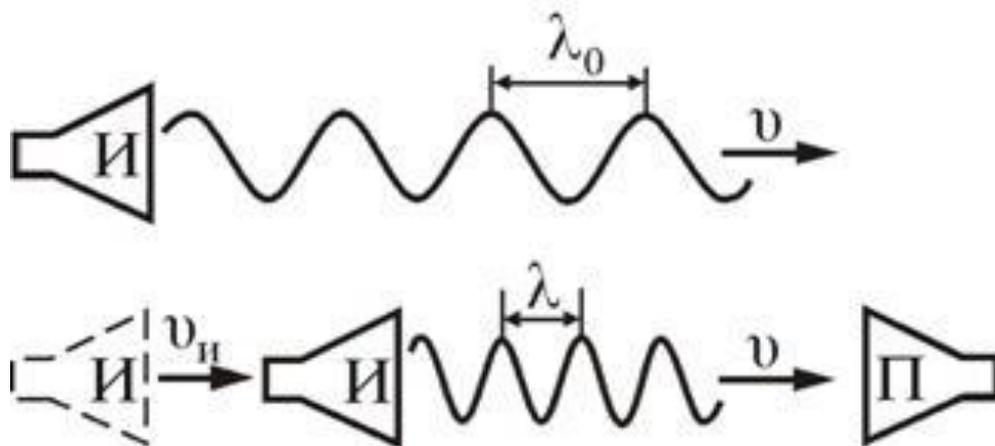
Эффект Доплера легко наблюдать на практике, когда мимо наблюдателя проезжает машина с включённой сиреной. Предположим, сирена выдаёт какой-то определённый тон, и он не меняется. Когда машина не движется относительно наблюдателя, тогда он слышит именно тот тон, который издаёт сирена. Но если машина будет приближаться к наблюдателю, то частота звуковых волн увеличится, и наблюдатель услышит более высокий тон, чем на самом деле издаёт сирена. В тот момент, когда машина будет проезжать мимо наблюдателя, он услышит тот самый тон, который на самом деле издаёт сирена. А когда машина проедет дальше и будет уже отдаляться, а не приближаться, то наблюдатель услышит более низкий тон, вследствие меньшей частоты звуковых волн.

Для волн (например, звука), распространяющихся в какой-либо среде, нужно принимать во внимание движение как источника, так и приёмника волн относительно этой среды.

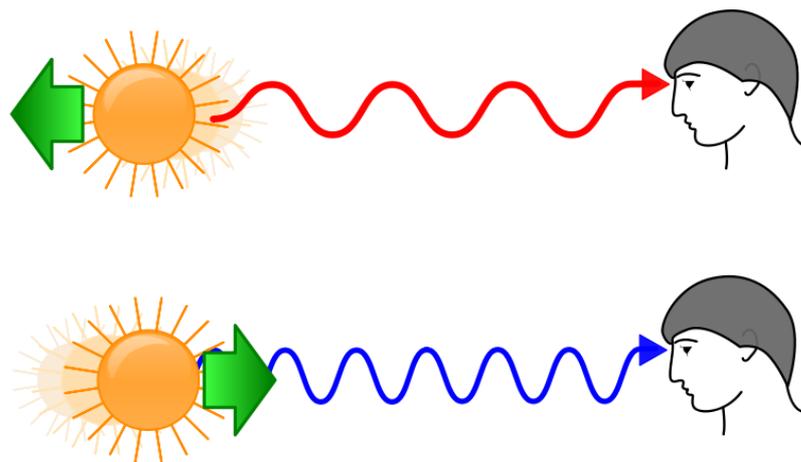
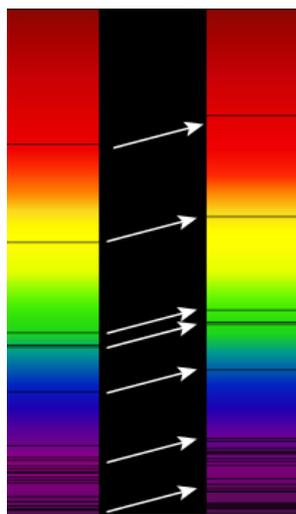
Для электромагнитных волн (например, света), для распространения которых не нужна никакая среда, в вакууме имеет значение только относительное движение источника и приёмника.

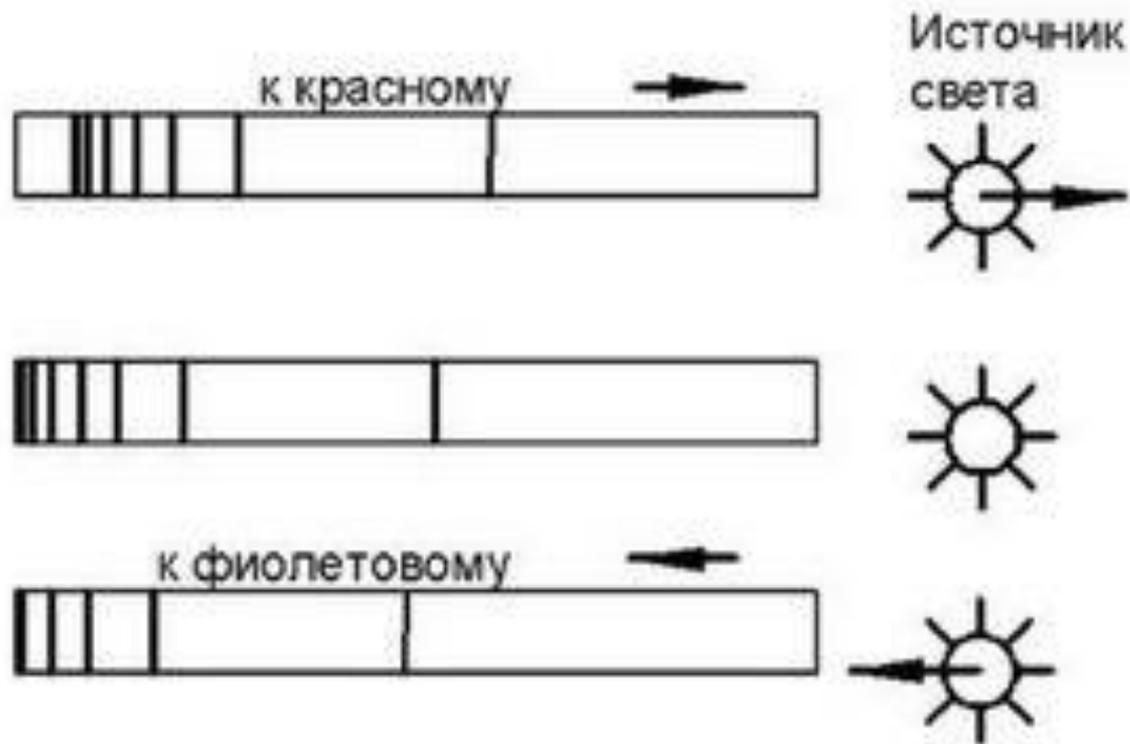
**Эффектом Доплера** называют изменение частоты волн, регистрируемых приемником, которое происходит вследствие движения источника этих волн и приемника.

Источник, двигаясь к приемнику, как бы сжимает пружину – волну



**Красное смещение** — сдвиг спектральных линий химических элементов в красную (длинноволновую) сторону. Это явление может быть выражением эффект Доплера или гравитационного красного смещения, или их комбинацией. Сдвиг спектральных линий в фиолетовую (коротковолновую) сторону называется синим смещением. Впервые сдвиг спектральных линий в спектрах звёзд описал французский физик Ипполит Физо в 1848 году, и предложил для объяснения сдвига эффект Доплера, вызванный лучевой скоростью звезды.

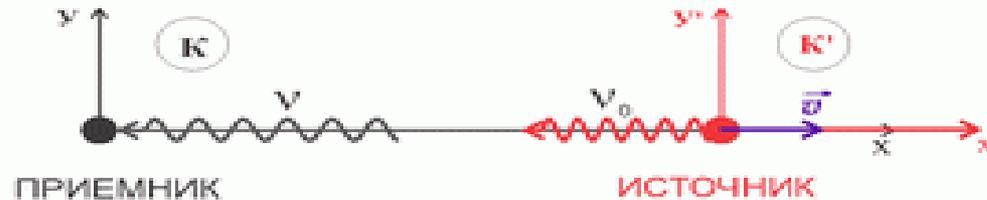




ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ

Эффект Доплера для света

Продольный эффект:



Уравнения плоской волны в системах K и K' должны совпадать (принцип относительности)

Учитывая это, получим:

$$\nu = \nu_0 \sqrt{\frac{1 - \frac{v}{c}}{1 + \frac{v}{c}}}$$

v - алгебраическая величина

При  $v \ll c$ , относительное изменение частоты ( $\Delta\nu = \nu - \nu_0$ ) равно

$$\frac{\Delta\nu}{\nu_0} = -\frac{v}{c}$$

Поперечный эффект:

$$\nu = \nu_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \approx \nu_0 \left(1 - \frac{1}{2} \frac{v^2}{c^2}\right) \implies \frac{\Delta\nu}{\nu_0} = -\frac{1}{2} \frac{v^2}{c^2}$$

Доплеровская ширина спектральной линии:

$$\delta\nu = 2\nu_0 \frac{v}{c}$$



## 1. Источник движется, приемник остаётся

**неподвижным.** Предположим, что источник, излучающий импульсы с периодом  $T$ , движется со скоростью  $v$  относительно среды по направлению к покоящемуся приемнику. В момент времени  $t=0$  расстояние между источником и приемником равно  $L$ . Первый импульс достигнет приемника в момент времени  $t=L/u$ , где  $u$  - скорость волны. Второй импульс будет послан к приемнику в момент времени  $t=T$ , когда расстояние между источником и приемником равно  $L_1=L-vT$ . Таким образом, второй импульс достигнет приемника в момент времени  $t_1=T+(L-vT)/u$ . В результате, приемник будет регистрировать импульсы с периодом

$$T_{\text{доп}} = t_1 - t = T(1 - v/u)$$

Таким образом, частота сигнала  $f_{\text{доп}}$ , регистрируемого приемником, равна:

$$f_{\text{доп}} = f / (1 - v/u) \quad (\text{источник движется навстречу приемнику})$$

где  $f$  - частота сигнала излучаемого источником. Мы видим из этого выражения, что когда источник движется по направлению к приёмнику, частота регистрируемого сигнала увеличивается на величину  $fv/u$ , называемую доплеровским сдвигом частоты.

Наоборот, когда источник движется от приемника, частота регистрируемого сигнала уменьшается в соответствии с выражением:

$$f_{\text{доп}} = f / (1 + v/u) \quad (\text{источник движется от приемника})$$

Рассмотрим далее случай, когда приемник движется, а источник волны неподвижен. В этом случае длина волны не меняется и доплеровский сдвиг частоты возникает из-за того, что изменяется скорость волны  $w$  относительно приемника:

$w = u + v$  (приемник движется по направлению к источнику)

$w = u - v$  (приемник движется по направлению от источника)

Так как  $f_{\text{доп}} = w/l$ , а исходная частота источника  $f = u/l_0$  и  $l = l_0$  мы получаем

$f_{\text{доп}} = f(1 + v/u)$  (приемник движется по направлению к источнику)

$f_{\text{доп}} = f(1 - v/u)$  (приемник движется по направлению от источника)

Как мы можем видеть из этих рассуждений, сдвиг частоты будет разным в зависимости от того, что движется: приемник или источник. Особенно это заметно, если скорость источника или приемника близка к скорости волны. На первый взгляд может показаться что это противоречит принципу относительности: какая разница что движется - источник или приемник. На самом деле важно не относительное движение приемника и источника, а их движение относительно упругой среды, в которой распространяется волна. При этом скорость распространения волны не зависит от движения источника и приемника. **В отличие от акустической волны для электромагнитной волны явления сдвига частоты протекают совершенно одинаково при движении источника и приемника.**