

# *Эффект Доплера*

1. Сущность явления
2. Релятивистский эффект Доплера
3. Как наблюдать эффект Доплера
4. Применение.

# Сущность явления

- ▶ Эффект Дóплера — изменение частоты и длины волн, регистрируемых приёмником, вызванное движением их источника и(или) движением приёмника.
- ▶ Впервые теоретически обоснован в 1842 К.Доплером (1803–1853).



$$\lambda = \frac{(c - v)}{\omega_0}$$



$\omega_0$  — частота, с которой источник испускает волны  
 $c$  — скорость распространения волн в среде  
 $v$  — скорость источника волн относительно среды

- Если источник волн движется относительно среды, то расстояние между гребнями волн (длина волны) зависит от скорости и направления движения. Если источник движется по направлению к приёмнику, то есть догоняет испускаемую им волну, то длина волны уменьшается. Если удаляется длина волны увеличивается.
- $v$  - положительная, если источник приближается к приёмнику и отрицательная, если удаляется.

Частота, регистрируемая неподвижным приёмником:

$$\omega = \frac{c}{\lambda} = \omega_0 \frac{1}{\left(1 - \frac{v}{c}\right)}$$

Аналогично, если приёмник движется навстречу волнам, он регистрирует их гребни чаще и наоборот. Для неподвижного источника и движущегося приёмника:

$$\omega = \omega_0 \left(1 + \frac{u}{c}\right)$$

$u$  — скорость приёмника относительно среды

Подставив значение частоты из формулы (1) в формулу (2), получим формулу для общего случая.

$$\omega = \omega_0 \frac{\left(1 + \frac{u}{c}\right)}{\left(1 - \frac{v}{c}\right)}$$

# Релятивистский эффект Доплера

- В случае электромагнитных волн формулу для частоты выводят из уравнений специальной теории относительности. Так как для распространения электромагнитных волн не требуется материальная среда, можно рассматривать только относительную скорость источника и наблюдателя.

$$\omega = \omega_0 \cdot \frac{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}{1 + \frac{v}{c} \cdot \cos \theta}$$

где  $c$  — скорость света,

$v$  — скорость источника относительно приёмника (наблюдателя),

$\theta$  — угол между направлением на источник и вектором скорости.

Если источник радиально удаляется от наблюдателя, то  $\theta = 0$ , если приближается —  $\theta = \pi$

# Релятивистский эффект Доплера обусловлен двумя причинами:

- - классический аналог изменения частоты при относительном движении источника и приёмника; - релятивистское замедление времени. Последний фактор приводит к поперечному эффекту Доплера, когда угол между волновым вектором и скоростью источника равен  $\theta = \pi / 2$ . В этом случае изменение частоты является релятивистским эффектом, не имеющим классического аналога.

# Наблюдение

Поскольку явление характерно для любых колебательных процессов, то его очень легко наблюдать для звука. Частота звуковых колебаний воспринимается на слух как высота звука. Надо дожидаться 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.

# ПРИМЕНЕНИЕ



**Доплеровский радар:** Радар, который измеряет изменение частоты сигнала, отражённого от объекта. По изменению частоты вычисляется радиальная составляющая скорости объекта (проекция скорости на прямую, проходящую через объект и радар). Доплеровские радары широко применяются в самых разных областях: для определения скорости летательных аппаратов, кораблей, автомобилей, гидрометеоров (например, облаков), морских и речных течений а также других объектов.



**ПЕРЕДВИЖНОЙ ФОТОРАДАР**



Управление и передача кадров по беспроводному радиоканалу



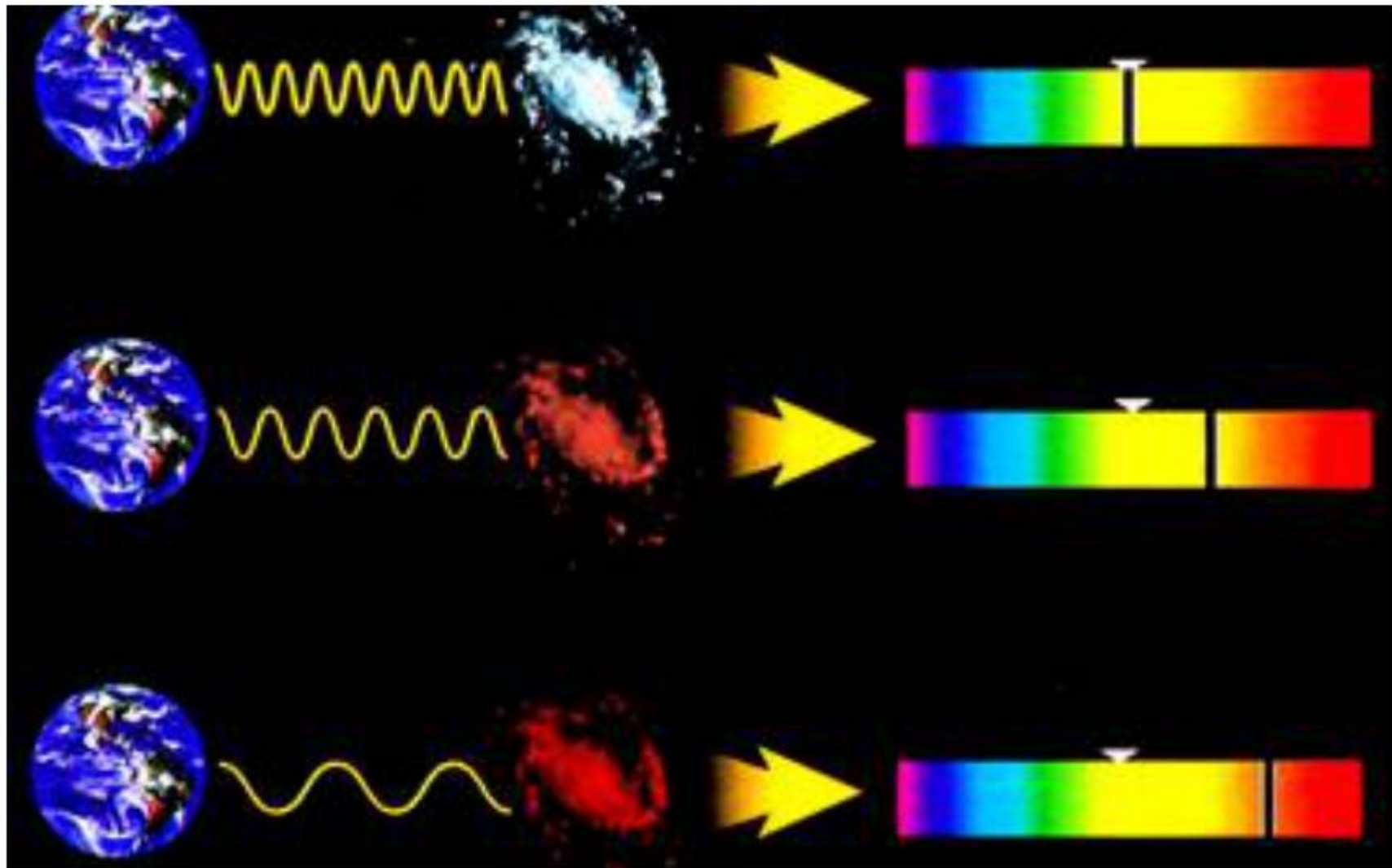
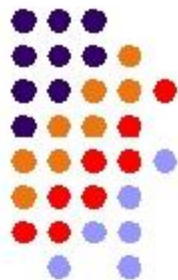
**МОБИЛЬНЫЙ ПОСТ**



Красное смещение (связывают с эффектом Доплера) наблюдаемое для всех далёких источников (галактики, квазары) понижение частот излучения, свидетельствующее о динамическом удалении этих источников друг от друга и, в частности, от нашей Галактики, то есть о расширении Вселенной. В наблюдаемое красное смещение от галактик вносит вклад как космологическое красное смещение из-за расширения пространства Вселенной, так и красное или фиолетовое смещения эффекта Доплера вследствие собственного движения галактик. При этом на больших расстояниях вклад космологического красного смещения становится преобладающим

## Красное смещение в спектрах галактик :

спектральные линии смещаются в зону красного света при удалении галактики или в зону фиолетового света при приближении галактики.



# ЭФФЕКТ ДОПЛЕРА

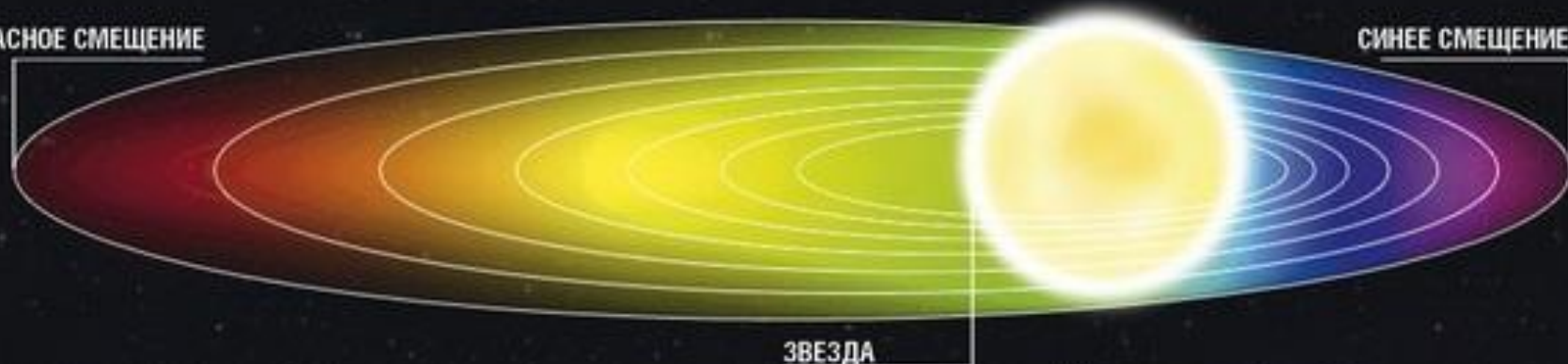
КРАСНОЕ СМЕЩЕНИЕ

СИНЕЕ СМЕЩЕНИЕ

ЗВЕЗДА

Когда звезда удаляется от нас, длина волны ее излучения увеличивается и свет смещается ближе к красному спектру

Когда звезда приближается, длина волны становится меньше и свет смещается к синему спектру





1. Смещения нет –  
галактика стоит на месте



2. Красное смещение –  
галактика удаляется от Земли



3. Синее смещение –  
галактика приближается к Земле



В 1929 Хаббл Э. открыл  
«красное смещение» в  
спектрах далеких  
галактик.



PENZIAS, Arno Allan  
Nobel Laureate PHYSICS 1978  
© NobelPrize.org

В 1965 году американские  
астрофизики Арно Алан  
Пензиас и Уильямс  
открыли разнородность  
фонового излучения.



Уильямс открыл реликто  
частицы, возникшие в  
момент большого взрыв

