Содержание.

стр.

|  |  |
| --- | --- |
| Введение.  1. Скорость звуковых волн в различных средах.  2. Эффект Доплера в акустике.  Заключение.  Список литературы.  Приложение A – таблицы.  Приложение B – таблицы. | 2  3  4  8  9  10  11 |

**Введение.**

Понятие *звука* обычно ассоциируется у нас со слухом и, следовательно, с физиологическими процессами в ушах, а также с психологическими процессами в нашем мозгу (там происходит переработка ощущений, поступающих в органы слуха). Кроме того, под *звуком* мы понимаем физическое явление, вызывающее действие на наши уши, а именно продольные волны. Если такие упругие волны, распространяющиеся в воздухе, имеют частоту в пределах от **16** до **20000** Гц, то, достигнув человеческого уха, они вызывают ощущение *звука*. В соответствии с этим упругие волны в любой среде, имеющие частоту, заключённую в указанных пределах, называют *звуковыми волнами* или просто *звуком*. Упругие волны с частотами, меньшими 16 Гц, называют **инфразвуком**; волны с частотами, превышающими 20000 Гц, называют **ультразвуком**. Инфра- и ультразвуки человеческое ухо не слышит.

Для слушающего человека сразу становятся очевидными две характеристики звука, а именно его громкость и высота. **Громкость** связана с интенсивностью звуковой волны, которая пропорциональна квадрату амплитуды волны. **Высота** звука показывает, является ли он высоким, как у скрипки или у виолончели, или низким, как звук большого барабана или басовой струны. Физической величиной, характеризующей высоту звука, является частота колебаний звуковой волны, что впервые заметил Галилей. Чем меньше частота, тем ниже высота звука, а чем больше частота, тем звук выше.

Одной из важных характеристик звука является его **скорость**. Скорость звука - это скорость распространения звуковых волн в среде. В газах скорость звука меньше, чем в жидкостях, а в жидкостях меньше, чем в твердых телах (причем для поперечных волн скорость всегда меньше, чем для продольных). Скорость звука в газах и парах от 150 до 1000 м/с, в жидкостях от 750 до 2000 м/с, в твердых телах от 2000 до 6500 м/с. В воздухе при нормальных условиях скорость звука 330 м/с, в воде — 1500 м/с.

Также в реферате рассматривается эффект, на существование которого в 1842 году указал ***КРИСТИАН ДОПЛЕР*** (Допплер) (Doppler) (1803-53), австрийский физик и астроном. Позже этот эффект был назван его именем.

**1. Скорость звуковых волн в различных средах.**

Мы обычно считаем, что звук распространяется в воздухе, потому что, как правило, именно воздух контактирует с нашими барабанными перепонками, и его колебания заставляют колебаться эти перепонки. Однако звуковые волны могут распространяться и в других веществах. Удары двух камней друг о друга пловец может слышать, находясь под водой, поскольку колебания передаются уху водой. Если приложить ухо к земле, то можно услышать приближение поезда или трактора. В этом случае земля не воздействует непосредственно на ваши барабанные перепонки. Однако продольную волну, распространяющуюся в земле, называют звуковой волной, поскольку её колебания приводят к колебаниям воздуха во внешнем ухе. Действительно, продольные волны, распространяющиеся в любой материальной среде, часто называют звуковыми. Очевидно, звук не может распространяться в отсутствие вещества. Например, нельзя услышать звон колокола, находящегося внутри сосуда, из которого выкачан воздух [опытРобертаБойля (1660 год)].

*Скорость звука* в различных веществах имеет разные значения. В воздухе при температуре 0 оC и давлении 1 атм звук распространяется со скоростью 331,3 м/с. В воздухе и других газообразных и жидких средах скорость зависит от модуля всестороннего сжатия **B** и плотности среды(вещества) **ρ**:



В гелии, плотность которого значительно меньше, чем плотность воздуха, а модуль всестороннего сжатия почти такой же, скорость звука больше почти в три раза. В жидкостях и твёрдых телах, которые значительно менее сжимаемы и, следовательно, имеют значительно большие модули упругости, скорость соответственно больше. Значения скорости звука в различных веществах приведены в таблицах 1.1, 1.2, 1.3; они в наибольшей степени зависят от температуры (смотри таблицы 1.4, 1.5), однако эта зависимость существенна только для газов и жидкостей. Например, в воздухе при повышении температуры на 1 оC скорость звука возрастает приблизительно на 0,60 м/с:

υ≈(331+0,60T) м/с,

где T−температура в оC. Например, при 20 оC мы имеем:

υ≈[331+(0,60)\*(20)] м/с = 343 м/с.

**2. Эффект Доплера в акустике.**

# Вы могли заметить, что высота звука сирены пожарной машины, движущейся с большой скоростью, резко падает после того, как эта машина пронесётся мимо вас. Возможно, вы замечали также изменение высоты сигнала автомобиля, проезжающего на большой скорости мимо вас. Высота звука двигателя гоночного автомобиля тоже изменяется, когда он проезжает мимо наблюдателя. Если источник звука приближается к наблюдателю, высота звука возрастает по сравнению с тем, когда источник звука покоился. Если же источник звука удаляется от наблюдателя, то высота звука понижается. Это явление называется **эффектом Доплера** и имеет место для всех типов волн. Рассмотрим теперь причины его возникновения и вычислим изменение частоты звуковых волн, обусловленное этим эффектом.

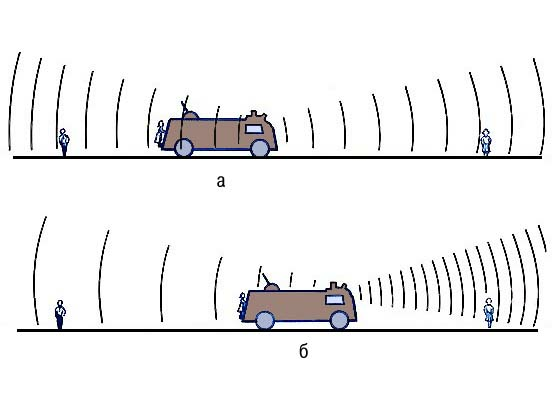


Рис. 2.1.

Эффект Доплера: а — оба наблюдателя на тротуаре слышат звук сирены стоящей на месте пожарной машины на одной и той же частоте; б — наблюдатель, к которому приближается пожарная машина, слышит звук более высокой частоты, а наблюдатель, от которого машина удаляется, слышит более низкий звук.

Рассмотрим для конкретности пожарный автомобиль, сирена которого, когда автомобиль стоит на месте, испускает звук определённой частоты во всех направлениях, как показано на рис. 2.1,а. Пусть теперь пожарный автомобиль начал двигаться, а сирена продолжает испускать звуковые волны на той же частоте. Однако во время движения звуковые волны, испускаемые сиреной вперёд, будут располагаться ближе друг к другу, чем в случае, когда автомобиль не двигался, что и показано на рис. 2.1,б. Это происходит потому, что в процессе своего движения пожарный автомобиль «догоняет» испущенные ранее волны. Таким образом, наблюдатель у дороги заметит большее число волновых гребней, проходящих мимо него в единицу времени, и, следовательно, для него частота звука будет выше. С другой стороны, волны, распространяющиеся позади автомобиля, будут дальше отстоять друг от друга, поскольку автомобиль как бы «отрывается» от них. Следовательно, за единицу времени мимо наблюдателя, находящегося позади автомобиля, пройдёт меньшее количество волновых гребней, и высота звука будет ниже.



Рис. 2.2.

Чтобы вычислить изменение частоты, воспользуемся рис. 2.2. Будем считать, что в нашей системе отсчёта воздух (или другая среда) покоится. На рис. 2.2 источник звука (например, сирена) находится в покое. Показаны последовательные гребни волн, причём один из них только что испущен источником звука. Расстояние между этими гребнями равно длине волны *λ*. Если частота колебаний источника звука равна ƒ, то время, прошедшее между испусканиями волновых гребней, равно

*T* = 1/ƒ.

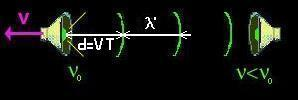


Рис. 2.3.

На рис. 2.3 источник звука движется со скоростью *υ*ист. За время T (оно только что было определено) первый гребень волны пройдёт расстояние *d = υT*, где *υ* - скорость звуковой волны в воздухе (которая, конечно, будет одна и та же независимо от того, движется источник или нет). За это же время источник звука переместится на расстояние *d*ист = *υ*ист *T*. Тогда расстояние между последовательными гребнями волны, равное новой длине волны *λ*`, запишется в виде

*λ*` = *d* + *d*ист = (*υ + υ*ист) *T* = (*υ + υ*ист)/ƒ,

поскольку *T* = 1/ƒ. Частота ƒ` волны даётся выражением

ƒ`=*υ* /*λ*` = *υ*ƒ/ (*υ + υ*ист),

или

**ƒ` = ƒ/(1 + *υ*ист /*υ*) [источник звука удаляется от покоящегося наблюдателя].**

(2.1а)

Поскольку знаменатель дроби больше единицы, мы имеем ƒ`<ƒ. Например, если источник создаёт звук на частоте 400 Гц, когда он находится в покое, то, когда источник начинает двигаться в направлении от наблюдателя, стоящего на месте, со скоростью 30 м/с, последний услышит звук на частоте (при температуре 0 оC)

ƒ` = 400 Гц / 1 + (30 м/с)/(331 м/с) = 366,64 Гц.

Новая длина волны для источника, приближающегося к наблюдателю со скоростью *υ*ист, будет равна

*λ*` = *d* - *d*ист.

При этом частота ƒ` даётся выражением

**ƒ` = ƒ/(1 - *υ*ист /*υ*) [источник звука приближается к покоящемуся наблюдателю].**

(2.1б)

Эффект Доплера возникает также в том случае, когда источник звука покоится (относительно среды, в которой распространяются звуковые волны), а наблюдатель движется. Если наблюдатель приближается к источнику звука, то он слышит звук большей высоты, нежели испускаемый источником. Если же наблюдатель удаляется от источника, то звук кажется ему ниже. Количественно изменение частоты здесь мало отличается от случая, когда движется источник, а наблюдатель покоится. В этом случае расстояние между гребнями волны (длина волны *λ*) не изменяется, а изменяется скорость движения гребней относительно наблюдателя. Если наблюдатель приближается к источнику звука, то скорость волн относительно наблюдателя будет равна *υ*` = *υ* + *υ*набл, где *υ* - скорость распространения звука в воздухе (мы предполагаем, что воздух покоится), а *υ*набл – скорость наблюдателя. Следовательно, новая частота будет равна

ƒ`=*υ*`/*λ* = (*υ* + *υ*набл)/ *λ*,

или, поскольку *λ* = *υ* /ƒ,

**ƒ` = (1 + *υ*набл/*υ*) ƒ [наблюдатель приближается к покоящемуся источнику звука].**

(2.2а)

В случае же, когда наблюдатель удаляется от источника звука, относительная скорость будет равна *υ*` = *υ* - *υ*набл,

**ƒ` = (1 - *υ*набл/*υ*) ƒ [наблюдатель удаляется от покоящегося источника звука].**

(2.2б)

Если звуковая волна отражается от движущегося препятствия, то частота отражённой волны из-за эффекта Доплера будет отличаться от частоты падающей волны, т.е. произойдёт так называемый доплеровский сдвиг частоты. Если падающую и отражённую звуковые волны наложить друг на друга, то возникнет суперпозиция, а это приведёт к биениям. Частота биений равна разности частот двух волн. Такое проявление эффекта Доплера широко используется в различных медицинских приборах, использующих, как правило, ультразвуковые волны в мегагерцевом диапазоне частот. Например, отражённые от красных кровяных телец ультразвуковые волны можно использовать для определения скорости кровотока. Аналогичным образом этот метод можно применять для обнаружения движения грудной клетки зародыша, а также для дистанционного контроля за сердцебиениями. Следует заметить, что эффект Доплера лежит также в основе метода обнаружения с помощью радара автомобилей, которые превышают предписываемую скорость движения, но в этом случае используются электромагнитные (радио) волны, а не звуковые.

Точность соотношений (2.1) и (2.2) снижается, если *υ*ист или *υ*набл приближаются к скорости звука. Это связано с тем, что смещение частиц среды уже не будет пропорционально возвращающей силе, т.е. возникнут отклонения от закона Гука, так что большинство наших теоретических рассуждений потеряет силу.

**Заключение.**

*Звук* распространяется в виде продольной волны в воздухе и других средах. Скорость звука в воздухе увеличивается с ростом температуры; при 0 оС она равна приблизительно 331 м/с.

*Эффект Доплера* заключается в том, что движение источника звука или слушателя вызывает изменение высоты звука. Характерен для любых волн (свет, звук и т. д.). При приближении источника к приемнику **l** уменьшается, а при удалении растет на величину **l — l**о **= nl**о**/c**, где **l**о — длина волны источника, **c** — скорость распространения волны, **n** — относительная скорость движения источника. Другими словами, если источник звука и слушатель сближаются, то высота звука растёт; если же они удаляются друг от друга, то высота звука понижается.

**Список литературы.**

1. Большая энциклопедия Кирилла и Мефодия 2001 (2 CD-ROM).

2. Джанколи Д. Физика: В 2-х т. Т. 1: Пер. с англ. - М.: Мир, 1989. – 656 с., ил.

3. Енохович А. С. Краткий справочник по физике. – 2-е изд., перераб и доп. – М.: Высшая школа, 1976. – 288с., ил.

4. Савельев И. В. Курс общей физики: Учеб. пособие. В 3-х т. Т. 2. Электричество и магнетизм. Волны. Оптика. – 3-е изд., испр. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. – 496 с., ил.

**Приложение A.**

Таблицы.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Таблица 1.1. Скорость звука в газах (0 оC; 101325 Па), м/с | | | |
| Газ | Скорость звука, м/с | Газ | Скорость звука, м/с |
| Азот | 334 | Кислород | 316 |
| Аммиак | 415 | Метан | 430 |
| Ацетилен | 327 | Окись углерода | 338 |
| Водород | 1284 | Углекислый газ | 259 |
| Воздух | 331,46 | Хлор | 206 |
| Гелий | 965 | - | - |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Таблица 1.2. Скорость звука в жидкостях, м/с | | | | | |
| Жидкость | t, оC | Скорость звука, м/с | Жидкость | t, оC | Скорость звука, м/с |
| Бензин | 17 | 1166 | Нефть | 15 | 1330 |
| Вода: |  |  | Раствор (5%) поваренной соли | 15 | 1540 |
| - обычная | 25 | 1497 |
| - морская | 20 | 1490 | Ртуть | 20 | 1451 |
| - тяжёлая | 25 | 1399 | Спирт этиловый | 20 | 1180 |
| Глицерин | 20 | 1923 | Толуол | 20 | 1382 |
| Керосин | 20 | 1330 | Эфир этиловый | 20 | 1008 |
| Кислород жидкий | -210 | 1130 | - | - | - |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Таблица 1.3. Скорость звука в твёрдых веществах (при 20 оC), м/с | | | |
| Вещество | Скорость звука, м/с | Вещество | Скорость звука, м/с |
| Алюминий | 6260 | Мрамор | 6100 |
| Дуралюмин | 6400 | Никель | 4780 |
| Бетон (в среднем) | 4500 | Олово | 3320 |
| Бумага натянутая | 2100 | Пробка | 430-530 |
| Вольфрам | 5460 | Ртуть (при -40 оC) | 2670 |
| Гранит | 3850 | Свинец | 2160 |
| Дерево: |  | Серебро | 3620 |
| - мягких пород | около 3000 | Сталь: |  |
| - твёрдых пород | до 5000 | - мягкая | около 5000 |
| Железо | 5850 | - твёрдая | до 6000 |
| Каменная соль | 4400 | Стекло: |  |
| Кирпич | 3600 | - флинт | 4450 |
| Латунь | 4280-4700 | - крон | 5220 |
| Лёд (при -4 оC) | 3980 | - органическое | 2550 |
| Магний | 4600 | Эбонит | 2400 |
| Медь | 4700 | - | - |

**Приложение B.**

Таблицы.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Таблица 1.4. Температурный коэффициент скорости звука в газах, м/с | | | |
| Газ | м/с | Газ | м/с |
| Азот | 0,6 | Кислород | 0,56 |
| Аммиак | 0,7 | Окись углерода | 0,6 |
| Воздух | 0,59 | Углекислый газ | 0,4 |
| Гелий | 0,8 | - | - |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Таблица 1.5. Температурный коэффициент скорости звука в жидкостях, м/с | | | |
| Жидкость | м/с | Жидкость | м/с |
| Вода: |  | Раствор соли (5%-ный) | 2,9 |
| - обычная | 2,5 | Ртуть | -0,5 |
| - тяжёлая | 2,8 | Спирт этиловый | -3,6 |
| Глицерин | -1,8 | Эфир этиловый | -5,4 |
| Кислород жидкий (при 210 оC) | -8,3 | - | - |
|

**Примечание.** Температурный коэффициент скорости звука показывает, на сколько метров в секунду увеличивается скорость звука в веществе при повышении его температуры на 1 оC. Знак минус показывает, что данная жидкость имеет отрицательный температурный коэффициент скорости. Это значит, что при увеличении температуры скорость звука в жидкости уменьшается. Исключение – вода, при повышении температуры от 0 до 74 оC скорость звука в ней увеличивается. Наибольшая скорость звука в воде при 74 оC равна 1555,5 м/с.