

Научно-исследовательская работа

Астрономия

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКЗОПЛАНЕТ АКУСТИЧЕСКИМ СПОСОБОМ

Выполнил

Силантьев Станислав Антонович,

учащийся 7 класса, МАУ ДО «ДПШ»,

г. Челябинск

Папулова Наталика Владимировна,

научный руководитель,

педагог дополнительного образования

МАУ ДО «ДПШ»,

г. Челябинск

Оглавление

Введение	3
1 Теоретическая часть	5
1.1 Что такое звук?	5
1.2 Свойства звуковых волн	5
1.3 Инфразвук	6
1.4 Ультразвук	6
1.5 Гиперзвук	7
1.6 Звуковые исследования	8
1.6.1 Применение звуковых волн при исследовании планеты Земля.....	8
1.6.2 Применение звука для исследования других планет	9
2 Эксперименты и наблюдения.....	11
Опыт 1 «Ловушка для звука».....	11
Опыт 2 «Домашний сейсмограф».....	14
3 Проект «Исследовательская шлюпка»	16
Заключение.....	17
Список литературы.....	18
Приложения	20
Приложение А – Теоретическая часть	20
Приложение Б – Эксперименты	23
Приложение В – Исследовательская шлюпка.....	26

Введение

Каждое лето вместе с ребятами из клуба любителей астрономии «Апекс» мы ездим на наблюдения метеорного потока Персеиды. Как только начинает темнеть, мы устраиваемся в спальниках под открытым небом и наблюдаем за звёздным небом. Это очень красивое зрелище. Сначала видны только самые яркие звёзды, но позже, когда сильно стемнеет, становится видно менее яркие и более далёкие звёзды. Если вооружиться биноклем, а ещё лучше телескопом, то можно рассмотреть ещё больше: звёзды, планеты, спутники, галактики (Рисунок А.1).

В небе над Землей тысячи звёзд. И многие из них также, как и наше Солнце, имеют свои спутники-планеты [1, 7, 9].

По состоянию на 29 декабря 2019 года достоверно подтверждено существование 4160 экзопланет в 3090 планетных системах, из которых в 676 имеется более одной планеты. Следует отметить, что количество надёжных кандидатов в экзопланеты значительно больше. Так, по проекту «Кеплер» на май 2019 года числилось 2423 кандидата (Рисунок А.2) [12, 14].

Человечество уже давно изучает космос. Планеты нашей родной солнечной системы исследуются уже давно [7]. А вот о планетах в других звёздных системах пока мало что известно. А ведь знания о них, возможно, нам пригодятся. Ученые говорят, что когда-нибудь человечеству придётся покинуть Землю. Случиться может что угодно: глобальное потепление или похолодание, встреча с астероидами, взрывы сверхновых, гибель Солнца, или просто перенаселение планеты. Кто-то говорит, что закончатся полезные ископаемые. Вот в этих случаях нам и пригодятся знания о наших соседях в других частях Вселенной.

Поэтому проблема исследования экзопланет становится с каждым годом все актуальнее. Как же мы будем исследовать эти планеты?

На Земле нас повсюду окружают звуки: на улице, дома, в школе. Почти каждый человек на нашей планете слышит миллионы звуков. Рёв мотора проехавшей машины, хлопок от лопнувшего шарика, лай собаки, шелест листвы, гром во время грозы. При помощи звука проводятся разнообразные

исследования. Звук применяется для исследования океанов, структуры земной коры, атмосферы [15].

Другие планеты тоже можно исследовать с помощью звука.

Итак, тема моей работы: «Исследование экзопланет акустическим способом».

Цель исследования: узнать, можно ли с помощью звука исследовать планеты.

Предмет исследования: звуковые волны.

Объект исследования: экзопланеты и планеты Солнечной системы.

Задачи исследования:

1. Узнать, что такое звук;
2. Провести эксперименты;
3. Проанализировать результаты экспериментов;
4. Придумать устройство для проведения звукового исследования.

Методы исследования:

1. Анализ литературы;
2. Поиск информации в сети Internet;
3. Эксперименты.

1 Теоретическая часть

1.1 Что такое звук?

В школьном курсе физики говорится, что звук – это физическое явление, которое представляет собой распространение колебаний в виде волн в твёрдых материалах, жидкостях или газообразной среде [2, 4, 17].

Возьмём для объяснения природы звука в качестве среды распространения звука – воздух, а в качестве источника звука – камертон (Рисунок А.3).

Камертон – это металлический инструмент в форме вилки, который при ударе издаёт звук всегда одинаковой частоты, которым пользуются как основным тоном при настраивании музыкальных инструментов.

Если стукнуть молоточком по камертону, он начинает вибрировать. Когда язычок камертона движется наружу, он уплотняет ближайшие молекулы воздуха. Образуется слой сжатого воздуха, который стремится расшириться обратно, уплотняя соседние молекулы. Таким образом, уплотнённый слой воздуха перемещается дальше в воздушной среде. При движении язычка обратно образуется разреженный слой воздуха, стремясь его заполнить, туда устремляются соседние молекулы. Таким образом, перемещается разреженный слой воздуха. Чередующиеся области сжатого и разреженного воздуха перемещаются в пространстве так же, как волны от брошенного в воду камня (Рисунок А.4).

1.2 Свойства звуковых волн

Звук можно описать с помощью таких свойств, как громкость, скорость и частота.

Громкость звука – это восприятие силы звука человеком. Громкость, главным образом, зависит от звукового давления и частоты звуковых колебаний. Также на громкость звука влияют его тембр, длительность воздействия звуковых колебаний и другие факторы [4, 10].

Скорость звука – это скорость распространения звуковых волн в какой-либо среде. Скорость звуковых колебаний измеряется в метрах в секунду (м/с).

Как правило, в газах скорость звука меньше, чем в жидкостях, а в жидкостях скорость звука меньше, чем в твёрдых телах. В среднем, в воздухе

скорость звука составляет 300 м/с. Это значит, что если бы два человека встали друг напротив друга на расстоянии 300 метров, то звук от одного человека к другому дошел бы за 1 секунду (Рисунок А.5) [4, 10].

Частота – это количество звуковых колебаний в единицу времени. Измеряется в Герцах (Гц) [4, 10].

По частоте звуки можно разделить на несколько видов. Обычно человек слышит звуки, передаваемые по воздуху, в диапазоне частот от 16 Гц до 20 кГц. Звук ниже диапазона слышимости человека называют инфразвуком; выше – ультразвуком (от 20 кГц до 1 ГГц) и гиперзвуком (свыше 1 ГГц) (Рисунок А.6).

Среди слышимых звуков можно особо выделить речевые звуки (устная речь) и музыкальные звуки (музыка).

Для генерации звука обычно применяются колеблющиеся тела, вызывающие колебания окружающего воздуха. Примером такой генерации может служить использование динамиков.

1.3 Инфразвук

Инфразвук – это волны, аналогичные звуковым, но имеющие частоту ниже воспринимаемой человеческим ухом. За верхнюю границу частотного диапазона инфразвука обычно принимают 20 Гц.

Инфразвук слабо поглощается средой, поэтому может распространяться на значительные расстояния от источника. При помощи инфразвука общаются между собой киты и слоны.

Инфразвук возникает при землетрясениях, ударах молний, при сильном ветре во время бурь и ураганов. Также инфразвук порождает различное промышленное оборудование: тяжёлые станки, ветряные электростанции, вентиляторы, реактивные двигатели, судовые двигатели. Кроме того, инфразвук возникает при наземных, подводных и подземных взрывах (Рисунок А.7) [5, 6].

1.4 Ультразвук

Ультразвук – это звуковые колебания высокой частоты (от 20 кГц до 1 ГГц), которые находятся за пределом слышимости человека.

У ультразвуковых волн есть интересная особенность. Если бегущие ультразвуковые волны наталкиваются на препятствие, оно испытывает особо сильное давление, и от него могут отрываться мельчайшие частицы вещества. Например, при переходе ультразвуковых волн через границу жидкости с воздухом образуются фонтанчики жидкости, и происходит отрыв отдельных капелек от поверхности. Этот механизм нашёл применение в аэрозолях с лекарственными веществами.

В природе используют ультразвук многие животные.

Летучие мыши при ночном ориентировании используют эхолокацию, при этом они могут обходить при полете препятствия. Они издаюг негромкие пищащие звуки. Звук писка отражается от стен, разных выступов и препятствий и воспринимается чутким слухом мыши. Ультразвуковой эхолокацией в воде пользуются китообразные (Рисунок А.8) [5, 6].

1.5 Гиперзвук

Гиперзвук – звуковые колебания с частотами свыше 1 ГГц. По физической природе гиперзвук не отличается от звуковых и ультразвуковых волн. Область частот гиперзвука соответствует частотам электромагнитных колебаний дециметрового, сантиметрового и миллиметрового диапазонов (сверхвысоким частотам – СВЧ).

В воздухе при нормальных условиях гиперзвук не распространяется вследствие сильного поглощения. В жидкостях затухание гиперзвука очень велико и дальность распространения мала. Сравнительно хорошими проводниками гиперзвука являются твёрдые тела, но главным образом лишь при низких температурах.

Свойства гиперзвука позволяют использовать его как инструмент исследования состояния вещества. Особенно велико его значение для изучения физики твёрдого тела (Рисунок А.9) [5, 6].

1.6 Звуковые исследования

1.6.1 Применение звуковых волн при исследовании планеты Земля

В исследовании планеты Земля широко применяется наука, называемая акустикой. Акустику можно разделить на три основных направления: атмосферная акустика, гидроакустика и геоакустика.

Атмосферная акустика – это раздел акустики, в котором изучаются распространение и генерация звука в реальной атмосфере.

Распространение звука в свободной атмосфере имеет ряд особенностей. Звуковые волны благодаря теплопроводности и вязкости воздуха поглощаются тем сильнее, чем выше частота звука и чем меньше плотность атмосферы. Поэтому резкие вблизи звуки выстрелов или взрывов на больших расстояниях становятся глухими. Неслышимые же звуки очень низких частот (инфразвуковых) затухают мало и могут распространяться на тысячи километров (Рисунок А.10).

В атмосфере наблюдаются различные звуки естественного происхождения: раскаты грома, полярные сияния, магнитные бури, мощные землетрясения, ураганы, морские волнения; свист ветра, гудение проводов, шелест листьев.

Гидроакустика – это раздел акустики, изучающий распространение звуковых волн в реальной водной среде (в океанах, морях, озёрах и т.д.) для целей подводной локации, связи и т.п. Существенная особенность подводных звуков – их малое затухание, вследствие чего под водой звуки могут распространяться на значительно большие расстояния, чем, например, в воздухе (Рисунок А.11).

Гидроакустика получила широкое практическое применение, т.к. никакие виды электромагнитных волн, включая световые, не могут распространяться в воде на значительное расстояние, и поэтому звук является единственным возможным средством связи под водой. Из наиболее существенных применений гидроакустики следует отметить эхолот, гидролокаторы. Пассивным средством подводного наблюдения служит шумопеленгатор, позволяющий определить направление источника шума, например, корабельного винта.

Геоакустика – это раздел акустики, в котором изучаются звуковые, инфразвуковые и ультразвуковые явления, происходящие в земной коре. Сюда относятся как природные процессы (например, акустические предвестники землетрясений), так и явления, связанные с применением упругих волн для изучения строения и свойств верхних слоев земной коры (акустическая разведка, сейсмическая разведка, глубинное сейсмическое зондирование, ультразвуковая эхолокация) (Рисунок А.12).

Кроме того, звуковые исследования можно разделить на пассивные и активные.

При применении **пассивных** методов звукового исследования мы воспринимаем звуки, излучаемые самими объектами исследования.

При применении **активных** методов исследования мы используем отражённый или рассеянный объектом сигнал, излучённый в его сторону нами.

Таким образом, с помощью звука мы можем исследовать атмосферу, океаны и даже структуру и процессы в земной коре [8, 15].

1.6.2 Применение звука для исследования других планет

Узнав, каким образом применяется звуковое исследование на планете Земля, мы подумали, что можно применить эти же методы на других планетах.

Каждый исследовательский космический аппарат обычно снабжается множеством устройств. Например, многофункциональная автоматическая межпланетная станция НАСА Mars Reconnaissance Orbiter (MRO), предназначенная для исследования Марса содержит целый ряд научных приборов, таких как камеры, спектрометры, радары, которые используются для анализа рельефа, изучения минералов и льда на Марсе (Рисунок А.13) [11, 14, 16].

Мы предположили, что можно также установить прибор для звукового исследования.

При помощи такого устройства мы могли бы прослушать атмосферу (если она есть), увидеть надземный и подводный рельеф исследуемой экзопланеты, определить структуру грунта, увидеть возможные месторождения полезных ископаемых.

В тех случаях, когда мы еще не знаем, есть ли атмосфера на исследуемой планете, мы можем применить пассивный метод исследования атмосферы. Для этого мы предлагаем опустить зонд и прослушать возможные звуковые колебания: шум ветра, раскаты грома, шелест листвы, рев животных и прочее. Если результат прослушивания будет положительным, это наверняка покажет, что атмосфера есть. Так как звук не может передаваться в безвоздушной среде.

Если атмосфера имеется, то мы можем провести активное звуковое исследование поверхности планеты, с целью определения ее примерного рельефа: горы, долины, реки, океаны. Для этого мы с помощью звукового генератора будем генерировать направленные звуковые волны (от инфразвука до ультразвука), а на принимающем зонде будет установлен звукоприемник. Этот звукоприемник будет принимать отраженные сигналы от поверхности. По характеру принимаемых звуковых волн мы сможем определить приблизительный характер рельефа.

Предположим, что на поверхности исследуемой планеты имеются океаны, реки, льды. В таком случае нам просто необходимо гидроакустическое оборудование. Подобное оборудование применяется и на Земле – это гидролокаторы или сонары. Их основу составляет приёмопередатчик, который посылает звуковые импульсы в требуемом направлении, а также принимает отражённые импульсы, если посылка, встретив на своём пути какой-либо объект, отразится от него. Вращая приёмопередатчик подобно прожектору, можно определить направление, в котором послан сигнал, а, следовательно, и направление объекта, от которого сигнал отражён. Заметив промежуток времени между посылкой импульса и приёмом отражённого сигнала, можно определить расстояние до обнаруженного объекта. Таким образом, можно определить «подводный» рельеф поверхности планеты.

Для определения внутренней структуры грунта (плотность грунта, полости, жидкости, газы) можно использовать устройство наподобие сейсмологической установки на Земле. Подобную установку можно использовать и в безвоздушной среде.

2 Эксперименты и наблюдения

Предположим, что мы прилетели на далекую планету с исследовательской экспедицией. Как же мы будем исследовать неизвестную нам планету? Для проведения исследований нам понадобятся специальные приборы: акустические ловушки, сонары, сейсмологические приборы.

В домашних условиях мы провели несколько экспериментов, наглядно показывающих результаты подобных наблюдений.

Опыт 1 «Ловушка для звука»

Материалы (Рисунок Б.2):

1. Мощные колонки;
2. Генератор частоты (Рисунок Б.1);
3. Легкая широкая тарелка из пластика;
4. Мыльные пузыри или мыльный раствор;
5. Бумажный стакан 400 мл;
6. Ножницы.

Последовательность действий [3]:

1. Проверить, что система выключена из розетки и регулятор громкости стоит на минимуме;
2. Осторожно положить колонку на стол (или пол) так, чтобы динамик смотрел вверх;
3. Ножницами отрезать «воротничок» с края стакана – это должна быть круговая полоска шириной 3-5 см.;
4. В тарелку налить немного мыльного раствора (или мыльных пузырей);
5. Получившееся картонное кольцо положить в раствор отогнутым краем вверх;
6. Аккуратно вынуть картонное кольцо из раствора (на нём должна образоваться мыльная плёнка);
7. Аккуратно, чтобы не повредить колонку, поставить кольцо прямо на решётку динамика мыльной плёнкой вверх;
8. Включить систему;

9. Медленно увеличить громкость. Посмотреть, что произойдет с мыльной плёнкой;

10. Установить громкость в среднее положение и изменять частоту звука (от низких частот до высоких). Посмотреть, что произойдет с мыльной плёнкой.

Результаты опыта:

В этом опыте результаты были очень неожиданными и интересными.

Сначала мы просто увеличивали громкость звука. При этом стал надуваться большой мыльный пузырь (Рисунок Б.3).

При изменении частоты мы смотрели на плёнку сверху. При увеличении частоты происходило следующее. Сначала плёнка была неподвижной. Затем на ней начали появляться симметричные рисунки. При постепенном изменении частоты звука мыльная плёнка на нашем кольце сначала как бы поделилась на две равные части, на восемь и так далее. Затем появились множество полосок, которые начали вместе перемещаться на кругу, вокруг центра кольца. Затем вращение остановилось, и плёнка как будто успокоилась. Но это только на первый взгляд (Рисунок Б.4).

При взгляде на кольцо со стороны оказалось, что рисунки на мыльной плёнке образовывались множеством мыльных пузырей, которые надувались на плёнке в разных местах при изменении частоты. Некоторые из них были больше, некоторые – меньше. В тот момент, когда сверху казалось, что плёнка больше не движется, сбоку было видно, что от неё начали отрываться маленькие капельки мыльного раствора, похожие на фонтанчики (Рисунок Б.5).

Выводы:

Так как мыльная плёнка более вязкая, чем вода. Она имеет очень полезное для нашего опыта свойство: при давлении звука она не рвется, а натягивается. Это позволяет нам наглядно увидеть давление звука в разных областях плёнки (динамика).

Здесь мы наглядно увидели эффект, возникающий при наложении звуковых волн (интерференцию). В тех местах, где величина звуковых волн складывалась, получалось большее звуковое давление, и пузырь надувался

большого размера. Где сумма была меньше, давление было меньше, и пузырь получался меньше. В тех местах, где давления не было, или оно было значительно меньше, чем в других местах – плёнка как бы провисала и не надувалась. Поэтому и получался рисунок на плёнке.

На очень высокой частоте мы наглядно увидели пример воздействия ультразвука (или звука близкого к ультразвуку) на жидкость. Давление звука на плёнку в некоторых местах было таким сильным, что при его действии от мыльной плёнки стали отрываться капельки.

Устройство для регистрации звуков:

В ходе проведенного опыта мы подумали, что можно создать устройство, регистрирующее разнообразные звуки. Причем звуки можно не только регистрировать, но и определять их частоту по характеру рисунка. Например, сравнив полученные рисунки с имеющимися у нас, можно определить характер источника (ветер, гром, техника и т.д.).

Опыт 2 «Домашний сейсмограф»

Материалы (Рисунок Б.6):

1. Консервная банка;
2. Консервный нож;
3. Пищевая плёнка;
4. Скотч или лейкопластырь;
5. Ножницы;
6. Пластилин;
7. Длинные полоски стекла (30х4 см.);
8. Свеча.

Последовательность действий [13]:

1. Аккуратно вырезать у консервной банки консервным ножом дно, чтобы получилось жестяное кольцо;
2. Вырезать из пищевой плёнки круг, немного больше чем дно банки;
3. Прикрепить получившийся круг из плёнки к банке вместо доньшка (плёнка должна быть туго натянута). Для прочности можно подклеить скотчем;
4. Вырезать из оставшейся жести стрелку, изогнуть её как на рисунке Б.7 и приклеить к получившемуся доньшку с помощью скотча или лейкопластыря;
5. Прикрепить к банке кусочки пластилина таким образом, чтобы можно было положить банку на стол;
6. Осторожно взять полоски из стекла и проклеить скотчем края, чтобы не порезаться;
7. Прокоптить защищённые скотчем полоски над свечой так, чтобы они почернели (Рисунок Б.8);
8. Подставить прокопченное стекло под стрелку;
9. Прокричать что-нибудь в банку, одновременно перемещая стекло;
10. Посмотреть получившийся рисунок на стекле;
11. Провести тот же опыт с генератором частоты из Опыта №1.

Результаты опыта:

Когда мы потянули стеклянную полоску и одновременно закричали в банку, на закопченном стекле заостренная жестянка процарапала прозрачную

линию. Сначала линия была прямая, а начиная с середины стеклянной полоски, стала волнистой.

Это произошло потому что, когда кто-нибудь кричит в банку, плёнка от крика дрожит, и жестяная иголка дрожит, линия получается с извилинами.

Когда мы подставили колонку, результат получался тот же. При воздействии звукового давления стрелка начинала вибрировать. Чем громче был звук и чем ниже частота, тем сильнее отклонялась стрелка, и тем четче прорисовывался зигзаг на стекле (Рисунок Б.9).

Выводы:

На закопчённом стекле можно увидеть действие звука по изменению внешнего вида линии.

С помощью подобного устройства можно регистрировать сейсмическую активность исследуемой планеты.

3 Проект «Исследовательская шлюпка»

Как же будет выглядеть наш исследовательский корабль? Немного пофантазировав, мы решили его сделать таким... (Рисунок В.1)

На создание внешнего вида нас вдохновил фильм «Гостя из будущего». Похожая форма была у флипов в будущем.

Во внутренней обстановке (Рисунок В.2) мы изобразили каюту для исследований. Потому что она нас больше всего интересует в данной работе.

Здесь мы установили несколько стандартных приборов: камеры, портативные телескопы, антенны для улавливания радиозвуков и солнечную батарею для питания всех приборов.

Ещё мы установили свои приборы: прибор для записи звуков в виде диска и стрелки и звукочувствительную пленку.

При попадании звуковой волны на пленку, она начинает колебаться. По характеру и рисунку колебаний мы сможем определить силу звука и характер звука, сравнивая получаемые образцы с имеющимися у нас.

Диск со стрелкой действуют как сейсмограф. От воздействия звукового давления стрелка начинает отклоняться и на диске прорисовываются бороздки. В зависимости от частоты и силы звука стрелка будет отклоняться на разные расстояния, и форма бороздки будет изменяться.

Кроме того, если посылать направленные звуковые сигналы. То по отраженным сигналам можно определять рельеф поверхности. Если же звуковой сигнал направлять в толщу жидкости на поверхности исследуемой планеты, то можно «увидеть» особенности рельефа дна.

Это также можно проверить с помощью наших приборов.

Заключение

Исследование экзопланет можно проводить самыми разнообразными способами. Одним из них может стать и звуковое исследование. Это наглядно показали наши эксперименты. Если снабдить исследовательский аппарат подобными устройствами, то исследуемая планета сможет многое рассказать нам о себе.

Можно прослушать атмосферу и узнать, есть ли на планете какие-либо объекты издающие звуки. Можно с помощью гидролокации произвести разведку дна глубоких водоемов. При помощи геолокаторов можно увидеть строение грунта исследуемой планеты и узнать, есть ли полезные ископаемые в её недрах. Можно при помощи сейсмографов прослушать планету как стетоскопом и узнать имеется ли внутри неё активность.

Таким образом, можно сделать вывод, что с помощью звукового исследования можно узнать очень много интересного и полезного о планете. А значит, и определить, чем она может быть нам полезна и интересна.

В ходе своего исследования мы поняли, что еще много всего непознанного существует в нашей вселенной. Науке известно множество способов исследовать планеты. И звуковое исследование – это очень важный и интересный способ познания.

Список литературы

1. Атлас звездного неба. Все созвездия северного и южного полушарий с подробными картами [текст] – Минск: Харвест, 2007. – 256 с.;
2. Голямина, И.П. Звук // Физическая энциклопедия / под общ. ред. А.М. Прохорова. [текст] – М.: Советская энциклопедия, 1988-1999;
3. Ди Специо, М. Занимательные опыты: Свет и звук. Электричество и магнетизм / М. Ди Специо; пер. с англ. М. Заболотских, А. Расторгуева. [текст] – М.: АСТ: Астрель, 2006. – с. 94-161.: ил.;
4. Звук // Энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона: В 86 томах (82 т. и 4 доп.). [текст] – С-Пб., 1890-1907;
5. «Звукорежиссёр» Архив журнала. №8 [текст], 2000;
6. «Звукорежиссёр» Архив журнала. №9 [текст], 2000;
7. Иллюстрированный атлас. Вселенная [текст] – М.: ООО «ИГ Азбука-Аттикус», 2012;
8. Интернет библиотека xliby.ru. Научная литература и прочее. Статья «Радиоисследования планет с космических аппаратов» / Крупенио Н.Н. [Электронный ресурс]: http://www.xliby.ru/nauchnaja_literatura_prochee/
9. Левитан Е.П., Сказочная вселенная. [текст] – М.: Издательский Дом Мещерякова, Эксмо, 2011. – ил.;
10. «Почемучка», Анимационный сериал, 1 сезон, серия «Что такое звук?» – телеканал «Карусель»
11. Свободная энциклопедия Википедия. Статья «Mars Reconnaissance Orbiter» [Электронный ресурс]: <http://ru.wikipedia.org/wiki>
12. Свободная энциклопедия Википедия. Статья «Экзопланеты» [Электронный ресурс]: <http://ru.wikipedia.org/wiki>
13. Сикорук Л.Л. Физика для малышей. 2-е издание [текст] – М.: Педагогика, 1983 с. 8-35.: ил.;
14. «Солнечная система». Науч.-попул. журн. [текст] – М.: Eaglemoss collections, Еженед., 2012-2013;
15. Экспериментируем с созданием звука и музыки Corpuscul.net. Теория звука. Том 2. Статья «Звук в различных средах» [Электронный ресурс]: <http://corpuscul.net/teoriya-zvuka-2/zvuk-v-razlichnyx-sredax>

16. Энциклопедия для детей. Том 8. Астрономия. [текст] – М.: Мир энциклопедий Аванта+, Астрель, 2011

17. Яндекс. Словари. [Электронный ресурс]: <http://slovari.yandex.ru>

Приложения

Приложение А – Теоретическая часть

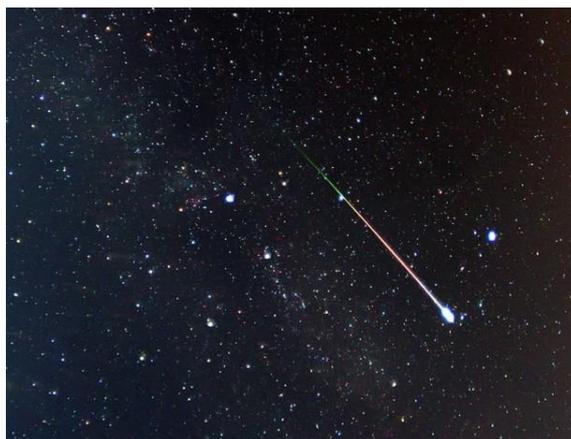


Рисунок А.1 Метеорный поток Персеиды

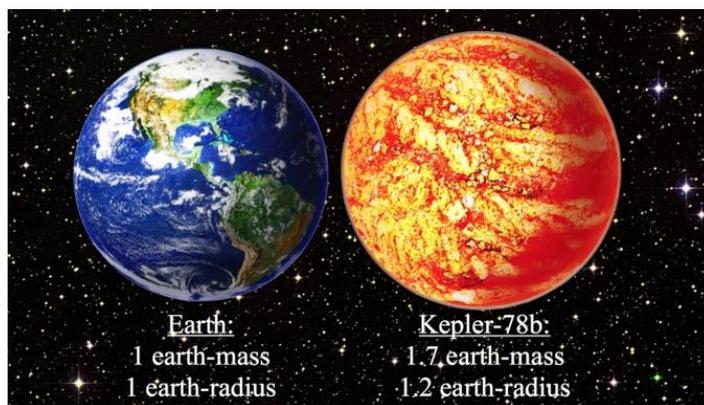


Рисунок А.2 Экзопланета Kepler-78b
в сравнении с Землей



Рисунок А.3 Камертон



Рисунок А.4 Звуковые волны в воздухе –
чередующиеся области сжатия и разрежения

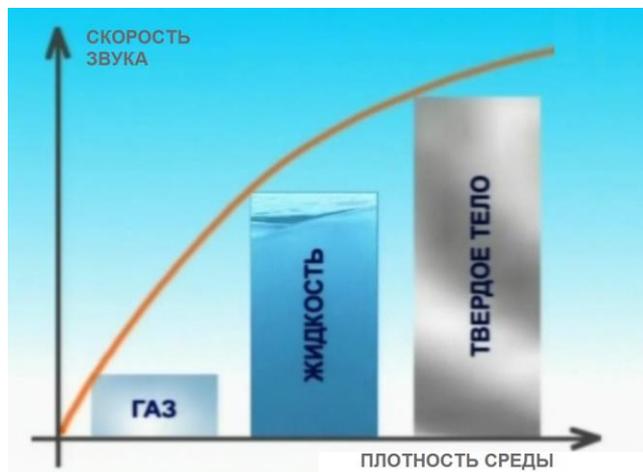


Рисунок А.5 Скорость звука в различных средах

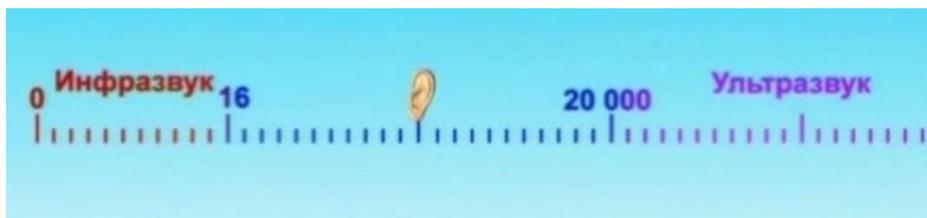


Рисунок А.6 Диапазоны частот звука



Рисунок А.7 Источники инфразвука на Земле

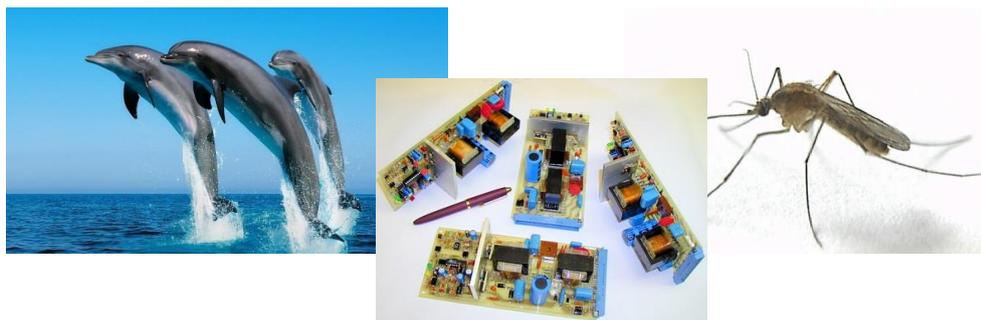


Рисунок А.8 Источники ультразвука на Земле



Рисунок А.9 Источники гиперзвука на Земле



Рисунок А.10 Примеры звукоуловителей

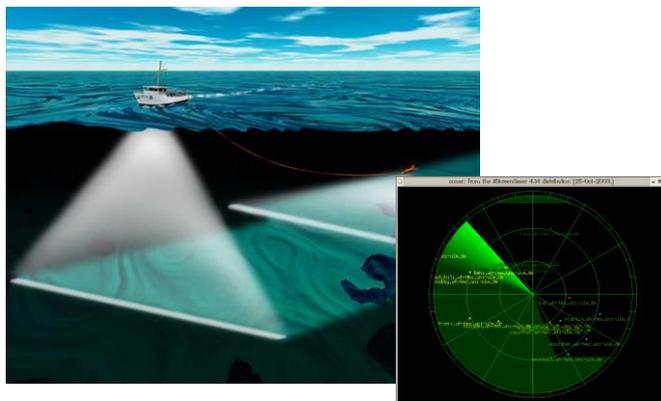


Рисунок А.11 принцип действия гидролокаторов

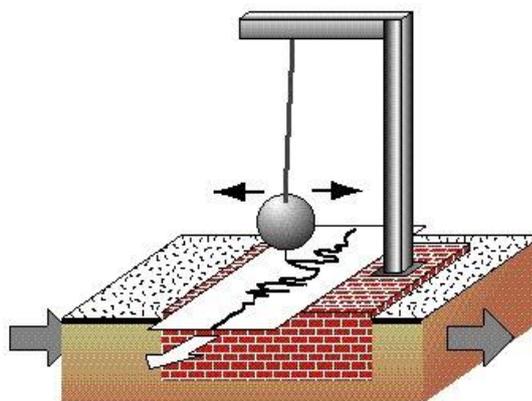


Рисунок А.12 Принцип действия сейсмографа

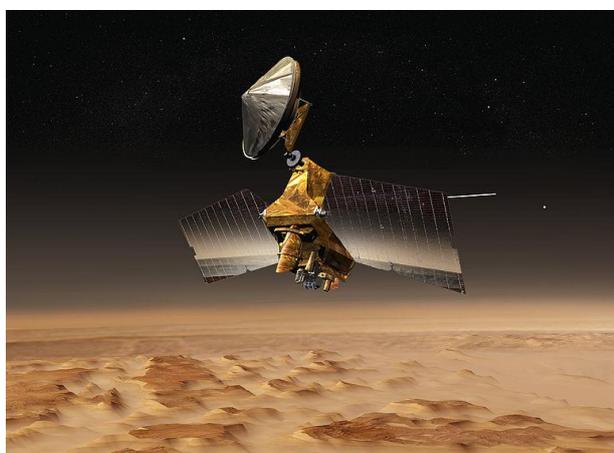


Рисунок А.13 Многофункциональная автоматическая межпланетная станция НАСА Mars Reconnaissance Orbiter (MRO)

Приложение Б – Эксперименты

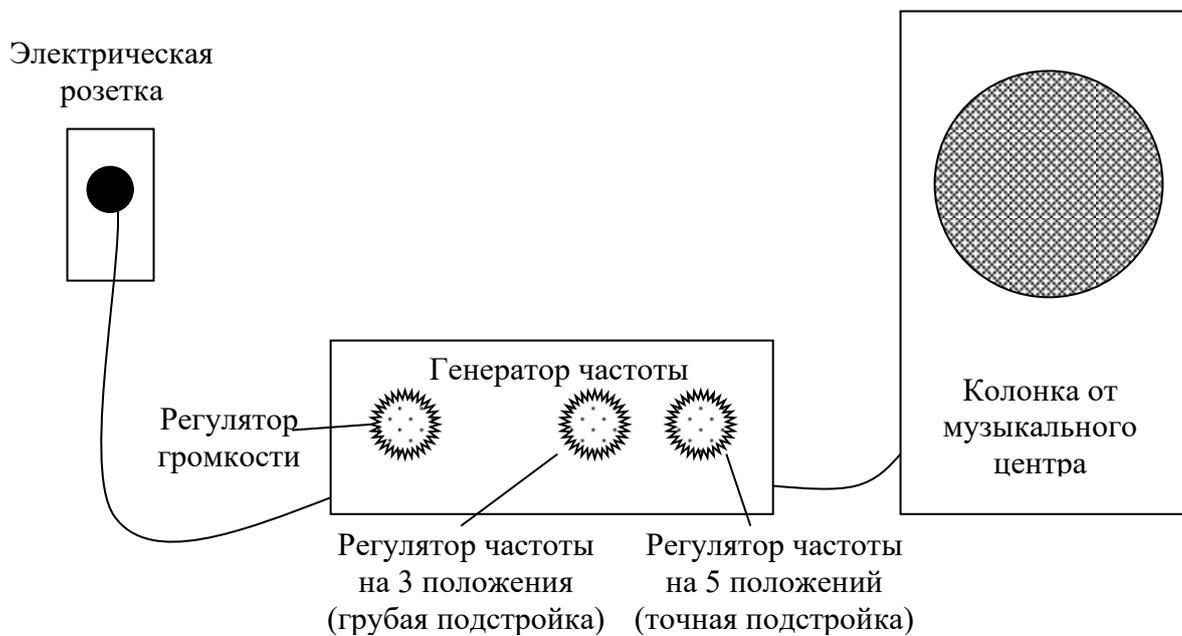


Рисунок Б.1 Функциональная схема установки для экспериментов (генератор частоты)

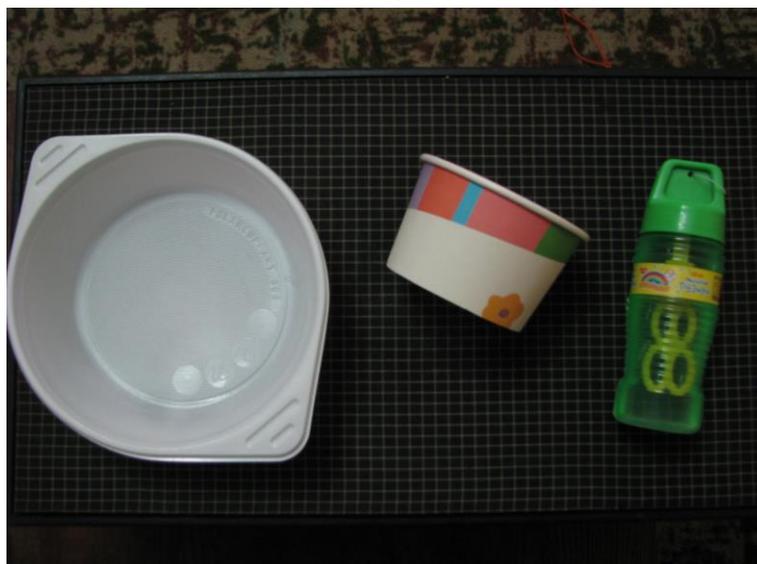


Рисунок Б.2 Необходимые материалы для опыта №1 «Ловушка для звука»



Рисунок Б.3 Мыльный пузырь

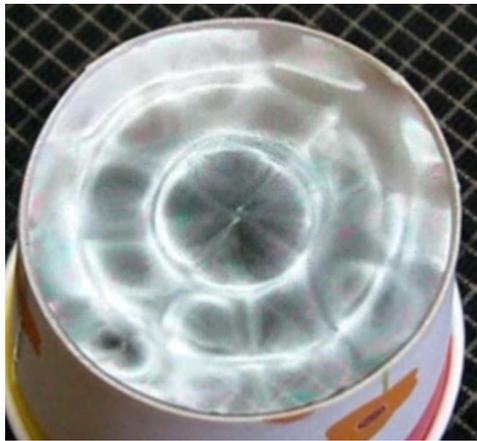


Рисунок Б.4 Рисунки на мыльных пузырях.
Вид сверху



Рисунок Б.5 Рисунки на мыльных пузырях.
Вид сбоку



Рисунок Б.6 Необходимые материалы для опыта №2
«Домашний сейсмограф»



Рисунок Б.7 Внешний вид установки для опыта №2
«Домашний сейсмограф»



Рисунок Б.8 Закопченное стекло

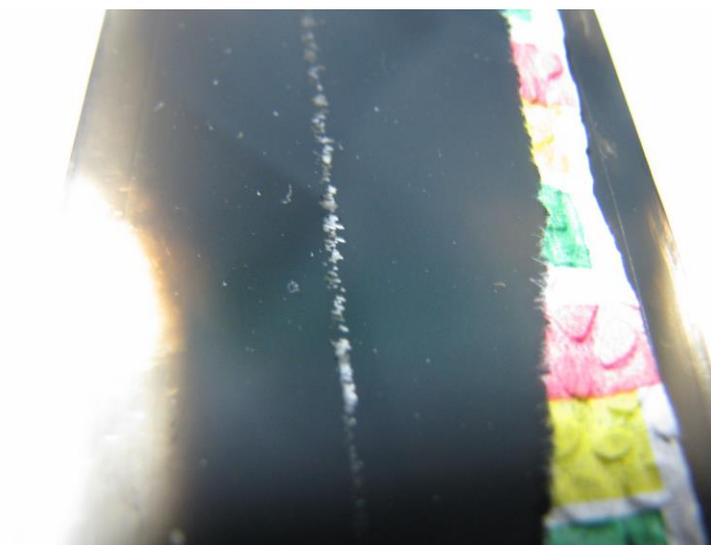


Рисунок Б.9 Звук на стекле

Приложение В – Исследовательская шлюпка



Рисунок В.1 Внешний вид



Рисунок В.2 Каюта для исследований