

# Курсовая работа по физике на тему «Физика и гитара»

Подготовили: Восьмерик Андрей 10Б  
Цветков Сергей 10Б

Преподаватель:

Михайлина Раиса Павловна

Рязань 2013

# План

- 1) Введение
  - а) Что такое гитара
  - б) Виды гитар
- 2) Законы физики в акустической гитаре
  - а) История создания
  - б) Устройство
  - в, г, ... ) Законы физики
  - п) Запись звука
- 3) Электрическая гитара
  - а) История создания
  - б) Устройство
  - в, г, ... ) Законы физики
  - п) Запись звука
- 4) Виды звукоснимателей
  - а) Магнитные
  - б) Пьезозвукосниматели
  - в) Оптические
- 5) Действующий макет магнитного звукоснимателя
- 6) Заключение
- 7) Список литературы
-

Гитара — струнный щипковый музыкальный инструмент, один из самых распространённых в мире. Применяется в качестве аккомпанирующего или сольного инструмента во многих музыкальных стилях и направлениях музыки, являясь основным инструментом в таких музыкальных стилях, как блюз, кантри, фламенко, рок-музыка, иногда джаз и др. Изобретённая в XX веке электрическая гитара оказала сильное влияние на массовую культуру.

С момента появления и в процессе развития появилось много классификаций гитар, но в рамках физики все они делятся на акустические и электрические.



Акустическая гитара



Электрическая гитара

# История

Самые ранние сохранившиеся свидетельства о струнных инструментах с резонирующим корпусом и шейкой, предках современной гитары, относятся ко II тысячелетию до н. э.



Тар – один из предшественников современной гитары

Прародителем современной гитары является испанская гитара. В Средние века основным центром развития гитары была Испания, куда она попала из древнего Рима (латинская гитара) вместе с арабскими завоевателями. К концу XVIII века испанская гитара в процессе эволюции приобретает 6 одиночных струн. В Россию гитара попала относительно поздно, когда в Европе она была известна уже пять веков. Но и вся западная музыка стала широко проникать в Россию лишь в конце XVII — начале XVIII века.

# Устройств

0



Акустическая гитара представляет собой корпус с длинной шейкой, называемой «грифом». Лицевая, рабочая сторона грифа — плоская либо слегка выпуклая. Вдоль неё параллельно натянуты струны, закреплённые одним концом на подставке корпуса, другим — на колковой коробке на окончании грифа. На подставке корпуса струны привязываются или крепятся неподвижно при помощи барашков, на головке грифа с помощью колкового механизма, позволяющего регулировать натяжение струн. Струна лежит на двух порожках, нижнем и верхнем, расстояние между ними, определяющее максимальную длину рабочей части струны, является мензурой гитары. Верхний порожек находится в верхней части грифа, около головки. Нижний устанавливается на подставке на корпусе гитары. В качестве нижнего порожка могут использоваться т. н. «сёдла» — простые механизмы, позволяющие регулировать длину каждой струны.

Усиление звука.

Резонанс.

Сама по себе колеблющаяся струна звучит очень тихо, что для музыкального инструмента непригодно. Для увеличения громкости в гитаре используются два подхода — акустический и электрический. Рассмотрим акустический подход.

При акустическом подходе корпус гитары конструируется в виде акустического резонатора, что позволяет достичь громкости, сопоставимой с громкостью человеческого голоса. Резонатор — это колебательная система, в которой происходит накопление энергии колебаний за счёт резонанса с вынуждающей силой. Резонанс — явление резкого возрастания амплитуды вынужденных колебаний, которое наступает при приближении частоты внешнего воздействия к некоторым значениям (резонансным частотам), определяемым свойствами системы. Явление резонанса заключается в том, что при некоторой частоте вынуждающей силы колебательная система оказывается особенно отзывчивой на действие этой силы. Степень отзывчивости в теории колебаний описывается величиной, называемой добротность. Явление резонанса впервые было описано Галилео Галилеем в 1602 г в работах, посвященных исследованию маятников и музыкальных струн.

Струна гитары и других струнных инструментов имеют основную резонансную частоту, напрямую зависящую от длины, массы и силы натяжения струны. Длина волны первого резонанса струны равна её удвоенной длине. При этом, его частота зависит от скорости  $v$ , с которой волна распространяется по струне:

где  $L$  — длина струны (в случае, если она закреплена с обоих концов). Скорость распространения волны по струне зависит от её натяжения  $T$  и массы на единицу длины  $\rho$ :

Таким образом, частота главного резонанса зависит от свойств струны и выражается следующим отношением:

$$f = \frac{\sqrt{\frac{T}{\rho}}}{2L} = \frac{\sqrt{\frac{T}{m/L}}}{2L} = \sqrt{\frac{T}{4mL}}$$

где  $T$  — сила натяжения,  $\rho$  — масса единицы длины струны, а  $m$  — полная масса струны.

Резонанс — один из важнейших физических процессов, явление которого используется в различных областях, таких как механика, электроника, оптика, акустика, астрофизика и др.

## Звуковые колебания

Музыкальные звуки являются периодическими колебаниями и потому содержат гармоники (обертоны). В струне наряду с колебаниями основной частоты в той или иной степени возбуждаются другие гармоники. Относительный вклад каждого обертона зависит от способа возбуждения струны. Набором обертонов в значительной степени определяется тембр музыкального звука.

Музыкальная акустика изучает особенности музыкальных звуков, их характеристики, связанные с тем, как мы их воспринимаем, и механизмы звучания музыкальных инструментов. Музыкальный звук, или тон, - это периодический звук, т.е. колебания, которые снова и снова повторяются через определенный период. Периодический звук можно представить в виде суммы колебаний с частотами, кратными основной частоте  $f$ :  $2f$ ,  $3f$ ,  $4f$  и т.д.

Музыкальные звуки различаются по трем признакам: громкости, высоте и тембру. Все эти показатели субъективные, но их можно связать с измеряемыми величинами. Громкость связана в основном с интенсивностью звука; высота звука, характеризующая его положение в музыкальном строе, определяется частотой тона; тембр, которым один инструмент или голос отличается от другого, характеризуется распределением энергии по гармоникам и изменением этого распределения во времени.

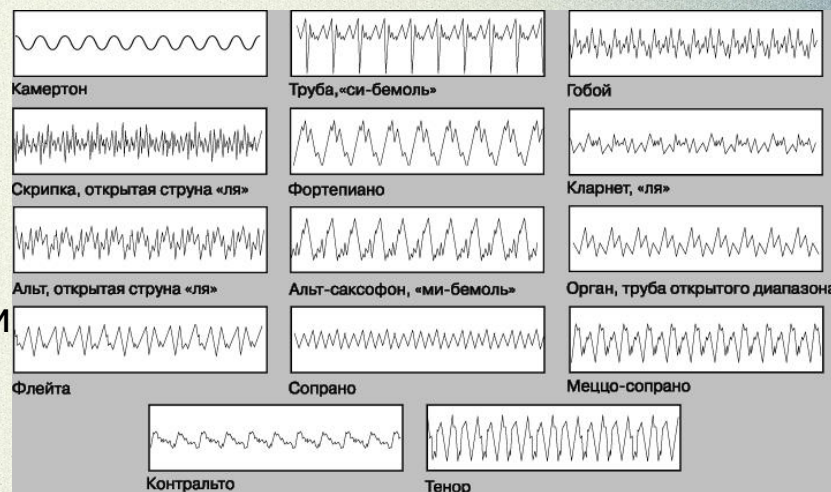


## Высота звука

Высота музыкального звука тесно связана с частотой, но не тождественна ей, поскольку оценка высоты звука носит субъективный характер. Так, например, музыкальный звук, состоящий из набора частот 200, 300, 400 и 500 Гц, воспринимается как звук высотой 100 Гц. То есть высота звука ассоциируется с основной частотой гармонического ряда, даже если ее нет в спектре звука.

## Тембр

Под тембром понимаются те особенности музыкальных звуков, которые придают музыкальным инструментам и голосам их неповторимую специфику, даже если сравнивать звуки одинаковой высоты и громкости. Это, так сказать, качество звука. Тембр зависит от частотного спектра звука и его изменения во времени. Он определяется несколькими факторами: распределением энергии по обертонам, частотами, возникающими в момент появления или прекращения звука (так называемыми переходными тонами) и их затуханием, а также медленной амплитудной и частотной модуляцией звука.

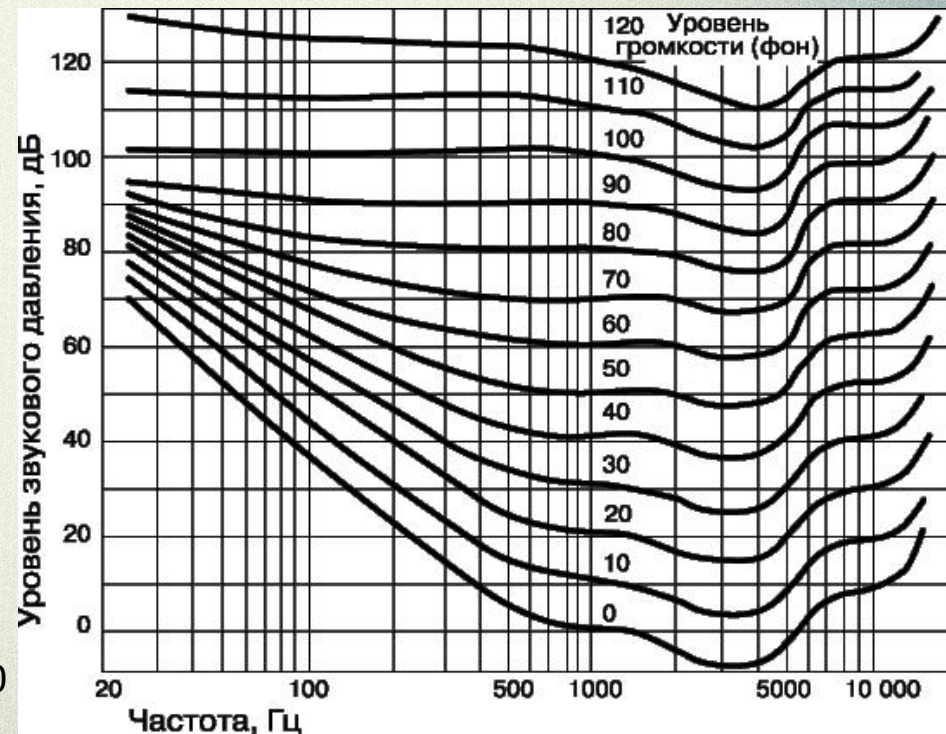


# Громкость

Уровень звукового давления не связан простой зависимостью с психологическим восприятием громкости. Первый из этих факторов объективный, а второй - субъективный. Эксперименты показывают, что восприятие громкости зависит не только от интенсивности звука, но и от его частоты и условий эксперимента. Громкости звуков, не привязанных к условиям сравнения, сравнивать невозможно. Например, при частоте тона 200 Гц необходим уровень звука в 60 дБ, чтобы он воспринимался как равногромкий тону 1000 Гц с уровнем звукового давления 50 дБ.

Эти кривые используются для определения фона - единицы уровня громкости, которая тоже измеряется в децибелах. Фон - это уровень громкости звука, для которого уровень звукового давления равногромкого стандартного чистого тона (1000 Гц) равен 1 дБ. Так, звук частотой 200 Гц при уровне 60 дБ имеет уровень громкости в 50 фонов. Нижняя кривая на рис. 9 - это кривая порога слышимости хорошего уха.

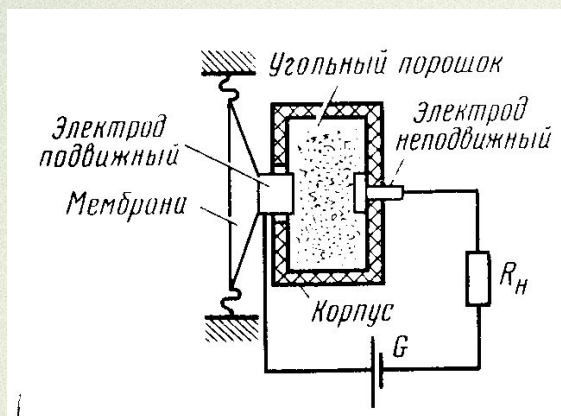
Диапазон слышимых частот простирается примерно от 20 до 20000 Гц.



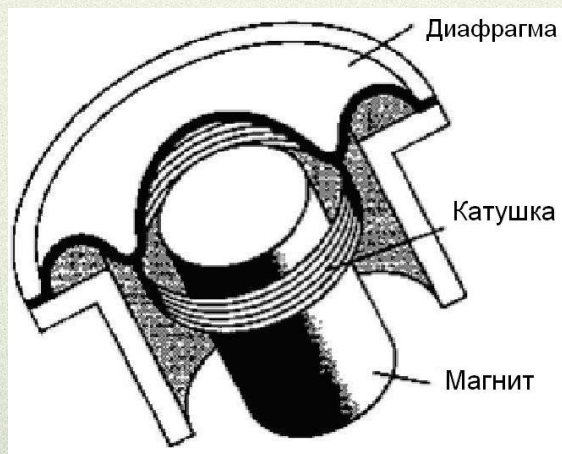
# Запись звука

Снятие звука с акустической гитары можно произвести при помощи микрофона. Микрофоны делятся на:

-угольные



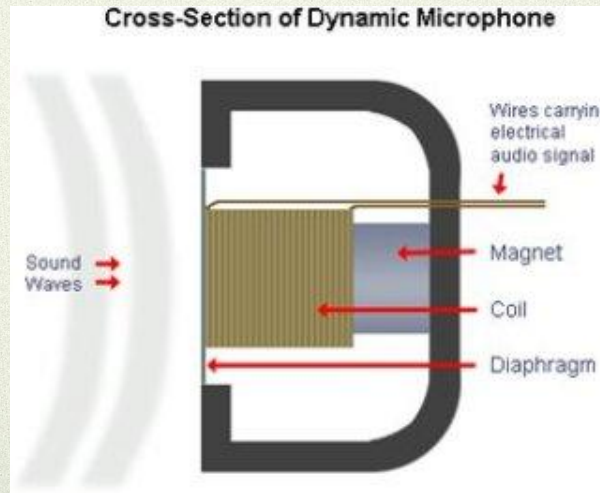
-динамические



-конденсаторные



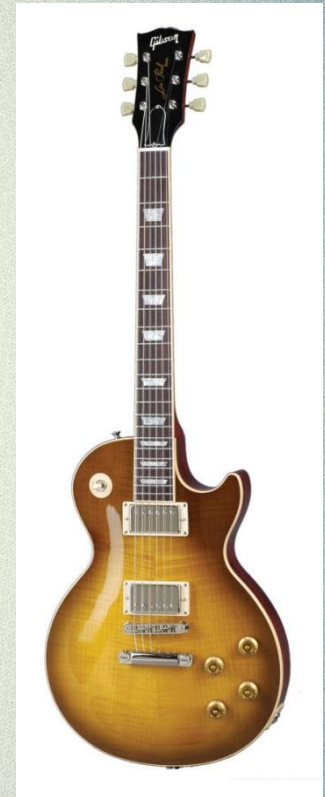
-пьезоэлектрические



## Электрическая гитара

В XX веке в связи с появлением технологии электрического усиления и обработки звука появился новый тип гитары — электрическая гитара. В 1936 году Жоржем Бошамом и Адольфом Рикенбекером, основателями компании «Рикенбекер», запатентована первая электрогитара с магнитными звукоснимателями и металлическим корпусом (т. н. «сковородка»). В начале 1950-х годов предприниматель Лео Фендер и музыкант Лес Пол независимо друг от друга изобретают электрическую гитару со сплошным деревянным корпусом, конструкция которой сохранилась без изменений до настоящего времени.

Электрогитара — разновидность гитары с электрическими звукоснимателями, преобразующими колебания металлических струн в колебания электрического тока. Сигнал со звукоснимателей может быть обработан для получения различных звуковых эффектов и затем усилен для воспроизведения через динамики.

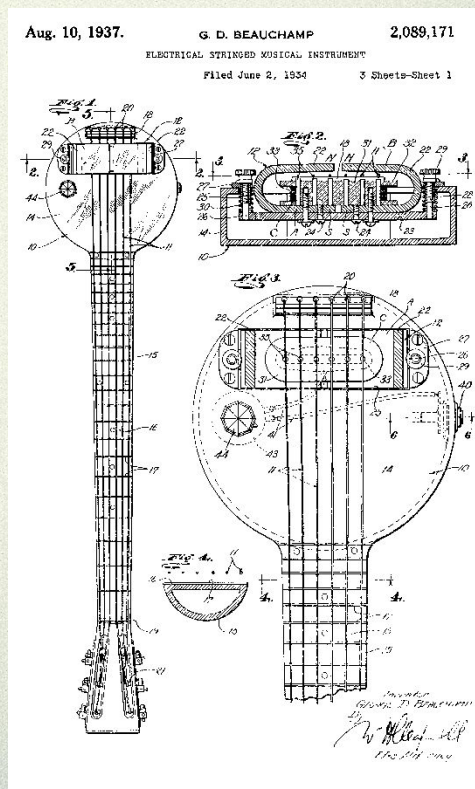


# История

История электрогитары относит нас к 1930 году, когда будучи уволенным из национальной компании струнных инструментов (National String Instrument Company) Джордж Бишамп начал работу по поиску новых методов увеличения громкости струнных инструментов. Популярным решением такой проблемы было следующее: проводник, колеблющийся в поле, создаваемом одним или несколькими постоянными магнитами, производит изменение в магнитном поле, которое в свою очередь производит переменный ток в проволоке намотанной вокруг этих магнитов. Сила электрического тока, пропорциональна величине колебаний проводника в магнитном поле. Такой же принцип лежит в основе электромоторов, генераторов, игл фонографа и акустических динамиков.

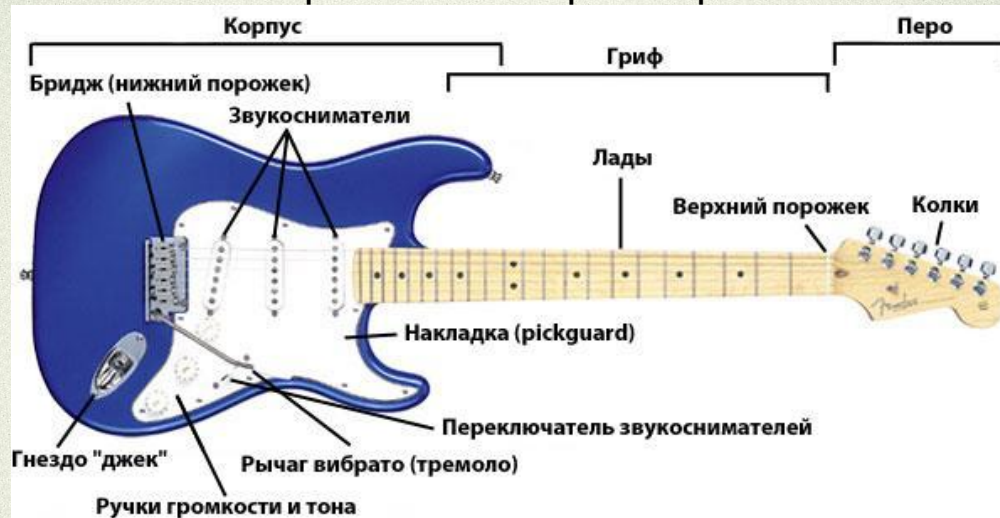
Первый магнитный звукосниматель в 1924 году сконструировал Ллойд Лоэр, инженер-изобретатель, работавший в компании Gibson. Первые электрогитары для массового рынка произвела в 1931 году Electro String Company, образованная Полом Бартом, Джорджем Бишампом и Адольфом Рикенбекером: будучи сделанными из алюминия, эти инструменты получили от музыкантов любовное прозвище «frying pans» («сковородки»).

динамиков.



## Устройство

Устройство электрогитары аналогично устройству акустической, за исключением отсутствия резонаторного отверстия. Следствие этого – узкий и цельный деревянный корпус. На месте резонаторного отверстия находятся звукосниматели, в которых и заключается основной принцип работы электрогитары.



Звук электрогитары, получается, посредством звукоснимателей, которые являются системой из нескольких магнитов и катушек проволоки, которая намотана рядом и вокруг магнитов.

При игре на электрогитаре, колебания струн создают в звукоснимателях электрический ток, который и передаётся в усилитель.

Получается, что простое колебание струны трансформируется в электромагнитное колебание.

## Электромагнитная индукция

Электромагнитная индукция — явление возникновения электрического тока в замкнутом контуре при изменении магнитного потока, проходящего через него.

Электромагнитная индукция была открыта Майклом Фарадеем 29 августа 1831 года. Он обнаружил, что электродвижущая сила, возникающая в замкнутом проводящем контуре, пропорциональна скорости изменения магнитного потока через поверхность, ограниченную этим контуром. Величина электродвижущей силы (ЭДС) не зависит от того, что является причиной изменения потока — изменение самого магнитного поля или движение контура (или его части) в магнитном поле. Электрический ток, вызванный этой ЭДС, называется индукционным током.



## Правило Ленца

Опыт показывает, что направление индукционного тока в контуре зависит от того, возрастает или убывает магнитный поток, пронизывающий контур, а также от направления вектора индукции магнитного поля относительно контура. Общее правило, позволяющее определить направление индукционного тока в контуре, было установлено в 1833 г. Э. Х. Ленцем.

Правило Ленца можно наглядно показать с помощью легкого алюминиевого кольца. Опыт показывает, что при внесении постоянного магнита кольцо отталкивается от него, а при удалении притягивается к магниту. Результат опытов не зависит от полярности магнита.

Отталкивание и притяжение сплошного кольца объясняется возникновением индукционного тока в кольце при изменениях магнитного потока через кольцо и действием на индукционный ток магнитного поля. Очевидно, что при вдвигании магнита в кольцо индукционный ток в нем имеет такое направление, что созданное этим током магнитное поле противодействует внешнему магнитному полю, а при выдвигании магнита индукционный ток в нем имеет такое направление, что вектор индукции его магнитного поля совпадает по направлению с вектором индукции внешнего поля.

Общая формулировка правила Ленца: *возникающий в замкнутом контуре индукционный ток имеет такое направление, что созданный им магнитный поток через площадь, ограниченную контуром, стремится компенсировать то изменение магнитного потока, которым вызывается данный ток.*

## Закон электромагнитной индукции

Экспериментальное исследование зависимости ЭДС индукции от изменения магнитного потока привело к установлению закона электромагнитной индукции: *ЭДС индукции в замкнутом контуре пропорциональна скорости изменения магнитного потока через поверхность, ограниченную контуром.*

$$|\mathcal{E}_i| = \left| \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \right|$$

С учетом правила Ленца закон электромагнитной индукции записывается следующим образом:

$$\mathcal{E}_i = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

ЭДС индукции в катушке. Если в последовательно соединенных контурах происходят одинаковые изменения магнитного потока, то ЭДС индукции в них равна сумме ЭДС индукции в каждом из контуров. Поэтому при изменении магнитного потока в катушке, состоящей из  $n$  одинаковых витков провода, общая ЭДС индукции в  $n$  раз больше ЭДС индукции в одиночном контуре:

$$\mathcal{E}_i = -n \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

# Звукосниматели

## Классификация

**Все звукосниматели можно поделить на активные и пассивные:**

-Пассивные звукосниматели — представляют собой устройство не осуществляющее усиление сигнала. Актуальным для магнитных звукоснимателей недостатком является некоторая зависимость электрических параметров (в основном добротности и резонансной частоты) от параметров подключенных внешних устройств (усилитель) и линий коммутации (кабель) и наведенных на них шумов. Как преимущество — отсутствие необходимости в дополнительном источнике питания.

-В активных звукоснимателях предварительное усиление звука осуществляется за счет встроенной в него электроники, которая позволяет подать в линию передачи сигнал большей мощности (при этом критичен уровень собственных шумов). Недостаток — необходимость в дополнительном источнике питания. Достоинства: независимость характеристик звукоснимателя от подключаемой аппаратуры и снижение относительного уровня шумов в линии передачи и усилителе.

**При этом существует несколько видов звукозаписывающих устройств:**

**Магнитные** — снятие звука происходит благодаря изменению электромагнитного поля за счёт колебания в нём струны.

**Электроакустические** — микрофоны различных типов, в частности — **пьезоэлектрические**, где снятие звука происходит за счёт пьезоэлектрических эффектов.

**Оптические** (не получили массового распространения) — снятие сигнала происходит за счёт регистрации отраженного от струны или проходящего через неё светового потока.

## Пьезоэлектрические звукосниматели

При более сложной физике преобразования механической энергии непосредственно в электрическую, пьезозвукосниматель является простым и прогнозируемым устройством. *Пьезозвукосниматель* - это пьезокристалл с обкладками из проводника, поэтому его свойства полностью заранее определены физическими свойствами этого кристалла.

*Пьезозвукосниматель* имеет ровно одну характеристику - **емкость**. Его эквивалентная схема - это источник напряжения с последовательно включенной ёмкостью. Причем эта емкость имеет достаточно малую величину 100-500 пФ. Поэтому, чтобы получить от пьезозвукоснимателя какой-либо звук вообще, его необходимо нагрузить на повторитель напряжения с очень большим (3-10 МОм) входным сопротивлением, чтобы уменьшить влияние емкости на передачу низких частот. Поэтому вместе со звукоснимателем, как правило, всегда устанавливается активная электроника: эквалайзер или буферный каскад. Это его единственный, но вполне решаемый недостаток, в остальном он имеет много преимуществ по сравнению с индуктивными датчиками.

## Магнитные звукосниматели

Магнитные звукосниматели работают только со струнами из ферромагнитных материалов (стальная жила + оплетка из никеля, стали и т.п.) и состоят из магнитов и катушек. Первая и очень важная мысль состоит в том, что магнитный звукосниматель - это электромагнитное устройство.

В соответствии с законом Фарадея наведенное в датчике напряжение прямо пропорционально скорости изменения магнитного потока. Скорость изменения магнитного потока в катушке прямо пропорциональна скорости движения струны.

$$U = -\frac{d\Phi}{dt} = K \frac{dA}{dt}$$
, где  $U$  – это выходное напряжение,  $\Phi$  – магнитный поток,  $t$  – время,  $K$  – некоторый коэффициент,  $A$  – отклонение струны от своего положения покоя и соответственно  $dA/dt = v$  – скорость движения струны.

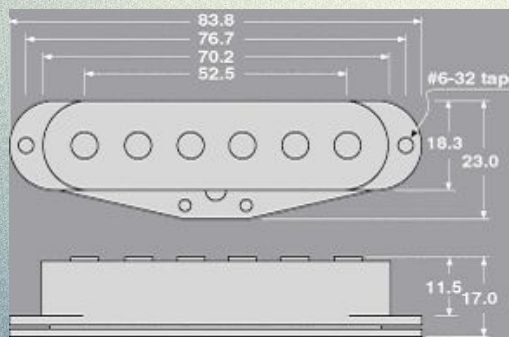
## Типы магнитных звукоснимателей

Магнитные звукосниматели подразделяются на **однокатушечные** - синглы и **двухкатушечные** - хамбакеры (humbucker – подавитель фона).

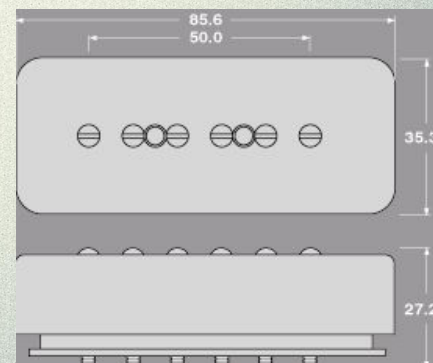
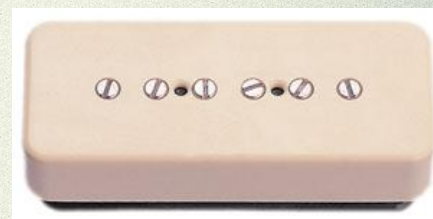
## Простые однокатушечные датчики

Простые однокатушечные датчики чувствительны к магнитным полям, создаваемым сетевыми кабелями, трансформаторами, лампами дневного света и другими источниками помех, что приводит к возникновению посторонних шумов и в первую очередь сетевой частоты 50Гц. Магнит (или магниты под каждую струну) располагаются одним полюсом к струнам, а другим в деку под ними, т.е. линия соединяющая полюсы, параллельна оси катушки. Таким образом, расстояние между полюсами равно высоте звукоослабителя не заполнено никаким магнитопроводящим материалом. Поэтому линии поля магнита равномерно рассредоточены по объему. Это влияет на величину подмагничивания струны и величину изменения магнитного потока, что в свою очередь сказывается на уровне выходного напряжения.

### Стандартный сингл



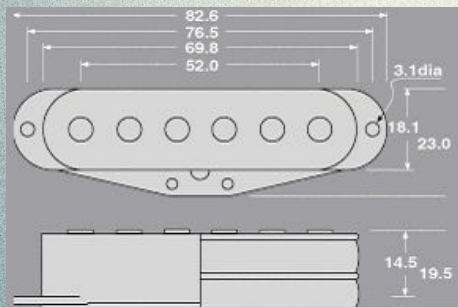
### Сингл P-90



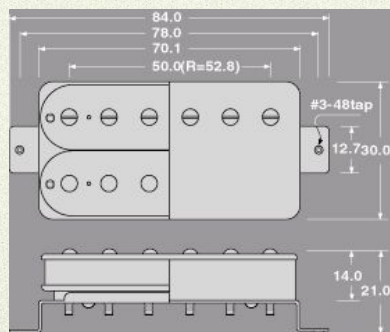
## Двухкатушечные датчики

Двухкатушечные датчики делятся в свою очередь на 2 типа: хамбакеры и хамкенселлеры. Общее в этих датчиках то, что в них используются две катушки, которые одинаковы геометрически и одинаковы или близки по количеству витков, электрически находятся в противофазе, чтобы паразитные наводки и шумы сводить до минимума.

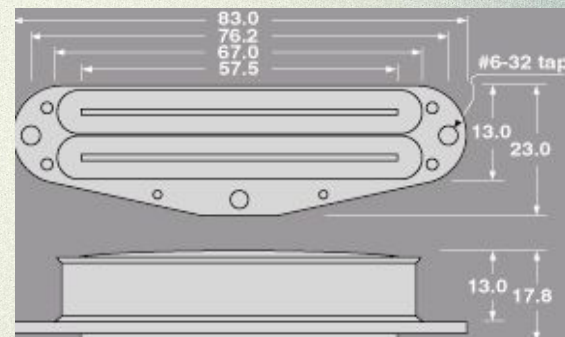
Хамкенселлер



Original Humbucker



Side-by-side Humbucker





## Оптические звукосниматели

В отличие от обычных звукоснимателей, оптические звукосниматели не создают магнитного поля. Это позволяет увеличить продолжительность звучания струны, поскольку она не «тормозится» магнитным полем звукоснимателя. На выходе получается чистый, натуральный звук струны, на которую не оказывал влияние магнитный звукосниматель. Оптические датчики фиксируют тень от струны. Получаемый сигнал обрабатывается и усиливается специальной аналоговой схемой. Так как система оптического звукоснимателя не взаимодействует со струнами и так как она имеет более высокую чувствительность, вибрация струн продолжается намного дольше. В отличие от магнитных звукоснимателей, которые приводят к появлению неприятных шумов, оптический звукосниматель не имеет собственных шумов. Но пока что, этот вид звукоснимателей не распространен из-за других различных неудобств.



## Действующий макет магнитного звукоснимателя

Для того, чтобы наглядно показать явление электромагнитной индукции в звукоснимателе, мы сделали действующий звукосниматель.



### Устройство

Звукосниматель сделан из постоянного магнита, медной проволоки толщиной 0,02мм, проводов, стальной пластины, деревянной коробки и гитарного разъема типа «джек» 6,3мм.



Вокруг постоянного магнита намотано около 3000 витков медной проволоки толщиной 0,02мм. К ее концу припаян гибкий провод для удобства монтажа, который припаян к разъему. Все это приклеено к деревянному корпусу, в котором есть прорезь для стальной пластины, проводящей электромагнитное поле. Таким образом, пластина является продолжением магнита.



## Заключение

Таким образом, мы рассмотрели физические явления, принципы которых используются в акустической и электрической гитарах. Открытие акустических законов и законов электромагнитной индукции привело к созданию этого музыкального инструмента. На их основе продолжается прогрессивное развитие принципиально новых способов снятия и извлечения звука. Создание действующего макета звукоснимателя позволило более глубоко и наглядно изучить принцип электромагнитной индукции.







