Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова
Кафедра математики, физики и медицинской информатики

РязГМУ
Кафедра математики, физики и медицинской информатики

Механические колебания и волны. Уравнение плоской волны. Волновое уравнение. Звуковые волны, характеристики звука. Ультразвук. Применение ультразвука в стоматологии. Эффект Доплера.

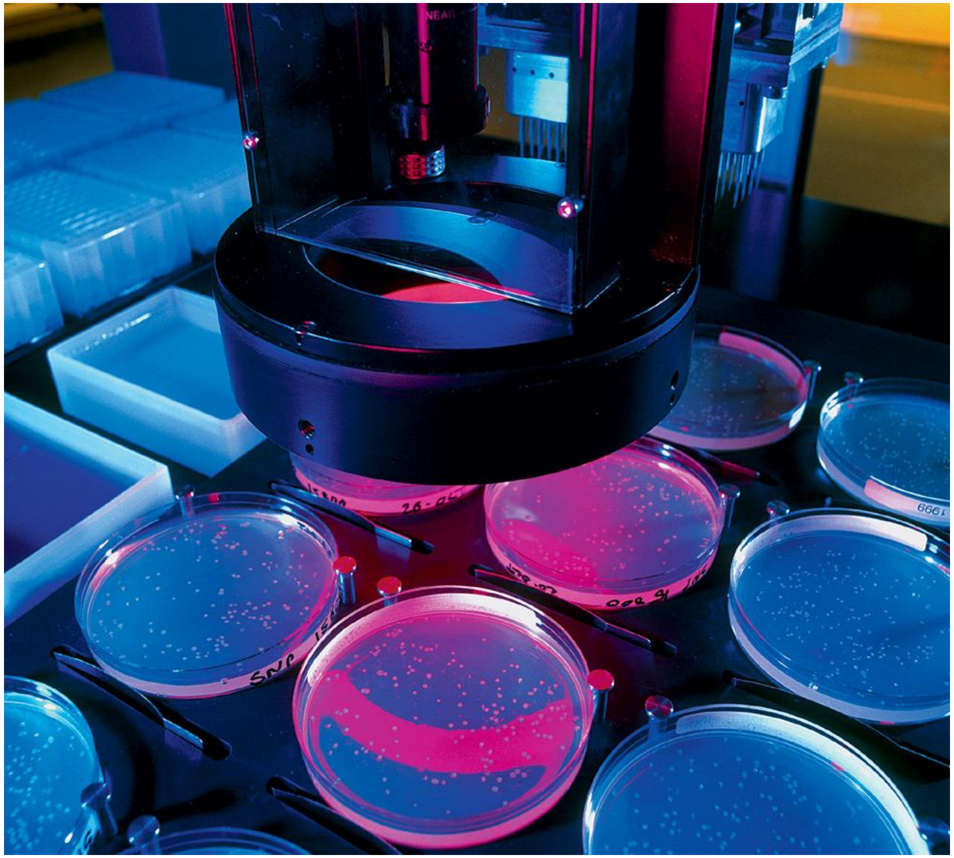
профессор Ельцов
Анатолий Викторович

Физика и медицина

Познай самого себя, и ты познаешь весь мир. Первым занимается медицина, вторым - физика.

Физику во многом создавали врачи, к исследованиям их побуждали вопросы медицины. Римский медик Гален (II век н.э.) ввел в обиход понятия "температура" и "градус", ставшие основополагающими для физики. Уильям Гильберт (1544-1603), лейб-медик английской королевы, придумал модель для описания земного магнетизма. Автомобильный карданный вал изобрел итальянский врач Джероламо Кардано (1501-1576). Выдающийся немецкий ученый, врач Герман Гельмгольц (1821-1894) сформулировал в современной математической форме закон сохранения энергии. Французский врач Жан-Луи Пуазейль (1799-1869) вывел формулу для динамической вязкости. Маятник Фуко, носит имя французского ученого Жан-Бернара-Леона Фуко (1819-1868), врача по образованию. Английский ученый Томас Юнг (1773-1829), практикующий врач, вместе с Френелем, считается создателем волновой оптики.

Значение физики для медицины

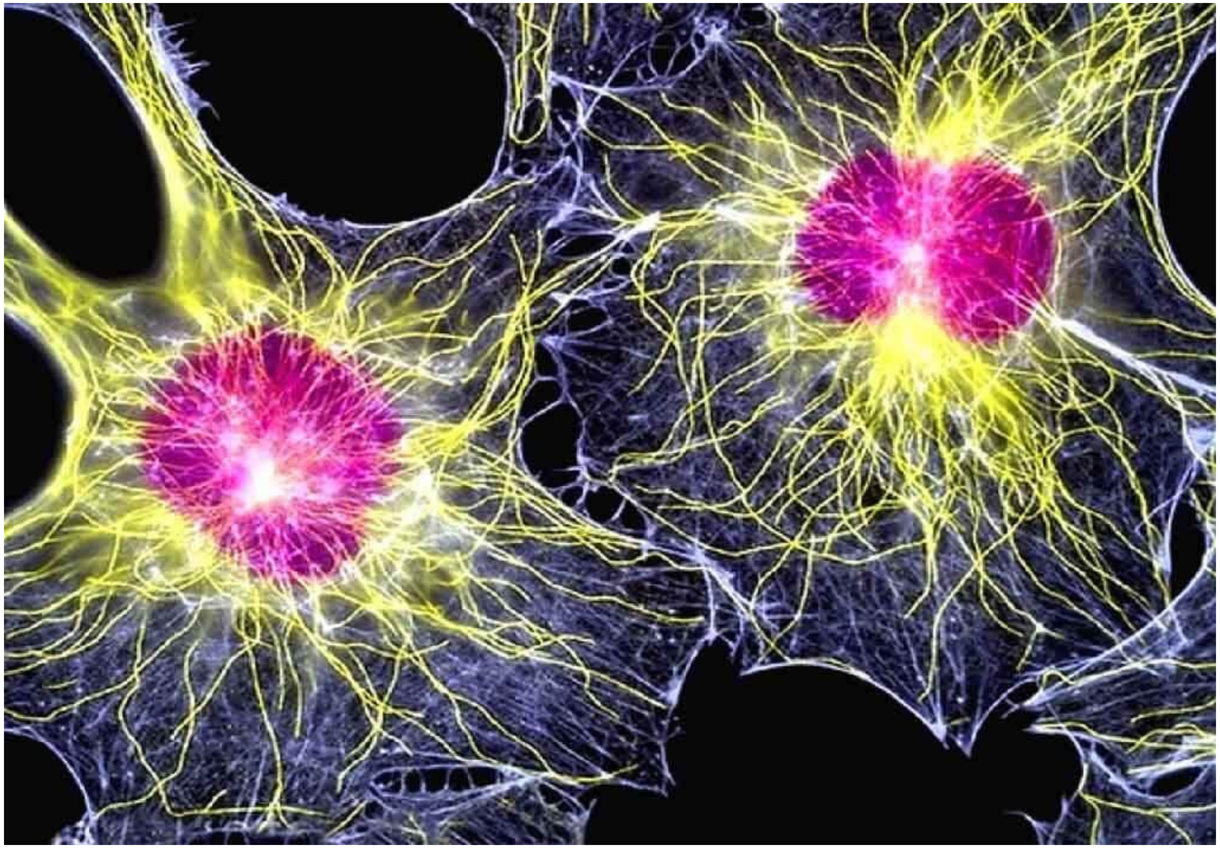


Робот сортирует ДНК человека в чашках Петри для проекта *The Human Genome.* Создана первая полностью синтетическая хромосома с геномом. Когда ее встроили в бактериальную клетку, лишенную генетического материала, она начала функционировать и делиться по предписанным новым геномом законам. В перспективе синтетический геном позволит создавать вакцины против новых вирусных штаммов, производить эффективное биотопливо, новые пищевые продукты и т. д.

Значение физики для медицины

Несколько исследовательских групп (США, Франция, Германия) научились записывать в мозг мышей ложные воспоминания, стирать реальные, а также превращать приятные воспоминания в неприятные. До человеческого мозга дело пока не дошло, но осталось недолго.

Значение физики для медицины



Получены «этичные» (не из эмбрионов) плюрипотентные стволовые клетки

За последующее десятилетие не менее десятка научных групп добились впечатляющих успехов в данной области, в том числе с человеческими клетками. Это предвещает скорые прорывы в терапии рака, регенеративной медицине, а также в клонировании человека (или его органов).

Значение физики для медицины

По дыханию распознана ранняя стадия рака легких. Группа израильских, американских и британских ученых разработала устройство, которое способно точно идентифицировать рак легких и определить, в какой стадии он находится. Основой устройства стал анализатор дыхания со встроенным наночипом *NaNose*, способный определять раковую опухоль с 90-процентной точностью, даже когда раковый узелок практически незаметен. В скором времени стоит ожидать анализаторов, которые смогут по «запаху» определять и другие виды рака.

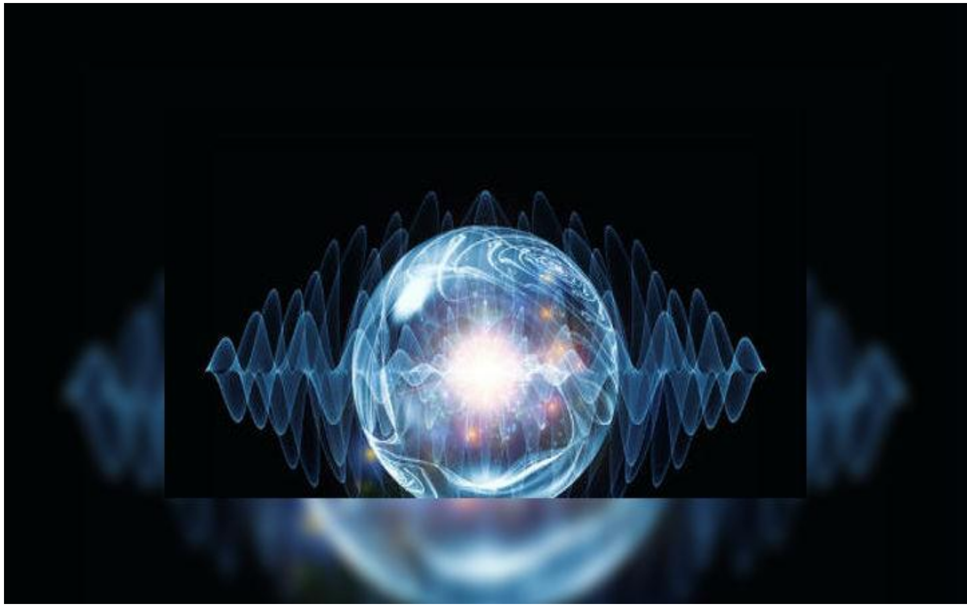
Значение физики для медицины

Специалисты американской компании *Abiomed* разработали первое в мире полностью автономное постоянное искусственное сердце для имплантаций (*AbioCor*). Искусственное сердце предназначено для пациентов, у которых невозможно лечение собственного сердца или имплантация донорского.

Значение физики для медицины

Появились первые опытные образцы «умных» протезов с обратной связью (эмуляцией осязательных ощущений), которые позволяют человеку чувствовать то, что «ощущает» протез. В 2010-х годах созданы и отдельные от человека устройства, управляемые только через мысленный интерфейс (иногда с инвазивными контактами, но чаще это головной обруч с сухим электродом). Американец испытал бионический ножной протез, поднявшись по лестнице на 103-й этаж небоскреба в Чикаго

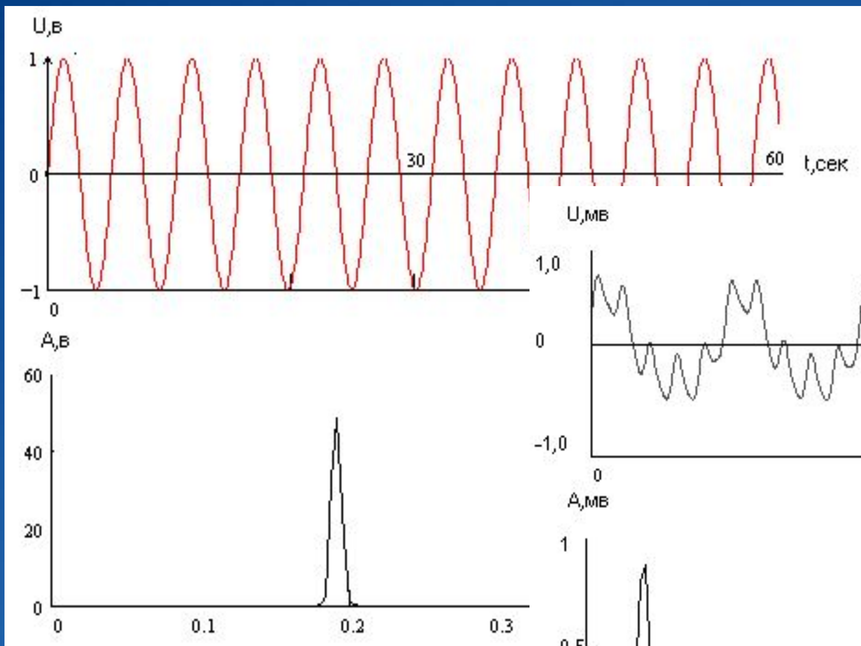
Колебаниями **называют процессы, отличающиеся той или иной степенью повторяемости.** ***Повторяющиеся*** **процессы непрерывно происходят внутри любого живого организма, например: сокращения сердца, работа легких; колебания барабанных перепонок и голосовых связок, колеблются атомы, из которых мы состоим.**

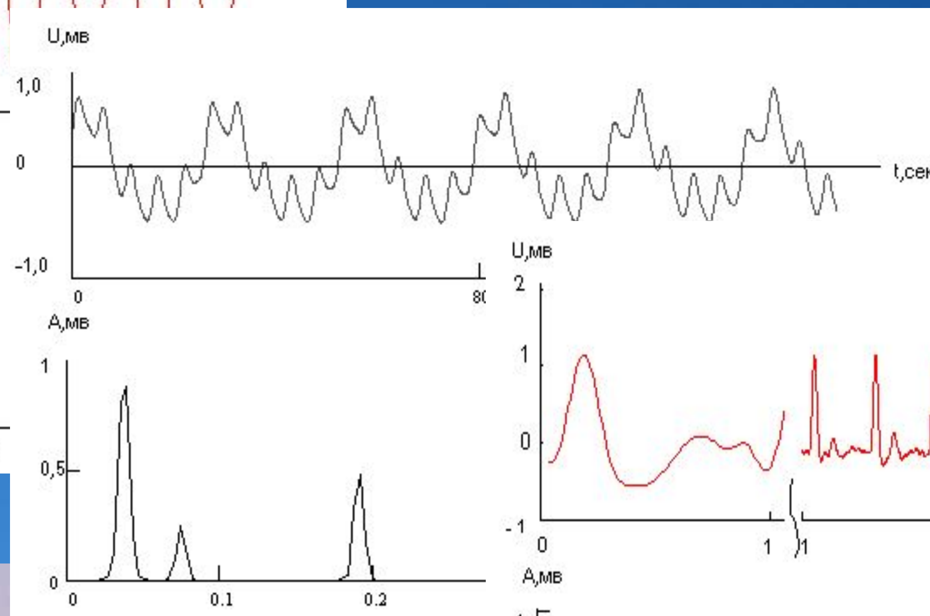


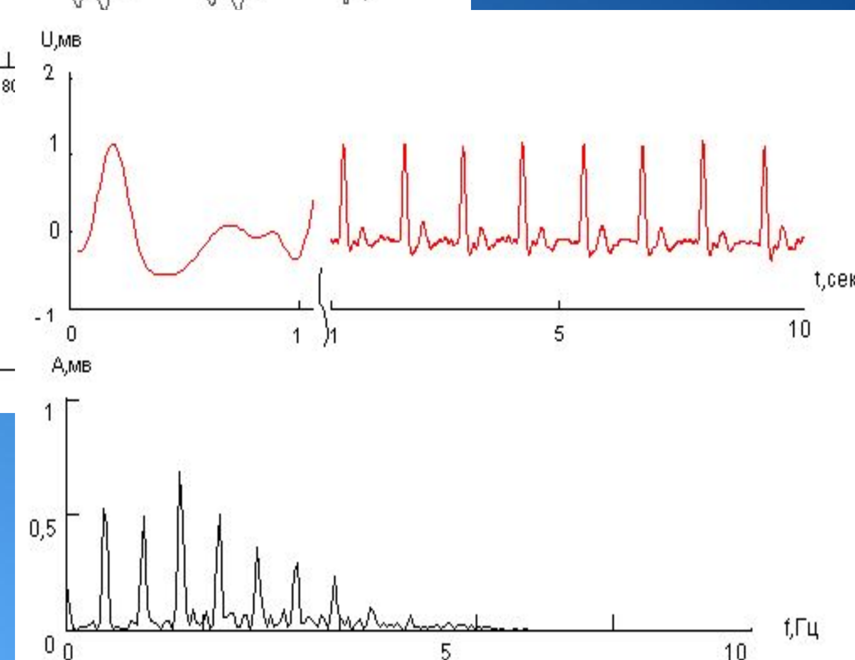
Мир, в котором мы живем, удивительно склонен к колебаниям.

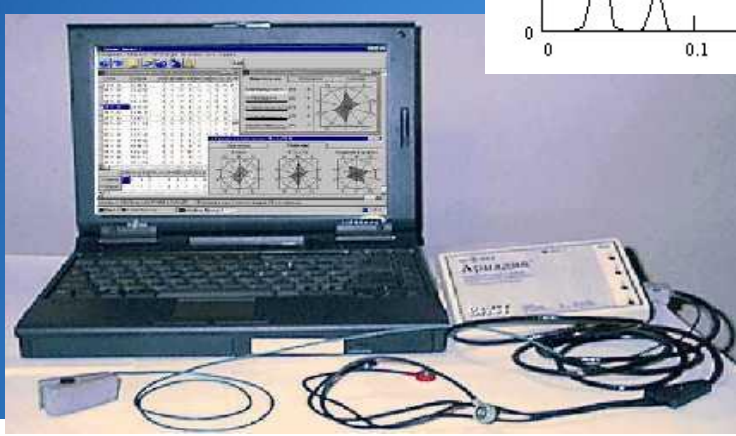
Многообразие видов колебаний в природе связано с тем, что колебания лежат в основе передачи энергии.

Основными способами получения диагностической информации является спектральный анализ различных колебаний

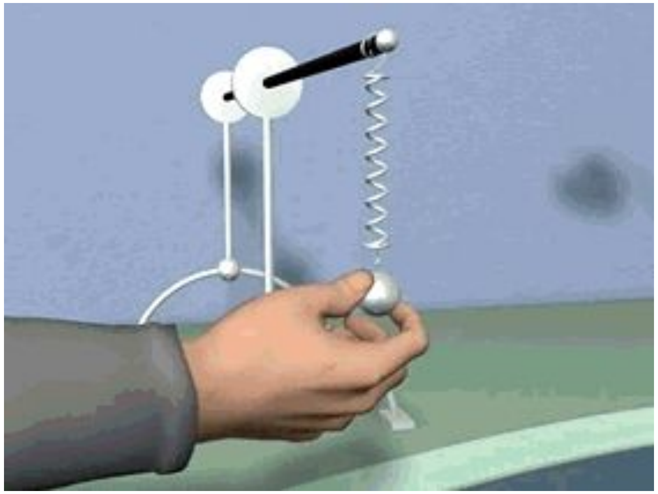


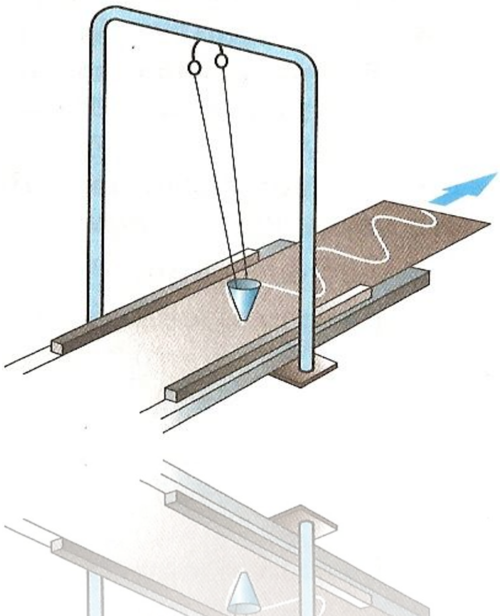


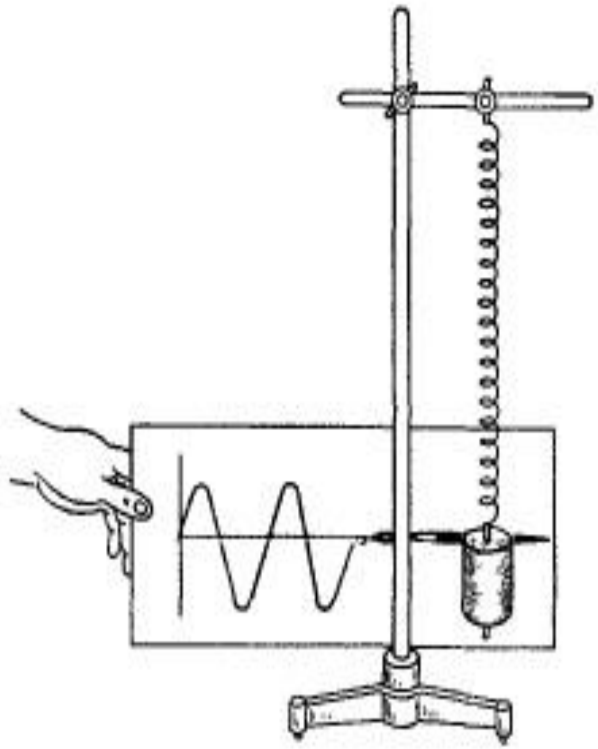


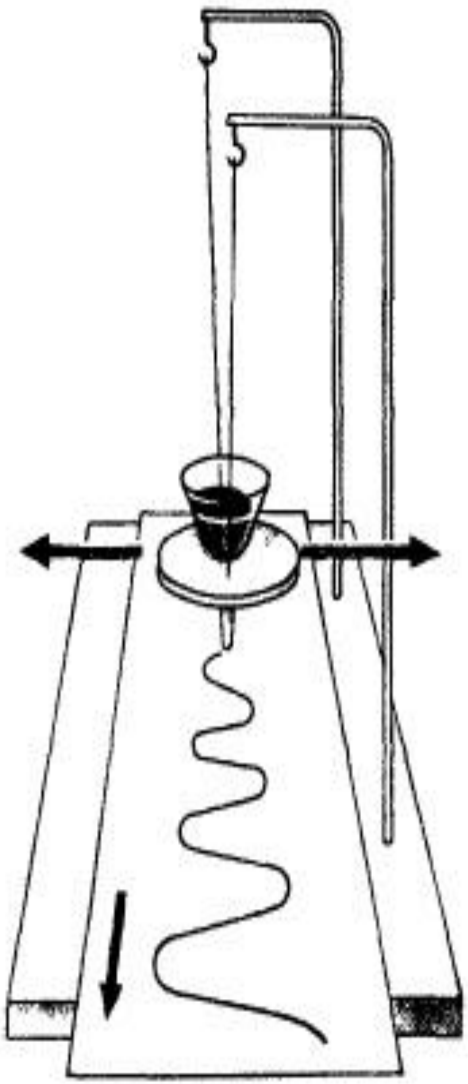


Примеры колебательных систем



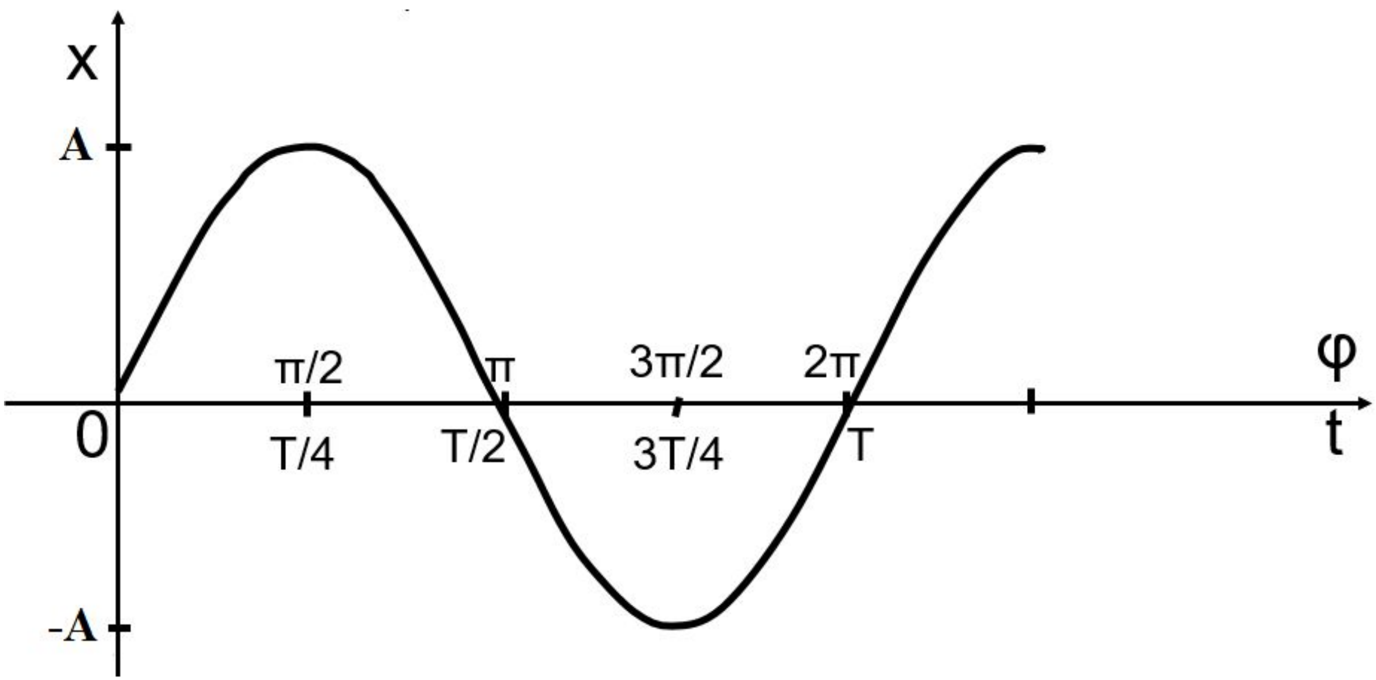






Среди различных видов колебаний наиболее простой формой является **гармоническое колебание**, т.е. такое, при котором колеблющаяся величина изменяется в зависимости от времени по закону синуса или косинуса.

Их значимость обусловлена следующими причинами. Во-первых, колебания в природе и в технике часто имеют характер, очень близкий к гармоническому, и, во-вторых, периодические процессы иной формы (с другой зависимостью от времени) могут быть представлены как наложение нескольких гармонических колебаний.



$$x = A\,sin(\omega t + \varphi_0)$$

$$x = A\,cos(\omega t + \varphi_0)$$

уравнение гармонического колебания

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОЛЕБАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ

$$x = X_m \sin(\omega t + \varphi_0)$$

x – **смещение** точки от положения равновесия в данный момент времени (мгновенное значение)	A, X_m – модуль максимального смещения точки от положения равновесия называется **амплитудой**	$\varphi = \omega t + \varphi_0$ – **фаза колебаний**, которая определяет состояние колебательной системы в любой момент времени $\varphi = [\text{ рад }]$

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОЛЕБАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ

$$x = X_m \sin(\omega t + \varphi_0)$$

T – время одного полного колебания называется **<u>периодом</u>**;

T* = *t*/*n, где n – число полных колебаний

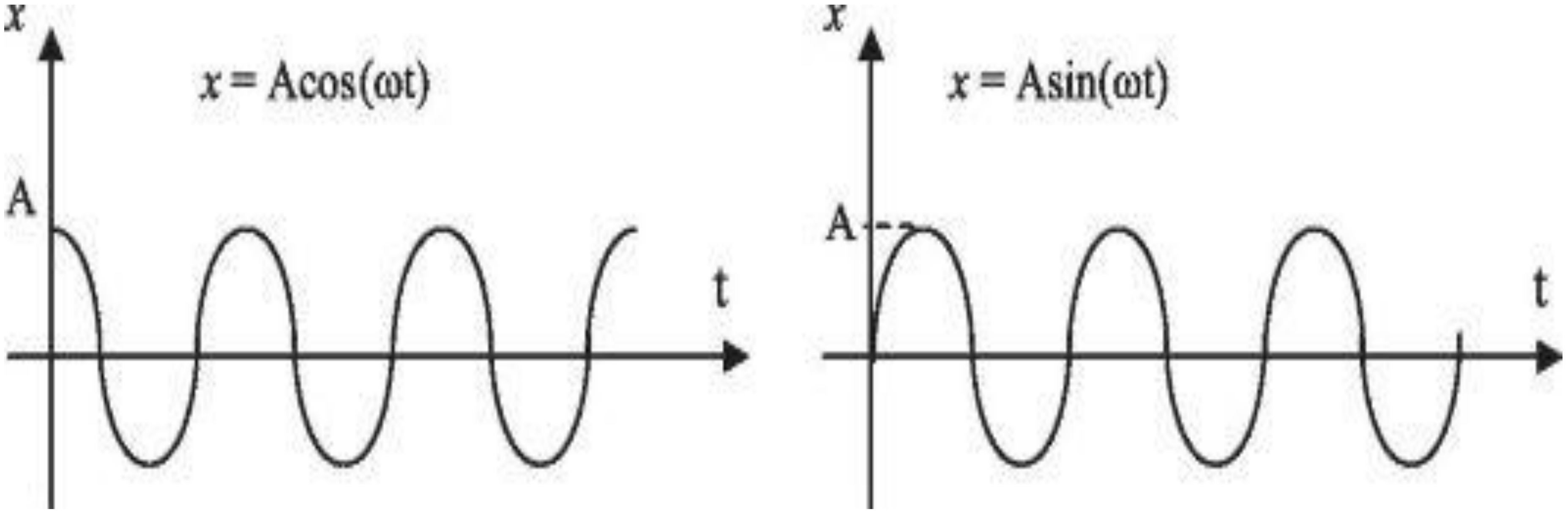
ν – число колебаний в единицу времени называется **<u>частотой</u>**;

ν* = *1*/*T – линейная частота колебаний

ν* = *n*/*t; ***ν*** = [Гц]

ω* = 2*π*/*T – циклическая частота колебаний [рад/с]

ω* = 2*πν* = 2*π*/*T



Графики зависимости смещения от времени для x(0) = A и x(0) = 0

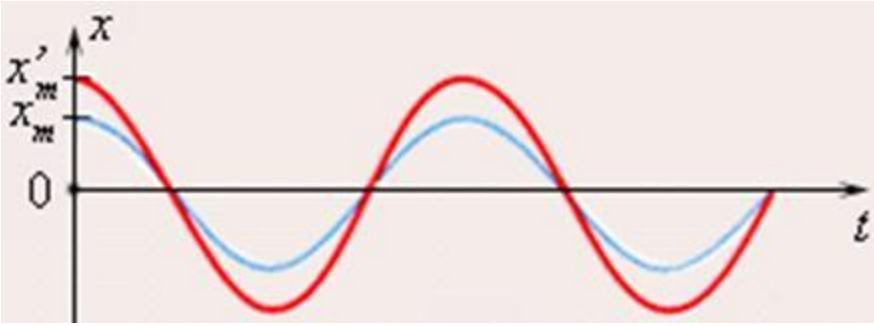
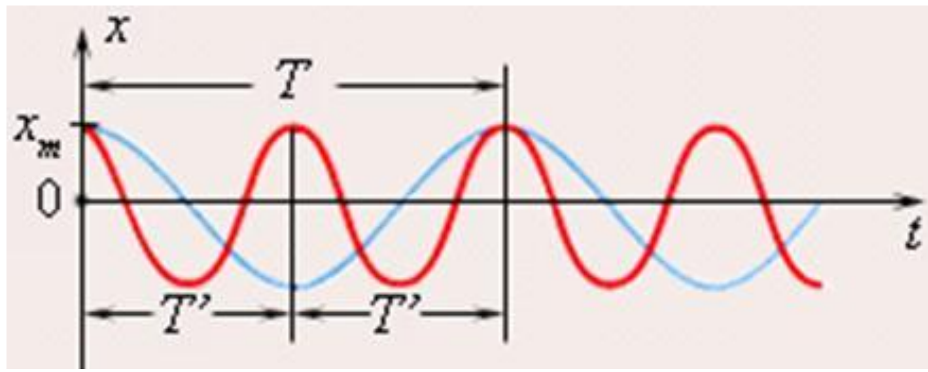


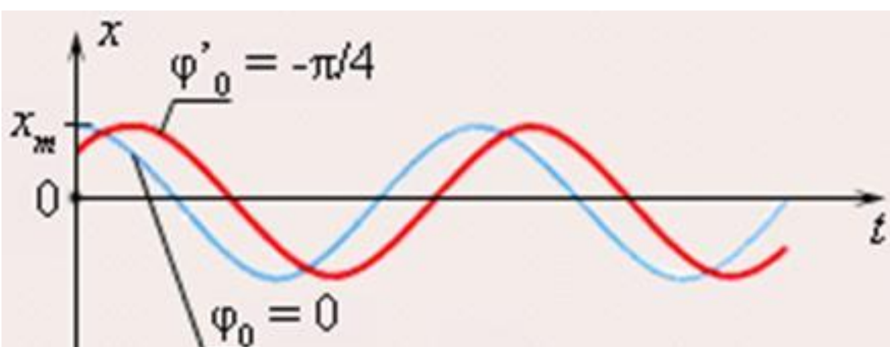
График гармонических колебаний представляет собой синусоиду или косинусоиду.

Во всех трех случаях для синих кривых $\varphi_0 = 0$:

*красная кривая отличается от синей **только** большей **амплитудой** ($x'_m > x_m$);*

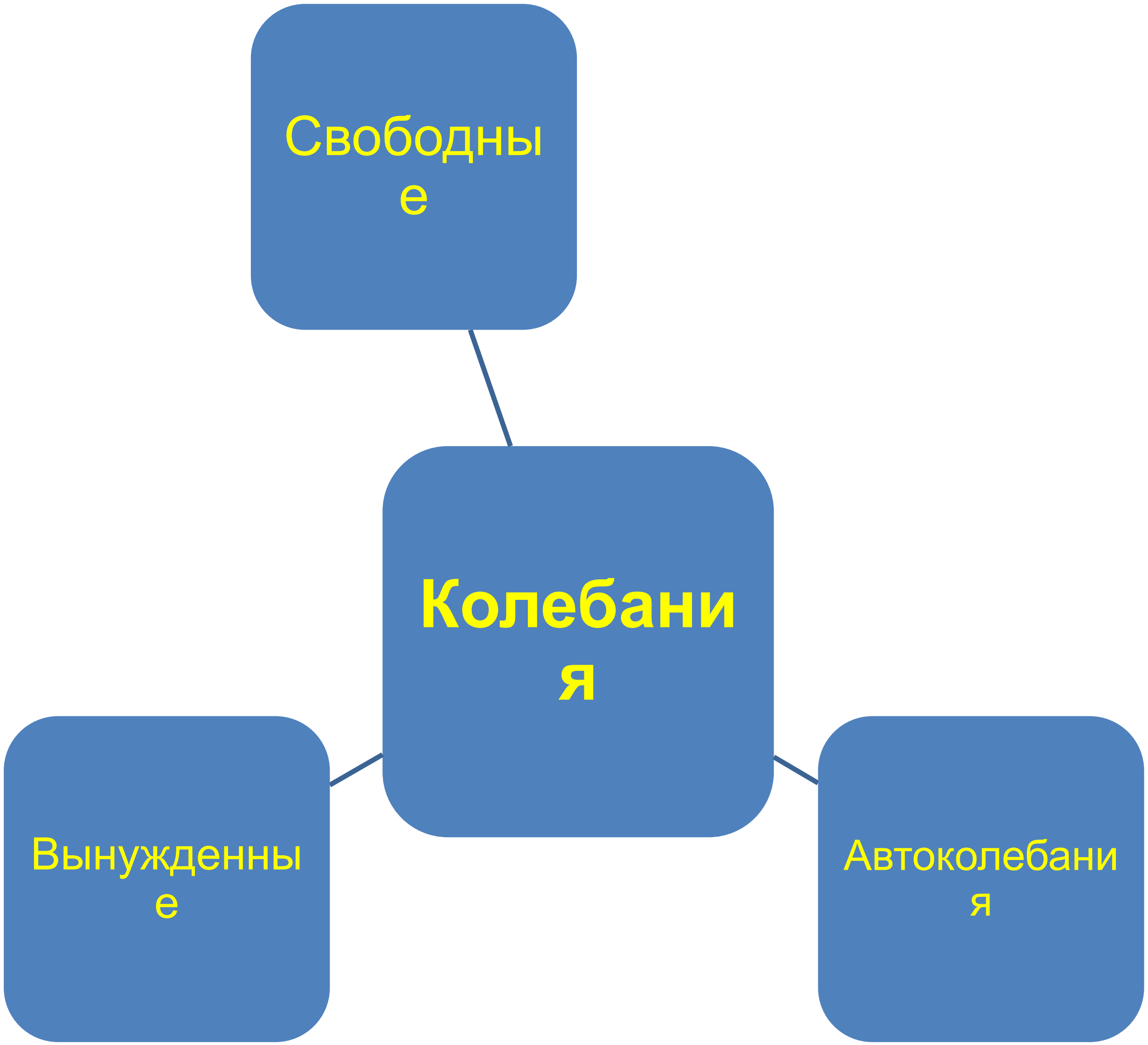


*красная кривая отличается от синей **только** значением **периода** ($T' = T / 2$);*



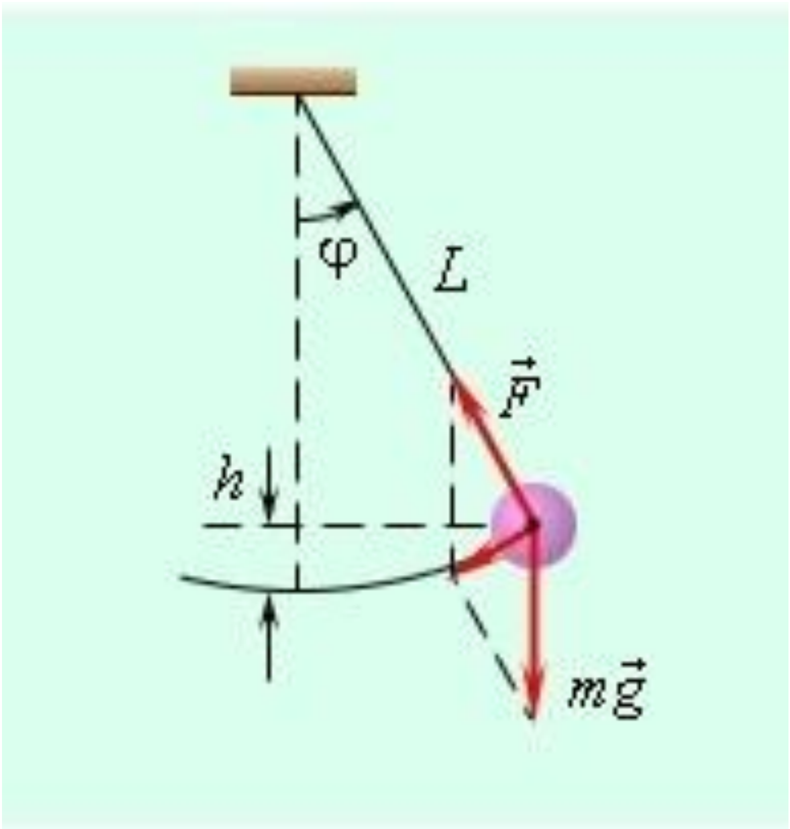
*красная кривая отличается от синей **только** значением **начальной фазы** (рад).*

Виды механических колебаний



Свободными **или** ***собственными*** **называются такие колебания, которые происходят в системе, предоставленной самой себе, после того как она была выведена из положения равновесия.**

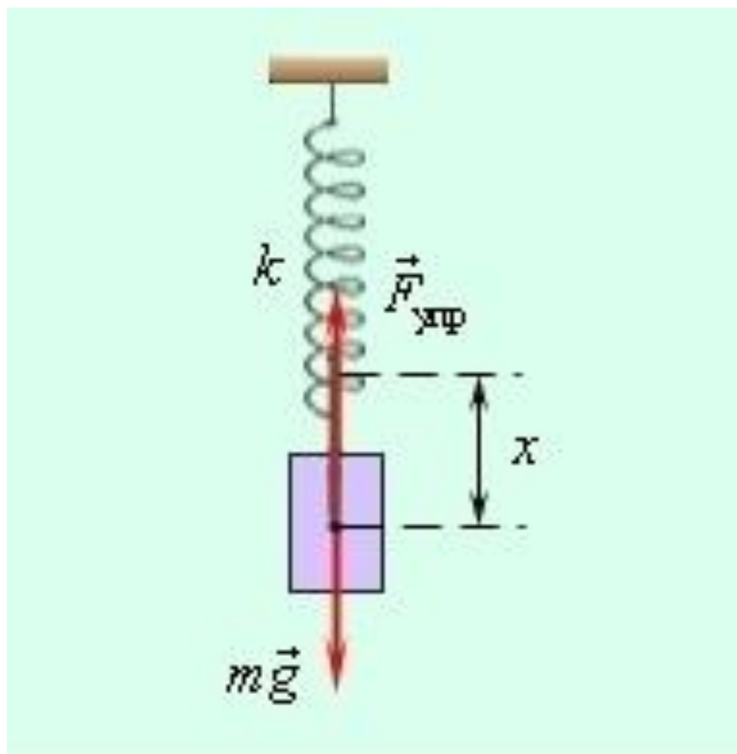
Примером могут служить колебания шарика, подвешенного на нити. Для того чтобы вызвать колебания, нужно либо толкнуть шарик, либо, отведя в сторону, отпустить его. При толчке шарику сообщается *кинетическая* энергия, а при отклонении - *потенциальная.*



Свободные незатухающие колебания

Свободные колебания могут быть незатухающими только при отсутствии силы трения. В противном случае первоначальный запас энергии будет расходоваться на ее преодоление, и размах колебаний будет уменьшаться.

В качестве примера рассмотрим колебания тела, подвешенного на невесомой пружине, возникающие после того, как тело отклонили вниз, а затем отпустили.



Со стороны растянутой пружины на тело действует *упругая сила* ***F*** *(с*огласно второму закону Ньютона $F=ma$*)*, пропорциональная величине смещения x: $\boldsymbol{F = -kx}$

Постоянный множитель k называется *жесткостью пружины* и зависит от ее размеров и материала. Знак «-» указывает, что сила упругости всегда направлена в сторону, противоположную направлению смещения, т.е. к положению равновесия. При отсутствии трения упругая сила - это единственная сила, действующая на тело.

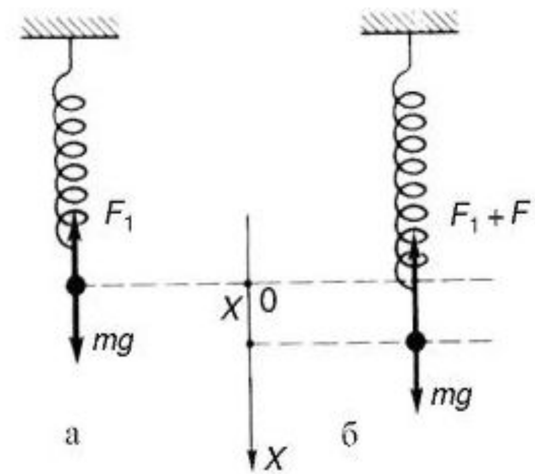


Рис. 1

Дифференциальное уравнение свободных колебаний при отсутствии трения:

$$-kx = m\frac{d^2x}{dt^2} \qquad \frac{d^2x}{dt^2} + \omega_0^2 x = 0 \qquad \omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

Решением этого уравнения является гармоническая функция:

$$x = A\sin(\omega_0 t + \varphi_0) \quad \text{или} \quad x = A\cos(\omega_0 t + \varphi_0)$$

Величина ω_0 равна циклической частоте. Эту частоту называют *собственной.* Таким образом, свободные колебания при отсутствии трения являются гармоническими.

При выводе дифференциального уравнения гармонического колебания величина ω_0 была введена формально, однако она имеет большой физический смысл, так как определяет частоту колебаний системы и показывает что эта частота зависит: от коэффициента упругости и массы для пружинного маятника

Период колебаний может быть найден из формулы:

$$\nu = \frac{1}{T} = \frac{\omega_0}{2\pi} \qquad T = \frac{2\pi}{\omega_0}$$

Используя это выражение, получим период колебаний пружинного маятника:

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{k/m}} = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

По аналогии для математического маятника: ω_0 зависит от длины нити и ускорения свободного падения и окончательно имеем следующий период колебаний

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

Скорость и ускорение колеблющегося тела

Чтобы найти скорость материальной точки при гармоническом колебании, нужно взять производную от пройденного пути (смещения): $x = A\cos(\omega_0 t + \varphi_0)$

$$\upsilon = \frac{dx}{dt} = -A \cdot \omega_0 \cdot \sin(\omega_0 t + \varphi_0) = -\upsilon_{\max} \cdot \sin(\omega_0 t + \varphi_0)$$

$\upsilon_{\max} = |A\omega_0|$ – максимальная скорость (амплитуда скорости).

На основании тригонометрических формул преобразуем:

$$\upsilon = \upsilon_{\max} \cdot \cos\left|\frac{\pi}{2} + (\omega_0 t + \varphi_0)\right|$$

Сравнивая выражения, замечаем, что фаза скорости на $\frac{\pi}{2}$ больше фазы смещения, т.е. опережает по фазе смещение на $\frac{\pi}{2}$

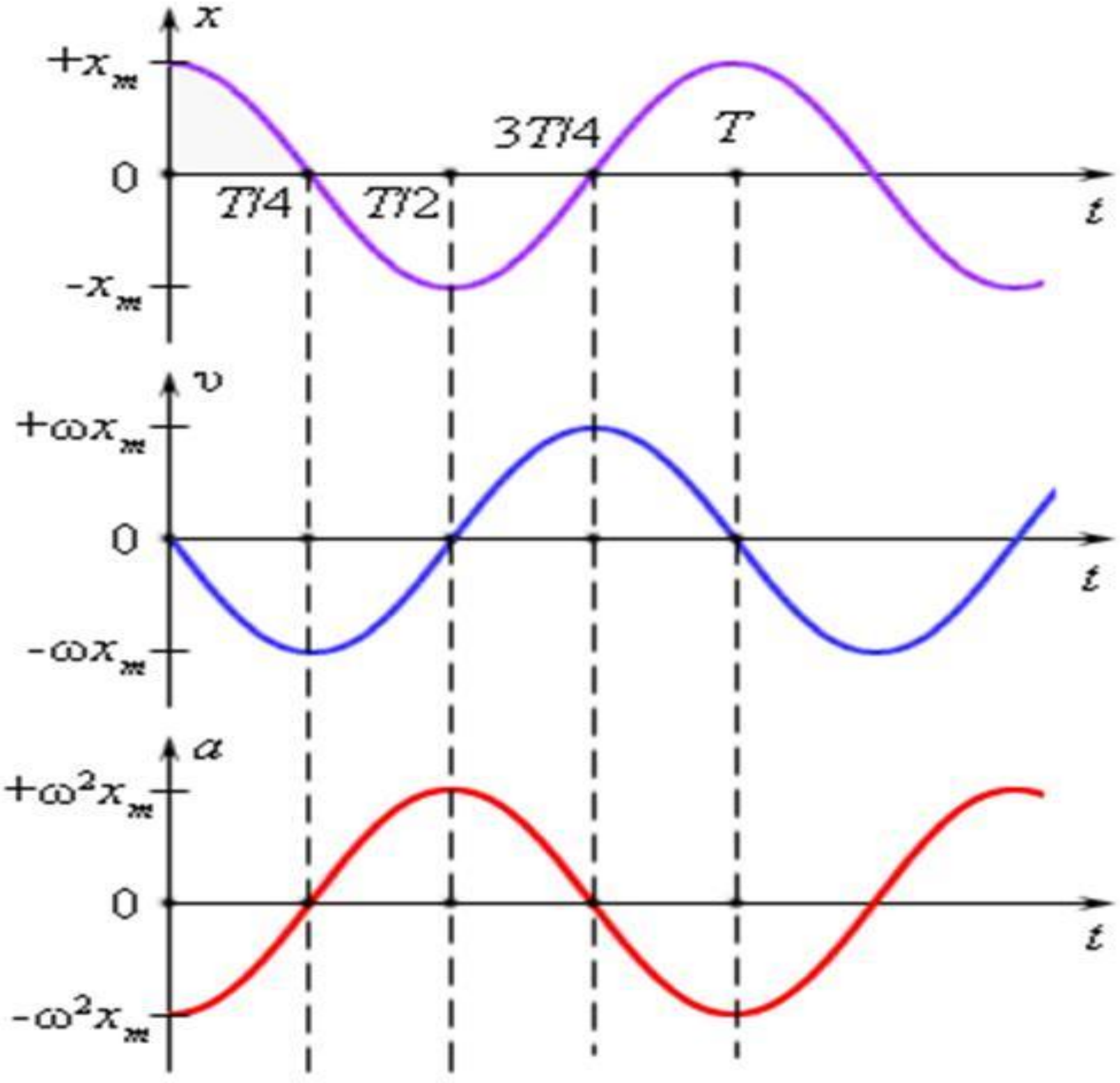
Продифференцировав выражените для скорости, найдем ускорение:

$$a = \frac{d\upsilon}{dt} = -A \cdot \omega_0^2 \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi_0) = -a_{\max} \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$$

$a_{\max} = \left|A\omega_0^2\right|$ – максимальное ускорение (амплитуда ускорения).

Или запишем: $$a = a_{\max} \cdot \cos\left|\pi + (\omega_0 t + \varphi_0)\right|$$

Из сравнения выражений следует, что фазы ускорения и смещения различаются на π, т.е. эти величины изменяются в противофазе.



x
+x_m
0
-x_m
T/4
T/2
3T/4
T
t
v
+ωx_m
0
-ωx_m
t
a
+ω²x_m
0
-ω²x_m
t

Энергия гармонических колебаний

$$E = E_{кин} + E_{пот} \qquad E_{кин} = \frac{m\upsilon^2}{2} \qquad E_{пот} = \frac{kx^2}{2} \qquad E = \frac{m\upsilon^2}{2} + \frac{kx^2}{2}$$

$$x = A\sin(\omega_0 t + \varphi_0) \qquad \upsilon = A\omega_0 cos(\omega_0 t + \varphi)$$

$$E = \frac{m}{2}A^2\omega_0^2\cos^2(\omega_0 t + \varphi_0) + \frac{k}{2}A^2\sin^2(\omega_0 t + \varphi_0)$$

$$\omega_0^2 = \frac{k}{m} \qquad m\omega_0^2 = k$$

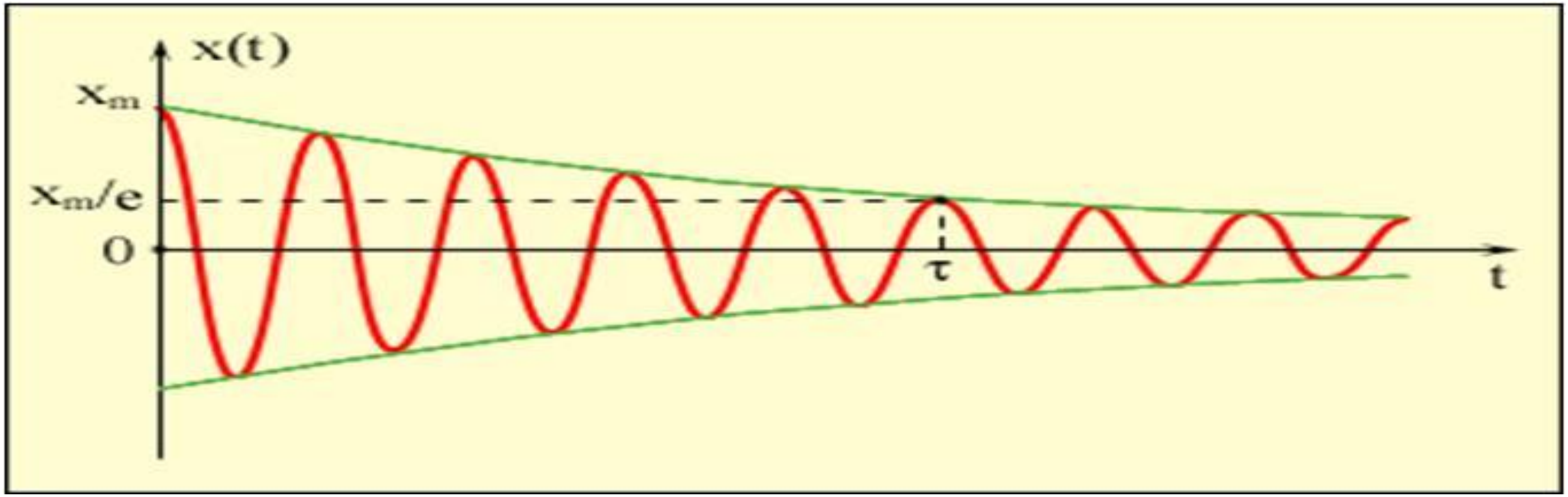
$$E = \frac{kA^2}{2}\left[\cos^2(\omega_0 t + \varphi_0) + \sin^2(\omega_0 t + \varphi_0)\right] = \frac{kA^2}{2}$$

$$E = \frac{kA^2}{2}$$

Затухающие колебания

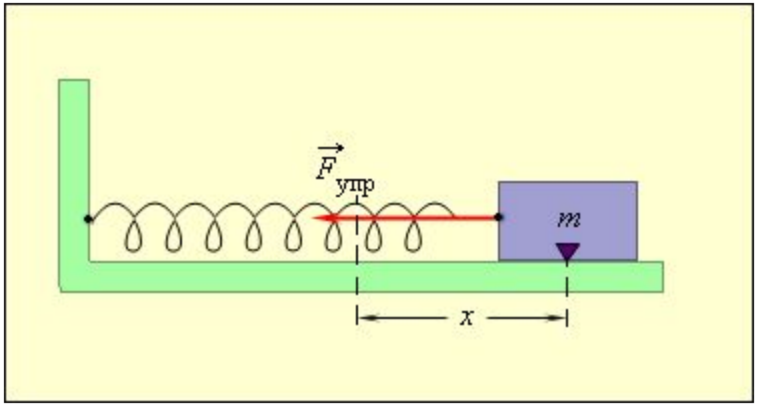
В реальных условиях любая колебательная система находится под воздействием сил трения (сопротивления). При этом часть механической энергии превращается во внутреннюю энергию теплового движения атомов и молекул, и колебания становятся **затухающими**.

Затухающими *называют колебания, амплитуда которых уменьшается со временем*.



Чтобы колебания не затухали, необходимо сообщать системе дополнительную энергию, т.е. воздействовать на колебательную систему периодической силой (например, для раскачивания качели).

Рассмотрим на примере горизонтально расположенного пружинного маятника:



Найдем проекцию на ось ОХ:

$$F_{сопр} + F_{упр} = ma$$

$$F_{упр} = -kx \quad F_{сопр} = -r\upsilon$$

где r - коэффициент сопротивления среды;

υ - скорость тела.

$$-r\upsilon - kx = ma \qquad ma + r\upsilon + kx = 0 \qquad a + \frac{r}{m}\upsilon + \frac{k}{m}x = 0$$

Введем обозначения: $\frac{r}{m} = 2\beta \quad \frac{k}{m} = \omega_0^2 \quad \upsilon = x' \quad a = x''$

Дифференциальное уравнение затухающих колебаний (2 порядка с постоянными коэффициентами):

$$x'' + 2\beta x' + \omega_0^2 x = 0$$

Решением уравнения: $x = A_0 \cdot e^{-\beta t} \cdot cos(\omega t + \varphi_0)$

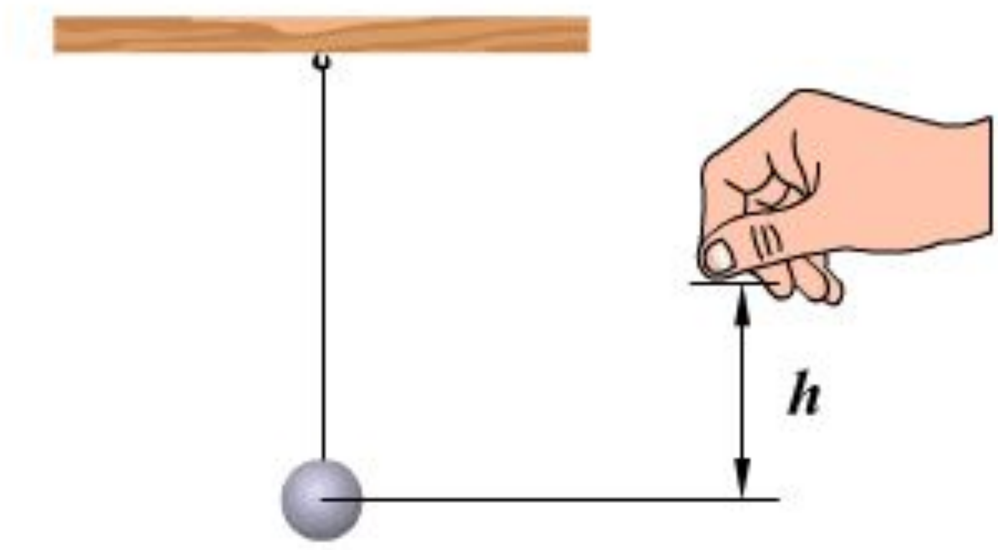
$$A = \pm A_0 e^{-\beta t}$$

Отношение двух амплитуд, отстоящих друг от друга на период T, называются *декрементом затухания*.

$$D = \frac{A_t}{A_{t+T}} = \frac{A_0 \cdot e^{-\beta t}}{A_0 \cdot e^{-\beta(t+T)}} = \frac{e^{-\beta t}}{e^{-\beta t} \cdot e^{-\beta T}} = \frac{1}{e^{-\beta T}} = e^{\beta T} \quad \lambda = \ln D = \beta T$$

Вынужденные колебания. Резонанс.

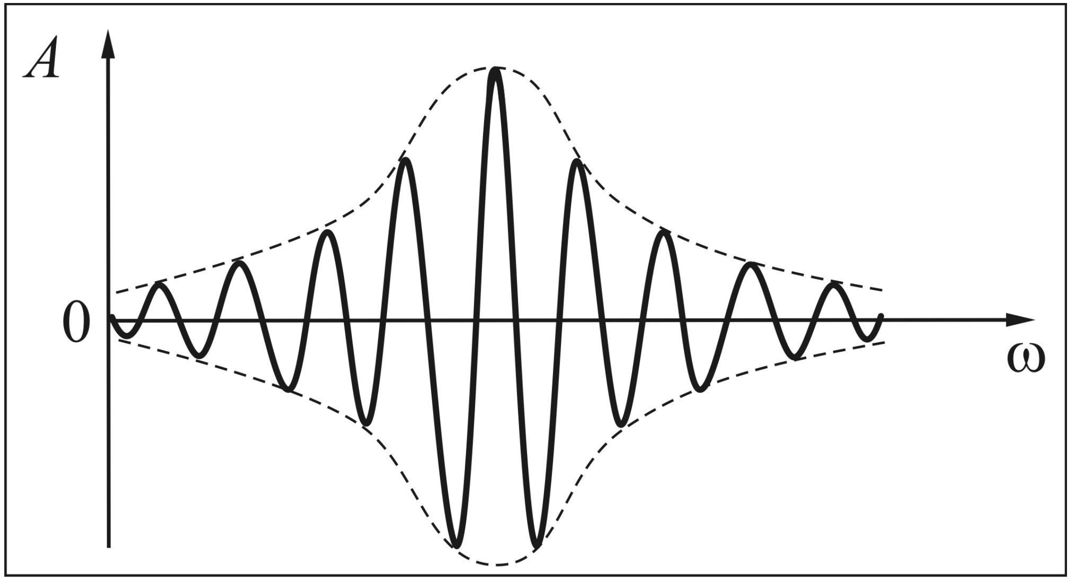
Вынужденные колебания являются незатухающими. Поэтому необходимо восполнять потери энергии за каждый период колебаний. Для этого необходимо воздействовать на колеблющееся тело периодически изменяющейся силой. Вынужденные колебания совершаются с частотой, равной частоте изменения внешней силы. $F=F_0 cos\omega t$



Вынужденные колебания. Резонанс

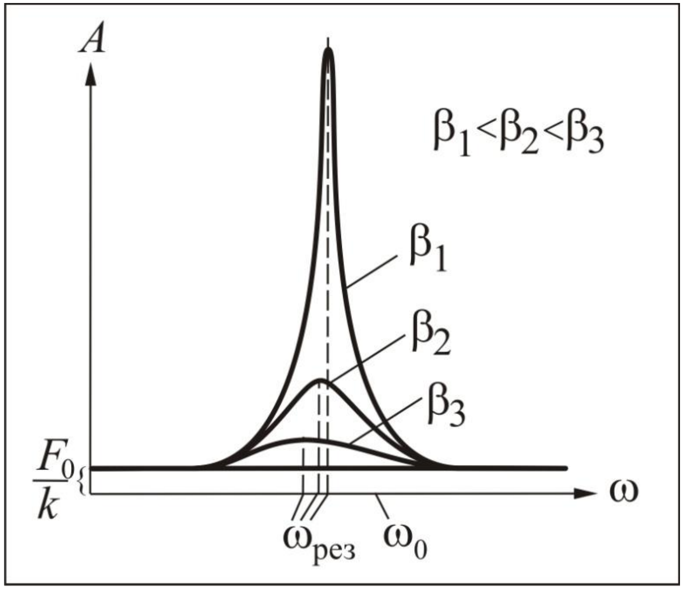
Амплитуда вынужденных механических колебаний достигает наибольшего значения в том случае, если частота вынуждающей силы совпадает с частотой колебательной системы. Это явление называется **резонансом**.

$$m\ddot{x} = -kx - r\dot{x} + F_0\cos\omega t \Rightarrow \ddot{x} + 2\beta\dot{x} + \omega_0^2 x = f_0\cos\omega t$$



$$A_{\text{рез.}} = \frac{f_0}{2\beta\sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}}$$

$$\omega_{\text{рез.}} = \sqrt{\omega_0^2 - 2\beta^2}$$



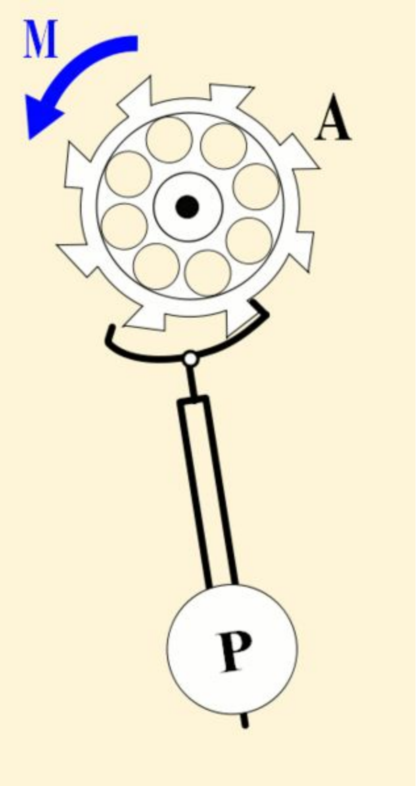
Незатухающие колебания могут поддерживаться в системе даже при наличии сил сопротивления, если на систему периодически оказывается внешнее воздействие (вынужденные колебания). Это внешнее воздействие не зависит от самой колеблющейся системы, в то время как амплитуда и частота вынужденных колебаний зависят от этого внешнего воздействия.

Однако существуют и такие колебательные системы, которые *сами регулируют* периодическое восполнение растраченной энергии и поэтому могут колебаться длительное время.

Незатухающие колебания, существующие в какой-либо системе с затуханием при отсутствии переменного внешнего воздействия, называются ***автоколебаниями****, а сами системы* – *автоколебательными.*

Амплитуда и частота автоколебаний зависят от свойств самой автоколебательной системы, в отличие от вынужденных колебаний они не определяются внешними воздействиями.

Классическим примером механической автоколебательной системы являются часы, в которых маятник или баланс являются колебательной системой, пружина или поднятая гиря — источником энергии, а анкер – регулятором поступления энергии от источника в колебательную систему.

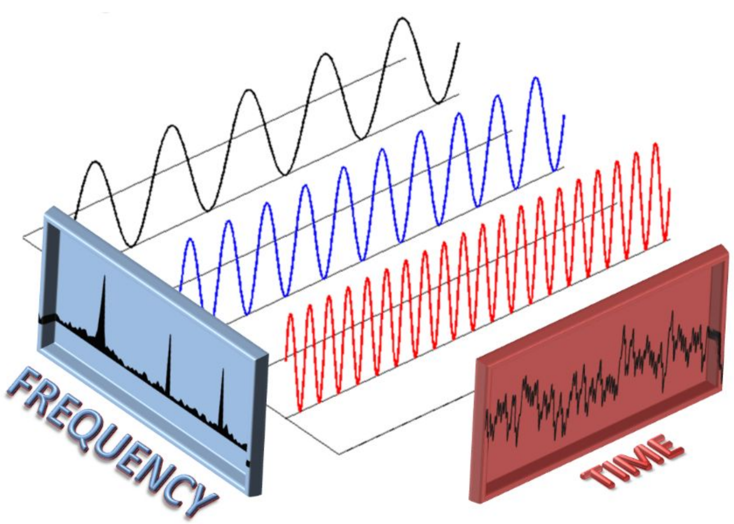


Ж. Фурье показал, что периодическая функция любой сложности может быть представлена в виде суммы гармонических функций, частоты которых кратны частоте сложной периодической функции.

Такое разложение периодической функции на гармонические составляющие периодических процессов называется *гармоническим анализом*. Существуют математические выражения, которые позволяют найти составляющие гармонические функции.

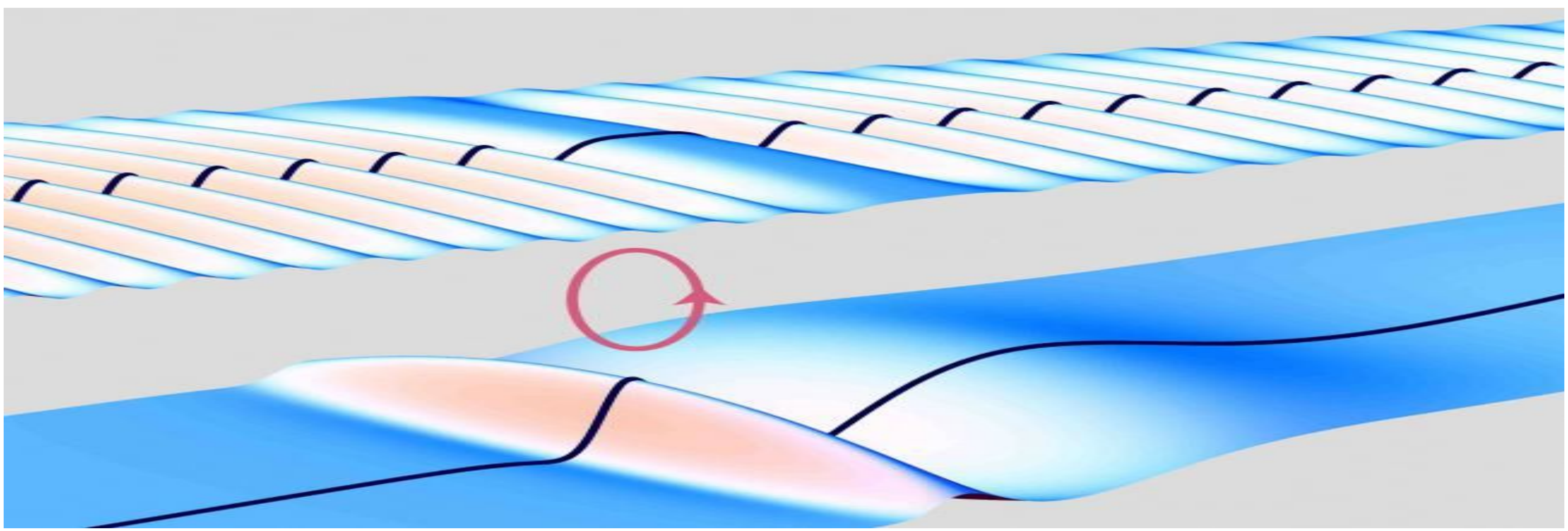
Совокупность гармонических колебаний, на которые разложено сложное колебание, называется *гармоническим спектром сложного колебания.*

Гармонический анализ позволяет достаточно детально описать и проанализировать любой сложный колебательный процесс, он находит применение в акустике, радиотехнике, электронике и других областях науки и техники.



Механические волны

Волной называется процесс распространения механических колебаний в упругой среде. Сами частицы среды не перемещаются вместе с волной, а колеблются около своих положений равновесия. Поэтому распространение волны не сопровождается переносом вещества. Волны могут распространяться только в материальной среде и переносят энергию из одной точки пространства в другую. *Фронт волны* - геометрическое место точек, до которых к данному моменту дошло колебание (возмущение среды). По направлению колебаний частиц среды по отношению к направлению распространения волнового процесса различают поперечные и продольные волны.



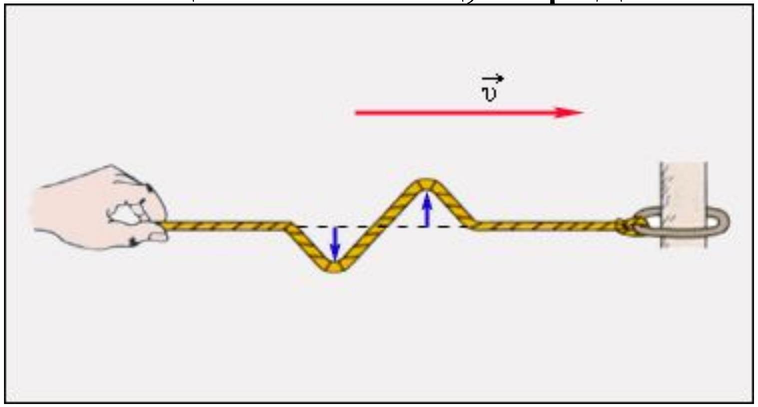
Поперечные волны

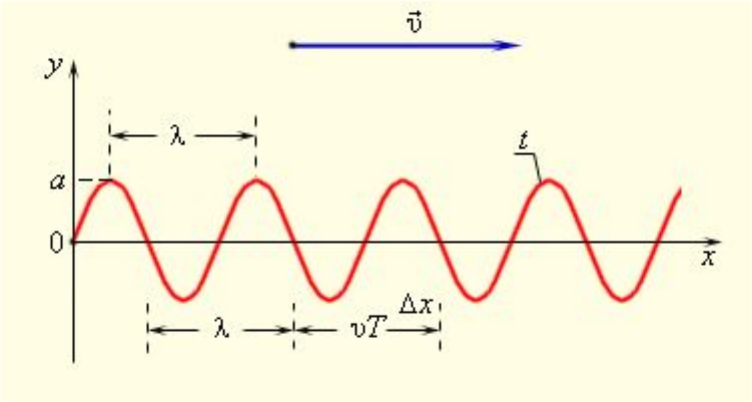
Уединённый волновой импульс можно получить в шнуре быстрым движением руки вниз-вверх. Рука тянет конец шнура вниз, а поскольку этот участок связан с соседними участками шнура, то их частицам также передается сила действующая вниз, и они также начнут двигаться в этом направлении. Один за другим последовательные участки начинают двигаться вниз и вдоль шнура мы наблюдаем движение впадины волны. Тем временем рука держащая конец шнура поднимается вверх и участки шнура уже пришедшие в нижнюю точку, в той же последовательности возвращаются назад. Таким образом источником распространяющейся волны является возмущение и оно обусловлено силами взаимодействия между участками шнура. Аналогичным образом возникают и распространяются волны в любых среда

Характеристики волны

Волны можно возбудить любым колеблющимся предметом, если источник движется синусоидально, совершая гармонические колебания, то и волна будет иметь форму синусоиды как в пространстве так и во времени

Верхние точки поперечной волны называются пучностями, нижние впадинами. Амплитуда это максимальная высота пучности или глубина впадины измеренная относительно нулевого уровня или положения равновесия. Расстояния между двумя соседними пучностями называются длиной волны **λ**. Частота **ν** это число пучностей проходящих через данную точку в единицу времени Частота и период волны связаны следующим соотношением **$\nu = 1/T$** . Скорость волны следует отличать от скорости колеблющихся частиц, определяется как $\upsilon = \lambda\,\nu$ или $\upsilon = \lambda / T$



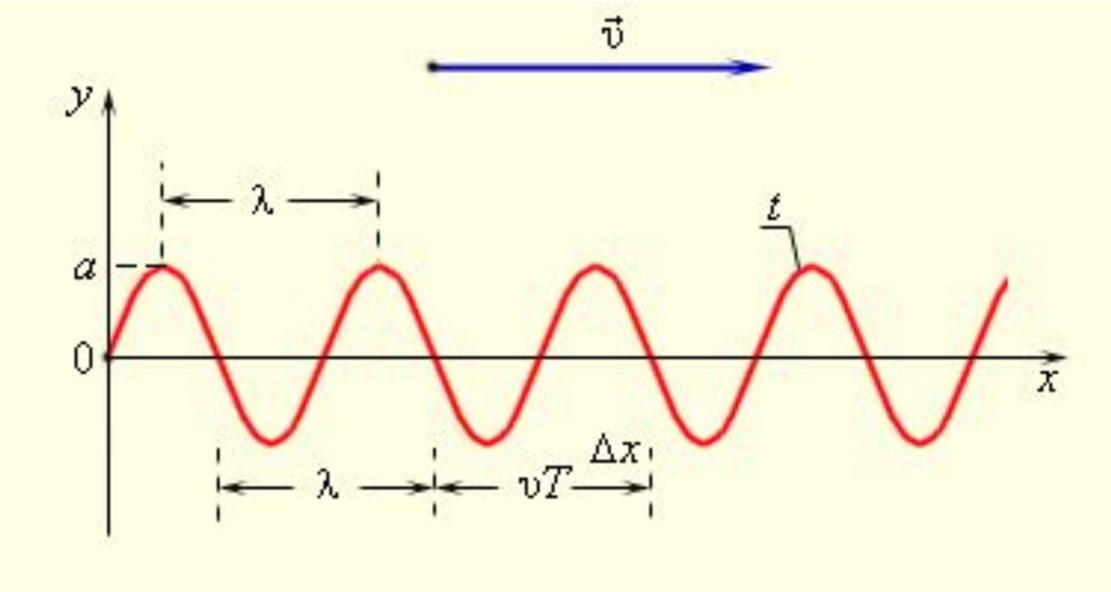


Скорость поперечной волны

Скорость волны зависит от свойств среды в которой она распространяется В растянутой струне например она зависит от силы натяжения струны ***Fн*** и от массы на единицу длины $\boldsymbol{\mu}$ (линейной плотности) и определяется

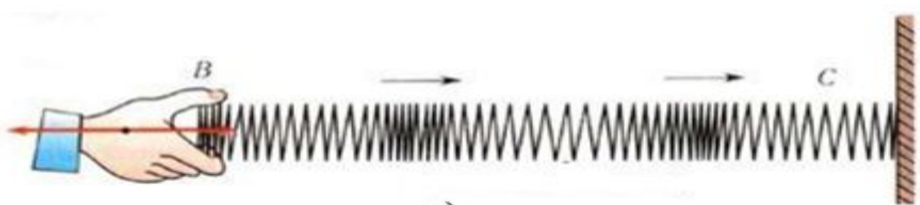
$$\upsilon = \sqrt{F_н/\mu}$$

И согласуется с представлениями механики, чем больше натяжение тем больше скорость (соседние участки теснее связаны друг с другом), а чем больше линейная плотность, тем больше инертность струны и волна распространяется более замедленно.

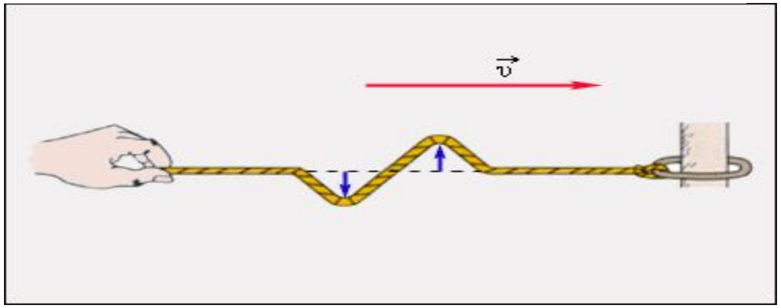


Продольные волны

Продольные волны легко наблюдать в мягкой растянутой пружине, попеременно растягивая и сжимая один ее конец. В пружине возникнут области сжатия и разряжения, которые соответствуют пучностям и впадинам поперечной волны. Примером продольной волны является звуковая волна в воздухе. Как и в случае поперечных волн каждый участок среды совершает небольшие по размаху колебания, в то время как сама волна может распространяться на большие расстояния.

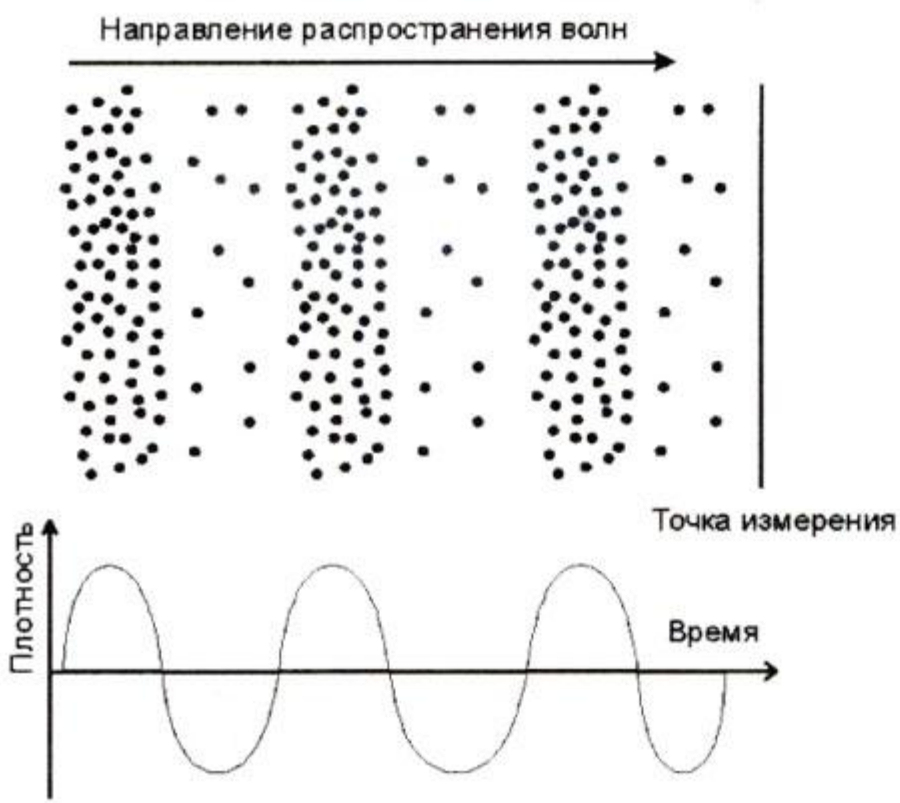


а)



Характеристики продольной волны

К продольной волне также применимы понятия длины волны, частоты и скорости. Длина волны это расстояние между двумя соседними областями сжатия или разряжения. Частота это число сжатий (разряжений) проходящих через данную точку в единицу времени. Скорость волны это скорость с которой в пространстве движется область сжатия (разрежения).



Скорость продольной волны

Скорость продольной волны также зависит от свойств среды в которой она распространяется. Формула для скорости продольной волны аналогична формуле для поперечной волны

$$\upsilon = \sqrt{F_н/\mu} \qquad \upsilon = \sqrt{\text{Упругая сила / инертность}}$$

Для сплошной среды $\upsilon = \sqrt{E/\rho}$

где E – модуль упругости вещества, ρ – плотность вещества

Для жидкости или газа $\upsilon = \sqrt{B/\rho}$

где B – модуль всестороннего сжатия, ρ – плотность

Энергия волны

Каждая частица совершающая гармонические колебания в синусоидальной волне обладает энергией $E=\frac{kA^2}{2}$ период $T=2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ отсюда $k=\frac{4\pi^2 m}{T^2}$

С учетом $\nu=\frac{1}{T}$ имеем $E=2\pi^2 m\nu^2 A^2$

учитывая что $m=\rho V$ $V=lS$ $l=\upsilon t$

где ρ плотность среды, V ее объем, S площадь поперечного сечения через которое проходит волна l расстояние которое волна проходит за время t,

υ - скорость волны, в итоге имеем $E=2\pi^2\rho S\upsilon t\nu^2 A^2$

Энергия переносимая волной за единицу времени называется ее средней мощностью, которая равна потоку энергии Φ тогда

$$\Phi=\overline{P}=\frac{E}{t}=2\pi^2\rho S\upsilon\nu^2 A^2$$

Интенсивность волны определяется как ее средняя мощность переносимая волной через единицу площади поверхности перпендикулярно направлению потока $I=\frac{\Phi}{S}=2\pi^2\rho\upsilon\nu^2 A^2$ $[I]=\left[\frac{Вт}{м^2}\right]$

Вектор Умова

Умов Н.А. (1846-1915)

$$I = 2\pi^2 \rho \upsilon \nu^2 A^2$$

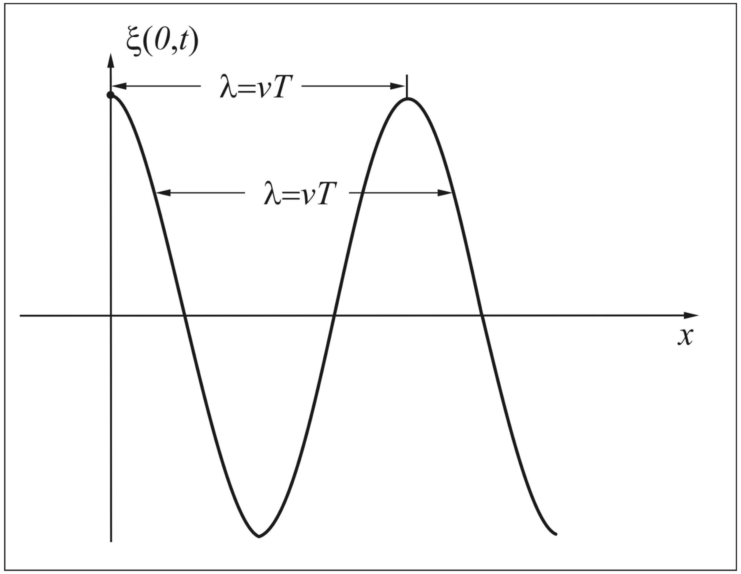
$$\nu = \frac{1}{T} \qquad \omega = \frac{2\pi}{T}$$

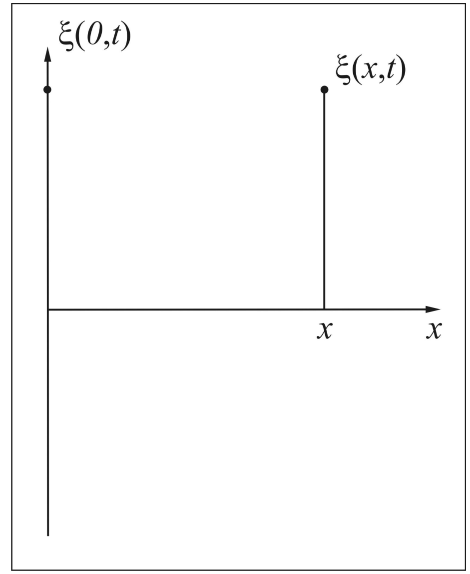
$$\boxed{\vec{I} = \frac{1}{2}\rho A^2 \omega^2 \vec{\upsilon}}$$

$$I \sim A^2$$

Вектор Умова – это вектор плотности потока энергии волны, направленный в **сторону переноса** энергии волной

Уравнение волны





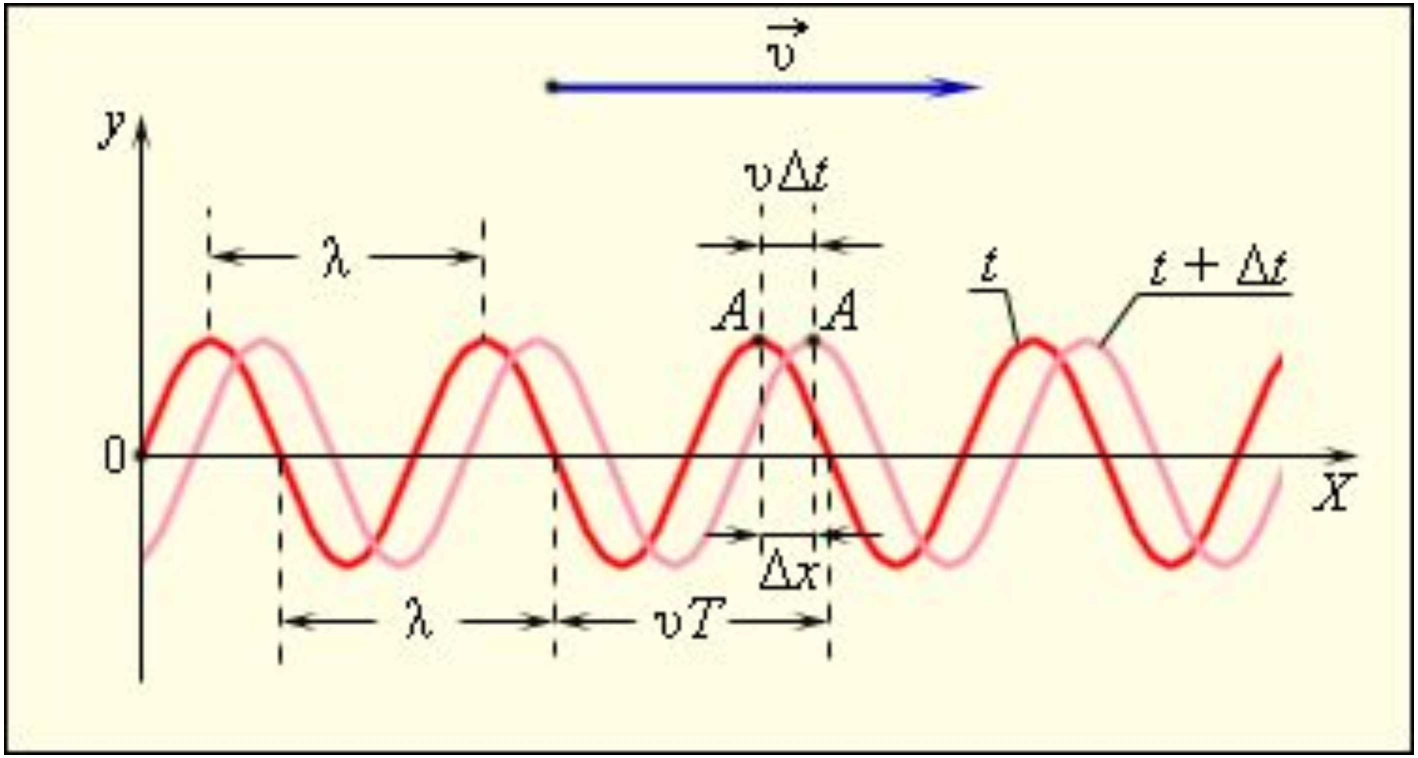
$$\lambda\nu = \upsilon \qquad \lambda = \upsilon T \qquad \nu = \frac{1}{T} \qquad \xi = \xi(x,t) \qquad \xi(0,t) = A\cos\omega t$$

$$\xi(x,t) = A\cos\omega\left(t - \frac{x}{\upsilon}\right) \qquad \xi(x,t) = A\cos\left(\frac{2\pi}{T}\left(t - \frac{x}{\upsilon}\right)\right) = A\cos(\omega t - kx)$$

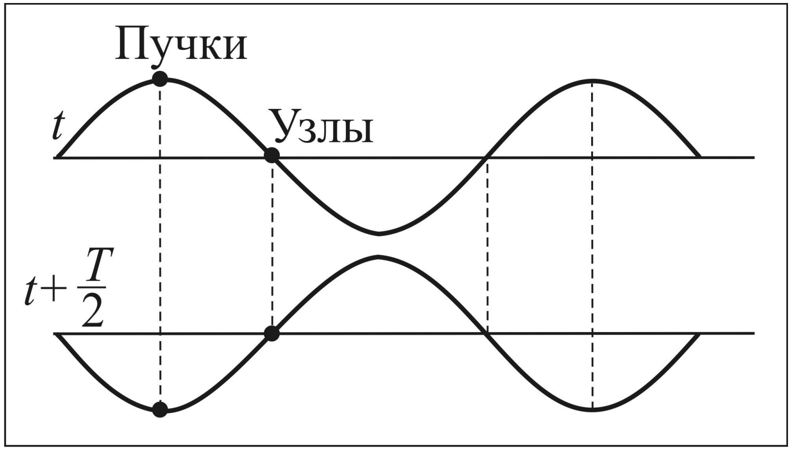
$$\frac{2\pi}{\lambda} = k$$

Уравнение плоской волны

Выражение $S = A \sin(\omega t - kx)$ является математическим описанием синусоидальной волны движущейся вдоль оси x вправо, оно определяет смещение волны S в любой момент времени t.



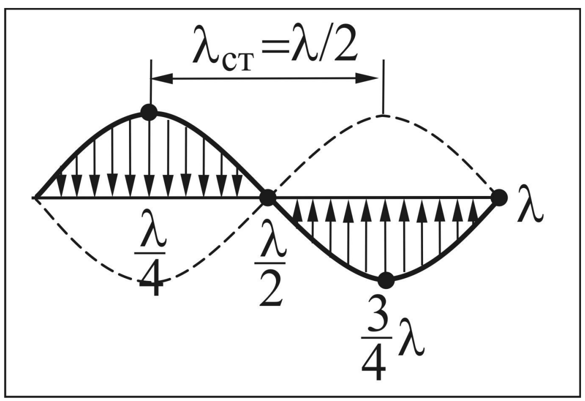
Стоячие волны



$$\xi'(x,t) = A\cos(\omega t - kx)$$

$$\xi''(x,t) = A\cos(\omega t + kx)$$

$$\xi = 2A\cos kx\cos\omega t$$



cos(α-β)=cosαcosβ+sinαsinβ

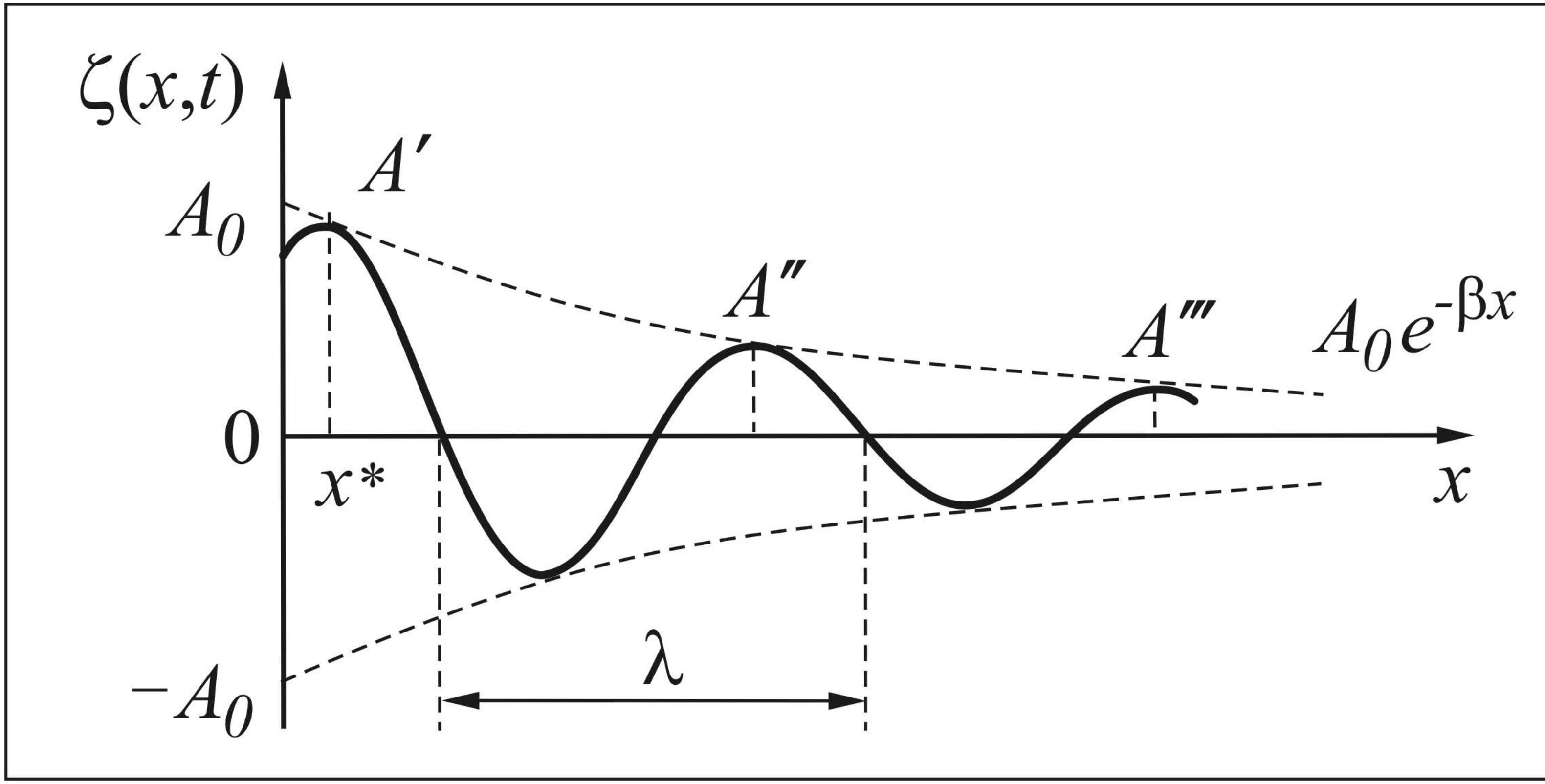
cos(α+β)=cosαcosβ-sinαsinβ

$$a = \left|2A\cos kx\right|$$

$$a_{\max}: \quad kx = 0,\ \pi,\ 2\pi\ldots$$

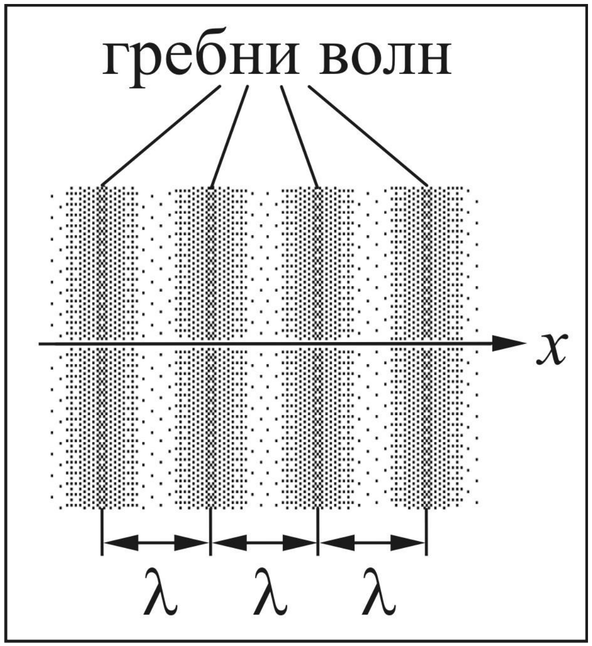
$$kx = \pm\pi n \qquad x\frac{2\cancel{\pi}}{\lambda} = \pm\cancel{\pi}n \qquad x_{\max} = \frac{\lambda}{2}n$$

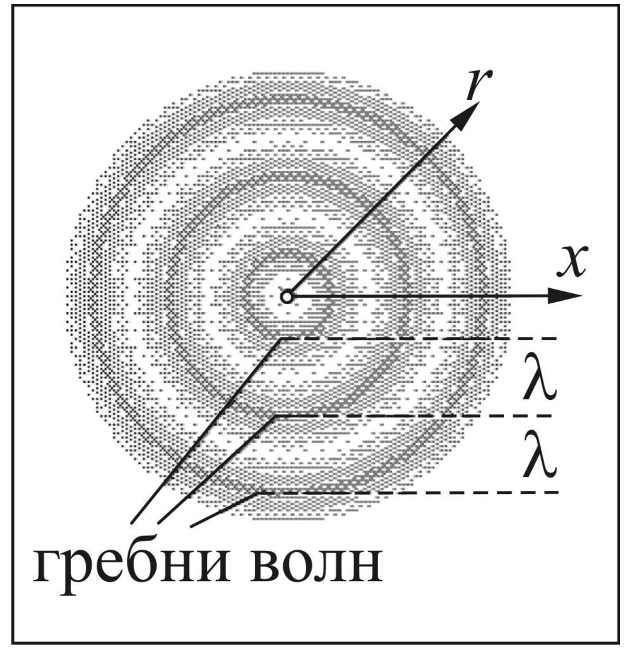
Затухающая плоская волна



$$\xi(x,t)=A(\beta,t)\cos(\omega t+\varphi)$$

Изображение плоской и сферической волн



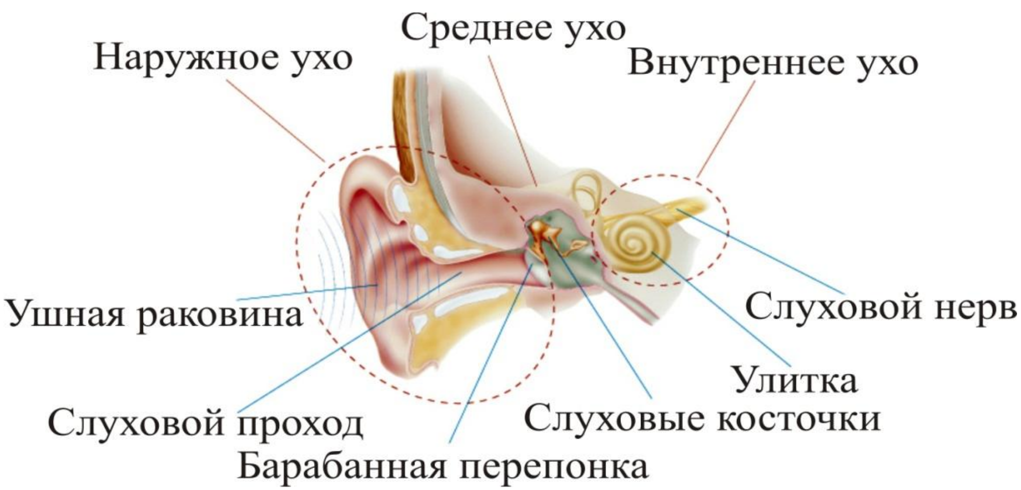


Плоская продольная волна

Сферическая продольная волна

***x*, *r* – направления распространения волн**

Схематическое изображение органа слуха у человека

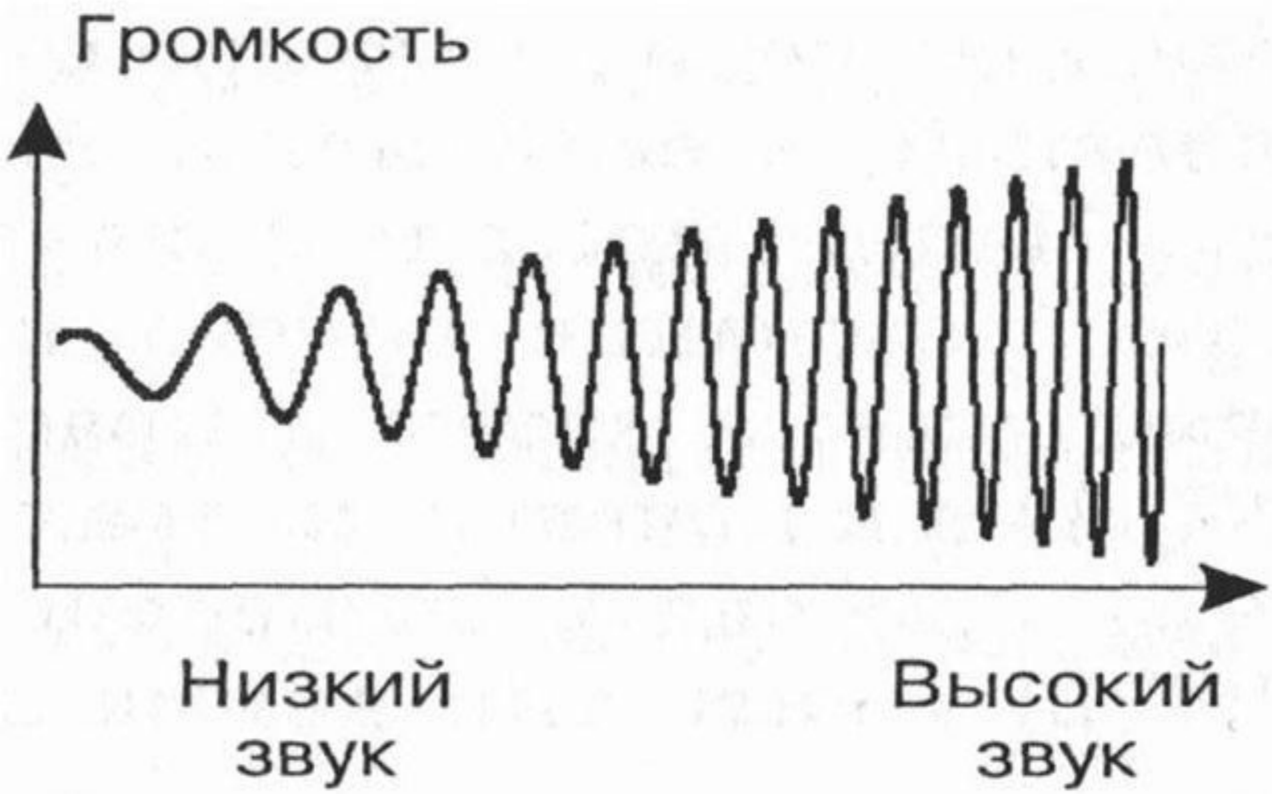


Орган слуха состоит из наружного, среднего и внутреннего уха.
звуковые сигналы поступают в слуховой проход и вызывают колебания барабанной перепонки,

- колебания барабанной перепонки приводят в движение три слуховые косточки,
- посредством слуховых косточек колебания передаются в жидкость внутреннего уха (улитки).
- движение жидкости в улитке стимулирует крошечные волосковые сенсорные клетки,
- волосковые клетки преобразуют механические колебания в электрические сигналы,
- электрические сигналы посредством клеток спирального ганглия и слухового нерва передаются в кору головного мозга.

Мозг воспринимает и анализирует полученные сигналы как звук. Восприятие звука человеком измеряется в децибеллах.

Звуковая волна



Звук представляет собой звуковую волну с непрерывно меняющейся амплитудой и частотой. Чем больше амплитуда, тем он громче для человека, чем больше частота сигнала, тем выше тон.

Слышимый спектр

Обычно говорят, что человек слышит от 20 Гц до 20 кГц. Но чем человек старше тем хуже мы слышим высокие частоты. Мы теряем около 2 кГц каждые десять лет. Вот таблица для наглядности.

Возраст	Диапазон частот
20 лет	20 Гц – 18 кГц
30 лет	20 Гц – 16 кГц
40 лет	20 Гц – 14 кГц
50 лет	20 Гц – 12 кГц
60 лет	20 Гц – 10 кГц
70 лет	20 Гц – 8 кГц
80 лет	20 Гц – 6 кГц

Звуковые волны

- **Скорость звуковой волны зависит от свойств среды: *природы, влажности, плотности, температуры*:**

$$\upsilon_{зв} = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

- **Например:**

- **Скорость звука в воздухе (0^0С) *332 м/с***
- **Скорость звука в воздухе (20^0С) *343 м/с***
- **Скорость звука в водороде (0^0С) *1248 м/с***
- **Скорость в углекислом газе (0^0С) *259 м/с***
- **Скорость звука в воде (20^0С) *1483 м/с***
- **Скорость звука в стали (20^0С) *5000 м/с***

Аускультация. Стетофонендоскоп

Аускультация – физический метод медицинской диагностики, заключающийся в выслушивании звуков, образующихся в процессе функционирования внутренних органов.

а

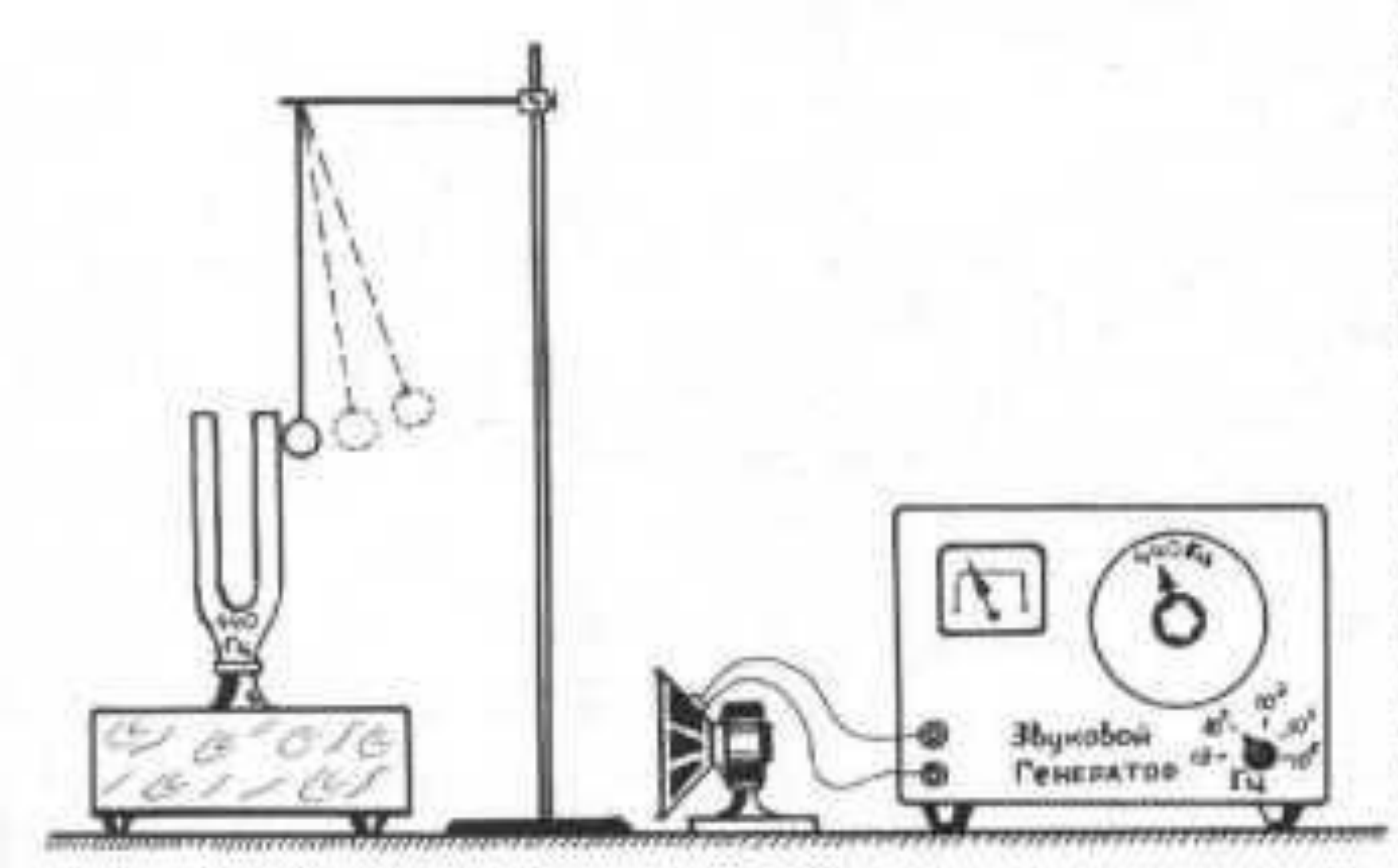
б

Стетоскопы раннего периода (а), современный стетофонендоскоп (б)

Свойства звуковых волн

- ОТРАЖЕНИЕ ЗВУКОВЫХ ВОЛН, ЭХО
- ПОГЛОЩЕНИЕ
- РЕЗОНАНС
- ДИФРАКЦИЯ
- ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ
- ПРЕЛОМЛЕНИЕ

Акустический резонанс



Шкала механических волн

Частота, (Гц)	Наименование диапазона	Примеры
0,001–20	Инфразвуковой	Цунами, тоны сердца
$20–2\times10^4$	Звуковой	Голос, фонокардиограмма
$2\times10^4–10^5$	Низкочастотный ультразвуковой	Звуки, издаваемые дельфинами, летучими мышами
$10^5–10^7$	Среднечастотный ультразвуковой	Колебания магнитострикционных излучателей
$10^7–10^9$	Высокочастотный ультразвуковой	Колебания пьезоэлектрических излучателей
$10^9–10^{13}$	Гиперзвуковой	Тепловые колебания молекул

Применение ультразвука в стоматологии

Скорость распространения УЗ-волн зависит от среды: кровь- 1520 м/с, костная ткань - 3350 м/с.

Коэффициент поглощения: кровь - 0,01 дб/см, кость - 0,71 дб/см, кожа - 0,4 дб/см.

Механизм действия УЗ:

- Механический - чередование фаз сжатия и разряжения
- Тепловой - повышение температуры (чаще до 43-45 градусов).
- Физико-химический: усиление процессов диффузии и проницаемости.

Инструменты, применяемые для лечения зубов, обычно состоят из стержневого УЗ-пьезокерамического преобразователя, где энергия электромагнитных колебаний трансформируется в энергию механических колебаний, на конце преобразователя имеется рабочий наконечник. В наконечнике возбуждаются продольные колебания в диапазоне частот 20-45 кГц и с амплитудой движения в области 6-100 мкм.

Применение ультразвука в стоматологии

Формирование доступа к корневым каналам
Поиск устьев корневых каналов
Удаление штифтовых конструкций
Извлечение обломков инструментов
Ирригация корневых каналов
Распломбировка каналов

Эффект Доплера

Эффект Доплера состоит в изменении частоты колебаний, воспринимаемой наблюдателем, вследствие относительного движения источника колебаний и наблюдателя. Возмущения, создаваемые колебаниями источника, распространяются в среде и достигают приемника спустя некоторое время. При *приближении* объекта к датчику частота отраженного сигнала *увеличивается,* а при *удалении - уменьшается.* При приближении автомобиля тон звука его мотора становится выше, при удалении ниже. Измерив доплеровский сдвиг частоты, можно найти скорость движения отражающего тела. Эффект Доплера используется для определения скорости кровотока, скорости движения клапанов и стенок сердца (доплеровская эхокардиография) и других органов.

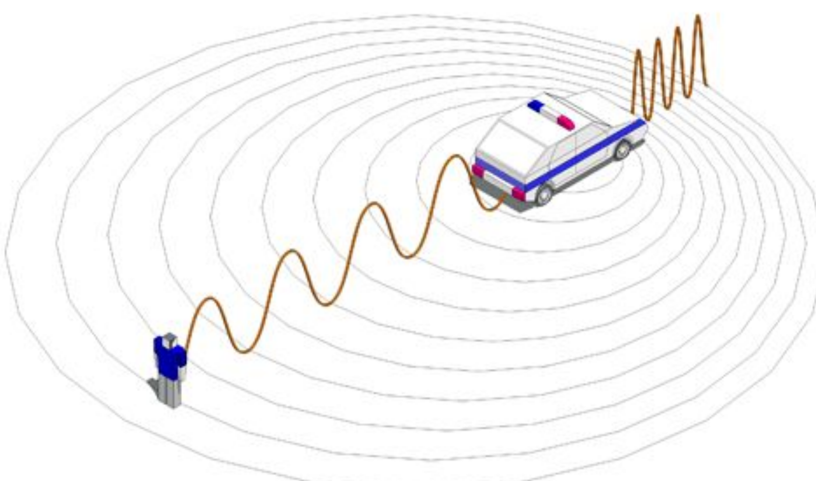
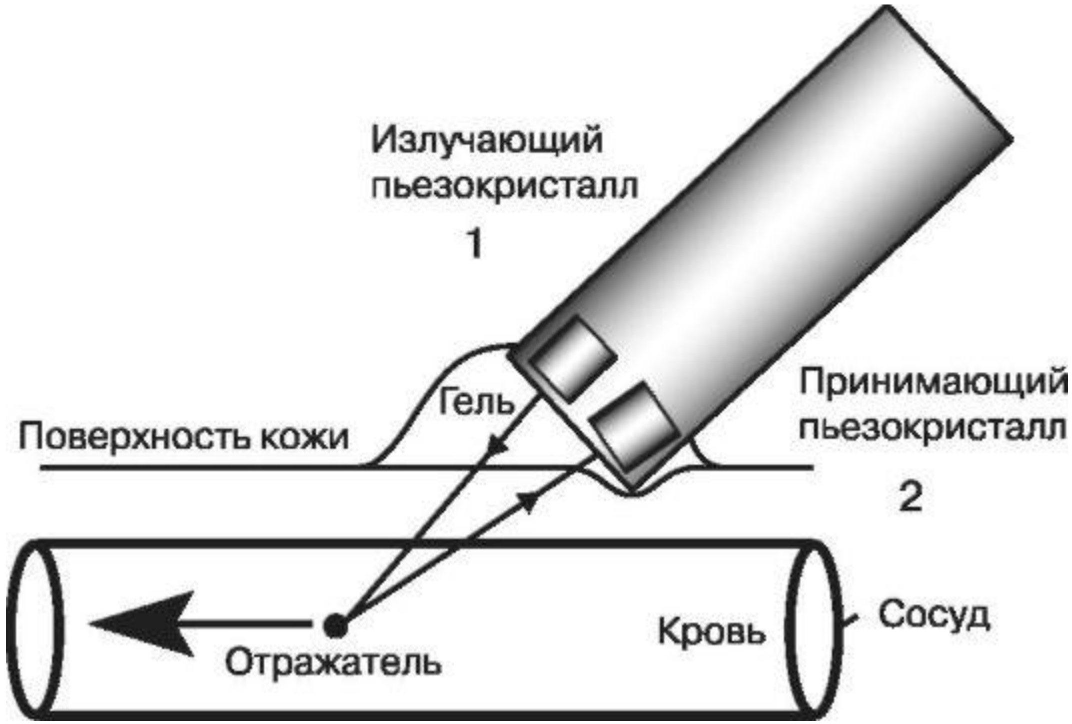


Схема установки для измерения скорости крови



1 - источник ультразвука, 2 - приемник ультразвука

Установка состоит из двух пьезокристаллов, один из которых служит для генерации ультразвуковых колебаний (обратный пьезоэффект), а второй - для приема ультразвука (прямой пьезоэффект), рассеянного кровью.

Спасибо за внимание!