

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ УЛЬТРАЗВУКА И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА СТРУКТУРУ КЛЕТОК ОРГАНИЗМА

Шульпина М.И.

МБОУ «Средняя общеобразовательная школа № 112», 10 «А» класс

Руководитель: Алейников Н.Н., учитель физики в МБОУ «СОШ № 112»

В древности люди считали, что звуки могут укрощать диких животных и сдвигать скалы. Древние египтяне заметили удивительное воздействие музыки на человека, индийцы разработали нотную грамоту. Пифагор доказал, что низкие тона в музыкальных инструментах присуще длинным струнам. Это положило начало науки об акустике. Аристотель считал, что звучащее тело вызывает сжатие и разрежение воздуха и объяснил эхо отражением звука от препятствий. Леонардо да Винчи сформулировал принцип независимости распространения звуковых волн от различных источников.

На земле существует огромное количество мега построек (Коралловый замок Эдварда Лидлскалнинша во Флориде, египетские пирамиды, храм в Тибете, возведенный на скале высотой 400 метров). Во время Второй мировой войны немцы исследовали звучание тибетских труб. Они пытались применить звук в разработках оружия, в т.ч. летающей тарелки, которая работала на магнитных полях или на ультразвуке.

Человеческое ухо не воспринимает ультразвук, однако некоторые животные могут его слышать и издавать. В конце 16 века Л. Спалланцани первым предположил существование ультразвука, выдвинув гипотезу, что летучая мышь при полете в темноте использует звуковые волны, анализируя эхо, а не свет. После этого началось его изучение и практическое применение.

**Объект моего исследования:** ультразвук.

**Область исследования:** акустика.

**Предмет исследования:** свойства ультразвука.

**Цель работы:** применение некоторых свойств ультразвука для биологических объектов.

**Актуальность и практическая значимость:** данный проект связывает физические опыты с биологией.

**Гипотеза:** Если предположить, что с помощью ультразвука меняется структура ткани, то возможно это облегчит лечение многих заболеваний.

**Задачи:**

– изучить и проанализировать теоретический материал по данной теме;

– изучить свойства ультразвука и области применения;

– визуализировать ультразвук;

– провести опыты и эксперименты;

– расширить кругозор исследования ультразвука;

– создать наглядное пособие.

В своей работе я использовала следующие **методы исследования:** анализ, синтез, эксперимент и эмпирические методы (наблюдение, сравнение).

### Звук и его виды

Что такое звук? Я нашла несколько определений.

Звук – это явление, воспринимаемое органом слуха.

Звук – это волна, обладающая определенными свойствами.

Звук – это механическое колебание среды, то есть последовательность зон сжатия и растяжения.

Звук – колебательное движение частиц упругих сред.

В опытах Роберта Бойля было доказано, что воздух является проводником звука. Но звук можно услышать не только в воздухе, но и в твердом веществе, в жидкости и газе. Звуча нет только в пустоте, т.е. в вакууме, так как там нечему колебаться.

**Таким образом,** обязательное условие для возникновения звука – наличие упругой среды.

Ньютон предположил, что процесс распространения звука представляет собой волну. Значит, звук в окружающем мире подчиняется волновым законам. Звуковые колебания называют акустическими, а наука, изучающая звук, называется акустикой.

Любая волна характеризуется следующими величинами (Рис. 1).

Наиболее часто принято разделять звук по **частоте**.

В зависимости от частоты условно звук разделен на следующие **виды:**

● инфразвук – неслышимый звук, при котором акустические колебания с частотой ниже 16 Гц.

● слышимый звук – это звук, который воспринимается человеческим ухом в диапазоне частот от 16 Гц до 20 кГц.

• ультразвук – это механические колебания упругой среды, обладающие определенной энергией и волны с частотой более 20 кГц.

• гиперзвук – упругие волны с частотами от 1ГГц.

**По спектральным характеристикам** ультразвуковых колебаний выделяют:

- низкочастотный ультразвук – 20 – 63 кГц
- среднечастотный ультразвук – 125– 250 кГц
- высокочастотный ультразвук – 1,0 – 31,5 МГц.

Существуют следующие **источники** ультразвука:

- естественные (живые – дельфины и летучие мыши) и неживые (шелест листьев).
- искусственные (акустико-механические и пьезоэлектрические (УЗИ).
- магнитострикционные.

**Таким образом**, волна – это колебания, распространяющиеся в пространстве (среде) с течением времени.

**Разновидности ультразвуковых волн**

Большинство методов ультразвукового исследования использует либо продольные, либо поперечные волны. Также существуют и другие формы распространения ультразвука, включая поверхностные волны и волны Лэмба.

**Продольные ультразвуковые волны** – волны, направление распространения которых совпадает с направлением смещений и скоростей частиц среды.

**Поперечные ультразвуковые волны** – волны, распространяющиеся в направлении, перпендикулярном к плоскости, в которой лежат направления смещений и скоростей частиц тела, то же, что и сдвиговые волны.

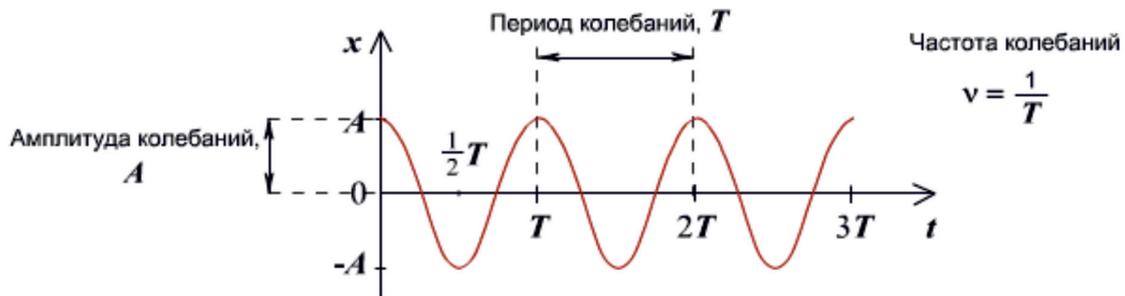


Рис. 1. График зависимости смещения от времени  
 а) Амплитуда колебаний  $-A$ , [м] – максимальное значение изменяющейся величины.  
 б) Длина волны  $-\lambda$ , [м] – минимальное расстояние между двумя точками, колеблющимися в одинаковой фазе. в) Период колебания  $-T$ , [с.] – время одного полного колебания.  
 г) Частота колебаний  $-\nu$ , [Гц] – количество колебаний за одну секунду

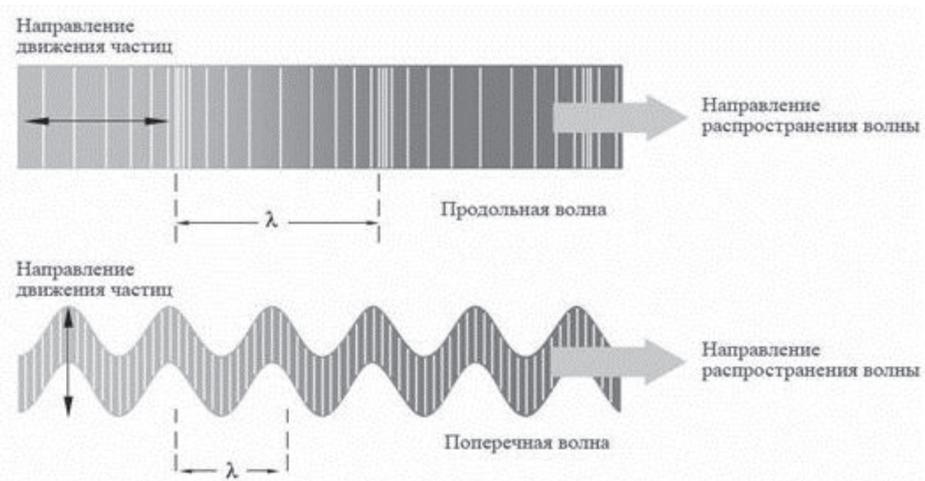


Рис. 2. Движение частиц в продольных и поперечных ультразвуковых волнах

Основное свойство волны – перенос энергии без переноса вещества.

Для звуковых волн это свойство характеризуется следующими величинами [2]:

- **Интенсивность звука** (сила звука) – средняя по времени энергия, переносимая звуковой волной через единичную площадку, перпендикулярную к направлению распространения волны, в единицу времени. Для периодического звука усреднение производится либо за промежутки времени большой по сравнению с периодом, либо за целое число периодов. Интенсивность ультразвука – величина, которая выражает мощность акустического поля в точке.

- **Мощность звука** – энергия, передаваемая звуковой волной через рассматриваемую поверхность в единицу времени. Различают мгновенное значение мощности ультразвука и среднее за период или за длительное время. Наибольший интерес представляет среднее значение мощности ультразвука, отнесённое к единице площади, так называемая **средняя удельная мощность звука**, или интенсивность звука.

Распространение ультразвука подчиняется основным законам, и эти законы являются общими для акустических волн любого диапазона частот.

#### **Свойства ультразвука и его применение.**

Вследствие большой частоты (малой длины волны) ультразвук обладает следующими **свойствами**:

**Интерференция ультразвука** – неравномерность пространственного распределения амплитуды результирующей звуковой волны в зависимости от соотношения между фазами волн, складывающихся в той или иной точке пространства.

При сложении гармонических волн одинаковой частоты результирующее пространственное распределение амплитуд образуется независимо от времени интерференционную картину, которая соответствует изменению разности фаз составляющих волн при переходе от точки к точке. Для двух интерферирующих волн эта картина на плоскости имеет вид чередующихся полос усиления и ослабления амплитуды величины, характеризующей звуковое поле (например, звукового давления). Для двух плоских волн полосы прямолинейны с амплитудой, меняющейся поперёк полос соответственно изменению разности фаз. Важный частный случай интерференции – сложение плоской волны с её отражением от плоской границы; при этом образуется стоячая волна с плоскостями узлов и пучностей, расположенными параллельно границе.

**Дифракция ультразвука** – отклонение поведения звука от законов геометрической акустики, обусловленное волновой природой звука. Результат дифракции звука – расхождение ультразвуковых пучков при удалении от излучателя или после прохождения через отверстие в экране, загибание звуковых волн в область тени позади препятствий, больших по сравнению с длиной волны, отсутствие тени позади препятствий, малых по сравнению с длиной волны, и т. п. Звуковые поля, создаваемые дифракцией исходной волны на препятствиях, помещённых в среду, на неоднородностях самой среды, а также на неровностях и неоднородностях границ среды, называются рассеянными полями. Для объектов, на которых происходит дифракция звука, больших по сравнению с длиной волны  $\lambda$ , степень отклонений от геометрической картины зависит от значения волнового параметра.

**Отражение ультразвука от границы раздела сред.** При падении звуковой волны на границу раздела сред, часть энергии будет отражаться в первую среду, а остальная энергия будет проходить во вторую среду. Соотношение между отраженной энергией и энергией, проходящей во вторую среду, определяется волновыми сопротивлениями первой и второй среды.

**Рассеяние ультразвука** происходит из-за резкого изменения свойств среды – её плотности и модулей упругости – на границе неоднородностей, размеры которых сравнимы с длиной волны (например, в газах – жидкие капли, в водной среде – пузырьки воздуха, в твёрдых телах – различные инородные включения или отдельные кристаллиты в поликристаллах). Особый интерес представляет рассеяние на хаотически распределённых в пространстве неоднородностях.

**Поглощение ультразвука** может быть обусловлено различными механизмами. Большую роль играет вязкость и теплопроводность среды, взаимодействие волны с различными молекулярными процессами вещества, с тепловыми колебаниями кристаллической решётки и др.

Именно поэтому ультразвуковые волны: могут образовывать строго направленные пучки, ускоряют протекание процессов диффузии (взаимопроникновение), влияют на растворимость вещества и на ход химических реакций, оказывают тепловое действие, уменьшают трение по колеблющейся поверхности, уменьшают вязкость вещества, генерируют стоячую волну, образуют ветер, выбивают пыль, дегазируют жидкость, разрушают кристаллы, распыляют воду (ультразвуковая сушка, увлажнители ультразвукового типа, ингаляторы).

Под воздействием ультразвука в жидкостях образуются пустоты (кавитационные пузырьки) и происходит ультразвуковая гомогенизация (перемешивание жидкостей).

Многообразные применения ультразвука, при которых используются различные его особенности, можно условно разбить на три направления: первое связано с получением информации посредством ультразвуковых волн, второе – с активным воздействием на вещество, третье – с обработкой и передачей сигналов (направления перечислены в порядке их исторического становления).

При каждом конкретном применении используется ультразвук определённого частотного диапазона.

**Получение информации с помощью ультразвуковых методов.** Ультразвуковые методы широко используются в научных исследованиях для изучения свойств и строения веществ, для выяснения проходящих в них процессов на макро и микроуровнях. Эти методы основаны главным образом на зависимости скорости распространения и затухания акустических волн от свойств веществ и от процессов, в них происходящих.

**Воздействие ультразвука на вещество.** Активное воздействие ультразвука на вещество, приводящее к необратимым изменениям в нём, или воздействие ультразвука на физические процессы, влияющее на их ход, обусловлено в большинстве слу-

чаев нелинейными эффектами в звуковом поле. Такое воздействие широко используется в промышленной технологии; при этом решаемые с помощью ультразвуковой технологии задачи, а также и сам механизм ультразвукового воздействия различны для разных сред.

**Обработка и передача сигналов.** Ультразвуковые устройства применяются для преобразования и аналоговой обработки электрических сигналов в различных отраслях радиоэлектроники, например в радиолокации, связи, вычислительной технике, и для управления световыми сигналами в оптике и оптоэлектронике. В устройствах для управления электрическими сигналами используются следующие особенности ультразвука: малая по сравнению с электромагнитными волнами скорость распространения; малое поглощение в кристаллах и соответственно высокая добротность резонаторов.

Благодаря своим разнообразным свойствам ультразвук нашёл применение в различных областях человеческой деятельности (Рис. 3).

Таким образом, понятие «ультразвук» приобрело в настоящее время более широкий смысл, чем просто обозначение высокочастотной части спектра акустических волн. С ним связаны целые области современной физики, промышленной технологии, информационной и измерительной техники, медицины и биологии (Табл. 1, Рис. 4).

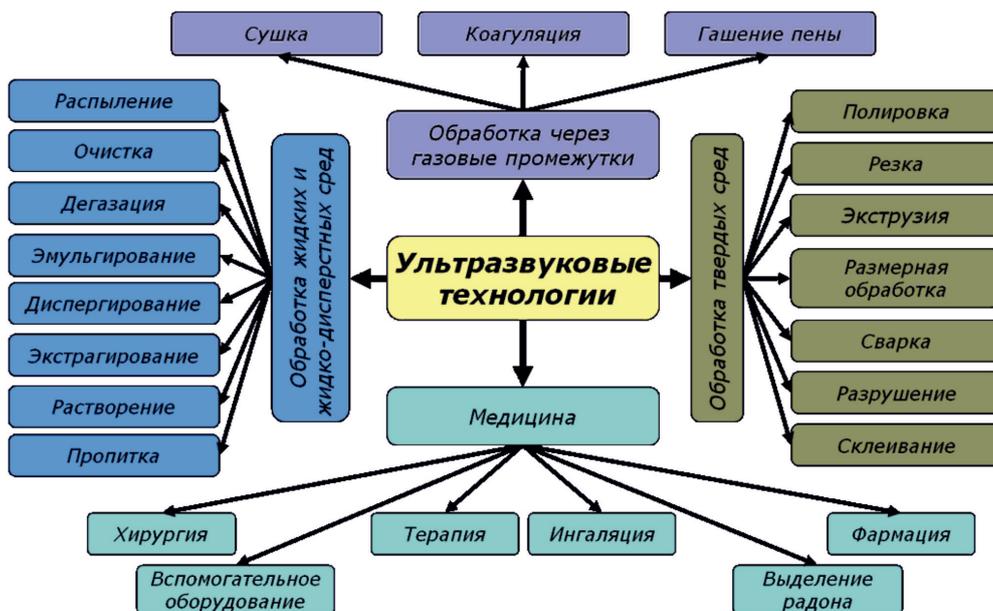


Рис. 3. Применение ультразвука

Таблица 1

Области применения ультразвука		
В металлургии	Дегазация	из расплава выделяется растворенный в нем газ и "изгоняются" неметаллические включения
	Ультразвуковая обработка металла	измельчение зерна и уменьшение пористости, улучшение металла к пластической деформации
	Закалка металлов	
В приборостроении и машиностроении	Дефектоскопия	для обнаружения скрытых дефектов
	Ультразвуковая обработка материалов	
	Ультразвуковая сварка	при производстве интегральных микросхем
	Ультразвуковая пайка	пайка алюминия с оловянным припоем
	Соединение полярных вещей	при трении механизмов
	Интенсификация гальванических процессов	
Акустоэлектроника	Обработка электрических сигналов с преобразованием в ультразвуковые	линии задержки и фильтры
Акустооптика	Обработка световых сигналов	акустическая голография - изображение предметов в непрозрачной среде
В ювелирной промышленности	Бесконтактная очистка ювелирных изделий	
В фармацевтической промышленности	Приготовления вакуумной сыворотки, стерилизация эмульсий	
В сельской промышленности	Обработка семян перед посадкой	
	Ультразвуковой отпугиватель животных, птиц и насекомых	
В рыболовстве	Эхолокация	для поиска больших косяков рыб
В пищевой промышленности	Для стерилизации и очистки, пастеризации и дезинфекции продуктов	
В быту	Стирка белья	
	Применение схем ультразвуковых парктроников	
	При дрессировке животных	свисток
В косметологии	Ультразвуковая чистка лица	
	Смешиваний эмульсий	
Медицина	Ультразвуковая диагностика	УЗИ
	Эффект Доплера	изучение характера движения сердечных клапанов, измерение скорости кровотока
	Нейрология	изменение нейрологической активности мозга
	Ультразвуковая чистка зубной эмали	
	Физиотерапия (терапевтический эффект)	тепловые (нагревание тканей), механические (микромассаж) и физико-химические (обмен веществ) факторы
	Фонофорез	введение лечебных веществ
	Ультразвуковая хирургия	ультразвуковые инструменты

Таблица 2

песок	манка	древесный уголь	кипяченая вода	морская вода	<b>кровь</b>	масло	неньютоновская жидкость
круги	круги	круги	круги в виде гребней	круги из капель	круги из капель	круги из капель	круги из капель

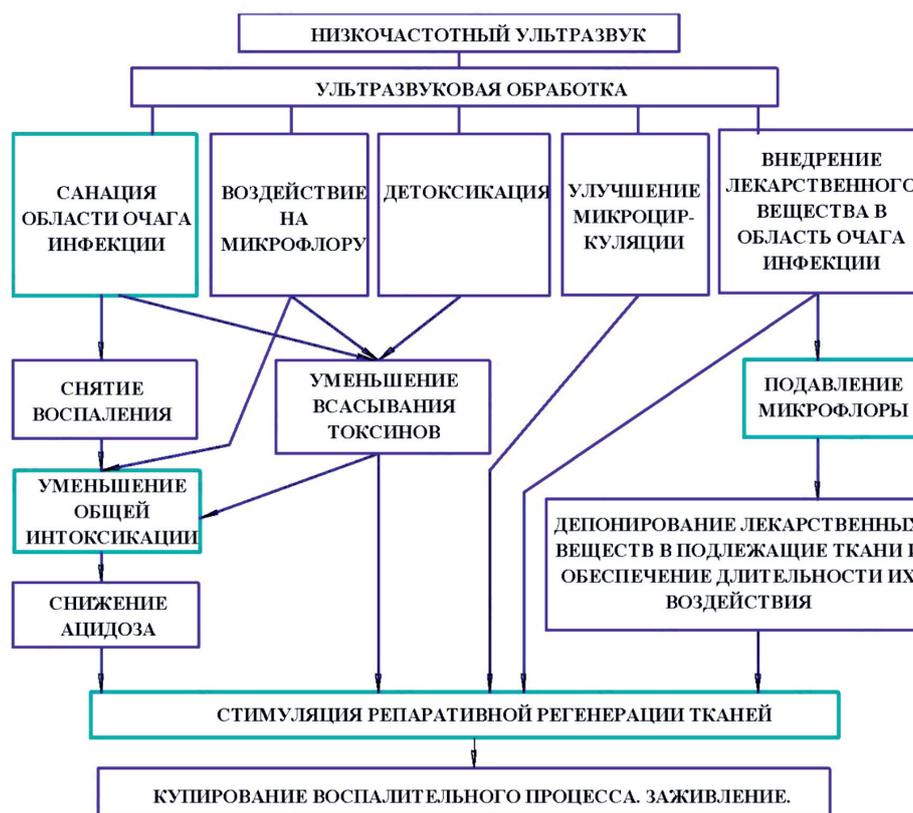


Рис. 4. Применение ультразвука в медицине

### Визуализация стоячей волны

Звук меняет структуру вещества. В этом я убедилась, проделав следующие опыты.

**Опыт № 1.** При трении мокрыми ладонями рук об ручки Китайской чаши я заметила, что вода начала покрываться рябью, которая сконцентрировалась в четырех точках по окружности чаши. Возникли звуковые колебания и вода начала подпрыгивать, разбрызгивая капли над поверхностью (Рис. 5).

**Опыт № 2.** На пластины разной формы насыпала манку и провела смычком по краю установки, в результате на ней появилась чёткая фигура. При изменении звука фигура изменялась. Такое явление называется фигурами Хладни (Рис. 6).

Это объясняется тем, что амплитуды колебаний в определенных точках многократно возрастают. Появляются так называемые стоячие волны. Точки, где вода остается неподвижной и где скапливается манка, называется узлами стоячих волн. А места, где появляются фонтанчики и чистая от манки поверхность, соответствуют пучностям этих волн.

Таким образом, необычное поведение воды в чаше и манки на столе объясняется эффектом стоячих волн.

Свойства ультразвука идентичны свойствам звука других частот, т.е., используя ультразвук можно изменять структуру вещества.

В своих опытах я использовала источник ультразвука с магнестрикционным генератором, частота которого 44000 Гц.

**Опыт № 3.** Я рассмотрела, как ведут себя разные вещества при использовании ультразвука.

Стоячие волны получились в телах любой формы (Рис. 8). Скорость волны зависит от вещества и его состояния.

Таким образом, ультразвук приводит в движение частицы вещества.

### Возможное использование ультразвука в медицине

В настоящее время в практической медицине расширяется область применения фокусированного ультразвука с целью создания в глубине тканей высокой интенсивности.

Медико-биологические аспекты использования фокусированного ультразвука со-

стоят в разрушении биологических тканей (нейрохирургия, офтальмология, нефрология, урология); раздражении нервных структур (неврология, аудиологическая диагностика и слухопротезирование), воздействии

на биологически активные точки (акупунктура), получении аэрозолей (ультразвуковая аэрозольтерапия), непосредственном воздействии на внутренние органы (внутриорганный ультразвук).



Рис. 5. Эффект стоячих волн (Китайская чаша)



Рис. 6. Эффект стоячих волн (Фигуры Хладни)

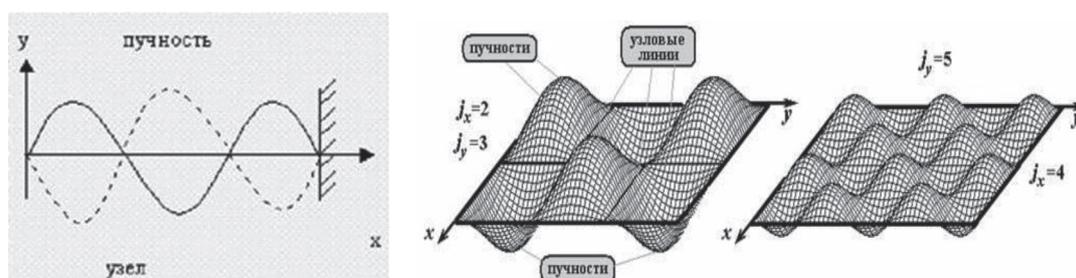


Рис. 7. Стоячая волна



*Рис. 8. Разные вещества при использовании ультразвука*

Исследуя стоячие волны, я предположила, что они могут возникать и в биологических объектах в результате отражения от границ между тканями с различными акустическими свойствами.

Как избежать негативного воздействия лекарства на хорошие клетки? Клетка – это минимальный биологический объект [5]. Предположу, что частицы песка – это клетки нашего организма.

Из ранее сделанного опыта № 1 можно сделать вывод, что при воздействии ультразвука на организм человека, возможно, собрать зараженные клетки в пучности или в узлы и направлять лечение строго по направлению, тем самым разрушая плохие клетки (Рис. 9).

**Таким образом,** ультразвук, действуя на ткани, вызывает в них биологические изменения.

**Опыт № 4.** На листе картона прорезала небольшую щель и дугу, т.е. создала препятствие на пути распространения колебаний. Расположила излучатель недалеко от

щели (дуги) и увидела, что песчаные гребни возникали и за щелью (дугой).

Волны на поверхности бумаги огибали препятствие. Я наблюдала явление дифракции (Рис. 10).

Благодаря малой длине волны дифракция ультразвука может происходить на объектах меньших размеров. Этим объектом может являться и клетка.

**Таким образом,** возможно, что введенное лекарство будет огибать хорошую клетку и обходить ее стороной (Рис. 11). Чтобы не уничтожить хорошие клетки вместе с плохими, нужно правильно подобрать частоту ультразвука, при этом учитывая размер клеток.

Так же необходимо учитывать акустическое сопротивление на границах мышца-надкостница-кость.

Если есть необходимость ввода лекарственных препаратов, которые смешиваются продолжительное время только при температуре человеческого тела, то можно использовать одно из свойств ультразвука.

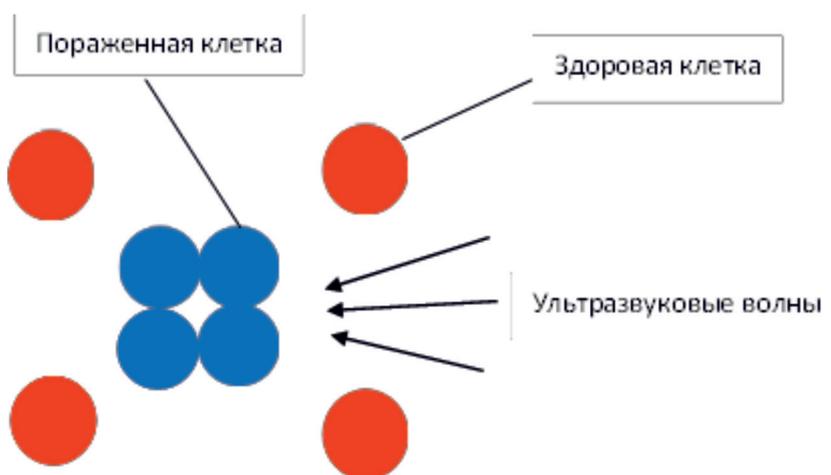


Рис. 9. Сбор плохих клеток



Рис. 10. Явление дифракции

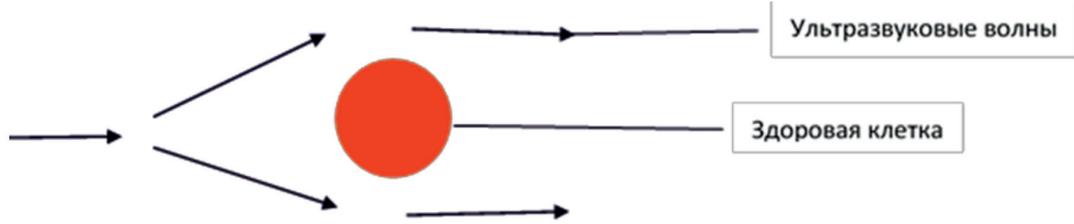


Рис. 11. Огибание ультразвуком здоровых клеток



Рис. 12. Явление интерференции



Рис. 13. Усиленное воздействие нескольких лекарств на клетку

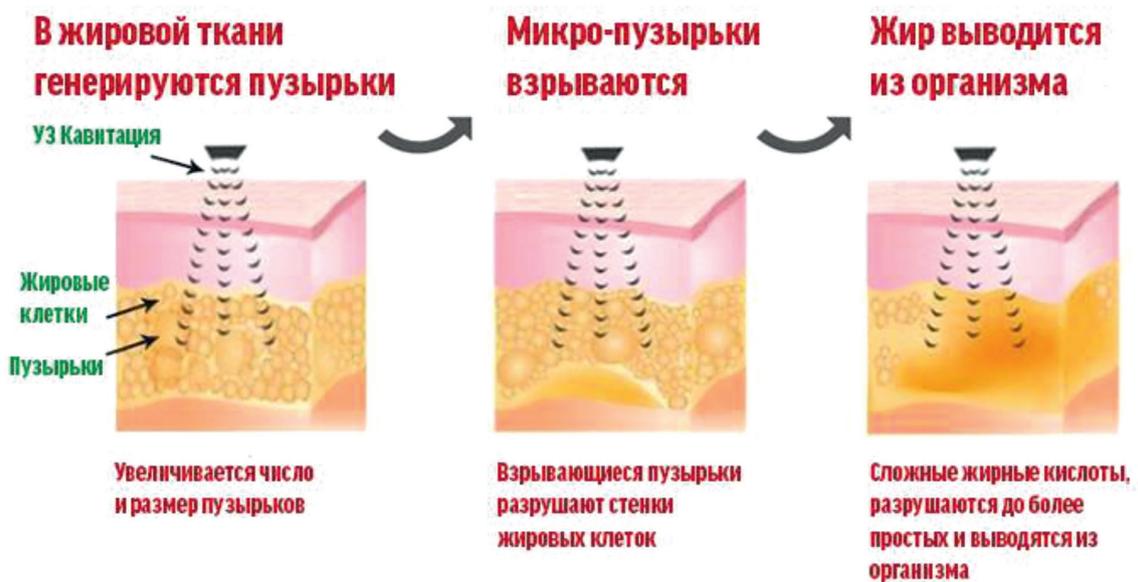


Рис. 14. Разрушение жировых клеток

Таблица 3

	Вода кипяченая	Моская вода	Кровь	Растительное масло
плотность ккм	1000	1030	1060	930
вк	вк еки	вк олее еки	вк олее еки	потескивание
виаия	ваенная	сильнее	сильнее	самая сильная
пьки	мелкие	четче и олье	четче и олье	кпнее

**Опыт № 5.** Равномерно насыпала песок на лист картона и в двух разных местах расположила стержень генератора. В результате произошло наложение двух волновых картин друг на друга. Также попробывала наложить волны с препятствием, вырезав отверстие в картоне. Я увидела, как гребни с двух сторон обогнули отверстие и, наложившись друг на друга. При этом процессе происходит сложение амплитуд. Я наблюдала интерференцию волн (Рис. 12).

**Таким образом,** возможно, при введении нескольких разных лекарств, реагирующих друг с другом только внутри организма, можно усилить эффект лечения (Рис. 13).

Процесс кавитации используют в медицине для разрушения жировой ткани. Жировая ткань в основном состоит из жидкости, поэтому, когда пузырьки лопаются, происходит разрушение жировой ткани (Рис. 14).

Как происходит процесс кавитации в крови? Кровь – это вязкая жидкость. Плотность крови составляет 1060 кг/куб.м.

**Опыт № 6.** Я взяла четыре вещества, поднесла генератор и увиденное записала в табл. 3.

Под действием ультразвука образовались кавитационные пузырьки (Рис. 15), которые могут разрушать зараженные клетки крови.

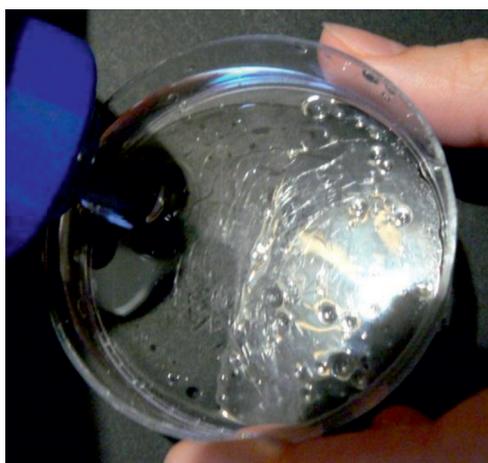


Рис. 15. Кавитационные пузырьки

Уничтожающее действие на бактерии оказывают кавитационные пузырьки, вблизи которых возникают импульсы огромных

давлений [6]. Образование полостей в жидкости приводит в гибели клеток тканей (Рис. 16). Как видно из рисунка, в процессе разрушения плохих клеток участвуют кавитационные пузырьки, воздействующие на лизосому. В результате этого лизосома запускает процесс саморазрушения.



Рис. 16. Кавитация в клетке

Пузырьки ускоряют выделение ферментов для быстрого разрушения инородных частиц или вируса. Но для этого необходимо учитывать явление дифракции, чтобы избежать разрушения хороших клеток.

**Таким образом,** при длительном воздействии ультразвука разрушается целостность структуры клетки организма.

### Заключение

Ультразвук чрезвычайно интересное явление и можно предположить, что многие возможности его практического применения до сих пор не известны человечеству.

В процессе исследования я изучила, что такое звук и его виды, рассмотрела свойства ультразвука и области его применения, создала наглядное пособие и кроссворд для проверки знаний. Подробно я остановилась на таких свойствах как дифракция и интерференция. На основе этих свойств ультразвука я провела опыты. Кавитация возникает как сопутствующее явление интерференции.

Я выдвинула несколько предположений по дальнейшему использованию ультразвука в медицине. К сожалению, я не могу подтвердить – не опровергнуть свою гипотезу, т.к. у меня нет возможности проверить это на практике.

Как мне кажется, ультразвук может изменять состояния клеток, вызывая физическую вибрацию тканей звуковыми волнами. Ультразвуковые колебания могут разрушать клетку или стимулировать ее жизненные процессы.

Возможно, ультразвуком можно остановить размножения плохих клеток, нарушить структуру белков в клетках и вызвать изменение генов.

Может быть, в будущем изобретут ультразвуковую таблетку, которая ускорит доставку лекарств и устранил необходимость использования уколов. После проглатывания устройство пошлет ультразвуковые волны на поиск плохих клеток, сбора их в пучности и уничтожения. Для домашнего лечения можно создать ультразвуковой пластырь для точечного воздействия на пораженные участки. Испускаемые ультразвуковые импульсы будут стимулировать нарастание соединительной ткани и синтез иммунных клеток, отвечающих за процессы заживления.

При использовании ультразвука во время лечения необходимо учитывать длительность и степень излучения в связи с высокой

биологической активностью, а также мощность ультразвука, так как он способен разрывать клеточные мембраны, что приводит к гибели клеток как хороших, так и плохих.

Однако точно еще не установлено, насколько широка безопасная зона между положительным действием ультразвука на больную ткань и повреждающим – на окружающую здоровую ткань.

#### Список литературы

1. А.В. Перышкин, Е.М. Гутник. Физика 9 класс. – М.: Дрофа, 2002.
2. Хорбенко И.Г. Звук, ультразвук, инфразвук. – М., 1986.
3. Баулан И. За барьером слышимости. – М., 1971.
4. Хилл К. «Применение ультразвука в медицине» – 1989.
5. Ремизов А.Н. «Медицинская и биологическая физика». – М.: Высш.шк., 1996.
6. Корнеев Ю.А., Коршунов А.П., Погадаев В.И. Медицинская и биологическая физика. – М.: Наука, 2001.