



**МЕДИЦИНСКИ УНИВЕРСИТЕТ – ПЛЕВЕН**  
**ФАКУЛТЕТ „ЗДРАВНИ ГРИЖИ“**  
**ЦЕНТЪР ЗА ДИСТАНЦИОННО ОБУЧЕНИЕ**

**Лекция №1**

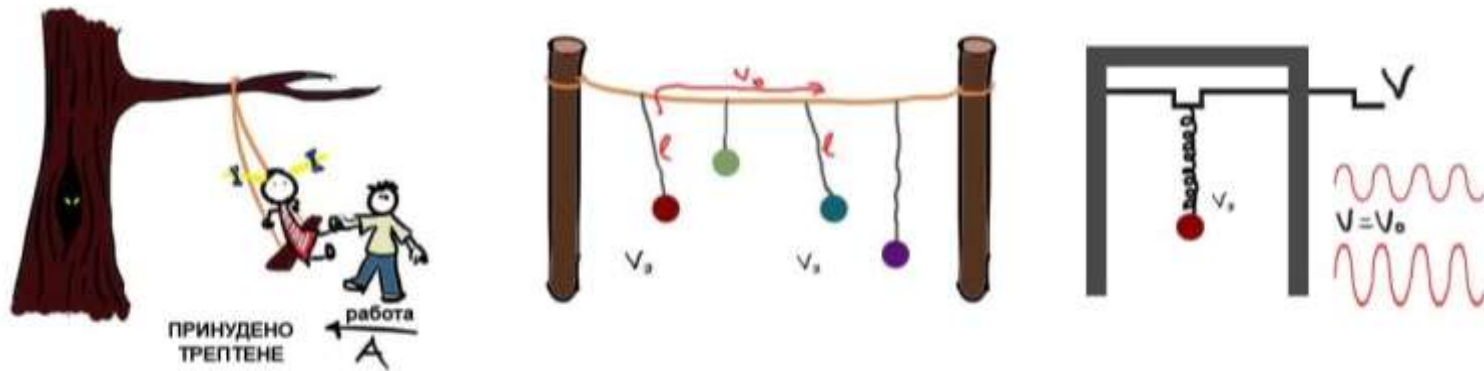
# **МЕДИЦИНСКА АПАРАТУРА**

**Звук - естество, източници, основни характеристики, видове. Област на чуване. Инфразвук, звук и ултразвук. Звукови методи за медицинска диагностика и терапия - аускултация, фонокардиография, перкусия, аудиометрия, измерване на кръвното налягане, литотрипсия**

**Проф. Константин Балашев, дхн**

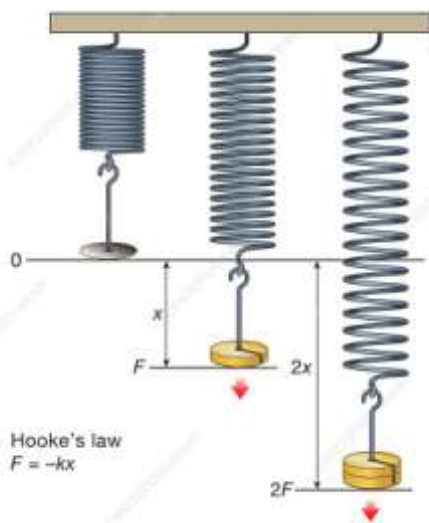
# ЗВУК

## Механични трептения и вълни



Трептения са движения или изменения в състоянието на телата, които се повтарят във времето. Трептенията са *периодични*, ако се описват с физични величини, чиито стойности се повтарят през равни интервали от време. Най-малкият от тези интервали  $T$  се нарича *период*, а броят на трептенията за единица време - *честота* на трептенията  $\nu$ :

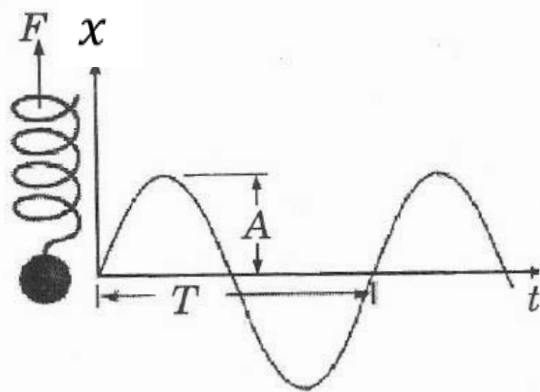
$$\nu = \frac{1}{T}, s^{-1}, Hz$$



Механични трептения се получават най-често под действието на сила  $F$ , която е пропорционална на *отместването* на тялото  $x$  от изходното му положение и има посока към това положение:

$$F = -kx$$

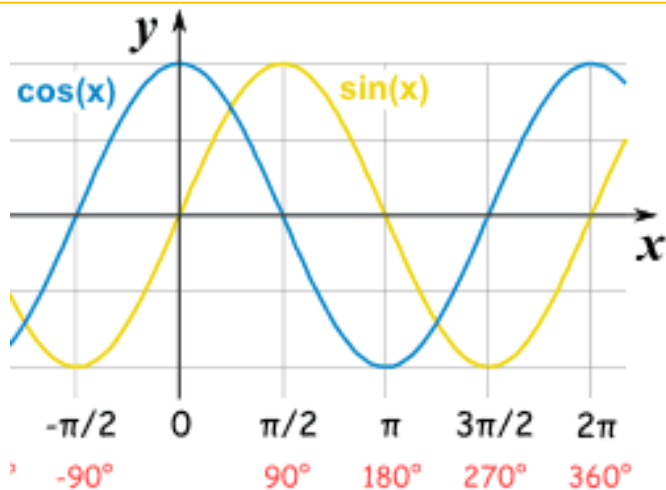
В този случай силата се нарича *еластична*, движението на тялото - *хармонично трептене*, а самото тяло - *хармоничен осцилатор*. Знакът минус пред коефициента на пропорционалност  $k$  показва, че силата връща тялото към изходното му положение, т. е. нейната посока е обратна на нарастването на отместването.



Зависимостта на отместването  $x$  от времето  $t$  се описва със синусова или косинусова функция и се нарича *уравнение на хармоничното трептене*:

$$x = A \sin(\omega t + \varphi_1) = A \cos(\omega t + \varphi_2)$$

Изразите  $\omega t + \varphi_1$  и  $\omega t + \varphi_2$  се наричат *фази*,  $\omega$  - *ъглова честота*,  $\varphi_1$ ,  $\varphi_2$  - *фазови константи*, а  $A$  *амплитуда*

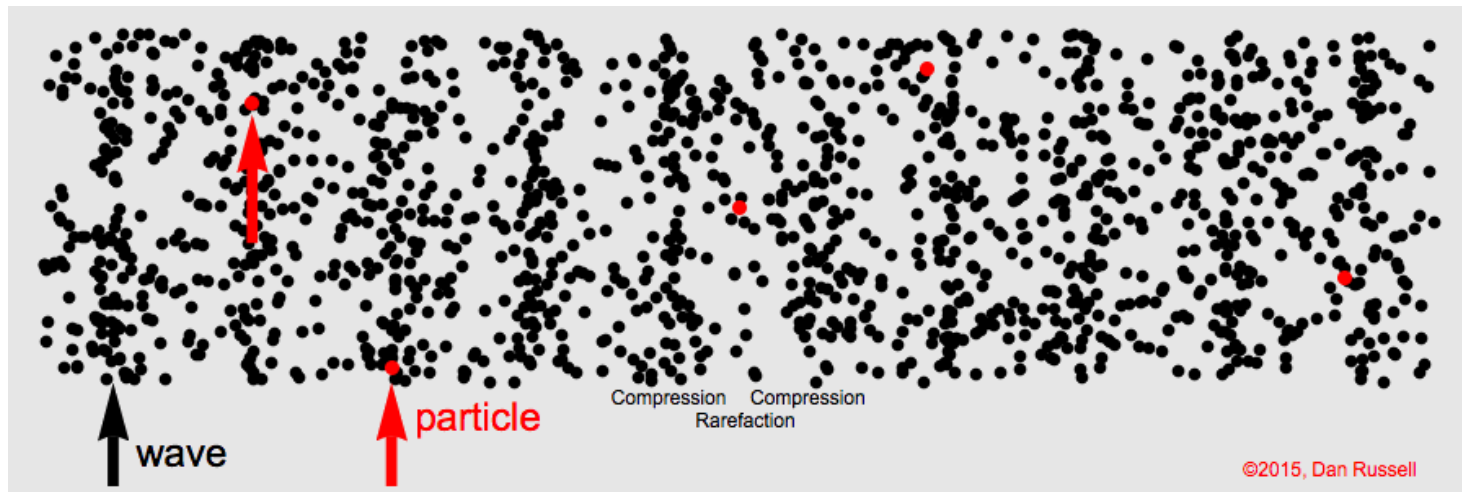


Амплитудата определя максималното отклонение на тялото, а фазовата константа - отклонението на тялото в началния момент  $t = 0$ . Като се има предвид, че периодът  $T$  на функциите  $\sin x$  и  $\cos x$  е  $2\pi$ , т. е.  $\omega T = 2\pi$ , връзката между кръговата честота  $\omega$  и честотата  $\nu$ :

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



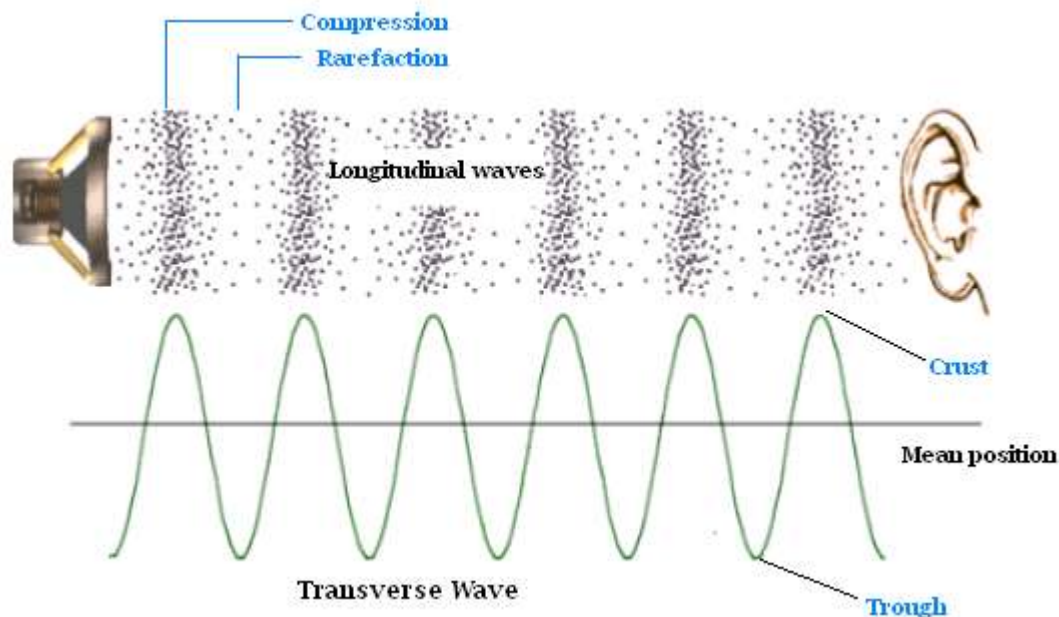
Когато трептящото тяло или частица е съставна част на система от други такива, трептенията се предават на съседните - тела или частици. Те от своя страна предават трептенията си на своите съседни и по този начин в една среда или система от тела или частици трептенето се разпространява във всички посоки. Този процес се нарича **вълнообразно движение** или **вълна**. Характерно за това движение е, че през средата се пренася енергия, без участващи-те във вълната тела или частици да напускат областта си на трептене, т.е. без да се пренася вещество.



Под *скорост на разпространение на вълната*  $v$  се разбира скоростта, с която произволно избрана фаза на трептене на частиците се премества в средата (например фазата  $\pi/2$ , съответстваща на един от върховете на вълната). Тази скорост се нарича *фазова скорост*, но обикновено думата "фазова" се изпуска. Разстоянието  $\lambda$ , на което фазата на трептенето се разпространява за време един период  $T$ , се нарича *дължина на вълната*:

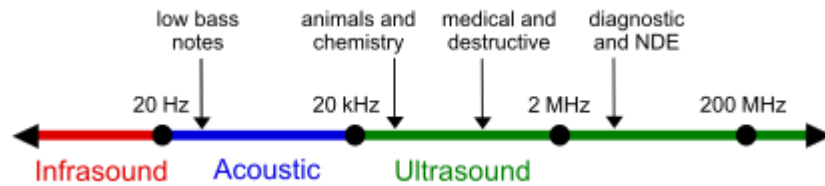
$$\lambda = vT, \quad v = \lambda\nu$$

# Звук



Механичните трептения и вълни, които могат да се възприемат от ухото на човека, се наричат **звук**. Техните честоти попадат в диапазона *от 20 Hz до 20 kHz*, определен експериментално чрез усредняване на измерванията върху много хора. От физична - лед на точка механичните трептения и вълни извън този диапазон не се различават от звука и затова се разглеждат заедно с него в раздела **акустика**.





Механичните вълни с честота *пог* 20 Hz се наричат **инфразвук**, а с честота *над* 20 kHz - **ултразвук**. Някои животни възприемат като звук вълни и от тези области).

Най-високочестотните механични вълни *от областта*  $10^9$  —  $10^{13}$  Hz се отнасят към **хиперзвука**.



<p>We are learning about</p>  <p>instruments.</p>	 <p>guitar</p>	 <p>xylophone</p>
 <p>triangle</p>	 <p>recorder</p>	 <p>shaker</p>
 <p>bells</p>	 <p>chime-bar</p>	 <p>maracas</p>
 <p>piano</p>	 <p>tambourine</p>	 <p>drum</p>

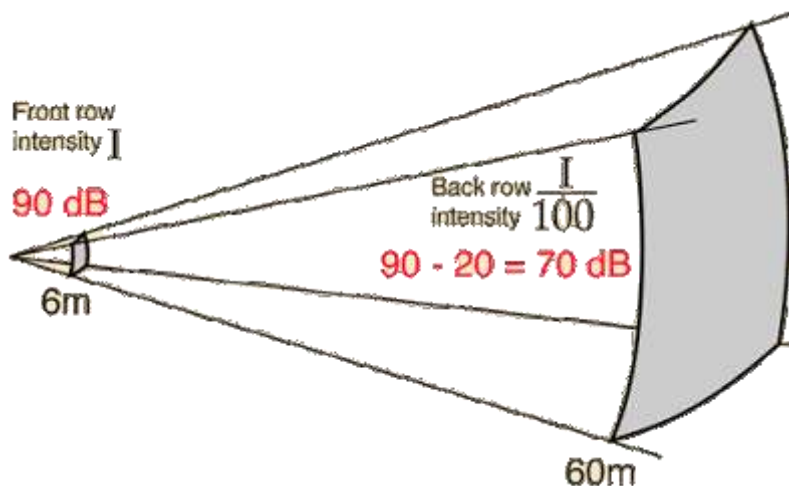
*Източници* на звук могат да бъдат всички трептящи тела (пръчки, струни, мембрани, въздушни стълбове и др.), които създават механични вълни в материална среда. Звуковите вълни в твърдите тела могат да бъдат както надлъжни, така и напречни, тъй като тези тела притежават еластичност при опъване, свиване и хлъзгане. Течностите и газовете нямат еластичност при хлъзгане и в тях вълните са само надлъжни.

*Скоростта на разпространение на звука* не зависи от честотата на трептенията, а от еластичните свойства и плътността на средата.

# Физични характеристики на звука

**Физичните характеристики** на звука са свързани с неговите физични свойства, а психофизичните - с възприемането му от човека. Освен честота, други по-важни физични характеристики на звука са звуково (акустично) налягане, интензитет, ниво на интензитета и спектрален състав.

**Звуково налягане  $\Delta p$**  е допълнителното налягане, което възниква при разпространението на надлъжните звукови вълни в местата на сгъстяване ( $\Delta p > 0$ ) и разреждане ( $\Delta p < 0$ ) на частиците на средата.



### Интензитет на звука

$I$  е пренесената от звуковата вълна енергия  $E$  за единица време ( $t = 1 s$ ) през единица площ ( $S = 1 m^2$ ), разположена перпендикулярно на посоката ѝ на разпространение:

Интензитетът на звука има смисъл на **плътност на енергиен поток**, тъй като под енергиен **поток** се разбира енергията, пренесена през площта  $S$  за единица време. Освен за енергия, величините поток и плътност на потока се въвеждат и за други физични величини, като например за пренесени обем на флуид, количество топлина, енергия на лъчение, маса и др.

Стойностите на интензитета на звуците, възприемани от човешкото ухо са в много широк диапазон. За тяхното сравняване се използва физична величина, наречена **ниво на интензитета  $L$** .

За начална стойност в скалата на интензитета е приета  $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$ . Тя е определена като *най-малкия интензитет на звук с честота 1 kHz*, който човек чува (**праг на чуване**).

Нивото на интензитета е безразмерна величина  **$L$**  и се изразява в единицата **бел ( $B$ )**. Звук с интензитет  **$I$** , независимо от честотата, има ниво на интензитета един бел ( **$L = 1 B$** ), ако  **$I = 10I_0$** . По-популярна в практиката е производната единица **децибел ( $dB$ )**, 10 пъти по-малка от бела:

$$[L] = B = 10 \text{ dB}$$

## Екстракорпорална литотрипсия с ударна вълна



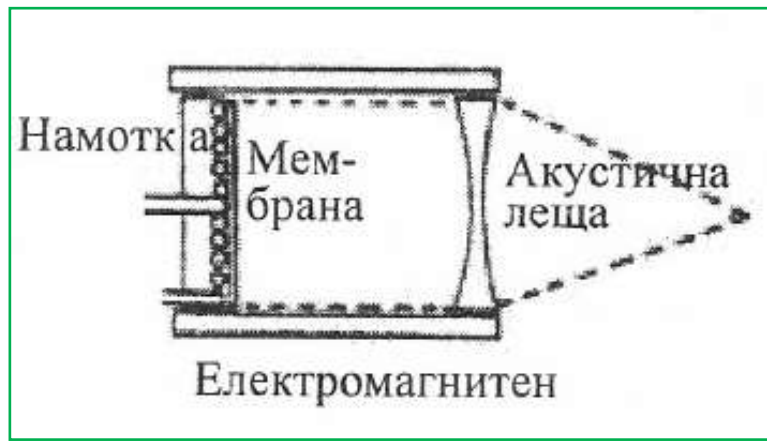
**Екстракорпоралната литотрипсия** (от гр. *литос* - камък, *трипсис* -чупя) се използва за лечение на бъбречно-каменната болест от 1980 а., най-напред в Германия.

Идеята е конкрементите да се разрушават вътре в тялото посредством силни механични вълни с малка продължителност (*ударни вълни*), генерирани извън тялото (*екстракорпорално*). Ключов проблем е фокусирането на вълните, така че да въздействат само върху конкремента и да не увреждат тъканите около него

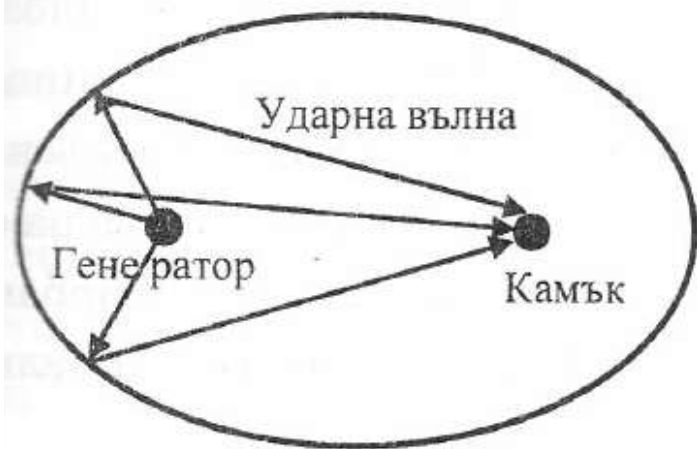
Източникът на ударни вълни се намира във вода и вълните от водата преминават в тялото на пациента през тъканноеквивалентна среда (*водна възглавница*). Това е необходимо, за да се избегне затихването на вълните във въздуха и отражението им от граничните повърхнини, които имат различно звуково съпротивление

**Налягането на вълните** нараства със звуковото съпротивление - за водата и меките биологични тъкани, то е около *3000 пъти по-голямо от това на въздуха*, а за конкрементите *е още около 10 пъти по-голямо*. Това, както и липсата на фокусиране в меките тъкани, е причина те да не се увреждат от вълните, докато конкрементите се разрушават.

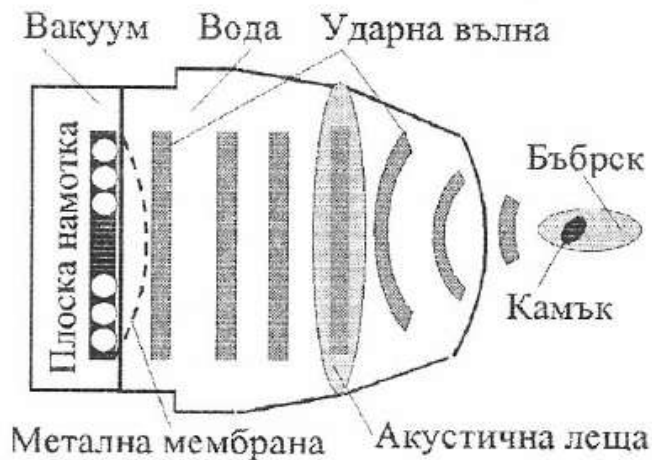
В литотриптерите се използват три метода за генериране на ударни вълни- *електрохидравличен*, *електромагнитен* и *пиезоелектричен*.



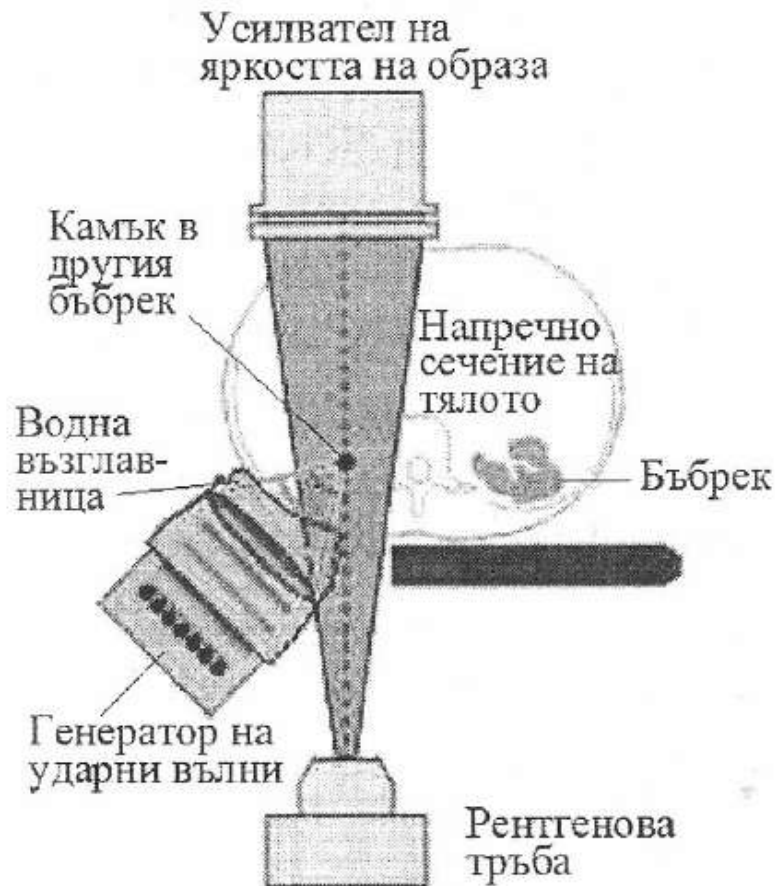




При електрохидравличния метод вълните се създават чрез импулсен искров разряд между два електрода с високо напрежение (15 - 20 kV). Искрицето се намира в единия фокус на полуелипсоиден рефлектор, обърнат с отворената си част към пациента. Част от всяка ударна вълна се разпространява напред, а другата ѝ част се отразява от рефлектора и се събира в другия фокус на елипсоида. Плътноста на енергията там става достатъчно голяма за да разруши конкремента, който се намира в тази точка. Ето защо точното позициониране на пациента е изключително важно.



**Електромагнитният излъчвател** работи подобно на високо-говорител. Основната му част е трептящ кръг, съставен от кондензатор, плоска намотка и искрище. Кондензаторът се зарежда до високо напрежение (няколко  $kV$ ) и при разреждането си дава краткотраен искров разряд (няколко  $\mu s$ ). През намотката протича мощен токов импулс със стръмен фронт и голяма амплитуда (няколко  $kA$ ). До намотката, но във вода, се намира добре изолирана метална мембрана. В нея по време на разряда, като във вторична намотка на трансформатор, се индуцира напрежение. В резултат от взаимодействието на магнитните полета мембраната рязко се отблъсква и създава във водата плоска ударна вълна.



Литотриптерът работи в комбинация с рентгенов апарат, за да се осигури точно локализиране на конкремента във фокусната зона. За целта автоматичното преместване на пациента на масата се управлява с компютър. Процесът на литотрипсията се следи непрекъснато с ултразвуков ехограф за да се избегне лъчевото натоварване на пациента от продължително рентгеново наблюдение

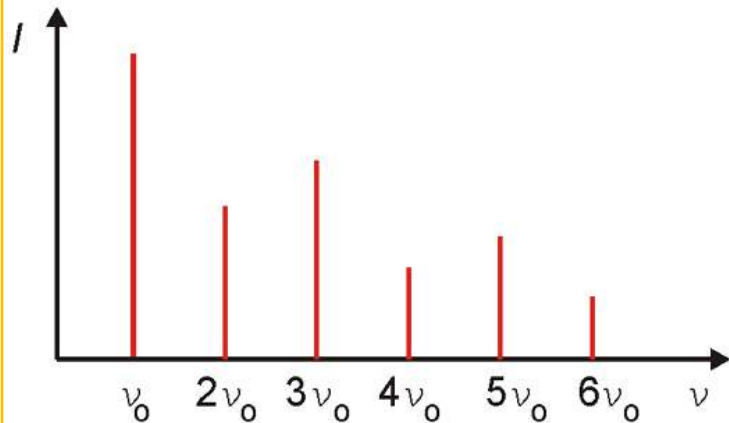
# Психофизични характеристики на звука

**Психофизичните характеристики** на звука са височина на звука, ниво на гърмкост и тембър. Докато физичните характеристики се определят обективно чрез измерване със съответни уреди, психофизичните се оценяват субективно от човека по слуховото му усещане. *Между физичните и психофизичните характеристики има сложно съответствие.*

# Акустичен спектър

Уравнението за хармонично трептене е приложимо само за звук с определена честота. Такъв звук се получава от много малко източници и се нарича **прост (чист) тон**.

Звукът, който съответства на трептения с една хармонична честота, се нарича **чист тон**. Такива звуци издават *камертоните*. Така например тонът "ла" в музиката съответства на честота 440 Hz.



Ако трептенията са **нехармонични**, възникват сложни тонове, съдържащи трептения с различна честота и амплитуда. Те могат да се разложат на няколко прости тона и да се представят като линейна комбинация от хармонични трептения или във вид на **акустичен спектър**.

Съвкупността от простите тонове, чрез линейната комбинация на които се представя един сложен тон се нарича акустичен спектър. Компонентната от акустичния спектър с най-ниската честота ( $\nu_0$ ) и с най-голям интензитет се нарича основен тон. Останалите компоненти имат кратни честоти ( $2\nu_0, 3\nu_0, 4\nu_0, \dots$ ) на основния тон и се наричат **обертони**. Тонове, които са кратни на хармоничните честоти, се наричат обертонове.

Усещането за височина на звука се определя главно от честотата на основния тон и в по-малка степен от неговия интензитет и спектрален състав. Единицата за промяна на височината на звука е **октава**. Една октава съответства на изменение на честотата на звука два пъти. Ширината на октавите е различна, тъй като всяка следваща октава започва с двойно по-голяма честота от началната честота на предишната октава. Те са 10:  $16 \div 32, 32 \div 64, 64 \div 128$  Hz и т.н.

Комбинацията на интензитета на основния тон и интензитета и броят на обертоновете на един тон се нарича **тембър на звука**.

Тъй като обертоновете са с по-големи честоти от основния тон и се поглъщат по-силно във въздуха, тембърът се променя с отдалечаване от източника на звук.

За оценка на степента на звуково налягане, т.е. за определяне на звука като по-силен или по-слаб, се използва субективната величина **ниво на гръмкостта**.

Тази величина се означава с  $\Gamma$  и е свързана с нивото на интензитета  $L$  чрез един коефициент на пропорционалност  $k$ , който е сложна функция на интензитета и честотата:

$$\Gamma = kL, \quad \Gamma = k \lg \left( \frac{I_0}{I} \right)$$

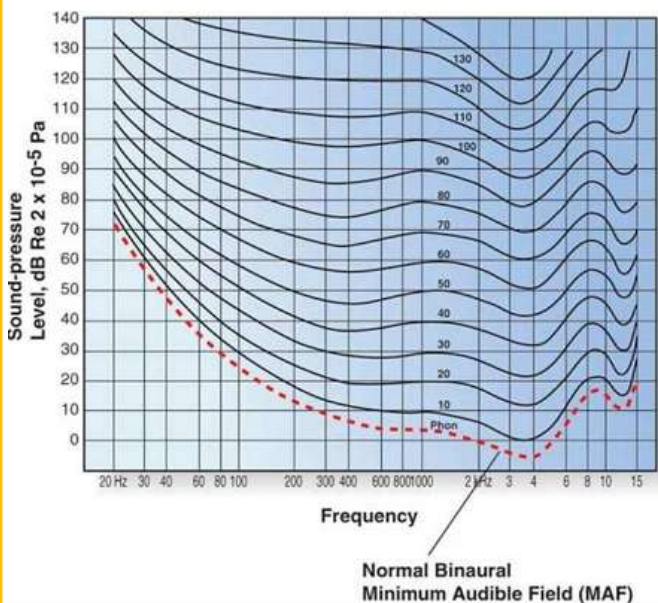
където  $k = f(I, \nu)$

*Нивото на гърмкостта* е пропорционално на нивото на интензитета. Прието е при честота  $\nu = 1 \text{ kHz}$ , т.е. при тази честота нивото на гърмкостта  $\Gamma$  съвпада с нивото на интензитета  $L$  ( $\Gamma = L$ ).

Единицата за ниво на гърмкостта е равна по големина на единицата децибел, но за да се различава от нея, се нарича **фон (phon)**

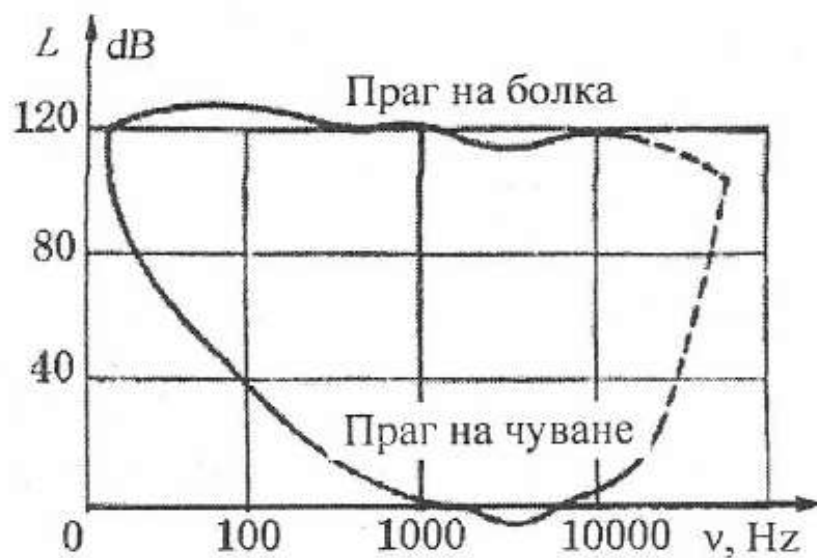
За звук с честота, към която ухото е по-чувствително в сравнение с честота от 1000 Hz, нивото на гърмкостта във фонове е по-висока от нивото на интензитета (и обратно).

Стойностите на коефициента  $k$  при други честоти, различни от 1 kHz са измерени експериментално, като при всяка от тях е определен интензитетът, който предизвиква звуково усещане (гърмкост), еднаква с интензитета (гърмкостта) при 1 kHz. От получените по този начин средни данни за хора с нормален слух са определени зависимостите на нивото на гърмкостта от честотата при различни нива на интензитета. Те се представят във вид на графики, наречени **криви на еднаква гърмкост** или **изофони**





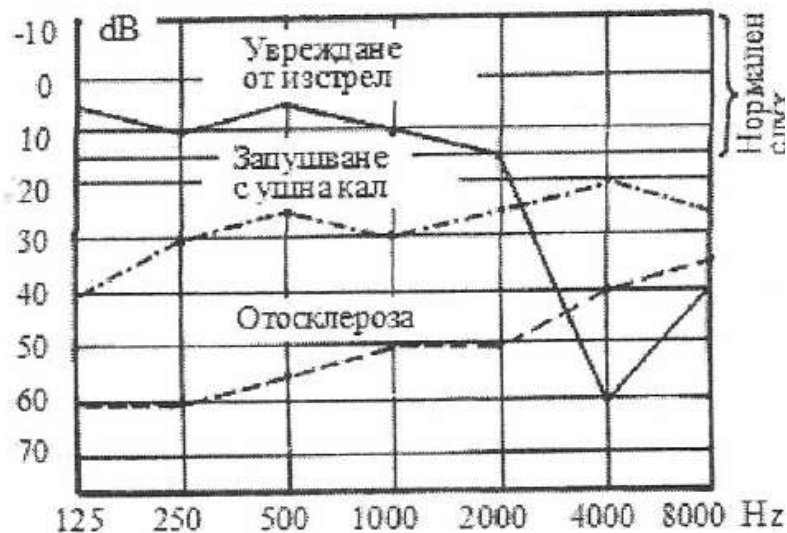
Човешкото ухо е чувствително към звукови вълни, интензитетът на които се мени в много широки граници. Например хармонична звукова вълна с честота 1000 Hz се възприема от стандартното ухо като звук, ако интензитетът  $I$  е в интервала от  $I_0=10^{-12} \text{ W/m}^2$  до  $I_{max}=1 \text{ W/m}^2$ .



На графиката е представена областта на чуване в зависимост от честотата на звука. Интензитетът  $I_0$  определя **долния праг на чуване**. Ухото не е чувствително към звукове с по-малък интензитет. Горната граница  $I_{max}$  се нарича **праг на болката** или **горен праг на чуване**. Ако интензитетът на вълната е по-голяма от  $I_{max}$ , усещането за звук преминава в усещане за болка.

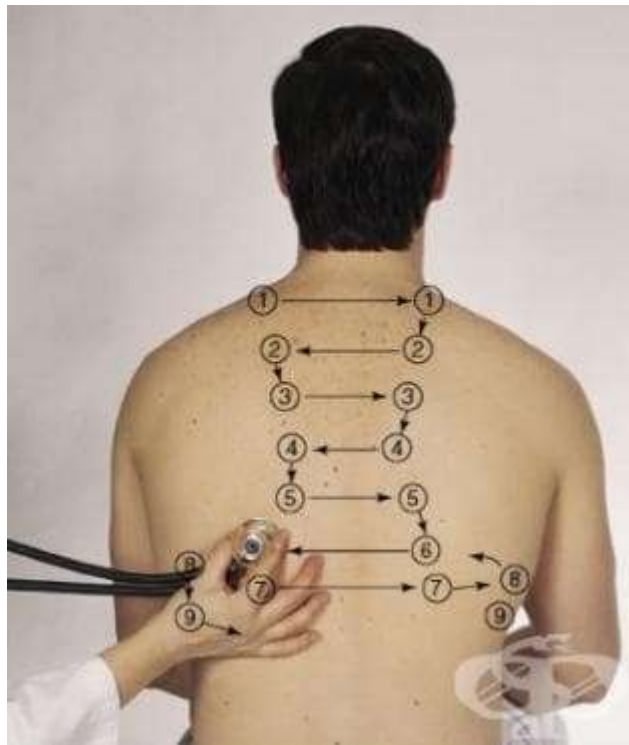


Празът на чуване определя *остротата на слуха*. Методът за измерването му се нарича *аудиометрия*. Аудиометърът се състои от електронен генератор на тонове с определена честота и регулируем интензитет, измерителен уред за нивото на интензитета и слушалки.

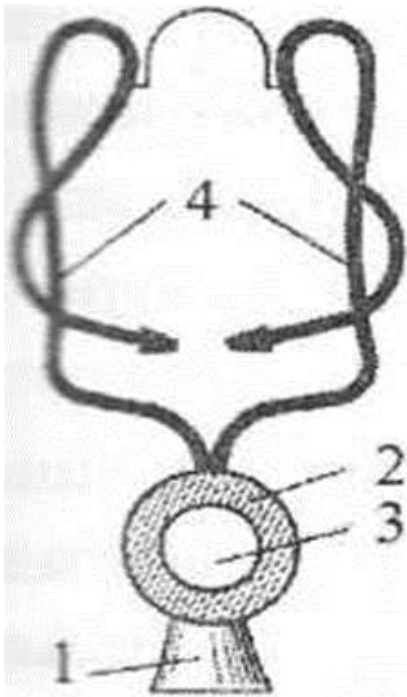


Измерените правови стойности на интензитета се представят графично като положителната посока на ординатната ос е насочена надолу. В интервала  $125 \div 8000 \text{ Hz}$  нормалните аудиограми падат изцяло в областта до 15 dB, докато празът на чуване при някои увреждания на слуха се повишава на 40 - 60 dB.

## Звукови методи в медицинската диагностика



При някои физиологични процеси в човешкото тяло се получава звук, който може да бъде използван за *диагностика*. Преди всичко такива процеси са *сърдечната дейност* и *дишането*. При болестни състояния се променя тонът или тембърът на сърдечни-те звукове и на звука от движението на въздуха в дихателните пътища. Класически метод за изследване на пациент по възприемания от лекаря звук е *прислушването (аускултацията)*. С аускултация може да се установи и наличието на перисталтика на стомаха и -червата, както и сърдечната дейност на плода при бременни.

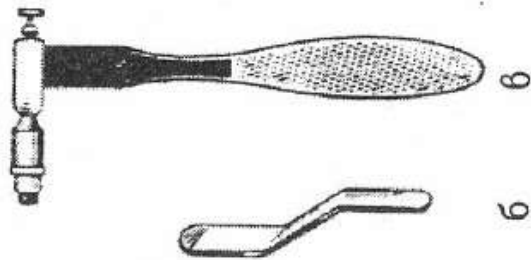


Най-простият уред за аускултация е **бинауралният стетоскоп**. Той има два входа, с които се притиска към тяло-то: единият **(1)** е за прислушване на сърцето, а по-широкият **(2)** е за прислушване на белия дроб. Звукът се възприема от еластич-на мембрана върху куха капсула **(3)**, която служи за резонатор. От там той се предава до ушите на лекаря с еластични тръбички **(4)** с твърди краища, които, поставени в тях ги изолират от други шумове



За усилване и записване на звуковете, носещи диагностична информация, се използват *контактни микрофони*, които ги преоб-разуват в електрични трептения. Този метод за изследване на сърдечната дейност се нарича *фонокардиография*. Понякога той се прилага едновременно с електрокардиографията.

Освен звуковете, произлизащи от човешкото тяло, за диагностика се използват и така наречените *резонансни тонове*, получавани по метода *перкусия (причукване)*. Характерът им зависи главно от механичните свойства (*еластичност, плътност*) на тъканите, разположени под мястото на перкусия.



Перкусията се прави със специално *чукче* с мек (гумен) връх върху еластична пластинка, наречена *плесиметър*, която се поставя върху тялото на болния. Прилага се перкусия и с удари на сгънат показалец на едната ръка върху фалангата на показалеца на другата. Ако под мястото на почукване има меки тъкани (мускул, мастна тъкан), звукът е тих и заглъхващ, а ако там има кост или кухина, той е силен, тъй като се усилюва от резонанса. Така могат да се определят границите на белия дроб или сърцето и да се разбере дали някоя кухина е пълна с въздух или течност.