Acoustic Impedance (Z) مقاومة الصوتية

Acoustic impedance is ***a measure of the resistance of the particles of the density of the medium, and the velocity of ultrasound in the medium***. ***Acoustic impedance is the opposition of a tissue to the passage of ultrasound waves and depends on***: المعاوقة الصوتية هي مقياس لمقاومة الجزيئات لكثافة الوسط، وسرعة الموجات فوق الصوتية في الوسط. المعاوقة الصوتية هي مقاومة الأنسجة لمرور الموجات فوق الصوتية وتعتمد على:

- ***Density*** of the medium (ρ)
- Propagation ***velocity*** of ultrasound through the medium (v) كثافة الوسط سرعة انتشار الموجات فوق الصوتية عبر الوسط

Mathematically, the acoustic impedance (Z) of a tissue (or any material) is defined as ***the product of tissue density (ρ) and acoustic velocity in that tissue (v)***: ***3) × v (m/s) Z = ρ (kg/m*** *رياضيًا، يتم تعريف المعاوقة الصوتية للنسيج (أو أي مادة) على أنها حاصل ضرب كثافة الأنسجة () والسرعة الصوتية في ذلك النسيج*

Acoustic impedance is measured in $kgm^{-2}s^{-1}$. The acoustic ***impedance is important in***: يتم قياس المعاوقة الصوتية بالكيلو جرام -2 ثانية -1. تعتبر المعاوقة الصوتية مهمة في:

1. The determination of acoustic ***transmission and reflection at the boundary of two materials*** having different acoustic impedances. 1. تحديد النقل الصوتي والانعكاس عند حدود مادتين لهما ممانعات صوتية مختلفة.
2. The ***design*** of ultrasonic ***transducers***. تصميم محولات الطاقة بالموجات فوق الصوتية.
3. Assessing ***absorption*** of sound in a medium. تقييم امتصاص الصوت في الوسط.

The ***ratio*** of the ***intensity of the reflected*** (I_r) wave to the ***incident wave*** (I_i) at the boundary called ***Reflection coefficient (R)***. For an ultrasound wave incident perpendicularly upon an interface, the fraction R of the reflected energy is: تسمى نسبة شدة الموجة المنعكسة إلى الموجة الساقطة عند الحد بمعامل الانعكاس بالنسبة لموجة الموجات فوق الصوتية الساقطة بشكل عمودي على السطح البيني، فإن جزء الطاقة المنعكسة هو:

$$R=I_r/I_i = (Z_1-Z_2 / Z_1+Z_2)^2$$

Where Z_1 and Z_2 are the acoustic impedances of the first and second medium, respectively. The fraction of the incident energy that is transmitted across an interface is described by the transmission coefficient T أين توجد الممانعات الصوتية للوسط الأول والثاني على التوالي. يتم وصف جزء الطاقة الساقطة التي يتم إرسالها عبر الواجهة بواسطة معامل الإرسال,

$$T=4Z_1Z_2 / (Z_1+Z_2)^2$$

Obviously, $T+ R =1$

The body is consisting from a ***range of materials***, such as the ***air in the lungs*** and ***intestinal gas***, ***water***, ***blood***, ***muscle***, ***fat*** and ***bone***. Each component of the body has ***characteristic impedance***, which depends on the ***nature of this matter in it***. **Gases** have a ***very low density***, and therefore ***very low acoustic impedance*** as shown in table 2.3. يتكون الجسم من مجموعة من المواد، مثل الهواء الموجود في الرئتين والغازات المعوية والماء والدم والعضلات والدهون والعظام. ولكل مكون من مكونات الجسم ممانعة مميزة تعتمد على طبيعة هذه المادة الموجودة فيه. تتميز الغازات بكثافة منخفضة جدًا، وبالتالي فهي مقاومة صوتية منخفضة جدًا كما هو موضح في الجدول 2.3.

A ***large difference*** in acoustic impedances of the materials on each side of the boundary is referred to as ***acoustic impedance mismatch***. In substances with a greater the impedance mismatch there is a ***greater amount of energy that will be reflected*** at the interface or boundary between one medium and another and a ***less amount of transmitted energy***. يُشار إلى الاختلاف الكبير في المعاوقات الصوتية للمواد الموجودة على كل جانب من الحدود باسم عدم تطابق المعاوقة الصوتية. في المواد ذات عدم تطابق المعاوقة الأكبر، هناك كمية أكبر من الطاقة التي ستنعكس عند السطح البيني أو الحدود بين وسط وآخر وكمية أقل من الطاقة المنقولة.

Table 2.3: characteristic acoustic impedance of air and water.

Substance	Characteristic acoustic impedance
Air	429 $kgm^{-2}s^{-1}$
Water	$1.43x10^6$ $kgm^{-2}s^{-1}$

The ***contrast in the ultrasound image*** is generated by ***acoustic reflections*** result of ***changes in acoustic impedance*** (***the speed of sound and density***). The ***brightness of a structure*** in an ultrasound image depends on the ***strength of the reflection***, or echo. This in turn depends on ***how much the two materials differ in terms of acoustic impedance***. The ***amplitude ratio*** of the reflected to the incident pulse is related to the ***tissue impedance values*** by: يتم إنشاء التباين في صورة الموجات فوق الصوتية بواسطة الانعكاسات الصوتية نتيجة للتغيرات في المعاوقة الصوتية (سرعة الصوت وكثافته). يعتمد سطوع الهيكل في صورة الموجات فوق الصوتية على قوة الانعكاس أو الصدى. وهذا بدوره يعتمد على مدى اختلاف المادتين من حيث المعاوقة الصوتية. ترتبط نسبة سعة النبضة المنعكسة إلى النبضة الساقطة بقيم مقاومة الأنسجة عن طريق:

$$Reflection\ loss\ (dB) = 20 \log (Z_2 - Z_1) / (Z_2 + Z_1)$$

The ***greater R***, the ***greater the degree of reflection***, i.e., R for a soft tissue interface such as liver and kidney is ***0.01***, i.e., only ***1% of the sound is reflected and about 99% of the energy is transmitted across***

the interface. ***Muscle/bone interface 40% is reflected*** and for a ***soft tissue/air interface 99% is reflected*** **كلما زاد ر، زادت درجة الانعكاس، أي أن ر لواجهة الأنسجة الرخوة مثل الكبد والكلية هي 0.01، أي أن 1% فقط من الصوت ينعكس وينتقل حوالي 99% من الطاقة عبر الواجهة. ينعكس السطح البيني للعضلات/العظام بنسبة 40%، وبالنسبة للسطح البيني للأنسجة الرخوة/الهواء فإن 99% ينعكس.**

Even though the ***reflected energy is small***, it is often ***sufficient to reveal the liver border***. Because of the ***high value*** of the coefficient of ultrasound reflection (R) at an ***air–tissue interface***, water paths and various ***creams and gels are used during ultrasound examinations to remove air pockets*** (i.e., to obtain good acoustic coupling) between the ultrasound transducer and the patient's skin. With ***adequate acoustic coupling***, the ultrasound waves will ***enter the patient with little reflection at the skin surface***. **على الرغم من أن الطاقة المنعكسة صغيرة، إلا أنها غالبًا ما تكون كافية للكشف عن حدود الكبد. بسبب القيمة العالية لمعامل انعكاس الموجات فوق الصوتية (ر) عند السطح البيني بين الهواء والأنسجة، يتم استخدام مسارات مائية ومختلف الكريمات والمواد الهلامية أثناء فحوصات الموجات فوق الصوتية لإزالة الجيوب الهوائية (أي للحصول على اقتران صوتي جيد) بين محول الطاقة بالموجات فوق الصوتية وجلد المريض. مع الاقتران الصوتي المناسب، ستدخل الموجات فوق الصوتية إلى المريض مع انعكاس بسيط على سطح الجلد.**

Similarly, ***strong reflection of ultrasound*** occurs at the boundary between the ***chest wall and the lungs*** and at the millions of ***air–tissue interfaces*** within the lungs. Because of the ***large impedance mismatch*** at these interfaces, efforts to use ultrasound as a diagnostic tool for the ***lungs*** have been unrewarding. The impedance mismatch is also high between ***soft tissues and bone***, and the use of ultrasound to identify tissue characteristics in regions behind bone ***has had limited success*** (see figure 19). **وبالمثل، يحدث انعكاس قوي للموجات فوق الصوتية عند الحدود بين جدار الصدر والرئتين وعند الملايين من الواجهات البينية بين الهواء والأنسجة داخل الرئتين. وبسبب عدم تطابق المعاوقة الكبير في هذه الواجهات، فإن الجهود المبذولة لاستخدام الموجات فوق الصوتية كأداة تشخيصية للرئتين كانت غير مجزية. كما أن عدم تطابق المعاوقة مرتفع أيضًا بين الأنسجة الرخوة والعظام، كما أن استخدام الموجات فوق الصوتية لتحديد خصائص الأنسجة في المناطق خلف العظام كان له نجاح محدود (انظر الشكل 19).**

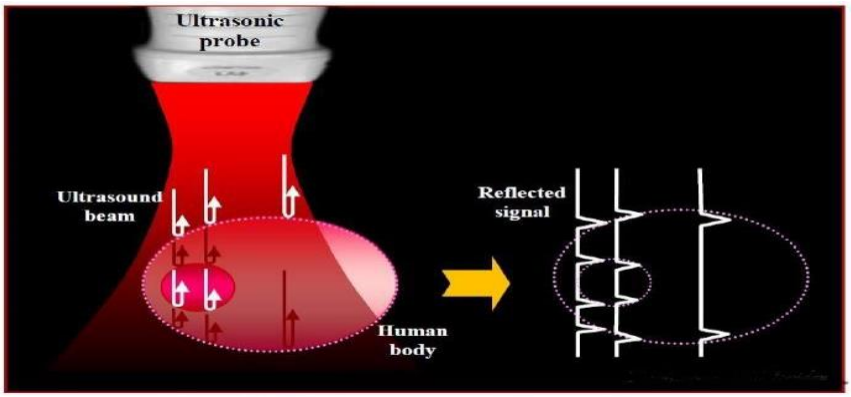


Figure 19: Reflection at a boundary between tissues.

This is the basis of ultrasound as different organs in the body have ***different densities and acoustic impedance and this creates different reflectors***. In some cases, the acoustic impedance can be so great that ***all the sound waves energy can be reflected***, this happens when sound comes in contact with ***bone and air***. This is the reason why ***ultrasound is not used as a primary imaging modality for bone***, ***digestive tract and lungs***. هذا هو أساس الموجات فوق الصوتية حيث أن أعضاء الجسم المختلفة لها كثافات مختلفة ومقاومة صوتية وهذا يخلق عاكسات مختلفة. في بعض الحالات، يمكن أن تكون المعاوقة الصوتية كبيرة جدًا لدرجة أن كل طاقة الموجات الصوتية يمكن أن تنعكس، ويحدث هذا عندما يتلامس الصوت مع العظام والهواء. وهذا هو السبب وراء عدم استخدام الموجات فوق الصوتية كوسيلة تصوير أولية للعظام والجهاز الهضمي والرئتين.

The discussion of ultrasound reflection above assumes that the ultrasound beam strikes the reflecting interface at a right angle. In the body, ***ultrasound impinges upon interfaces at all angles***. For any angle of incidence, the angle at which ***the reflected ultrasound energy leaves the interface equals the angle of incidence*** of the ultrasound beam; that is, تفترض مناقشة انعكاس الموجات فوق الصوتية أعلاه أن شعاع الموجات فوق الصوتية يضرب الواجهة العاكسة بزاوية قائمة. في الجسم، الموجات فوق الصوتية تصطدم بالواجهات من جميع الزوايا. بالنسبة لأي زاوية سقوط، فإن الزاوية التي تترك فيها طاقة الموجات فوق الصوتية المنعكسة الواجهة تساوي زاوية سقوط شعاع الموجات فوق الصوتية؛ إنه،

$$Angle\ of\ incidence = Angle\ of\ reflection$$

In a typical medical examination that uses reflected ultrasound and a transducer that both transmits and detects ultrasound, ***very little reflected energy will be detected if the ultrasound strikes the interface at an angle more than about <u>3 degrees</u> from perpendicular***. A ***smooth reflecting interface must be essentially <u>perpendicular</u> to the ultrasound beam to permit visualization of the interface***. في الفحص الطبي النموذجي الذي يستخدم الموجات فوق الصوتية المنعكسة ومحول الطاقة الذي ينقل ويكشف الموجات فوق الصوتية، سيتم اكتشاف القليل جدًا من الطاقة المنعكسة إذا ضربت الموجات فوق الصوتية الواجهة بزاوية تزيد عن 3 درجات تقريبًا من العمودي. يجب أن تكون الواجهة العاكسة الملساء متعامدة بشكل أساسي مع شعاع الموجات فوق الصوتية للسماح بتصور الواجهة.

Ultrasound Contrast Agents عوامل التباين بالموجات فوق الصوتية

Ultrasound contrast agents ***rely*** on the different ways in which sound waves are reflected from ***interfaces between substances***. This may be the ***surface of a small air bubble*** or a more complex structure. Commercially available contrast media are ***gas-filled microbubbles*** that are administered ***intravenously*** to the systemic circulation. Microbubbles have a ***high degree of echogenicity***, which is the ability of an object to ***reflect the ultrasound waves***. تعتمد عوامل التباين بالموجات فوق الصوتية على الطرق المختلفة التي تنعكس بها

الموجات الصوتية من الواجهات بين المواد. قد يكون هذا سطح فقاعة هواء صغيرة أو بنية أكثر تعقيدًا. وسائط التباين المتوفرة تجاريًا هي فقاعات دقيقة مملوءة بالغاز يتم حقنها عن طريق الوريد في الدورة الدموية الجهازية. تتمتع الفقاعات الدقيقة بدرجة عالية من الصدى، وهي قدرة الجسم على عكس الموجات فوق الصوتية.

The ***echogenicity difference*** between the ***gas in the microbubbles*** and ***the soft tissue*** surroundings of the body is immense. Thus, ultrasonic imaging using Microbubbles contrast agents ***enhances the ultrasound backscatter, or reflection*** of the ultrasound waves, to produce a unique ***sonogram with increased contrast*** due to the ***high echogenicity difference***. Contrast-enhanced ultrasound can be used to image ***blood perfusion in organs***, measure ***blood flow rate in the heart*** and other organs, or other applications as well. ***Perfusion is the process of a body delivering blood to a capillary bed in its biological tissue***. The word is derived from the French verb "perfuser" meaning to "pour over or through.") إن الفرق في توليد الصدى بين الغاز الموجود في الفقاعات الدقيقة والأنسجة الرخوة المحيطة بالجسم هائل. وبالتالي، فإن التصوير بالموجات فوق الصوتية باستخدام عوامل التباين يعزز التشتت الخلفي للموجات فوق الصوتية، أو انعكاس الموجات فوق الصوتية، لإنتاج مخطط صوتي فريد مع زيادة التباين بسبب اختلاف صدى الصوت العالي. يمكن استخدام الموجات فوق الصوتية المعززة بالتباين لتصوير تروية الدم في الأعضاء، أو قياس معدل تدفق الدم في القلب والأعضاء الأخرى، أو تطبيقات أخرى أيضًا. التروية هي عملية قيام الجسم بتوصيل الدم إلى السرير الشعري في أنسجته البيولوجية. الكلمة مشتقة من الفعل الفرنسي "" الذي يعني "صب فوق أو من خلال.")

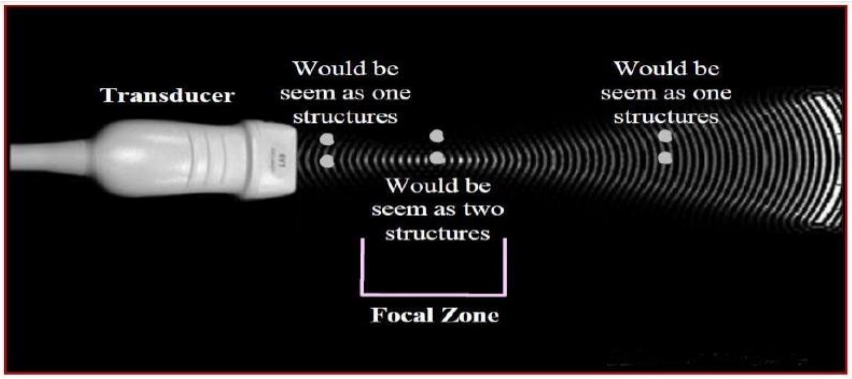
Spatial Resolution الدقة المكانية

Spatial resolution is defined ***as the minimum distance between two objects that are still distinguishable***. The *lateral* and the *axial* resolution must be differentiated in ultrasound images. يتم تعريف الدقة المكانية على أنها الحد الأدنى للمسافة بين كائنين لا يزال من الممكن تمييزهما. يجب التمييز بين الدقة الجانبية والمحورية في صور الموجات فوق الصوتية.

1. Lateral Resolution القرار الجانبي

Lateral resolution is the ***minimum separation from other tissue the ultrasound beam can see or distinguish in a plane perpendicular to the ultrasound beam*** (Figure 21). The ***lateral resolution in an ultrasound beam varies with beam width*** (diameter of the ultrasound beam) and the ***area of the focal zone***. Also, it varies in the axial direction, being ***best in the focus zone***. As many array transducers can be focused in only one plane, because the crystals are arranged in a single line, ***lateral resolution is particularly poor perpendicular to that plane***. الدقة الجانبية هي الحد الأدنى للفصل عن الأنسجة الأخرى التي يمكن لشعاع الموجات فوق الصوتية رؤيتها أو تمييزها في مستوى متعامد مع شعاع الموجات فوق الصوتية (الشكل 21). يختلف الاستبانة الجانبية في شعاع الموجات فوق الصوتية باختلاف عرض الشعاع (قطر شعاع الموجات فوق الصوتية) ومنطقة المنطقة البؤرية. كما أنه يختلف

في الاتجاه المحوري، ويكون الأفضل في منطقة التركيز. نظرًا لأن العديد من محولات الطاقة المصفوفة يمكن تركيزها في مستوى واحد فقط، نظرًا لأن البلورات مرتبة في خط واحد، فإن الدقة الجانبية تكون ضعيفة بشكل خاص عموديًا على ذلك المستوى.



Figure|21: Lateral Resolution is the minimum separation from other tissue the ultrasound beam can distinguish in a plane perpendicular to the ultrasound beam.

2. Axial Resolution القرار المحوري

The axial resolution is ***the minimum separation between structures the ultrasound beam can distinguish parallel to the beam path*** (Figure 22). Sometimes this is also called ***depth resolution***. Axial resolution is ***most directly affected by the frequency of the transducer***. It is depending on the ***pulse length and improves as the length of the pulse shortens***. Wide-band transducers (transducers with a ***high transmission bandwidth***, e.g., 3–7 MHz) are ***suitable for emitting short pulses down to nearly one wavelength*** الدقة المحورية هي الحد الأدنى للفصل بين الهياكل التي يمكن لشعاع الموجات فوق الصوتية تمييزها بالتوازي مع مسار الحزمة (الشكل 22). يُطلق على هذا أحيانًا اسم دقة العمق. تتأثر الدقة المحورية بشكل مباشر بتردد محول الطاقة. يعتمد ذلك على طول النبضة ويتحسن مع قصر طول النبضة. تعد محولات الطاقة واسعة النطاق (محولات الطاقة ذات عرض نطاق إرسال عالي، على سبيل المثال، 3-7 ميجاهرتز) مناسبة لإصدار نبضات قصيرة تصل إلى طول موجي واحد تقريبًا.

Modern transducers use ***multiple small elements to generate the ultrasound wave***. If a single small element transducer is used the waves r***adiate from it in a circular fashion as do ripples in a pool***. If multiple small elements fire simultaneously however the individual curved wave fronts combine to form ***a linear wave front moving perpendicularly away from the transducer face***. This system, that is multiple small elements fired individually, is termed ***a phased*** **array**. تستخدم محولات الطاقة الحديثة عناصر صغيرة متعددة لتوليد الموجات فوق الصوتية. إذا تم استخدام محول عنصر صغير واحد، فإن الموجات تشع منه بطريقة دائرية كما تفعل التموجات في حوض السباحة. إذا اشتعلت عناصر صغيرة متعددة في وقت واحد، إلا أن جبهات الموجات المنحنية الفردية تتحد لتشكل جبهة موجة خطية تتحرك بشكل عمودي بعيدًا عن وجه محول الطاقة. يُطلق على هذا النظام، الذي يتكون من عدة عناصر صغيرة يتم إطلاقها بشكل فردي، اسم المصفوفة المرحلية.

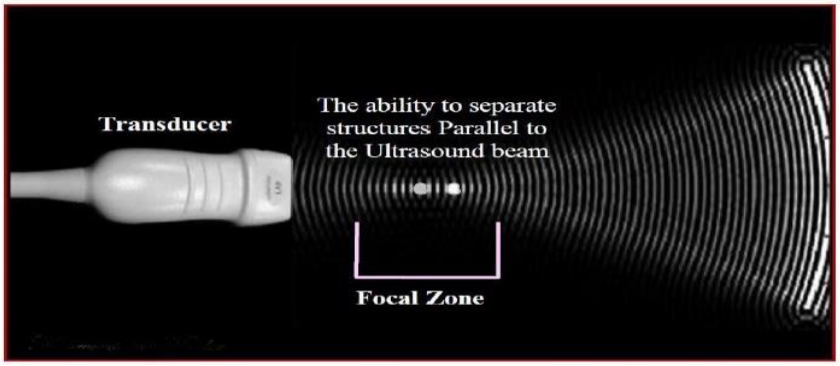


Figure 22: Axial resolution is the minimum separation between structures the ultrasound beam can distinguish parallel to the beam path.

Beam Forming and Transducers تشكيل الشعاع ومحولات الطاقة

An important characteristic of an ultrasound pulse is its ***diameter***, which is also the ***width of the ultrasound beam***. The diameter of a pulse ***changes as it moves along the beam path***. The diameter of the pulse is ***determined by the characteristics of the transducer***. At the ***transducer surface***, the ***diameter of the pulse*** is the ***same as the diameter of the vibrating crystal***. As the pulse moves through the body, ***the diameter generally changes***. This is determined by the ***focusing characteristics of the transducer***. من الخصائص المهمة لنبضة الموجات فوق الصوتية هو قطرها، وهو أيضًا عرض شعاع الموجات فوق الصوتية. يتغير قطر النبضة أثناء تحركها على طول مسار الشعاع. يتم تحديد قطر النبضة حسب خصائص محول الطاقة. على سطح محول الطاقة، يكون قطر النبضة هو نفس قطر البلورة المهتزة. ومع تحرك النبض عبر الجسم، يتغير القطر بشكل عام. يتم تحديد ذلك من خلال خصائص التركيز لمحول الطاقة.

Ultrasound Field مجال الموجات فوق الصوتية

An important distinction is made between the ***near-field*** (***Fresnel zone***) and ***far field*** (***Fraunhofer zone***), figure 23. The ***near-field is between the transducer and the focus***, since the beam initially, is of ***comparable diameter to the transducer as the series of ultrasound waves that make up the beam travel parallel to each other***. هناك تمييز مهم بين المجال القريب (منطقة فريسنل) والمجال البعيد (منطقة فراونهوفر)، الشكل 23. يقع المجال القريب بين محول الطاقة والتركيز، حيث أن الشعاع في البداية، له قطر مشابه لمحول الطاقة كما هو موضح في الصورة. تنتقل سلسلة الموجات فوق الصوتية التي تشكل الشعاع بالتوازي مع بعضها البعض.

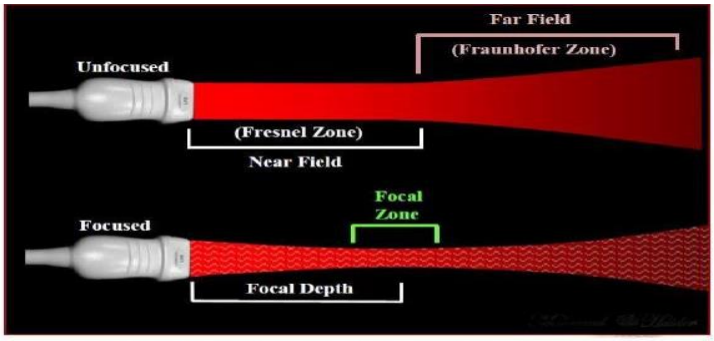


Figure 23: Beam Width and pulse diameter characteristics of both Unfocused and Focused transducers

The ***far field*** which can be described the ***divergent far field beyond the focus***, since at some point distal to the transducer however the beam ***begins to diverge*** which will ***reduce the ability to distinguish two objects close together (resolution)***. The ***border of the beam is not smooth, as the energy decreases away from its axis***. المجال البعيد الذي يمكن وصفه بالمجال البعيد المتباعد وراء التركيز، لأنه في نقطة ما بعيدة عن محول الطاقة، يبدأ الشعاع في التباعد مما يقلل القدرة على التمييز بين جسمين قريبين من بعضهما البعض (الدقة). حدود الحزمة ليست ناعمة، حيث تتناقص الطاقة بعيدًا عن محورها.

The ***Focal Zone*** is the ***area in the ultrasound beam that has the smallest beam diameter*** and is the area a user will ***get the best side to side (lateral) resolution***. ***The best detail will be obtained for structures within the focal zone***. ***The distance between the transducer and the focal zone is <u>the focal depth</u>***. المنطقة البؤرية هي المنطقة الموجودة في شعاع الموجات فوق الصوتية التي تحتوي على أصغر قطر للشعاع وهي المنطقة التي سيحصل المستخدم على أفضل دقة من جانب إلى جانب (جانبي). وسيتم الحصول على أفضل التفاصيل للهياكل داخل منطقة التركيز. المسافة بين محول الطاقة والمنطقة البؤرية هي العمق البؤري.

The ***focus zone is the narrowest section of the beam***, defined as the section with a ***diameter no more than twice the transverse diameter*** of the beam at the actual focus. If attenuation is ignored, the focus is also ***the area of highest intensity***. The ***<u>length</u>*** of the near field, the position of the focus and the divergence of the far field ***depend on the frequency and the diameter (or aperture) of the active surface of the transducer***. In the case of a plane circular transducer of ***radius R, the near field length (L)*** is given by the expression: $L_o \sim \mathbf{0.8}R^2/\lambda$ منطقة التركيز هي أضيق قسم من الحزمة، ويتم تعريفها على أنها القسم الذي لا يزيد قطره عن ضعف القطر العرضي للحزمة عند التركيز الفعلي. إذا تم تجاهل التوهين، يكون التركيز أيضًا هو المنطقة ذات الكثافة الأعلى. يعتمد طول المجال القريب وموضع التركيز وتباعد المجال البعيد على التردد والقطر (أو الفتحة) للسطح النشط لمحول الطاقة. في حالة محول الطاقة الدائري المستوي بنصف القطر، يُعطى طول المجال القريب بالتعبير:

The ***divergence angle (x)*** of the ultrasound beam ***in the far field*** is given by the expression: $(\mathbf{sin}\ x)/\mathbf{2} \sim \mathbf{0.6}\ \lambda/R$

The diameter of the beam in the near field corresponds roughly to the radius of the transducer. A ***small aperture*** and a ***large wavelength*** (low frequency) lead to a ***short near field*** and ***greater divergence of the far field***, while a *larger aperture* or *higher frequency gives a longer near field but less divergence*. The ***focal distance***, L as well as the ***diameter*** of the beam at the focal point can be ***modified by additional focusing***. يتوافق قطر الشعاع في الحقل القريب تقريبًا مع نصف قطر محول الطاقة. تؤدي الفتحة الصغيرة والطول الموجي الكبير (التردد المنخفض) إلى مجال قريب قصير وتباعد أكبر للمجال البعيد، في حين أن الفتحة الأكبر أو التردد الأعلى يعطي مجالًا قريبًا أطول ولكن انحرافًا أقل. يمكن تعديل المسافة البؤرية وكذلك قطر الشعاع عند نقطة التركيز عن طريق التركيز الإضافي.

Transducer Focusing تركيز محول الطاقة

Transducers can be designed to ***produce either a focused or non-focused beam***. A ***focused beam is desirable for most imaging applications*** because it produces ***pulses with a small diameter*** which in turn gives ***better visibility of detail in the image***. يمكن تصميم محولات الطاقة لإنتاج شعاع مركز أو غير مركز. يعد الشعاع المركز مرغوبًا فيه لمعظم تطبيقات التصوير لأنه ينتج نبضات ذات قطر صغير مما يوفر بدوره رؤية أفضل للتفاصيل في الصورة.

It is ***possible to focus the ultrasound beam*** to cause ***convergence and narrowing of the beam*** thus ***improves (lateral) resolution***. Focusing can be achieved by either ***mechanical or electric focusing*** by electronic means in a *phased array element* (see Figure 24). *من الممكن تركيز شعاع الموجات فوق الصوتية لإحداث تقارب وتضييق الحزمة وبالتالي تحسين الدقة (الجانبية). يمكن تحقيق التركيز إما عن طريق التركيز الميكانيكي أو الكهربائي بالوسائل الإلكترونية في عنصر المصفوفة المرحلية (انظر الشكل 24).*

اللهم صلي علئ محمد وال محمد وعجل فرج المهدي المنتضر

By:Mohammed Jabbar Hussein

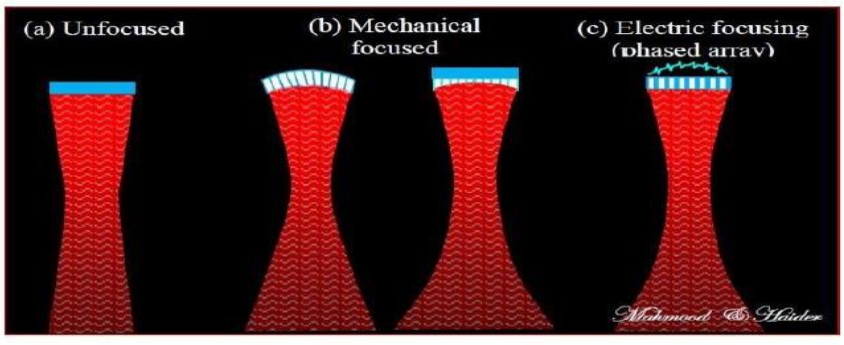


Figure 24: Design of Focused transducer