Diagnostic Ultrasound الموجات فوق الصوتية التشخيصية

Today, ultrasound (US) is one of the most commonly used imaging technologies in medicine. Sounds in the ***range 2 and 18 megahertz (MHz) are typically used for diagnostic ultrasound***. The accuracy of ultrasound diagnosis based on ***computerized analysis of reflected ultrasound waves***, which ***non-invasively*** build up fine images of internal body structures. The ***best reso***lution can be achieved by using ***shorter wavelengths***, with a wavelength that is ***inversely proportional to the frequency***. However, ***the use of high frequencies is limited*** due to the ***increased attenuation (loss of signal strength) in various tissues*** and so ***easily absorbed*** and thus ***shorter than the depth*** of penetration. For this reason, specific probes are used for different frequency ranges to examine different parts of the body: اليوم، تعد الموجات فوق الصوتية (الولايات المتحدة) واحدة من تقنيات التصوير الأكثر استخدامًا في الطب. عادةً ما تُستخدم الأصوات في النطاق 2 و18 ميغاهيرتز في الموجات فوق الصوتية التشخيصية. تعتمد دقة التشخيص بالموجات فوق الصوتية على التحليل المحوسب للموجات فوق الصوتية المنعكسة، والتي تعمل بشكل غير جراحي على تكوين صور دقيقة لهياكل الجسم الداخلية. يمكن تحقيق أفضل دقة باستخدام أطوال موجية أقصر، مع طول موجي يتناسب عكسيا مع التردد. إلا أن استخدام الترددات العالية محدود بسبب زيادة التوهين (فقدان قوة الإشارة) في الأنسجة المختلفة وبالتالي سهولة امتصاصها وبالتالي أقصر من عمق الاختراق. لهذا السبب، يتم استخدام مجسات محددة لنطاقات ترددية مختلفة لفحص أجزاء مختلفة من الجسم:

- 3–5 MHz for abdominal areas
- 5–10 MHz for small and superficial parts and
- 10–30 MHz for the skin or the eyes

Because of the ***heterogeneity of the different tissues*** within the body with ***different densities***, the ultrasonic waves ***penetrate varies accordingly***. ***Bones absorb ultrasound much more than soft tissue***, so that, in general, ***ultrasound is suitable for examining only the surfaces of the bone***. For this reason, ultrasound images show a ***black zone behind the bones*** due to the ***inability of ultrasound energy to reach those areas***. If the high frequencies used, called ***acoustic shadow***. بسبب عدم تجانس الأنسجة المختلفة داخل الجسم ذات الكثافات المختلفة، فإن اختراق الموجات فوق الصوتية يختلف تبعا لذلك. تمتص العظام الموجات فوق الصوتية أكثر بكثير من الأنسجة الرخوة، لذا فإن الموجات فوق الصوتية بشكل عام مناسبة لفحص أسطح العظام فقط. ولهذا السبب، تظهر صور الموجات فوق الصوتية منطقة سوداء خلف العظام بسبب عدم قدرة طاقة الموجات فوق الصوتية على الوصول إلى تلك المناطق. وإذا تم استخدام الترددات العالية، فإنها تسمى الظل الصوتي.

Piezoelectric Materials المواد الكهرضغطية

The word piezoelectricity means ***the ability of some materials (notably crystals and certain ceramics, including bone) to generate an electric charge or of electric polarity in dielectric crystals in response to applied mechanical stress in such crystals subjected to an applied voltage***. The piezo is derived from the **Greek** word '***piezein***' (πιέζειν), which ***means to squeeze or press***, and ***electric or electron*** (ήλεκτρον), which stands for ***amber, an ancient source***

of electric charge. تعني كلمة كهرباء ضغطية قدرة بعض المواد (خاصة البلورات وبعض أنواع السيراميك، بما في ذلك العظام) على توليد شحنة كهربائية أو قطبية كهربائية في البلورات العازلة استجابة للضغط الميكانيكي المطبق في مثل هذه البلورات المعرضة لجهد مطبق. كلمة بيزو مشتقة من الكلمة اليونانية التي تعني الضغط أو الضغط، ومن كلمة كهربائي أو إلكترون، والتي تعني الكهرمان، وهو مصدر قديم للشحنة الكهربائية.

The ***piezoelectric effect*** was first ***discovered in 1880*** by brothers ***Pierre Curie and Jacques Curie*** (French physicists). The Curie brothers only found that ***piezoelectric materials can produce electricity***. تم اكتشاف التأثير الكهرضغطي لأول مرة في عام 1880 من قبل الأخوين بيير كوري وجاك كوري (فيزيائيين فرنسيين). اكتشف الأخوان كوري فقط أن المواد الكهرضغطية يمكنها إنتاج الكهرباء.

The next development was the discovery by ***Gabriel Lippmann*** that ***electricity can deform piezoelectric materials***. It was not until the early ***twentieth century*** that practical **devices began to appear**. التطور التالي كان اكتشاف غابرييل ليبمان أن الكهرباء يمكن أن تشوه المواد الكهرضغطية. ولم تبدأ الأجهزة العملية في الظهور إلا في أوائل القرن العشرين.

Today, it is known that many materials such as ***quartz, topaz, cane sugar, Rochelle salt, and bone*** have this effect. ومن المعروف اليوم أن العديد من المواد مثل الكوارتز والتوباز وقصب السكر وملح روشيل والعظام لها هذا التأثير.

In summary في ملخص

- Piezoelectricity discovered by the Curies in 1880 using natural quartz الكهرباء الضغطية التي اكتشفها الزوجان كوري عام 1880 باستخدام الكوارتز الطبيعي
- ***SONAR*** (originally an acronym for SOund Navigation And Ranging) is a technique that uses sound propagation (usually underwater, as in submarine navigation) was first used in 1940's war-time. في الأصل اختصار للملاحة والمدى) هي تقنية تستخدم نشر الصوت (عادةً تحت الماء، كما هو الحال في الملاحة تحت الماء) وقد تم استخدامها لأول مرة في زمن الحرب في أربعينيات القرن العشرين.
- Diagnostic Medical applications in use since late 1950's التطبيقات الطبية التشخيصية المستخدمة منذ أواخر الخمسينيات

Piezoelectric crystals or materials ***generate an electrical voltage from separation of positive and negative charges when they are squeezed or stretched***. In other words, it is the ***charge that accumulates*** in certain solid materials (notably crystals, certain ceramics, and biological matter such as bone, DNA and various proteins) ***in response to applied mechanical stress***. We can view each SiO_2 unit as a sphere that has a ***positively charged core*** (lawn green) and a ***negatively charged shell*** (light pink), as depicted in Figure 8.2. تولد البلورات أو المواد الكهرضغطية جهدًا كهربائيًا من فصل الشحنات الموجبة والسالبة عند ضغطها أو تمددها. بمعنى آخر، إنها الشحنة التي تتراكم في بعض المواد الصلبة (خاصة البلورات وبعض أنواع السيراميك والمواد البيولوجية مثل العظام والحمض النووي والبروتينات المختلفة) استجابة للضغط الميكانيكي المطبق. يمكننا أن ننظر إلى كل وحدة على أنها كرة لها قلب موجب الشحنة (الأخضر العشبي) وقشرة مشحونة سالبة (وردي فاتح)، كما هو موضح في الشكل 8.2.

Figure 8.2 explains what happens if the SiO_2 is put under mechanical stress (symbolized by yellow arrows). The ***overall formula of quartz is SiO_2***, and since every oxygen atom carries the same extra amount of negative charge taken from silicon atom, the central silicon ***atoms carries 2 positive charges and the oxygen just one negative charge***. **يشرح الشكل 8.2 ما يحدث إذا تم تعريضه لضغط ميكانيكي (يرمز إليه بأسهم صفراء). الصيغة العامة للكوارتز هي، وبما أن كل ذرة أكسجين تحمل نفس الكمية الإضافية من الشحنة السالبة المأخوذة من ذرة السيليكون، فإن ذرات السيليكون المركزية تحمل شحنتين موجبتين والأكسجين يحمل شحنة سالبة واحدة فقط.**

Under ***mechanical stress the crystal all tetrahedral are affected***, with their ***central silicon atom pushed downwards***. The whole structure (All ***SiO_2 units***) are ***electrically polarized in the same way***, in this case being ***more negative on the top and more positive on the bottom***, as depicted in Figure 8.2 to the right. The voltage built up in each SiO_2 unit is very small, but since ***millions of them line up*** in the crystal structure, ***their voltage adds up to a measurable amount***. **تحت الضغط الميكانيكي، تتأثر البلورات رباعية السطوح بأكملها، مع دفع ذرة السيليكون المركزية إلى الأسفل. يتم استقطاب الهيكل بأكمله (جميع الوحدات) كهربائيًا بنفس الطريقة، وفي هذه الحالة يكون أكثر سلبية في الأعلى وأكثر إيجابية في الأسفل، كما هو موضح في الشكل 8.2 إلى اليمين. إن الجهد الكهربي المتراكم في كل وحدة صغير جدًا، ولكن بما أن الملايين منها تصطف في البنية البلورية، فإن جهدها يصل إلى كمية قابلة للقياس.**

Piezoelectric crystals have the ***property of change of polarization density within the material's volume when a voltage is applied***. Thus applying an ***alternating current (AC) across the materials causes them to oscillate at very high frequencies***, thus producing very ***high frequency sound waves***. For good examples of piezoelectric material, ***Lead*** (from Latin: plumbum) ***Zirconate Titanate*** – more commonly ***known as PZT – crystals***. **تتمتع البلورات الكهرضغطية بخاصية تغيير كثافة الاستقطاب داخل حجم المادة عند تطبيق جهد كهربائي. وبالتالي فإن تطبيق تيار متناوب عبر المواد يؤدي إلى تذبذبها بترددات عالية جدًا، وبالتالي إنتاج موجات صوتية عالية التردد جدًا. للحصول على أمثلة جيدة للمواد الكهرضغطية، الرصاص (من اللاتينية: البرقوق) والزركونات تيتانات – المعروفة أكثر باسم – البلورات.**

PZT is an ***inorganic compound*** with the chemical formula $Pb[Zr_xTi_{1-x}]O_3$ $0 \leq x \leq 1$) that shows a ***marked piezoelectric effect***, which finds practical ***applications in the area of electro-ceramics***. PZT is a ***white solid*** that is ***insoluble*** in all solvents. PZT crystals are the ***most widely-used piezoelectric material*** used for ***energy harvesting***. PZT will generate measurable piezoelectricity when their static structure is ***deformed by about 0.1% of the original dimension***. Conversely, those same crystals will change about ***0.1% of their static dimension when an external electric field is applied to the material***. A key ***advantage of PZT*** materials is that they can ***be optimized to suit specific applications through their ability to be manufactured in any shape or size***. Moreover, PZT materials characterized by ***their ability to resilient***, and ***resistance to high temperatures*** and various ***air pressures*** and ***chemically inert***. **هو مركب غير عضوي ذو صيغة كيميائية تظهر تأثيرًا كهرضغطيًا ملحوظًا، وله تطبيقات عملية في مجال السيراميك الكهربائي. مادة صلبة بيضاء غير قابلة للذوبان في جميع المذيبات. البلورات هي المواد الكهرضغطية الأكثر استخدامًا على نطاق واسع المستخدمة في حصاد الطاقة. سوف تولد كهرضغطية قابلة للقياس عندما يتشوه هيكلها الثابت بحوالي 0.1٪ من البعد الأصلي. وعلى العكس من ذلك، فإن تلك**

البلورات نفسها ستتغير حوالي 0.1% من أبعادها الساكنة عند تطبيق مجال كهربائي خارجي على المادة. الميزة الرئيسية للمواد هي أنه يمكن تحسينها لتناسب تطبيقات محددة من خلال قدرتها على التصنيع بأي شكل أو حجم. علاوة على ذلك، فإن المواد تتميز بقدرتها على الصمود، ومقاومتها لدرجات الحرارة المرتفعة وضغوط الهواء المختلفة وخاملة كيميائيا.

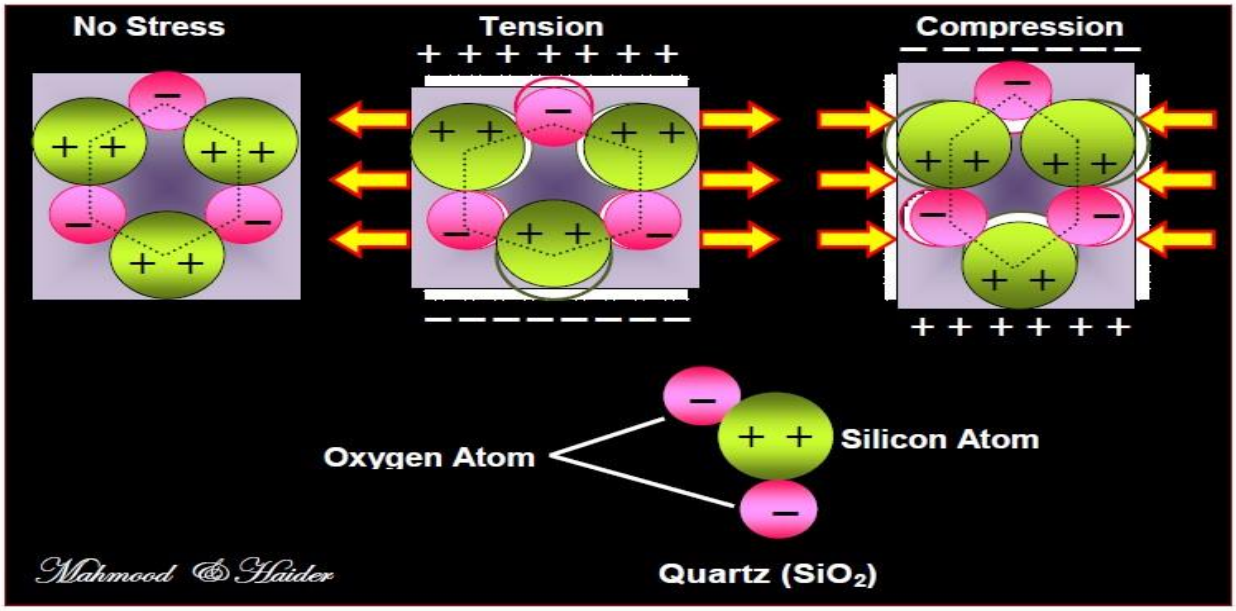

Figure 8.2: A piezoelectric disk generates a voltage when deformed (change in shape is greatly exaggerated) Quartz (SiO_2): Effect of deformation on charge distribution.

Quartz is an ***electrical insulator*** but has a number of unique physical properties that are very different from that of other solid substances, ***like plastic, wood, concrete, bone, or glass***. For example, may ***show some interesting behavior when exposed to electric fields or get electrically charged when put under stress***. This is one of the most important properties of quartz technically and it has many applications. This property can be found in certain types of crystals, but not in amorphous substances, which ***reacts differently depending on the direction of external forces which is called anisotropic***. To explain this, we have to look at individual molecules of crystal that is made up of an ordered repeating pattern of the same atom or molecule. ***Each molecule is polarized since one end is more negatively charged and the other end is positively charged, and is called a dipole*** as a result of the atoms that make up the molecule and the way the molecules are shaped. الكوارتز هو عازل كهربائي ولكن لديه عدد من الخصائص الفيزيائية الفريدة التي تختلف تمامًا عن تلك الخاصة بالمواد الصلبة الأخرى، مثل البلاستيك أو الخشب أو الخرسانة أو العظام أو الزجاج. على سبيل المثال، قد يظهر بعض السلوكيات المثيرة للاهتمام عند تعرضه للمجالات الكهربائية أو يتم شحنه كهربائيًا عند تعرضه للضغط. وهذه من أهم خصائص الكوارتز من الناحية الفنية ولها العديد من التطبيقات. يمكن العثور على هذه الخاصية في أنواع معينة من البلورات، ولكن ليس في المواد غير المتبلورة، والتي تتفاعل بشكل مختلف اعتمادًا على اتجاه القوى الخارجية وهو ما يسمى متباين الخواص. لتفسير ذلك، علينا أن ننظر إلى الجزيئات البلورية الفردية التي تتكون من نمط متكرر مرتب لنفس الذرة أو الجزيء. كل جزيء مستقطب لأن أحد طرفيه مشحون بشحنة سالبة والطرف الآخر مشحون بشحنة موجبة، ويسمى ثنائي القطب نتيجة للذرات التي تتكون منها الجزيء وطريقة تشكيل الجزيئات.

Piezoelectric Effect

The piezoelectric effect is ***the ability of certain non-conducting materials***, such as ***quartz crystals and ceramics***, ***to generate electric current when they are exposed to mechanical stress*** (such as pressure or vibration). It also ***works in the opposite direction***, ***mechanical deformation slightly*** (the substance shrinks or expands) may be ***produced or the generation of vibrations in such materials when subjected to an AC voltage, or both***. This vibration or oscillation caused by applied AC transmitted as ultrasonic waves into the surrounding medium. The ***piezoelectric crystal***, therefore, ***serves as a transducer***, which ***converts electrical energy into mechanical energy and vice versa***. The piezoelectric effect occurs only in crystals with a ***special crystal structure*** which they ***lack of center of symmetry***. All piezoelectric classes lack a centre of symmetry. Under an applied force the centers of ***mass for positive and negative ions are shifted which results in a net dipole moment***. When the force is along a different direction, there may not be a resulting net dipole moment in that direction though there may be a net dipole moment along a different direction. In the ***absence of an applied force, the centre of mass of the positive ions coincides with that of the negative ions and there is no resulting dipole moment or polarization***. **التأثير الكهرضغطي هو قدرة بعض المواد غير الموصلة، مثل بلورات الكوارتز والسيراميك، على توليد تيار كهربائي عند تعرضها لضغط ميكانيكي (مثل الضغط أو الاهتزاز). كما أنها تعمل في الاتجاه المعاكس، فقد يحدث تشوه ميكانيكي طفيف (تقلص المادة أو توسعها) أو توليد اهتزازات في مثل هذه المواد عند تعرضها لجهد كهربائي متناوب، أو كليهما. هذا الاهتزاز أو التذبذب الناجم عن التيار المتردد المطبق ينتقل على شكل موجات فوق صوتية إلى الوسط المحيط. وبالتالي، تعمل البلورة الكهرضغطية كمحول للطاقة، والذي يحول الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية والعكس صحيح. يحدث التأثير الكهرضغطي فقط في البلورات ذات البنية البلورية الخاصة التي تفتقر إلى مركز التماثل. تفتقر جميع الطبقات الكهرضغطية إلى مركز التماثل. تحت القوة المطبقة، يتم إزاحة مراكز الكتلة للأيونات الموجبة والسالبة مما يؤدي إلى عزم ثنائي القطب صافي. عندما تكون القوة في اتجاه مختلف، قد لا يكون هناك عزم ثنائي قطب محصل في هذا الاتجاه على الرغم من أنه قد يكون هناك عزم ثنائي قطب محصل في اتجاه مختلف. في غياب القوة المطبقة، يتطابق مركز كتلة الأيونات الموجبة مع مركز كتلة الأيونات السالبة ولا يوجد عزم ثنائي القطب أو استقطاب.**

In summary

Ultrasound waves are generated by *piezoelectric crystals*. Piezoelectric means "***pressure electric***" effect. When ***electric current a***pplied on ***quartz crystal*** produces a ***mechanical deformation*** of the shape and change polarity. ***Thus applying an alternating current (AC) across the materials causes expansion and contraction that in turn leads to the production of compression and rarefaction of sound waves***. It also works in the ***opposite direction***; an ***electrical current is generated on exposure to returning echoes*** that are processed to generate a display. Hence the ***piezoelectric crystals*** are both ***transmitter*** (small proportion of the time) ***and receiver*** (most of the time). It is known that many materials have piezoelectric effect (e.g. ***topaz, cane sugar, Rochelle salt, and bone***) and the ***frequency of the generated wave is a specific feature of the crystal used***. **يتم إنشاء الموجات فوق الصوتية بواسطة بلورات كهرضغطية. الكهرضغطية تعني تأثير "الضغط الكهربائي". عندما يتم تطبيق تيار كهربائي على بلورة الكوارتز ينتج عنه تشوه ميكانيكي للشكل وتغيير القطبية. وبالتالي فإن تطبيق تيار متناوب عبر المواد يؤدي إلى التمدد والانكماش الذي يؤدي بدوره إلى إنتاج انضغاط وتخلخل الموجات الصوتية. كما أنه**

يعمل في الاتجاه المعاكس؛ يتم توليد تيار كهربائي عند التعرض للأصداء العائدة التي تتم معالجتها لإنشاء عرض. ومن ثم فإن البلورات الكهرضغطية تكون مرسلة (نسبة صغيرة من الوقت) ومستقبلة (معظم الوقت). من المعروف أن العديد من المواد لها تأثير كهرضغطية (مثل التوباز وقصب السكر وملح روشيل والعظام) ويعد تردد الموجة المتولدة سمة محددة للبلورة المستخدمة.

Detection of Ultrasound

Normally ***the transmitting and receiving crystals are built into the same hand-held unit, which is called an ultrasonic transducer*** (generally, ***a transducer is any device to convert energy from one form to another***, usually to or from electrical energy. **عادة يتم دمج البلورات المرسلة والمستقبلة في نفس الوحدة المحمولة باليد، والتي تسمى محول الطاقة بالموجات فوق الصوتية (بشكل عام، محول الطاقة هو أي جهاز لتحويل الطاقة من شكل إلى آخر، عادة من أو إلى الطاقة الكهربائية.**

May come to mind a question what is the material used by doctors and placed on the skin prior to the examination: **وقد يتبادر إلى الذهن سؤال ما هي المادة التي يستخدمها الأطباء ويضعونها على الجلد قبل الفحص:**

Ultrasound gel is a type of ***conductive medium*** that is used in ultrasound diagnostic techniques and treatment therapies. It is placed on the patient's skin at the beginning of the ***ultrasound examination or therapy***. The transducer, which is the device used to send and receive sound waves, is then placed on top of it. Ultrasound gel is also used with a ***fetal Doppler***, which can be employed to allow parents and doctors to listen to the heart beat of an unborn child. **هلام الموجات فوق الصوتية هو نوع من الوسائط الموصلة المستخدمة في تقنيات التشخيص بالموجات فوق الصوتية والعلاجات العلاجية. يتم وضعه على جلد المريض في بداية الفحص أو العلاج بالموجات فوق الصوتية. ثم يتم وضع محول الطاقة، وهو الجهاز المستخدم لإرسال واستقبال الموجات الصوتية، فوقه. يُستخدم أيضًا هلام الموجات فوق الصوتية مع دوبلر الجنيني، والذي يمكن استخدامه للسماح للآباء والأطباء بالاستماع إلى نبضات قلب الطفل الذي لم يولد بعد.**

Many doctors, hospitals, clinics, and other facilities use ultrasound technology for diagnostic purposes. It works by passing sound waves into a person's body. Once there, they ***don't remain for long***. Instead, they bounce off the organ or other part of the body the doctors are trying to view. The ***sound waves then move back through the transducer, and they are ultimately analyzed by a computer, which allows the analyzed sound waves to be viewed on a monitor or even printed out*** for doctor or patient use. **يستخدم العديد من الأطباء والمستشفيات والعيادات والمرافق الأخرى تقنية الموجات فوق الصوتية لأغراض التشخيص. وهو يعمل عن طريق تمرير الموجات الصوتية إلى جسم الشخص. وبمجرد وصولهم إلى هناك، لا يبقون لفترة طويلة. وبدلا من ذلك، فإنها ترتد من العضو أو أي جزء آخر من الجسم الذي يحاول الأطباء مشاهدته. تنتقل الموجات الصوتية بعد ذلك إلى الخلف من خلال محول الطاقة، ويتم تحليلها في النهاية بواسطة جهاز كمبيوتر، مما يسمح بعرض الموجات الصوتية التي تم تحليلها على الشاشة أو حتى طباعتها لاستخدام الطبيب أو المريض**

-اللهُم صلِ وسلم على نبينا محمد .

By:Mohammed Jabbar Hussein.