دانشگاه سمنان

دانشکده مهندسی مکانیک

آزمون های غیر مخرب:

آزمایش با امواج آلتراسونیک (UT)

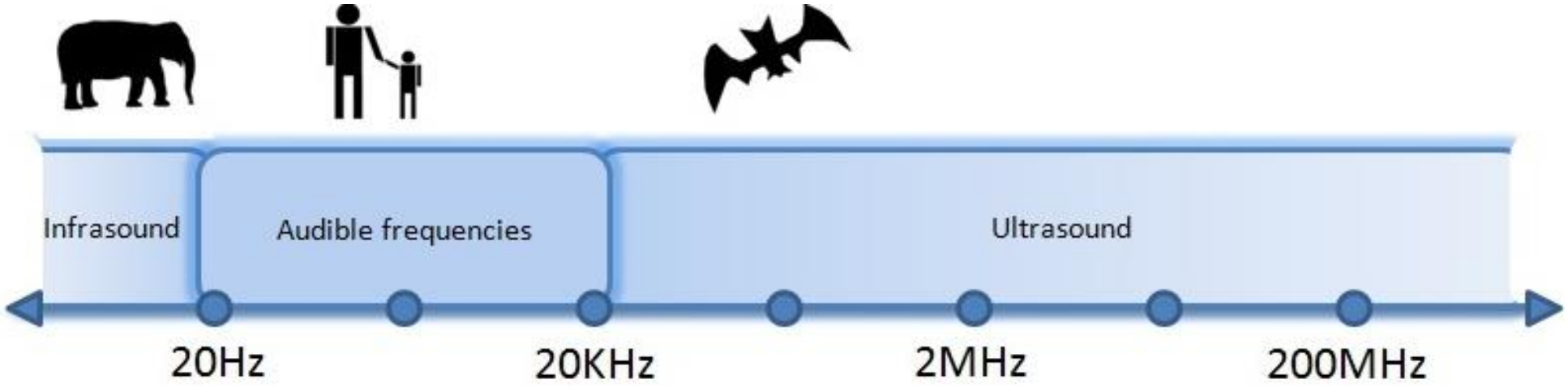
دکتر عبدالواحد کمی

دانشکده مهندسی مکانیک

دانشگاه سمنان

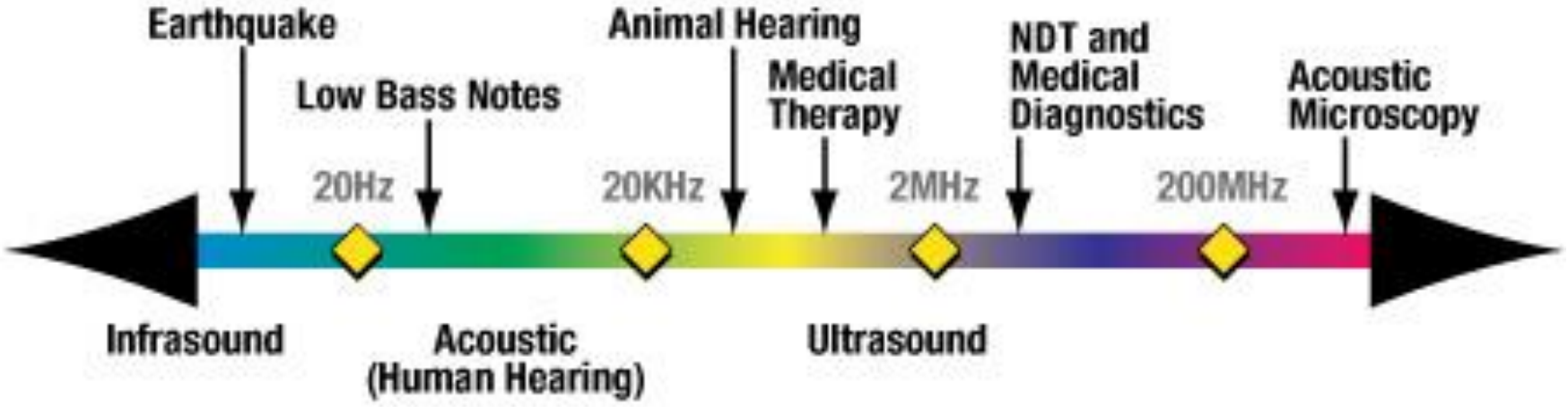
مقدمه

- محدوده فرکانس قابل شنیدن برای انسان: ۲۰ Hz تا ۲۰ KHz.
- امـواج مـاوراء صـوت (Ultrasonic): امواج صوتی با فرکانس بالاتـر از ۲۰ KHz
- مـادون صـوت (Infrasonic): امواج صوتی با فرکانس کمتـر از ۲۰ Hz.



مقدمه

- محدوده فرکانس قابل شنیدن برای انسان: ۲۰ Hz تا ۲۰ KHz.
- امـواج مـاوراء صـوت (Ultrasonic): امواج صوتی با فرکانس بالاتـر از ۲۰ KHz
- مـادون صـوت (Infrasonic): امواج صوتی با فرکانس کمتـر از ۲۰ Hz.



مقدمه

- امواج آلتراسونیک می توانند در جامدات، سیالات و برخـی از گازهـا انتشار یابند.

- امواج ماوراء صوت از نـوع امـواج مکـانیکی هسـتند.

- منابع مختلف تولید امواج ماوراء صوت:

+ گرم کردن ناگهانی جسم و ایجاد تنش های مکانیکی در آن

+ تغییرشکل از طریق قرار گرفتن در میـدان مغناطیسـی در موادی مانند نیکل

+ مولدهای الکترومغناطیسی و خـازن هـا

+ کریسـتال های پیزوالکتریک (شاخص ترین مولد امواج آلتراسونیک در بحـث آشـکارسـازی عیـوب)

خواص عمومی امواج ماوراء صوت

امواج ماوراء صوت در بسیاری از مواد نفوذ می کنند و قادرند تغییرات مهمی را در آنها ایجاد کنند. بطـور مثال، اگر جسمی را در سیالی متأثر از امواج ماوراء صوت غوطه ور کنیم و جسم در مرکـز کـانونی امـواج قرار گیرد، شکسته و خرد خواهد شد.

چند نمونه از کاربردهای امواج آلتراسونیک:

- تمیز نمودن قطعات
- تمیزکاری سقف اماکن و سالن های مرتفع نظیر فرودگاه ها
- استرلیزه نمودن مواد در صنایع غذائی

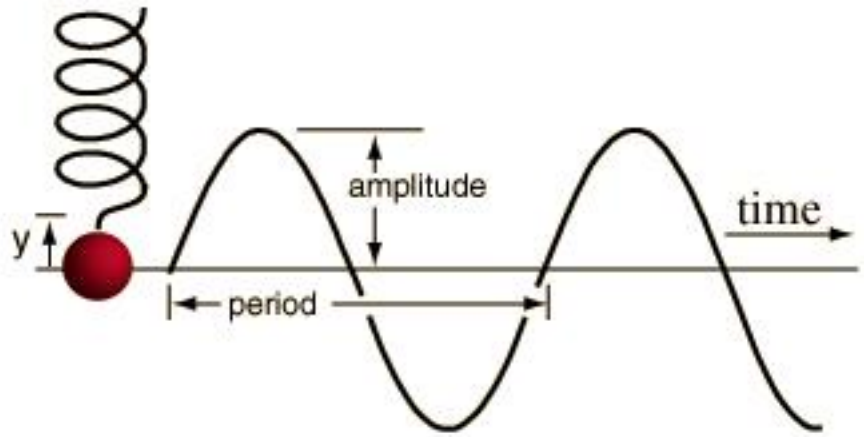
خواص عمومی امواج ماوراء صوت

- ردیابی فلزات
- ردیـابی هوائی و دریائی با سیستم های رادار
- استفاده از پدیده امواج اولین بار در بازرسی خطوط راه آهن به خدمت گرفته شد.
- به کمک امواج ماوراء صـوت بـا طـول موجهـای بسیار کوتاه آشکارسازی عیوب بسیار ریز نیز میسر گردید.

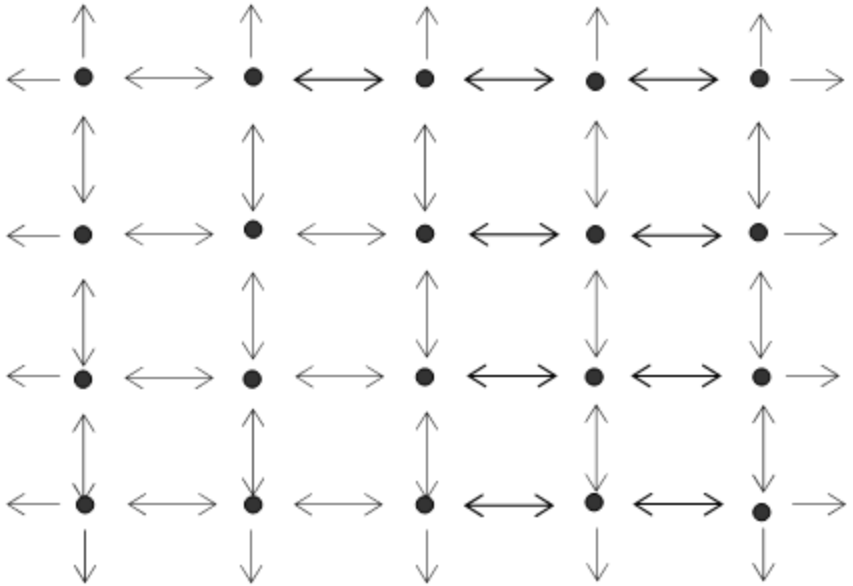
کاربرد امواج ماوراء صوت (کنترل کیفیت)

- امواج ماوراء صوت برای ارزیابی کیفیت اکثر مواد مهندسی و تشخیص عیوب درون آنها بکار می رود. عیوبی نظیر انواع حفره های گازی، ناخالصی ها، ترک ها و کلیه پدیده هائی که عامل ناهمگنی در اتصالات جوش و مواد می شوند، با این روش قابل آشکار سازی می باشند.
- برتری قابل توجه روش آلتراسونیک، توانائی ارزیابی هر سه بعد یک عیب بدون محدودیت فاصله و ضخامت می باشد.
- می توان بر اساس پارامترهای کسب شده به کمک روش آلتراسونیک، پروسه مقاومت ماده در مقابل تنش های زمان سرویس را در قالب تکنیک بررسی و ارزیابی قرار داد.

ماهـیت امواج مـاوراء صـوت



- امواج صوتی در نتیجه ارتعاش ذرات یک ماده تولید می شود و فرکانس بالا و طول موج بسیار کوتاه دارند.



- انتقال نیـروی جنبشـی از هر ذره به ذره مجاور، سبب انتقال و انتشار امواج می گردد.
- شـیوه انتشـار امواج، بـه جـنس مـاده و جهت ارتعاش ذرات بستگی دارد.

دکتر عبدالواحد کمی، akami@semnan.ac.ir
دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه سمنان

سرعت امواج ماوراء صوت

- سرعت امواج ماوراء صوت، به پارامترهای فیزیکی محیط ماده بستگی دارد.
- در زمان ارتعاش یک ماده الاستیک، هر ذره از ماده با سرعت معین (V) در محدوده حالت ارتجائی خود، حول نقطه تعادل نوسان نموده و نیروی جنبشی خود را به ذره مجاور منتقل می نماید.
- در یک ماده همگن، فقط با تغییر فرکانس طول موج تغییر می کند:

رابطه ۱-۱ $\lambda = c / f$

λ – طول موج (mm)

c – سرعت ($\text{Km/ Sec} = \text{mm / sec} \times ۱۰^{۶}$)

f – فرکانس ($\text{MHz} = ۱۰^{۶}\ \text{Hz}$)

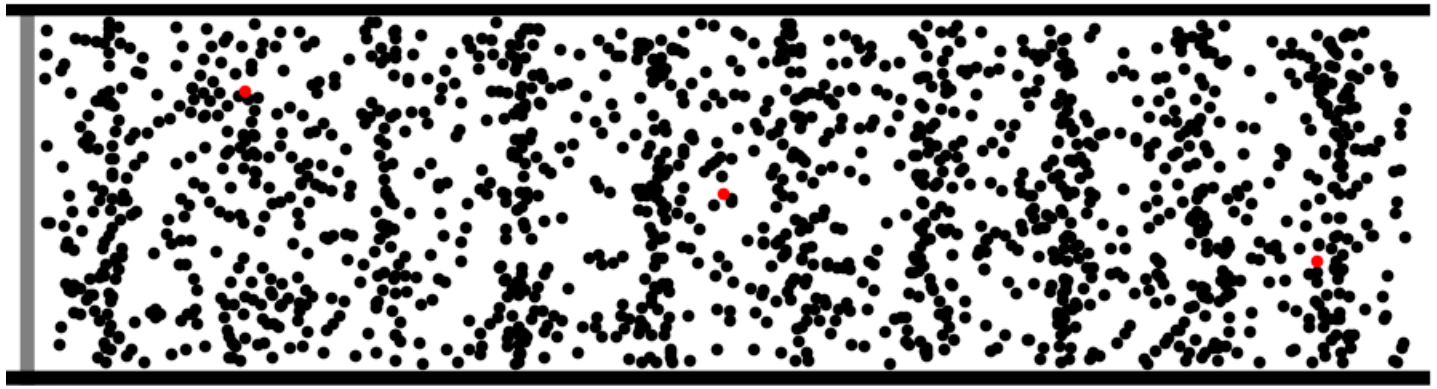
انواع امواج ماوراء صوت

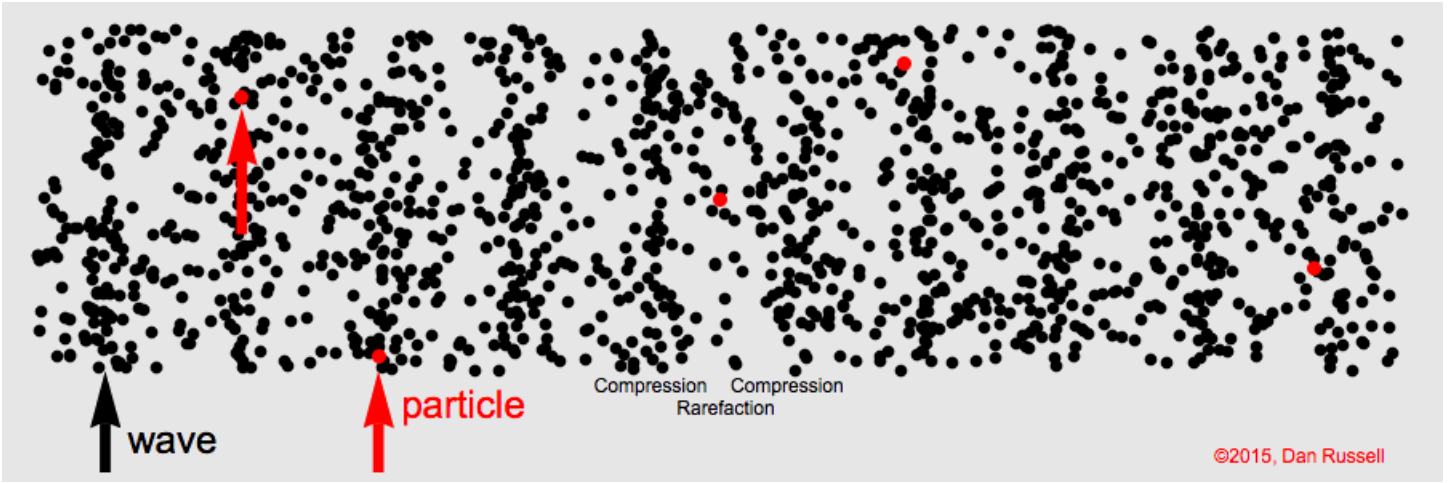
1. امواج طولی (Longitudinal waves)

- چنانچه جهت انتشار امـواج بـا جهـت ارتعـاش ذرات یکسو باشد، امواج طولی تولید می گردد. امواج طولی تحت عنوان امواج کمپرسی (Compression waves) نیز شناخته می شوند.
- سرعت امواج طولی در مواد همگن ثابت است اما به نسبت تغییر غلظت و چگـالی مـواد، مقـدار آن تغییـر خواهد نمود.
- امواج طولی در جامدات، سیالات و حتی در بعضی از گازها قابلیت انتشار دارند.

انواع امواج ماوراء صوت

1. امواج طولی (Longitudinal waves)

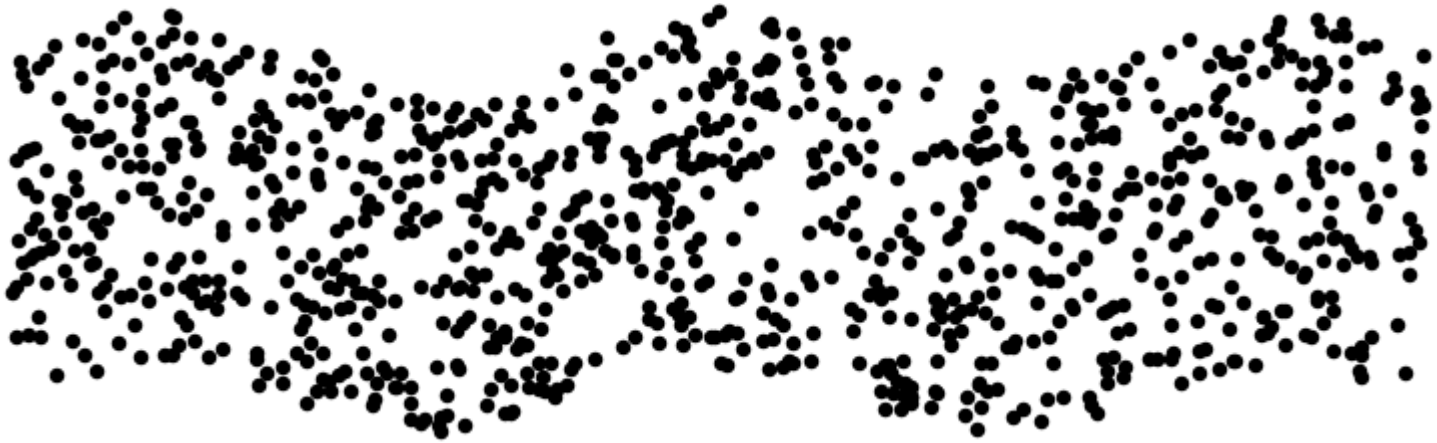




انواع امواج ماوراء صوت

2. امواج عرضی یا برشی (Transverse or shear waves)

- در امواج عرضی، جهت انتشار امواج عمود بر جهت ارتعاش ذرات می باشد. مانند انتشار امواج در آب.



انواع امواج ماوراء صوت

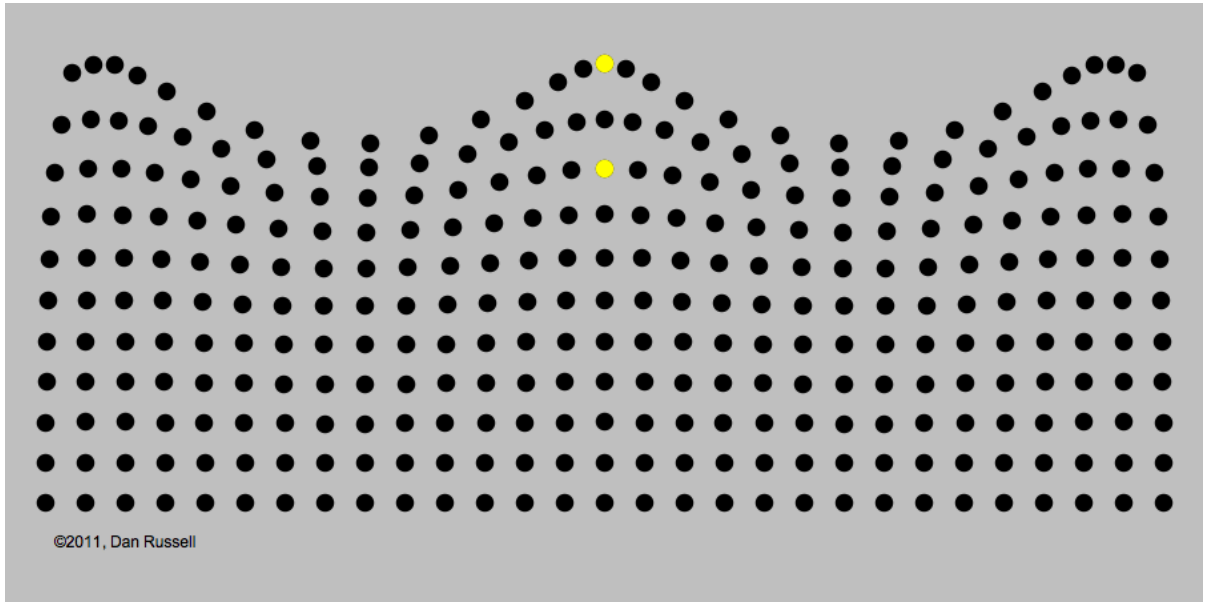
2. امواج عرضی یا برشی (Transverse or shear waves)

- اصولاً نیروی محرکه جنبشی ذرات، بصورت نیروی برشی، عامل تولید امواج عرضی در جامدات می باشد.
- سیالات و گاز ها قادر به انتشار امواج عرضی نیستند.

انواع امواج ماوراء صوت

3. امواج سطحی (Surface waves)

- در شرایط خاصی، امواج ماوراء صوت با دامنه ای محدود در سطح جامدات انتشار می یابند که به امواج سطحی موسومند.
- سرعت امواج سطحی ۰/۹ برابر سرعت امواج عرضی است.



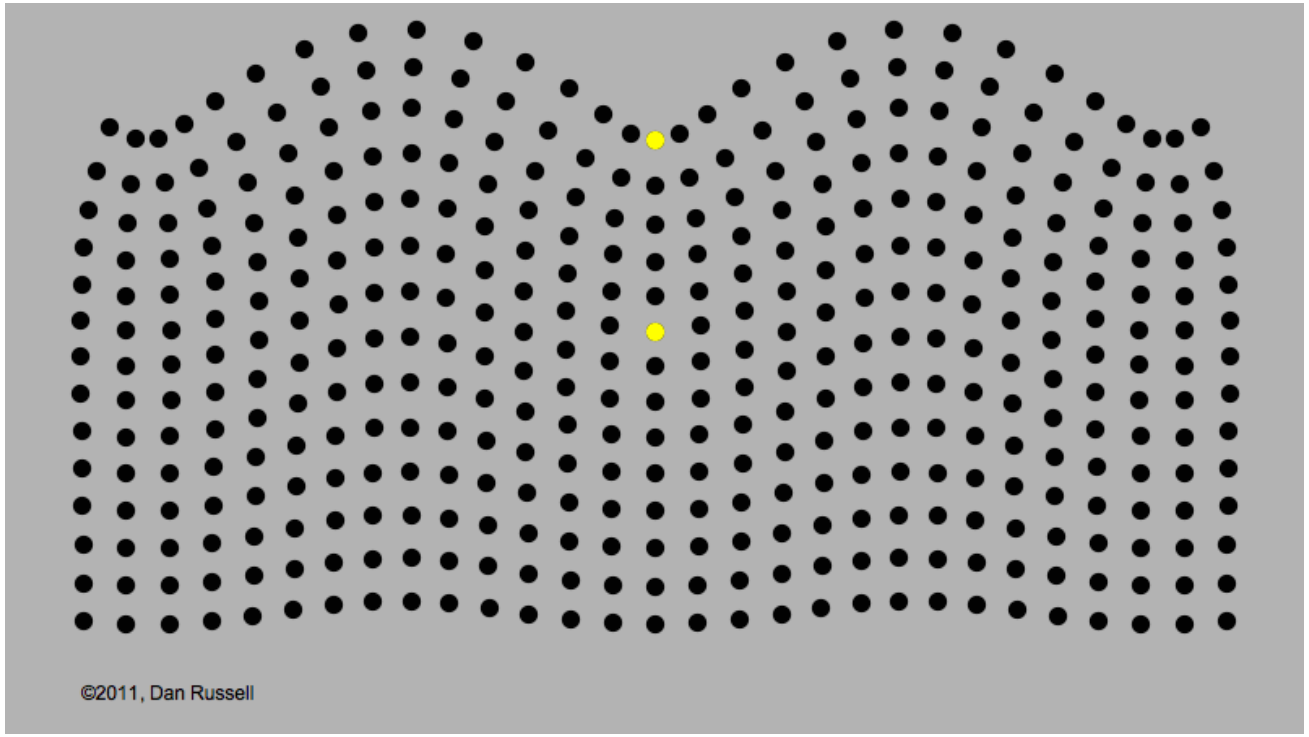
انواع امواج سطحی

الف) امواج سطحی ریلی (RayLeigh waves)

- امواج سطحی هستند که در مقطعی از آن، ذرات به شکل بیضی حرکت می کنند.
- عمق انتشار امواج ریلی، حدود یک برابر طول موج آن است.
- با انتخاب فرکانسی متناسب با ضریبی از طول موج، می توان عمق معینی از فلزات را تحت پوشش امـواج سطحی قرار داد.

انواع امواج سطحی

الف) امواج سطحی ریلی (RayLeigh waves)

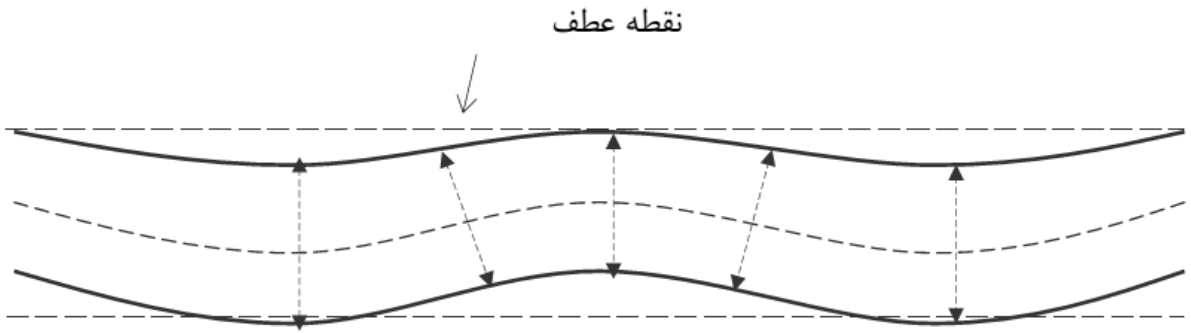


- شکل مقطع ارتعاش و انتشار امواج ریلی به حالت بیضی می باشد که به نسبت سطح تماس ممکن است بصورت امواج طولی و یا عرضی انتشار یابند.

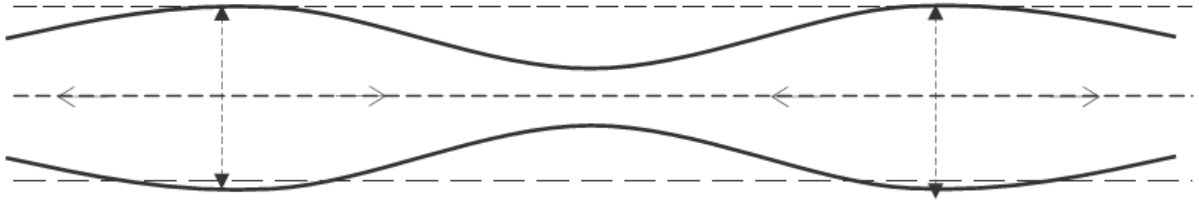
انواع امواج سطحی

ب) امواج سطحی ورقه ای (Lamb waves)

- این نوع موج بطور سطحی در یک لایه معینی از ضخامت، متناسب با طول موج و فرکانس بـه دو حالـت خمشی و قرینه ای در جامدات انتشار می یابد.



شکل ۵-۱ - الف امواج ورقه ای خمشی

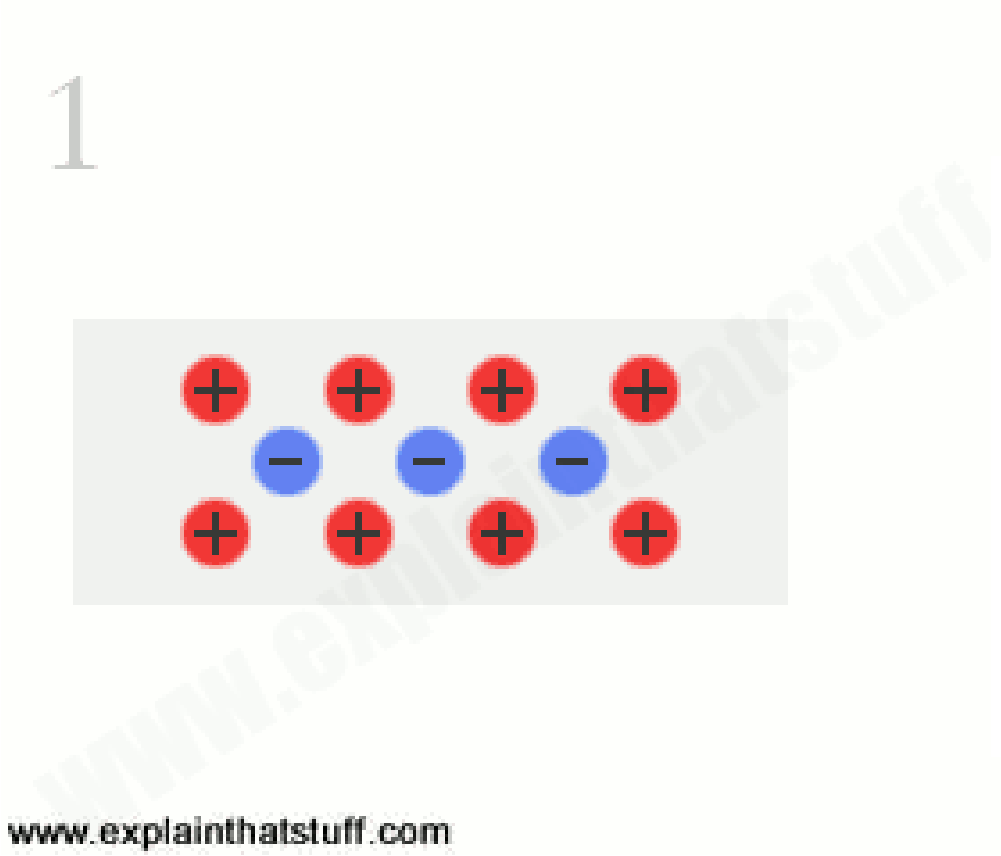


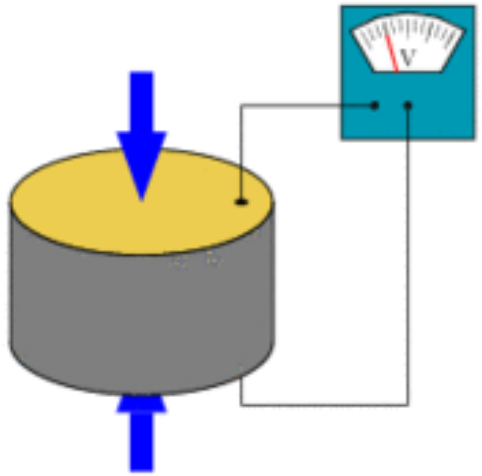
شکل ۵-۱ - ب امواج ورقه ای قرینه ای

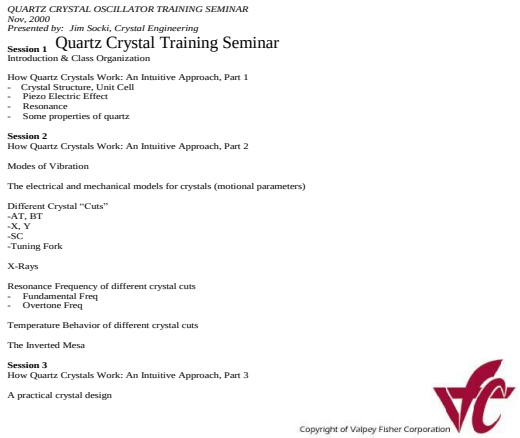
دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه سمنان | دکتر عبدالواحد کمی، akami@semnan.ac.ir

مولـدهـای امـواج ماوراء صوت: کریستال های پیـزوالکتـریک

- پیزوالکتریک ها موادی هستند که می توانند انرژی الکتریکی دریافـت شـده را بـه انـرژی مکـانیکی و یـا بالعکس تبدیل نمایند.



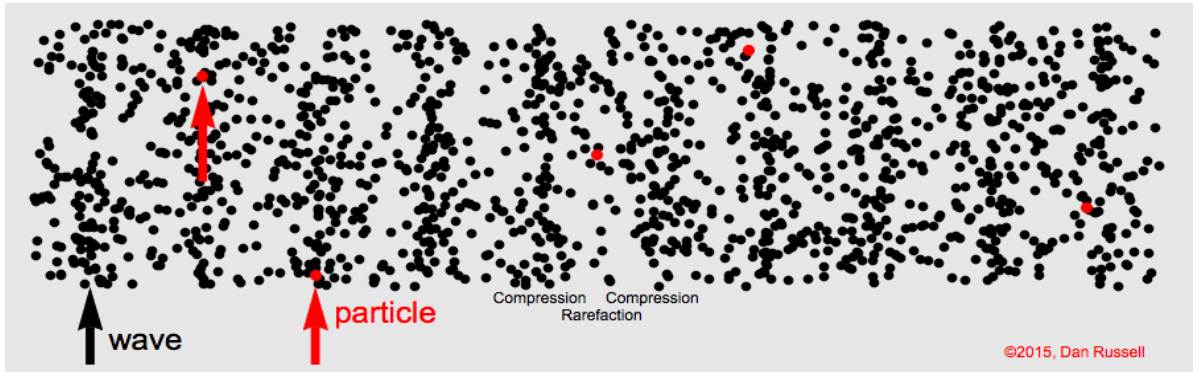




مولـدهـای امـواج ماوراء صوت: کریستال های پیـزوالکتـریک

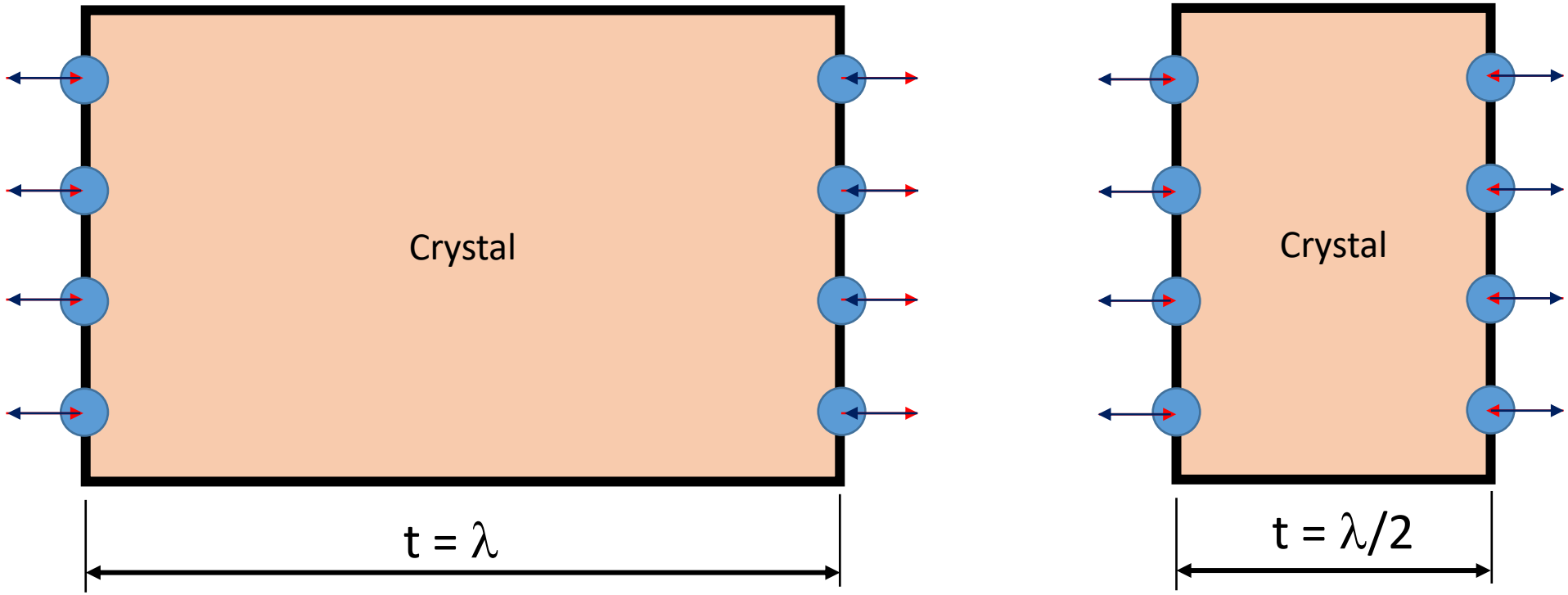
- برای مرتعش نمودن منظم و هارمونیک کریستال باید فرکـانس جریـان الکتریکـی بـا ضـخامت کریستال همخوانی داشته باشد.
- یک کریستال بالاترین پاسخ خود را در فرکانس رزونانس نشان می دهد.

$$\lambda = c / f$$



مولـدهـای امـواج ماوراء صوت: کریستال های پیـزوالکتـریک

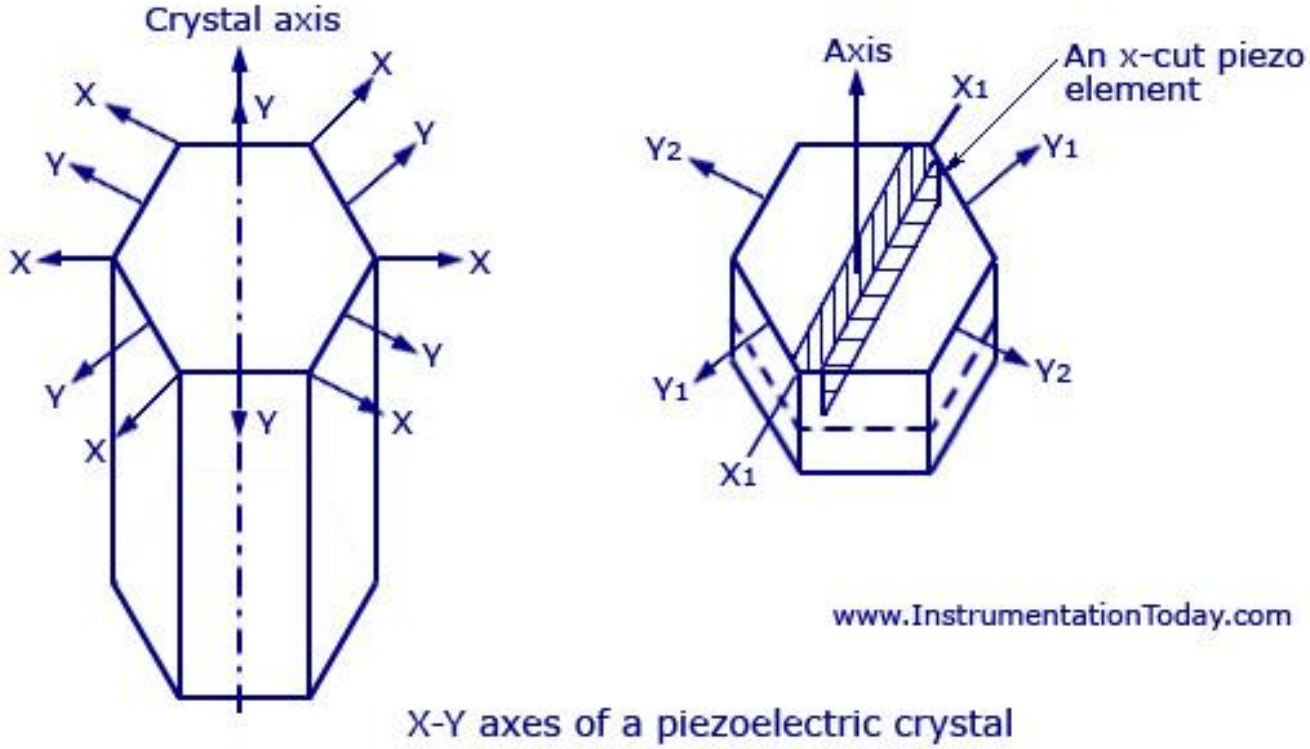
- مقایسه رفتار کریستال ها در مقادیر مختلف ضخامت



- رفتار کریستال برای ضخامت های $n\lambda/2$ (n عدد طبیعی فرد) یکسان است. با افزایش n میرایی موج صوتی افزایش می یابد.

مولـدهـای امـواج ماوراء صوت: کریستال های پیـزوالکتـریک

سرعت امواج طولی (با برش X) ۵/۷۴ و سرعت امواج عرضی (با بـرش Y) ۳/ ۸۴ کیلـومتر بـر ثانیـه است. برای یک جسم پیزو الکتریک از جنس تیتانات باریم ضخامت کریستال را محاسبه کنید (فرکانس 2.5 GHz).



X-Y axes of a piezoelectric crystal

انواع کریستال ها: ۱- کریستال کوارتز (Quartz crystal)

- کریستال های کوارتز بصورت طبیعی و به شکل بلور های منشوری با ترکیب شیمیائی سه اتـم سـیلیسیم (سیلیکون) و شش اتم اکسیژن $(SiO_2)^3$ در طبیعت یافت می شوند.

- خواص برش هـای متفـاوت کـوارتز:

الف- X-Cut، امواج طولی تولیـد مـی کند.

ب- Y-Cut، امواج عرضی تولید می کند.

ج- Z-Cut، دارای خاصیت انتقال نور بوده و بیشتر در سیستم های نوری کاربرد دارد.

دکتر عبدالواحد کمی، akami@semnan.ac.ir | دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه سمنان

انواع کریستال ها: ۱- کریستال کوارتز (Quartz crystal)

- **ویژگی های کریستال های کوارتز**
- مقاوم در مقابل سایش
- شکل دادن راحت
- مقاوم در برابر حلالیت
- ثبات خواص الکتریکی، گرمائی و مکانیکی
- بازدهی الکترومکانیکی کمتر در مقایسه با سایر کریستال ها.

انواع کریستال ها: ۲- تیتانات باریم (Barium Titanate)

- تیتانیت باریم، نوعی سرامیک قطبی است که از ترکیب کربنات‌باریم با دی‌اکسید تیتانیم در دمای ۱۲۵۰ درجه سانتی‌گراد بدست می‌آید.

$$BaCO_3 + TiO_2 \longrightarrow BaTiO_3 + CO_2$$

- کریستال تیتانات باریم برای تعیین عیوب با امواج عرضی و طولی کاربرد دارد.
- این نوع کریستال برای کار روی سطوح داغ و محیط های گرم مناسب نیست (دمای بحرانی ۱۴۰ درجه سانتی گراد).
- عواملی مانند تماس با سطح داغ، گرما و طول عمر زیاد، در خاصیت قطبی بودن کریستال تاثیر نامطلوب می گذارند.

انواع کریستال ها: ۳- سولفات لیتیوم (Lithium Sulfate)

- فرمول شیمیایی (Li_2SO_4)
- خاصیت گیرندگی عالی برخوردار است و در پراب های دوکریستالی که کریستال های فرستنده و گیرنده کاملاً از هم متمایز هستند، فقط به عنوان گیرنده استفاده می شود.
- در مقابل ضربات مکانیکی و خصوصاً حرارت، بسیار حساس می باشد.
- بیشتر در کاربردهای پزشکی استفاده می شود.

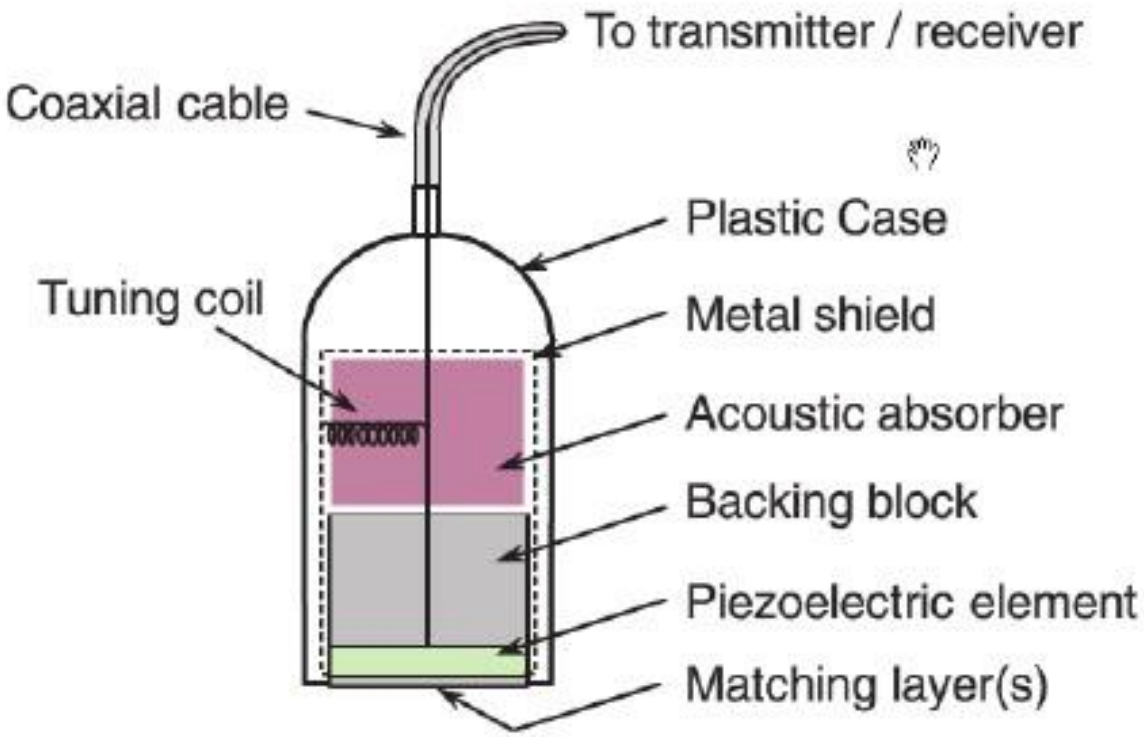
انواع کریستال ها: ۴- تیتانات زیرکونات سرب (Lead Zirconate Titanate)

- فرمول شیمیایی کریستال PZT: $Pb[Zr_xTi1-_x]O_3$
- داشتن بهتـرین رانـدمان بـرای انتشار امواج ماوراء صوت.
- حساسیت بسیار خوب.
- مقاوم بودن در مقابـل درجـه حـرارت های متغیر.
- کاربرد در پروب های زاویه ای.

انواع کریستال ها: ۵- متانیوبیت سرب (Lead Metaniobate)

- فرمول شیمیایی: $PbNb_2O_6$
- سـرامیک قطبـی با مقاومت گرمایی بالاتر در مقایسه با سایر کریستال های سرامیکی.
- توانایی ارسال امواج به صورت beam.
- کاربرد محدود به دلیل ناپایداری در خاصیت قطبی بـودن.

پروب های پیزوالکتریک



- اجزاء اصلی تشکیل دهنده یک پروب:

- کریستال پیزوالکتریک

- ماده پشتی (Backing)

- ماده جلو (Matching)

- عایق صوتی (Acoustic absorber)

- محفظه نگهدارنده

پروب های پیزوالکتریک

- ماده پشتی (Backing)

تبدیل پالس های نامنظم به پالس هائی آرام و هماهنگ به کمک ماده پشت کریستال صورت می پـذیرد.

اتصـال صحیح کریسـتال بـه ماده پشتی اهمیت بالایی در بهبود کارایی پروب دارد.

شکل ۵-۲ - الف

شکل ۵-۲ - ب، پالس های منظم شده

پروب های پیزوالکتریک

- خواص ماده پشتی (Backing)

- نگهداری کریستال تحت مشخصات طراحی شده (زاویه).

- جذب و تحلیل انرژی های الکتریکی و مکانیکی مازاد .

- جذب انرژی ارتعاشات نامنظم و اضافی .

- منظم نمودن ارتعاشات و ایجاد حرکت هارمونیک کریستال .

- منظم نمودن دامنه و فاصله بین پالس ها .

- حفظ حالت انعطاف پذیری (طول عمر مفید).

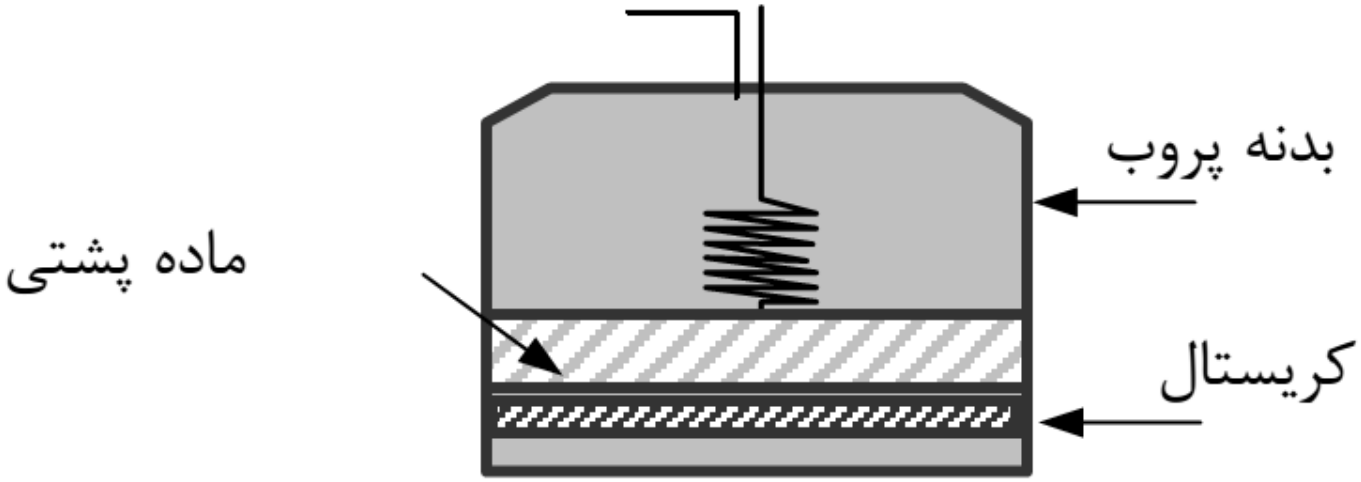
پروب های پیزوالکتریک

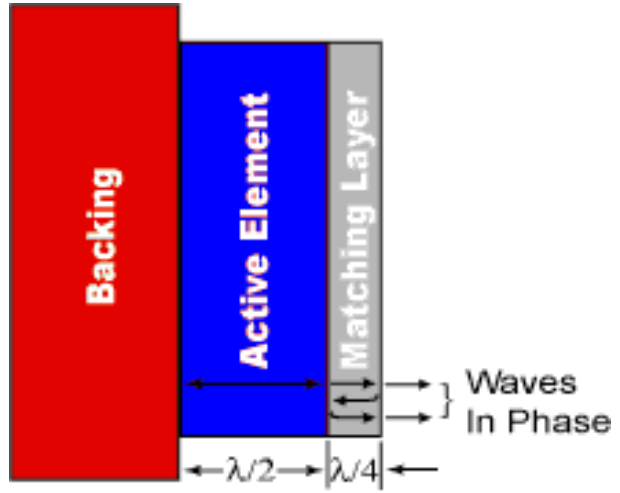
- ماده جلویی (Matching)

برای محافظت کریستال ها در مقابل سایش، خوردگی، انتقال بهتر امواج و ثابت نگهداشتن کریستال تحت زاویه ای دقیق، ماده ای مخصوص در جلوی کریستال قرار داده می شود که Matching نامیده می شود.

پروب صفر درجه تک کریستال (Single Crystal-Normal Probe)

- این پروب از یک کریستال مستقل تشکیل شده و امواج طولی تولید می نماید (پروب صفر درجه یا نرمال).
- پروب هـای تـک کریستال با عنوان پروب های فرستنده گیرنده (Transceiver) نیز شناخته می شوند.





پروب صفر درجه تک کریستال (Single Crystal-Normal Probe)

- کریستال در حداقل فاصله از سطح خارجی پروب تعبیه می گردد.
- غالباً از کریستال های کوارتز که در مقابل سایش مقاوم تر هستند برای این نوع پروب استفاده می گردد.

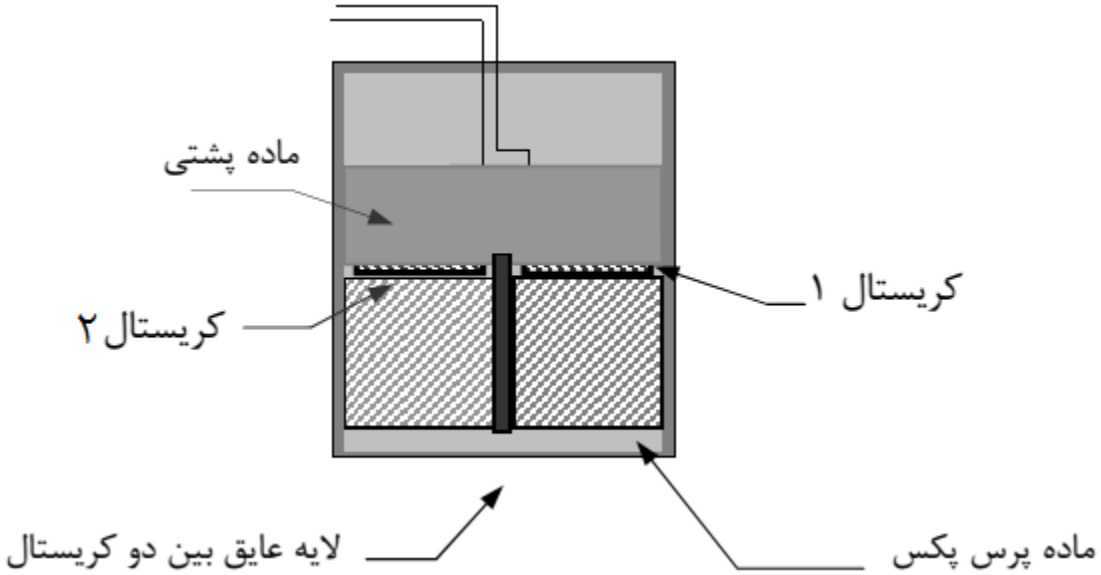
پروب صفر درجه تک کریستال (Single Crystal-Normal Probe)

- از پروب های صفر درجه برای اندازه گیری ضخامت، ناهمگنی های موازی با سطح و کاهش ضخامت در اثر خوردگی استفاده می شود.
- در پروب های تک کریستال حوزه کور و قسمتی از حوزه نزدیک، مانعی برای اندازه گیری ضخامت های کم هستند. (این پروب ها بیشتر برای اندازه گیری ضخامت های زیاد و عیوبی که خارج از حوزه نزدیک قرار دارند بکار گرفته می شوند.)
- بعلاوه از پروب های تک کریستال در بعضی از تکنیک ها مانند انتقال سر به سر بصورت فرستنده و گیرنده مجزا استفاده می گردد.

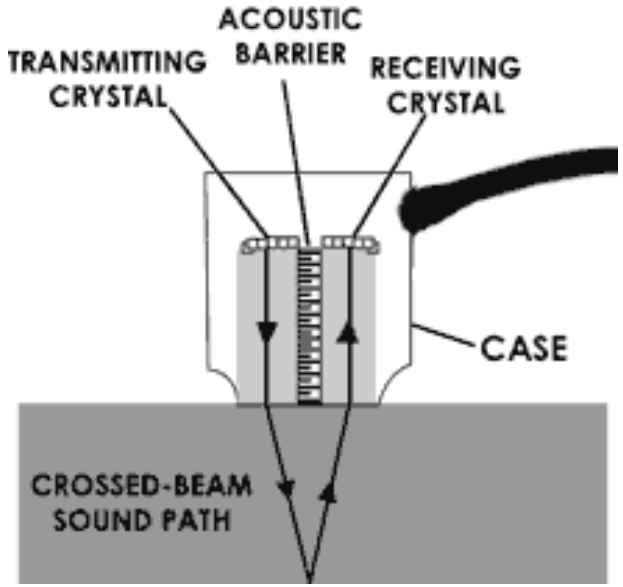
پروب صفر درجه دو کریستاله

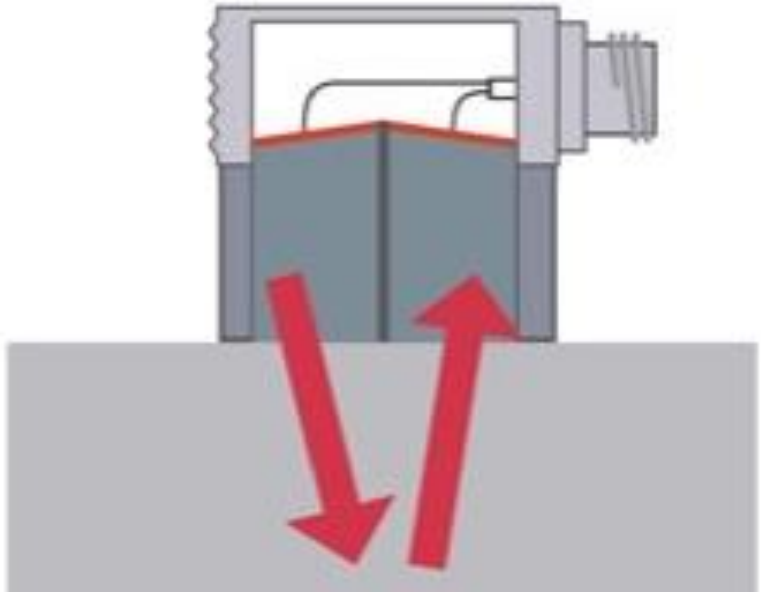
- در این نوع پروب، یک کریستال فرستنده و یک کریستال گیرنده در یک محفظه مشترک قرار گرفته اند.

- در این نوع پروب، به دلیل فاصله کریستال ها از سطح خروجی، منطقه مرده (کور) در داخل محفظه قرار گرفته و پالس های امواج متراکم در این حوزه ، مانعی برای آزمایش قطعات با ضخامت کم و تعیین عیوب نزدیک به سطح ایجاد نمی کنند.



پروب صفر درجه دو کریستاله

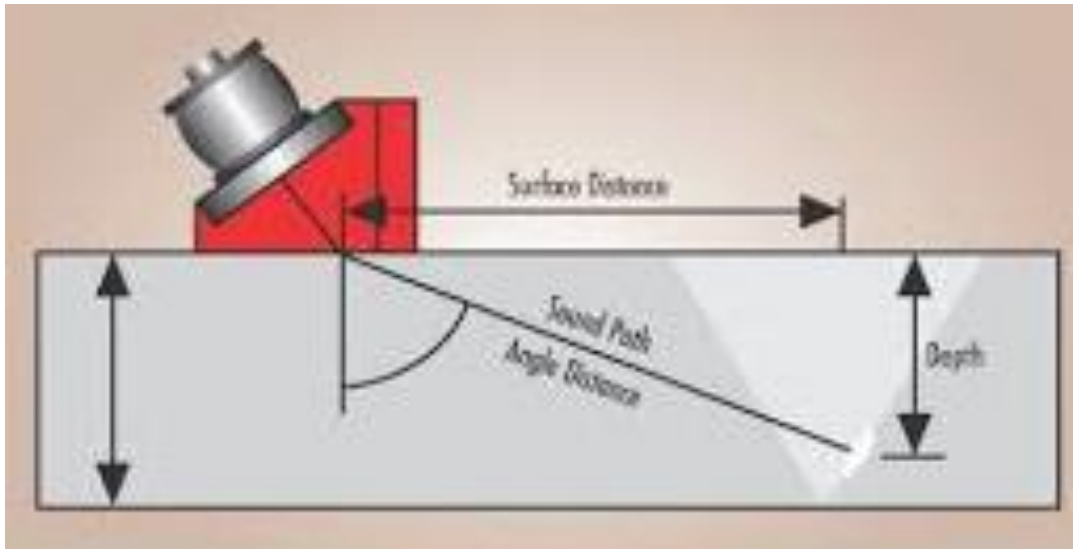




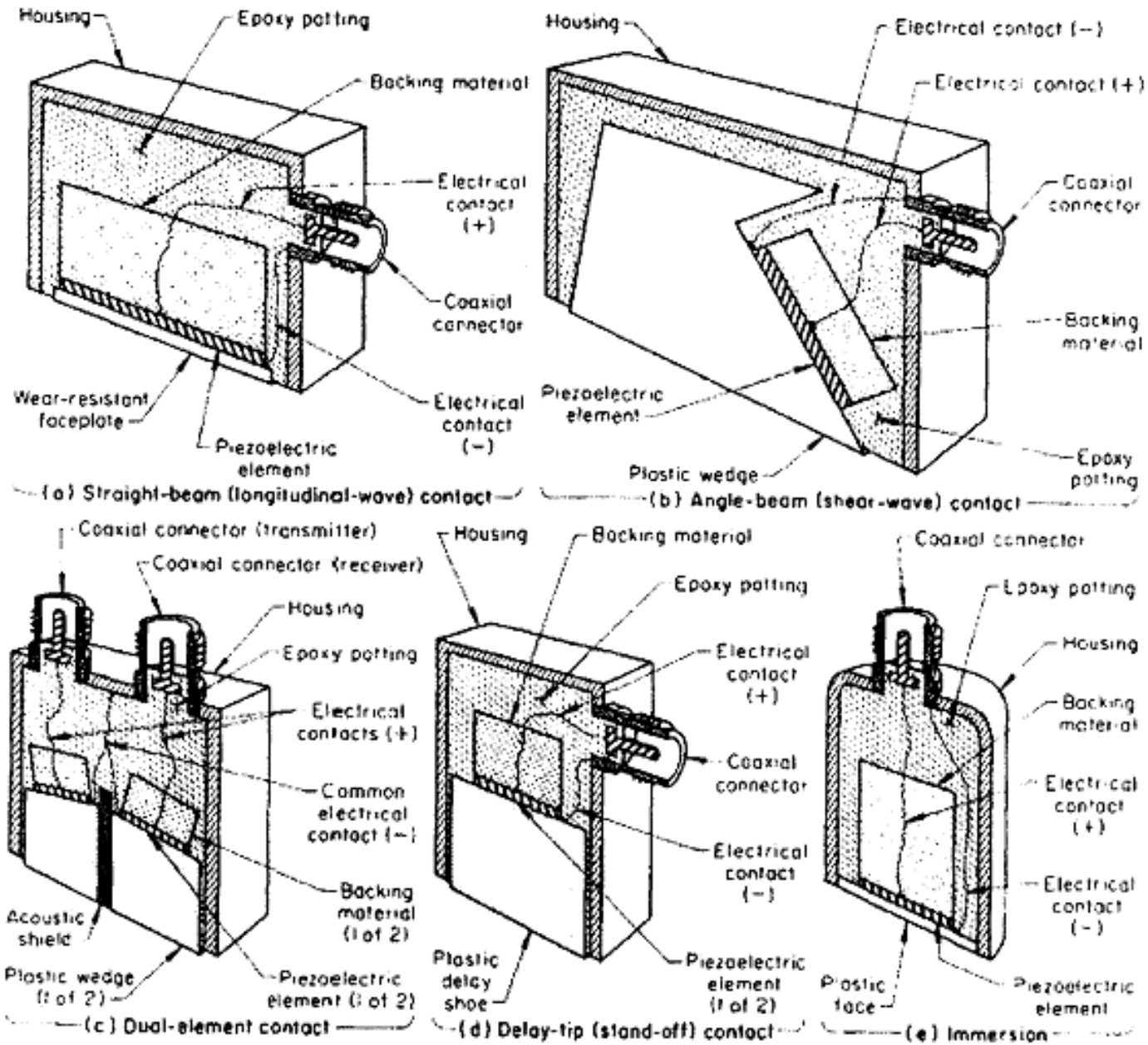
- برای اندازه گیری ضخامت های کمتر از ۱۰ میلی متر و تعیین عیوب نزدیک به سطح فقـط از پـروب دو کریستاله استفاده می گردد.
- در بسیاری از پروب های دو کریستاله ، کریستال ها تحت زاویه ای بین ۱۰ تـا ۱۴ درجـه نسـبت بـه محور افقی قرار می گیرند تا کمترین تداخل در مسیر رفت و برگشت امواج روی دهد و نتایج دقیق تـری بدست آید.
- پروب های دو کریستاله صفر درجه نسبت به سطوح زبر حساس تر می باشند.

پروب های زاویه ای (Angle beam probes)

- در پروب های زاویه ای، ابتدا امواج به حالت طولی بـا شـیب معینـی تولید می گردد و در لحظه برخورد با سطح جسم مورد آزمایش، به علت اعمال نیروی برشی توسط امواج طولی در مرز بین دو جسم، به امواج عرضی تبدیل می شـود. (جنس ماده جلو: Perspex, Plexi glass یا Acrylic resin)



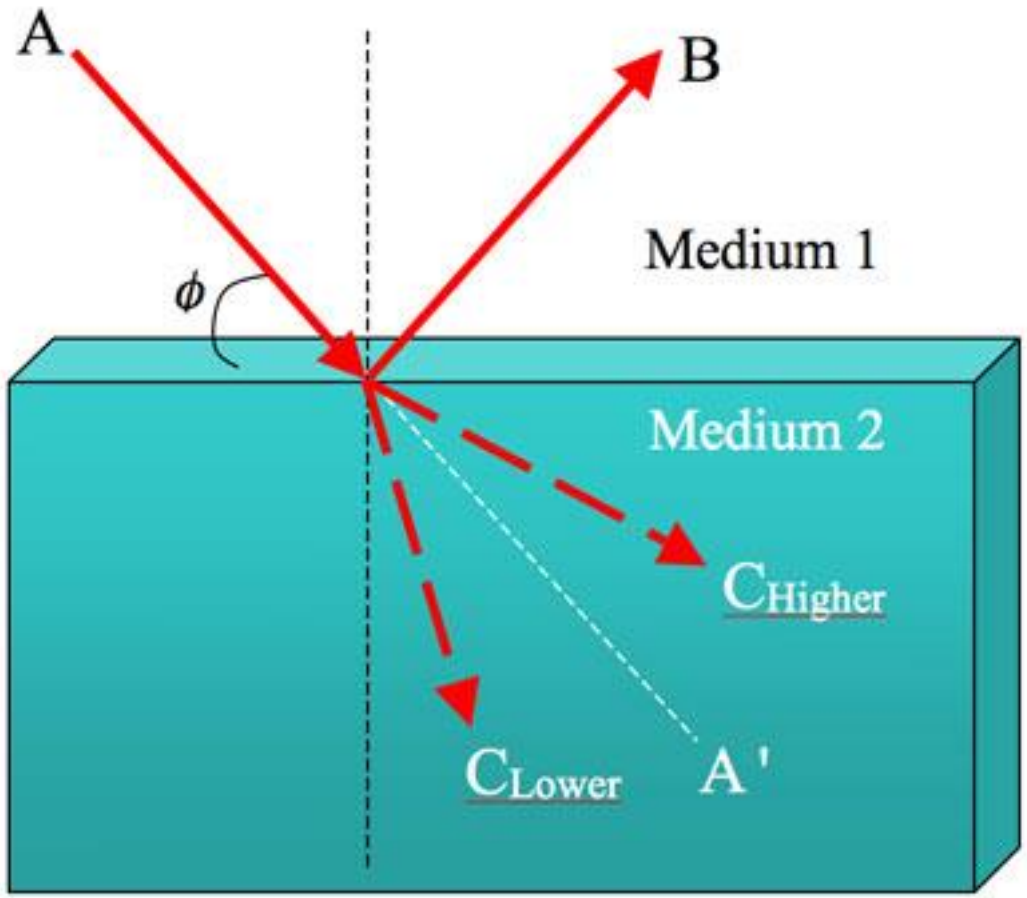
انواع پروب های پیزوالکتریک



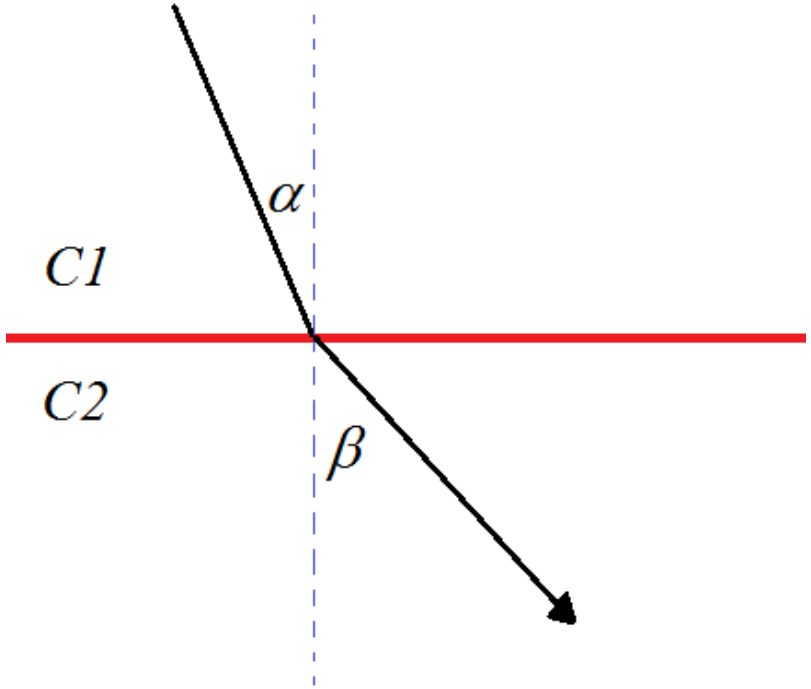
انعکاس و انکسار امواج

الف- انعکاس امواج (Reflection)

ب- انکسار امواج (Refraction)



رابطه اسنل (Snell's law)



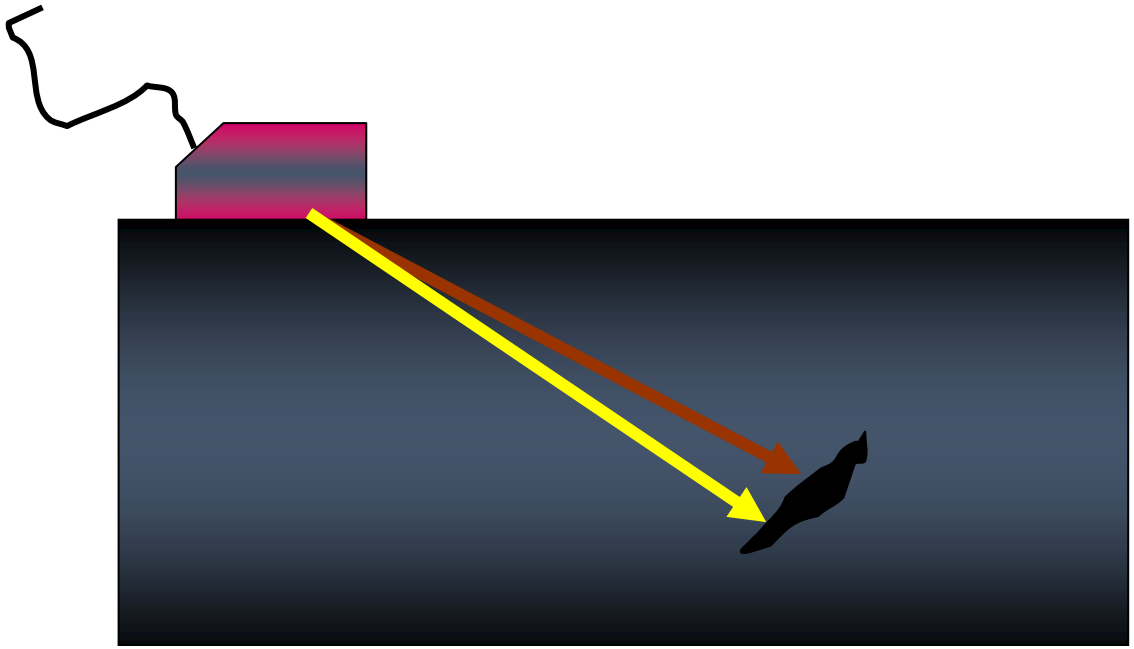
$$\text{Sin}\,\alpha / \text{Sin}\,\beta = C_1 / C_2$$ رابطه اسنل (۱-۲)

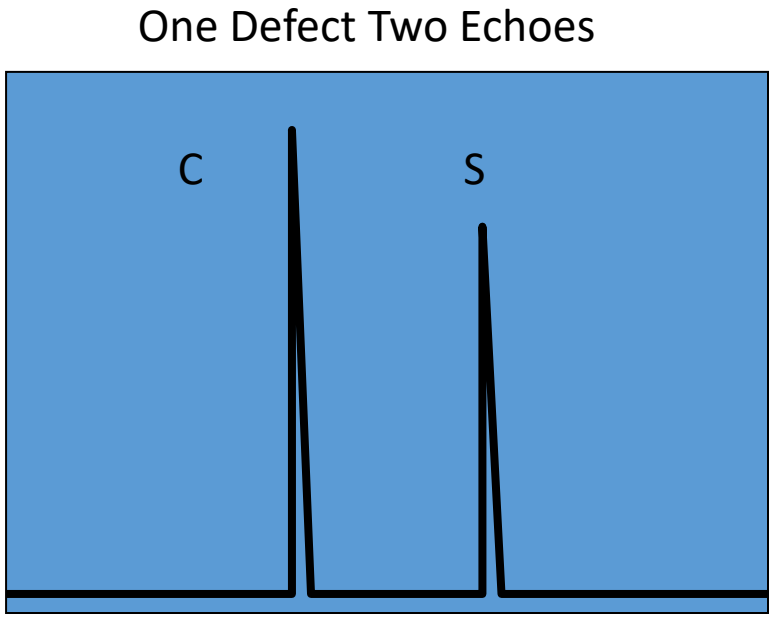
- α - زاویه انتشار امواج در ماده اول
- C۱ - سرعت انتشار امواج در ماده اول
- β - زاویه انکساراموا‌ج در ماده دوم
- C۲ - سرعت انتشار امواج در ماده دوم

توجه: چنانچه زاویه انتشار در ماده اول بدرستی انتخاب نگردد، ممکن است هر دو نوع مـوج طـولی و عرضـی در جسم دوم تولید شوند. که به علت تداخل امواج طولی و عرضی در جسـم دوم، مـانع نتیجـه گیـری دقیق آزمایش خواهد شد.

زوایای بحرانی (Critical angles)

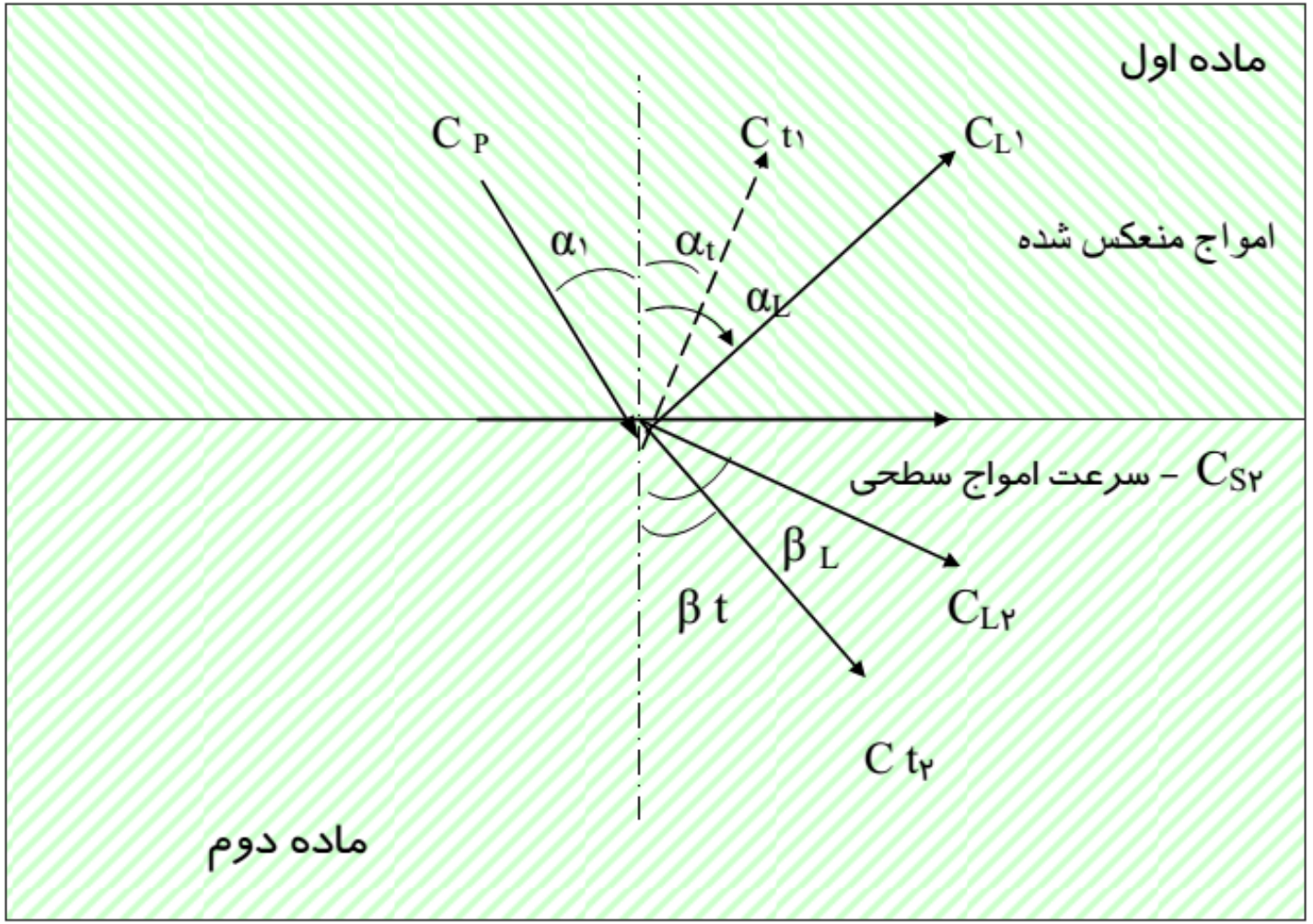
زاویه پراب نباید کمتر از ۲۷ درجه و بیشتر از ۸۰ درجه باشد.





رابطه اسنل (Snell's law)

$$\frac{\sin\alpha_1}{C_P} = \frac{\sin\alpha t}{C\,t_1} = \frac{\sin\alpha_L}{C_{L1}} = \frac{\sin\beta t}{C\,t_2} = \frac{\sin\beta_L}{C_{L2}}$$

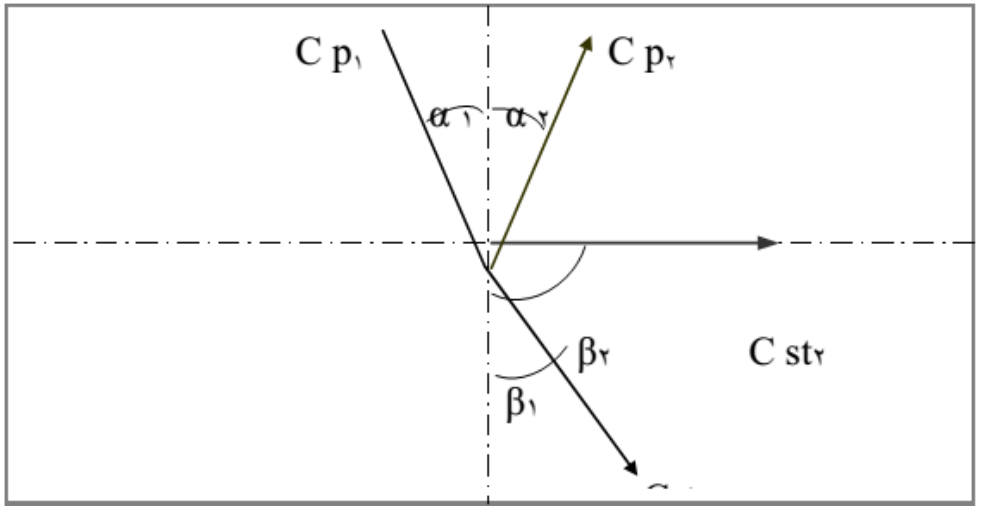


زاویه اسمی پروب‌ها بر اساس زاویه انتشار امـواج در فولاد پایه گذاری شده است.

زوایای بحرانی (Critical angles)

۱- زاویه بحرانی اول (First critical angle)

هنگامی که موج از محیطی با سرعت کم به محیط با سرعت زیاد وارد می شود، زاویه بحرانی وجود دارد که تحت آن زاویه انکسار موج برابر با ۹۰ درجه می گردد. به این زاویه، زاویه بحرانی اول گفته می شود (زاویه ای که تحت آن امواج طولی از محیط آزمایش خارج شده و فقط امواج عرضی در جسم دوم باقی می ماند).



زوایای بحرانی (Critical angles)

مثال: با فرض اینکه ماده جلویی پروب زاویه ای از جنس پرس پکس و جسم مورد بررسی از جنس فولاد باشد و نیز سرعت انتشار امواج صوتی در هر یک به شرح زیر باشد، زاویه بحرانی اول و زاویه انتشار امواج در فولاد را بیابید.

Cp_1 - سرعت امواج طولی در پرس پکس (۲/۷۳ کیلومتر در ثانیه)

Cst_1 - سرعت امواج عرضی در فولاد (۳/۲۴ کیلومتر در ثانیه)

Cst_2 - سرعت امواج طولی در فولاد (۵/۹۴ کیلومتر در ثانیه)

$$\frac{\sin\alpha_1}{\sin\beta_2} = \frac{Cp_1}{Cst_2}$$

$$\frac{\sin\alpha_1}{\sin 90} = \frac{2.73}{5.94}$$

$$\sin\alpha_1 = 0.46$$

$$\alpha_1 = 27.3^\circ$$ زاویه بحرانی اول

$$\frac{\sin\alpha_1}{\sin\beta_1} = \frac{Cp_1}{Cst_1}$$

$$\frac{\sin 27.3^\circ}{\sin\beta_1} = \frac{2.73}{3.24}$$

$$\sin\beta_1 = 0.545$$

$$\beta_1 = 33^\circ$$ زاویه انتشار در فولاد (زاویه بحرانی اول)

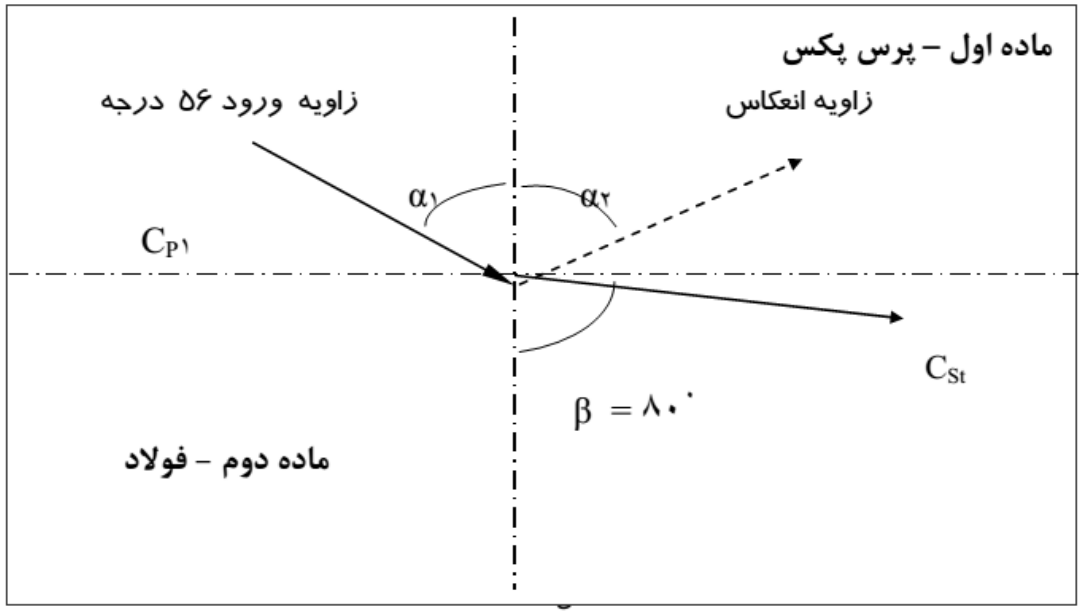
وقتی زاویه انتشار امواج در ماده پرس‌پکس نسبت به محور عمودی از ۲۷/۳ درجه بیشتر گردد ، امواج طولی در محیط آزمایش اجسام فولادی وجود نخواهد داشت.

دکتر عبدالواحد کمی، akami@semnan.ac.ir | دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه سمنان

زوایای بحرانی (Critical angles)

۲- زاویه بحرانی ثانویه (Second critical angle)

زاویه بحرانی ثانویه، به حداکثر زاویه انتشار امواج طولی در ماده جلوی کریستال داخل پـروب گفتــه مــی شود که بعد از آن امواج عرضی نیز از ماده دوم (فولاد) حذف گردد.



$$\text{Sin}\,\alpha_1 / \text{Sin}\,\beta_2 = C_{P1} / C_{St2}$$
$$\text{Sin}\,\alpha / \text{Sin}\,۹۰ = ۲.۷۳ / ۳.۲۴$$
$$\alpha = ۵۷.۴^\circ$$

$$\text{Sin}\,\alpha_1 / \text{Sin}\,\beta_2 = C_{P1} / C_{St2}$$
$$\text{Sin}\,\alpha / \text{Sin}\,۸۰ = ۲.۷۳ / ۳.۲۴$$
$$\alpha = ۵۶^\circ$$

C_{P1} - سرعت امواج طولی در پرس پکس

C_{St} - سرعت امواج عرضی در فولاد

دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه سمنان | دکتر عبدالواحد کمی، akami@semnan.ac.ir

محاسبه زاویه انتشار امواج برای مواد غیر فولادی

مثال: یک پروب زاویه ای ۴۵ درجه برای آزمایش قطعه ای از جنس مس بکار رفته است . زاویه انتشار آنـرا در مس محاسبه می کنیم :

سرعت امواج عرضی در فولاد ۳/۲۳ کیلومتر بر ثانیه است .

سرعت امواج عرضی در مس ۲/۲۶ کیلومتر بر ثانیه است .

$$\sin\alpha / \sin\beta = C_{ST} / C_{Cu}$$

$$\sin ۴۵' / \sin\beta = ۳.۲۳ / ۲.۲۶$$

$$\sin\beta = ۰.۴۹۴ \Rightarrow \beta = ۲۹.۶^{\circ}$$

C_{ST} - سرعت امواج در فولاد

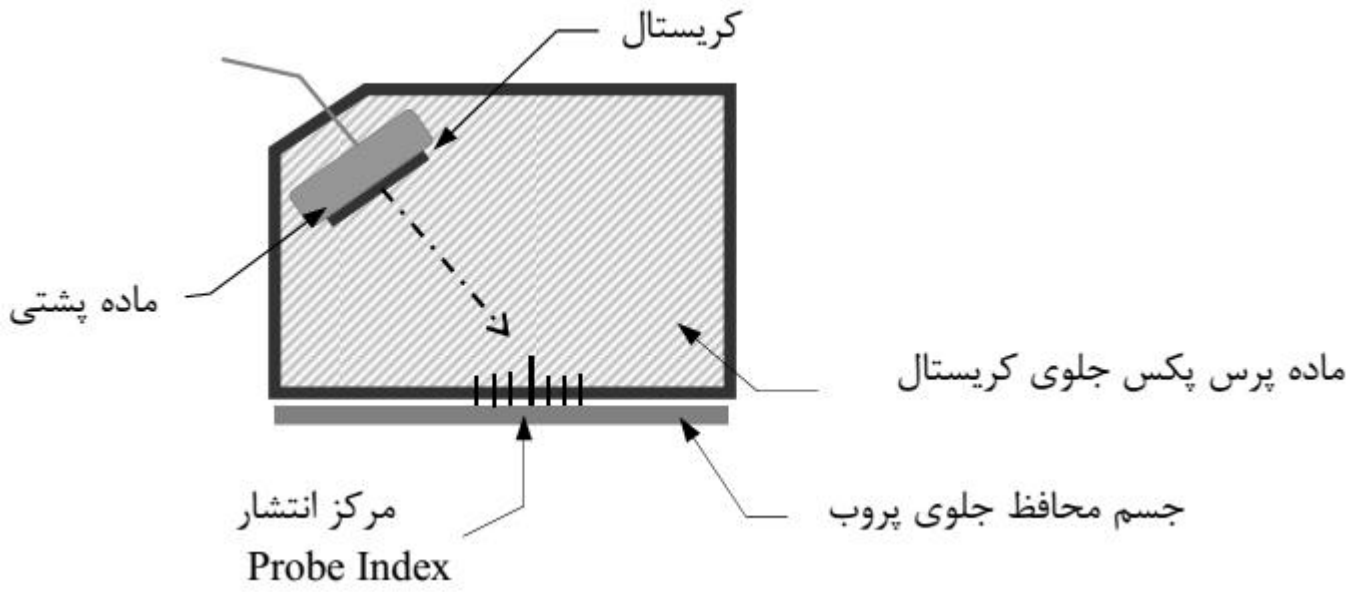
C_{CU} - سرعت امواج در مس

β_1 - زاویه انتشار امواج در مس

دکتر عبدالواحد کمی، akami@semnan.ac.ir | دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه سمنان

ساختمان یک پروب زاویه ای

- ماده پشت کریستال علاوه بر نگهداری کریستال در وضعی پایدار ، باید بتواند ارتعاشات زائد را نیز جذب کرده و به نوسانات کریستال حرکتی موزون بدهد.
- در پروب های زاویه ای بیشتر از کریستال های تیتانات باریم استفاده می شود.
- زوایای متداول و اسمی پروب های زاویه ای تک و دو کریستاله ۳۵، ۳۸ ، ۴۵ ، ۶۰ ، ۷۰ و ۸۰ درجه می باشد (طراحی بر اساس فولاد).



مشخصات اسمی و ویژه پروب ها

۱- مشخصات اسمی

- بطور معمول، روی بدنه هر پروب مشخصات اسمی زیر نوشته می شود:

تعداد کریستال ها Single or Twin

ابعاد کریستال (مساحت مؤثر) Diameter

فرکانس Frequency

زاویه کریستال Probe Angle

جنس کریستال Crystal Type

مقاوم در برابر آب (ضد نفوذ آب فقط برای روش غوطه‌ور)

مشخصات اسمی و ویژه پروب ها

Part Numbering System Legend

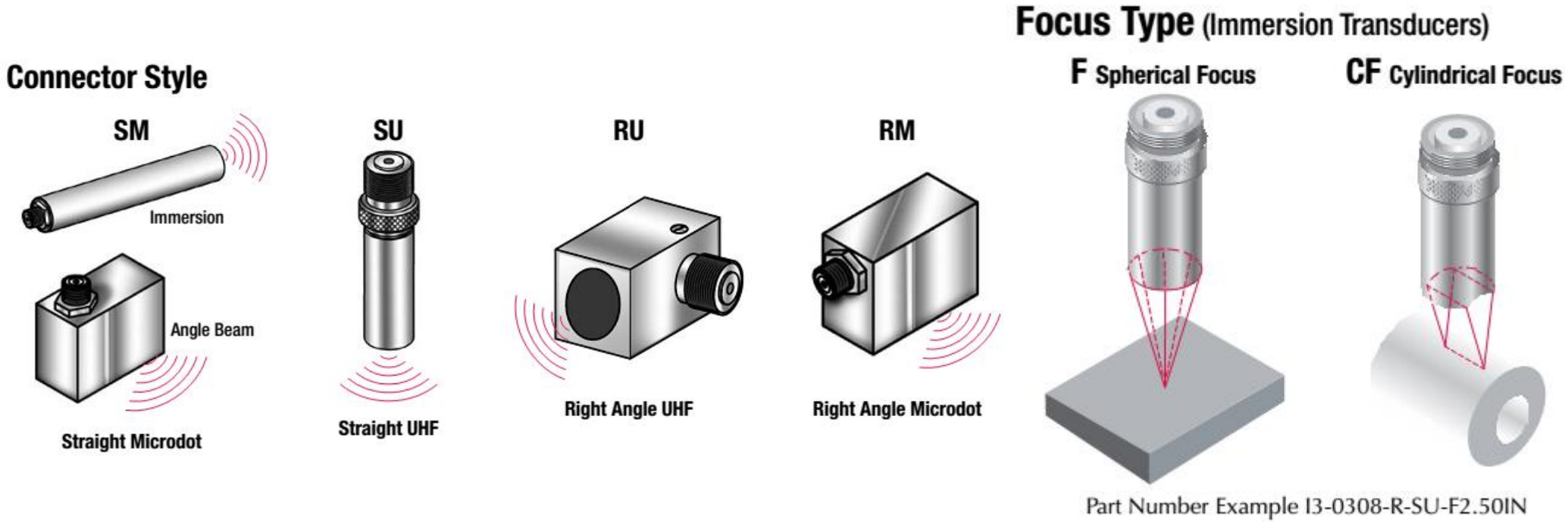
Example Part Number:

I3-0508-S-SU

Transducer Type & Case	Frequency	Size in 16ths of an Inch	Series	Connector Type & Location
	00 = 0.5 MHz	02 = 0.125" / 3 mm	Type S	-SM = Straight Microdot®
	01 = 1.0 MHz	03 = 0.187" / 5 mm	Type P	-RM = Right Angle Microdot
	02 = 2.25 MHz	04 = 0.25" / 6 mm	Type R	-SU = Straight UHF
	03 = 3.5 MHz	06 = 0.375" / 10 mm	(see page 2)	-RU = Right Angle UHF
	05 = 5.0 MHz	08 = 0.50" / 13 mm		
	07 = 7.5 MHz	10 = 0.625" / 16 mm		
	10 = 10 MHz	12 = 0.75" / 19 mm		
	15 = 15 MHz	16 = 1.00" / 25 mm		
	20 = 20 MHz	18 = 1.125" / 29 mm		
	25 = 25 MHz			

OLYMPUS NDT

مشخصات اسمی و ویژه پروب ها



OLYMPUS NDT

مشخصات اسمی و ویژه پروب ها

۲- مشخصات ویژه

- در بازرسی‌های حساس و مهم، برای اندازه‌گیری بسیار دقیق ابعاد عیوب، لازم است تا کلیه فاکتورهای تأثیرگذار، مانند:

مختصات کانونی	زاویه انکسار	زاویه انعکاس
گستردگی طیف	انحراف از مرکز	قطر موثر

مشخص گردند.

این پارامترها همان مشخصات ویژه پروب ها هستند.