الفصل السادس

آلية السمع

I – مقـــدمة:

المشعر المناسب لجهاز السمع هو الصوت، وهو عبارة عن اهتزازات دوريـــة في وسط مادي. ويتراوح مجال الصوت المسموع في سن الشـــباب مـــا بـــين (16-20000) هرتز ويتناقص هذا المجال المسموع مع التقدم بالعمر.

تسمى الأمواج الصوتية التي يقل ترددها عن 16 هرتز بالأمواج تحت الصوتيـة، بينما الأمواج الصوتية التي يزيد ترددها عن 20000 هرتز فتسمى بـــالأمواج فائقـــة الصوت وكلاهما يقعان خارج المجال المسموع، أي أنهما غير مســـموعين بالنســـبة للإنسان (يستطيع الكلب السماع حتى 40000 هرتز)، والصوت ذو طبيعة طولانيـة؛ أي هو عبارة عن تغيرات دورية للضغط (تخلخل، انضغاط) تنتشر وتصل إلى طبلـــة الأذن وهي مرتبطة بالمادة على عكس أمواج الضوء (الفراغ عديم النقل للصـــوت). وأن سرعة الصوت في السوائل والأجسام الصلبة أكبر مما هي عليه في الغازات وهـي ثابتة من أجل مادة محددة عند ضغط ودرجة حرارة محددتين. ففي الهواء وعند ضغط جوي واحد ودرجة حرارة صفر مئوية فإنها تساوي $331\frac{m}{S}$.

نعرف شدة موجة متقدمـــة علـــى أنهـــا الاســـتطاعة المتوســـطة المنقولـــة التي تجتاز واحدة السطح وفق منحى عمـــودي علـــى هـــذا الســـطح وبالتـــالي

فإن بعد الشدة هو الطاقة خلال واحدة الزمن وواحدة السطح (أو الاستطاعة خلال واحدة السطح). والواحدة المستخدمة عادة هي $\frac{watt}{m^2}$. ويمكن التعبير عن الشدة إما بالمطال الأعظمي (سعة) A للحركة الاهتزازية للجسيمات الفردية أو بالزيادة العظمى P لضغط المائع المهتز بالمقارنة مع الضغط المتوسط P_o وبالتالي فإن ضغط المائع يتغير ما بين $P_o - P$ و P_o+P. ويمكننا كتابة عبارتي الشدة كما يلي:

$$I = \frac{1}{2}A^2W^2\rho v = \frac{P^2}{2\rho v}$$

حيث:

w: التردد الزاوي.

ρ: الكتلة الحجمية للوسط.

v: سرعة الموجة.

ρv: ممانعة الصوت (الممانعة التي يبديها الوسط تجاه الأمواج الصوتية) من أول السطر فقيمة الشدة التي تحس بها الأذن تقع في المجال ما بين $10^{-12}\frac{W}{m^2}$ (عتبة السمع) و $1\frac{W}{m^2}$ (عتبة الألم). وبما أن استجابة الأذن البشرية للشدة الصوتية لا تكون متناسبة مع الشدة، بحيث إن مضاعفة شدة الصوت لا يعطي الانطباع لصوت أقوى بمرتين لكن فقط صوت أقوى بقليل من السابق؛ ولهذا السبب يستخدم السلم العشري (ديسيبل dB) للتعبير عن الشدات الصوتية. فالشدة $10^{-12}\frac{W}{m^2}$ (عتبة السمع) توافق القيمة 0(dB) وصوت أكثر شدة بعشر مرات يوافق القيمة 10(dB)

وصوت أكثر شدة بمائة مرة يوافق القيمة (dB)20 وصوت أكثر شدة بألف مرة يوافق (dB)30 وهكذا دواليك.

وبشكل قطعي فإن الشدة I (dB) لموجة صوتية (سوية الشدة الصوتية) تعطى بالعلاقة التالية:

$$I(dB) = 10 \log \frac{I}{I_O}$$

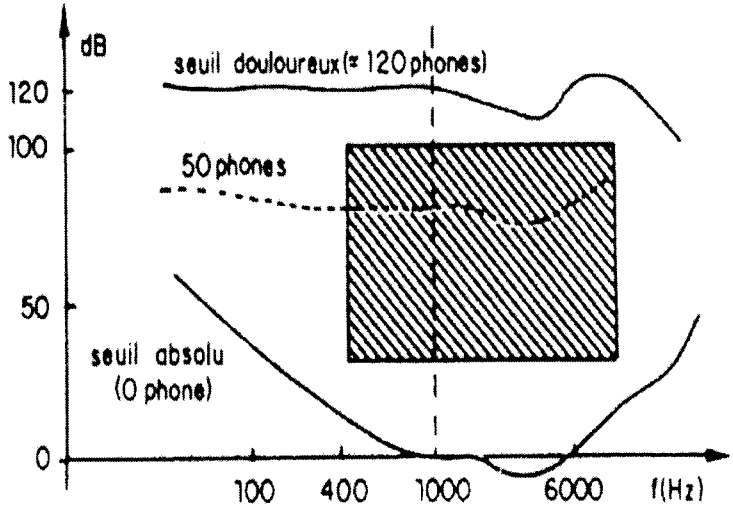
حيث:

$I_O = 10^{-12} \frac{W}{m^2}$ الموافقة للصوت الأكثر ضعفاً والذي يمكن إدراكه. وإن محادثة عادية هي من مرتبة (dB) 60 وضجيج السير في المدينة هو من مرتبة (dB) 90 وطائرة نفاثة تنتج حتى (dB) 140 (مما يحدث ضرراً في الأذن) على مسافة 30 m.

ونشير أيضاً إلى أنه عندما تنتشر الأمواج الصوتية من المنبع بشكل منتظم في الوسط فإن شدتها تتناقص عكساً مع مربع المسافة R. فإذا كانت شدة الصوت I_1 على بعد R_1 فإن شدته I_2 على بعد R_2 تعطى بالعلاقة التالية:

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{R_1^2}{R_2^2}$$

وتبين التجربة بأن العتبة المطلقة (عتبة السمع) تتغير مع التردد كما في (الشكل1)

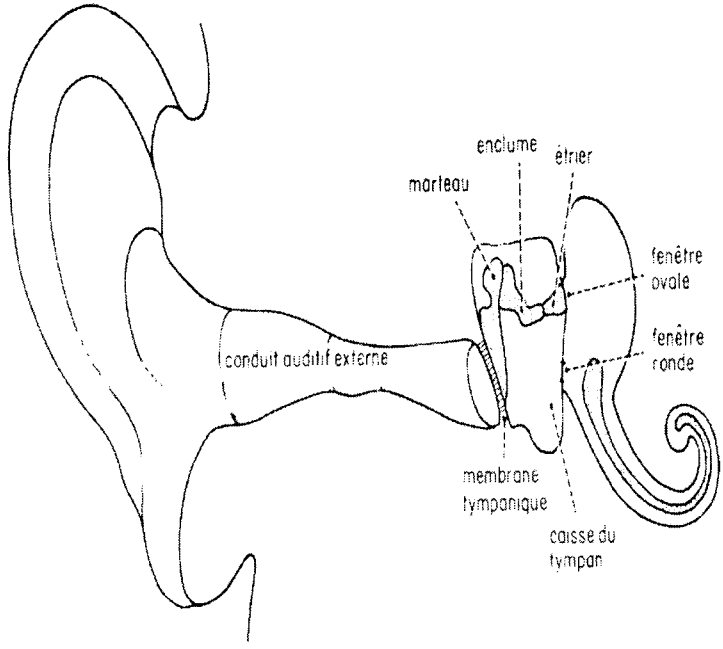


الشكل 1

كما أنه لا يمكن اعتبار الشدة المقاسة بالديسيبل سلماً مناسباً للإحساس بشدة الصوت، إذ إن صوتين مختلفين بالتردد ولهما نفس الشدة لا يكون لهما نفس القوة. ولهذا تم اعتبار الفون كواحدة فيزيولوجية بدون أبعاد ومعبرة عن سوية الشدة واصطلاحاً تم معايرة الفون على سلم الديسيبلات من أجل صوت ترده $1\ 0^3$ Hz وهذا يعني أنه من أجل صوت متميز ndB عند تردد قدره 10^3Hz له سوية n فون وبالتعريف فإن صوتاً ذو n فون يحرض ومهما كان تردده إحساساً بالشدة مساوية إلى شدة صوت ذي ndB عند 10^3Hz وتكون عتبة السمع موافقة في هذه الحالة لصفر فون لجميع الترددات. وإن الالتواء اللاخطي للأذن يبين أنه عند السماع المتزامن لصوتين ترددهما υ_1 وυ_2 فإن الأذن تسمع بوضوح الصوت ذا التردد $\upsilon_1 - \upsilon_2$ (فرق الترددين) كما تسمع بشكل أضعف الصوت ذو التردد $\upsilon_1 + \upsilon_2$ (جمع الترددين).

II – تشريح الأذن:

تعتبر الأذن عضو السمع والتوازن وتقسم إلى ثلاثة أقسام كما في (الشكل 2) الذي يمثل المخطط العام للأذن.



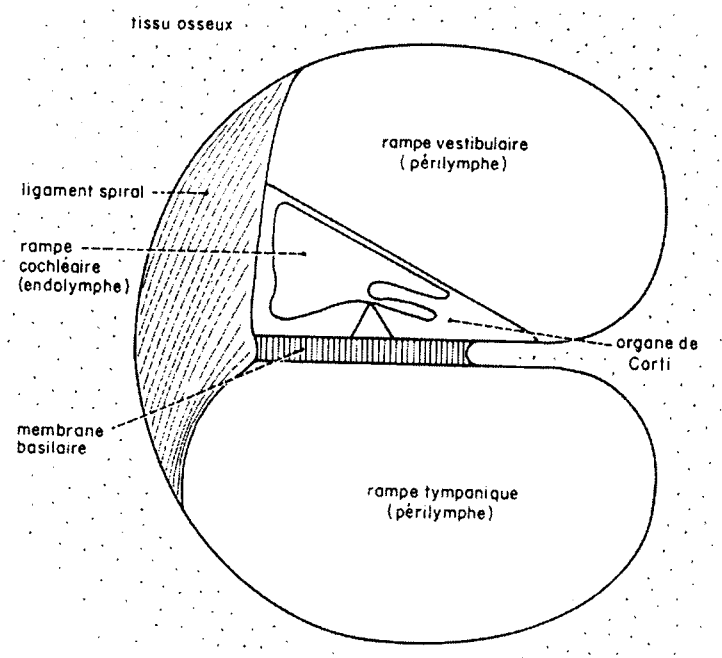
الشكل 2

1 – **الأذن الخارجية**: وتتكون من الصيوان ومجرى السمع الخارجي.

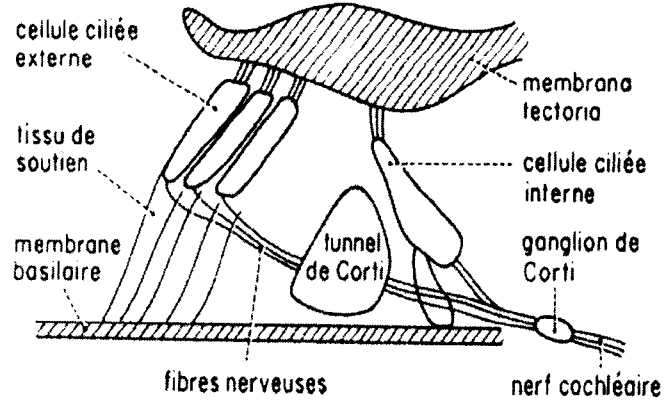
2 – **الأذن الوسطى**: وتتكون من صندوق الطبلة (غشاء الطبل، العظيمات السمعية) والتجويفات الخشائية ونفير أوستاش.

3 – **الأذن الداخلية**: وتتكون من التيه العظمي (الدهليز، أقنية هلالية، الحلـــزون) الذي يحتوي بداخله التيه الغشائي. يفصل غشاء الطبل صندوقة الطبـــل عـــن الأذن الخارجية، كما يتم فصل هذه الصندوقة عن الأذن الداخلية بفتحتـــين مسدودتين بغشاءين يسميان النافذة البيضوية والنافذة المدورة. كمـــا تربـــط العظيمات السمعية (المطرقة، السندان، الركاب) غشاء الطبل بالنافذة البيضوية. ويخرج من وسط التيه العظمي قناة ملفوفة حول نفسها تدعى الحلزون، حيـث يقسمه الرباط الحلزوني والغشاء القاعدي إلى طابقين هما الزاحف الدهلـــيزي والزاحف الطبلي كما في (الشكل 3) الذي يمثل مخطط الأذن الداخلية.

يوجد في الزاحف الدهليزي قناة دهليزية تحتوي على عضو حساس للســـمع يدعى عضو كورتي كما في (الشكل 4). المؤلف من خلايا هدبية حسية ترتكز علـى الغشاء القاعدي، ويتقدم غشاء كورتي خلايا هدبية وحول هذه الخلايـــا تتشـــكل تفرعات خلايا عصبية ثنائية القطب تنتهي بعقدة تدعى عقدة كورتي. وتشكل محاور الخلايا العصبية الثنائية القطب ما يسمى بالعصب الحلزوني السمعي الذي يكون جزءاً من الزوج القحفي الثامن (العصب الحلزوني الدهليزي) وتتصل هذه المحـــاور عنـــد سوية نواة البصلة الحلزونية مع عصبون ثان (عصبون البصلة المهادي) وتتصل المحـلور العصبية لهذا العصبون بدورها عند الجسم الركبي الداخلي للمهاد مع عصبون ثـــالث (عصبون المهادي القشري) الذي تظهر محاوره في المنطقة السمعية الأولى حيث تلتقي مع العصبون الرابع داخل القشرة.



الشكل 3



الشكل 4

III – الأذن:

تؤمن الأذن التحليل الطيفي للرسالة الصوتية، حيث تلعب بنفس الوقت دور مستقبل وناقل ومحلل هارموني.

ويمثل المستقبل بالأذن الخارجية والأذن الوسطى.

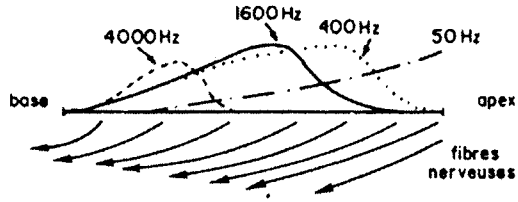
– **الأذن الخارجية**: وتتألف من الصيوان ومجرى السمع الخارجي الذي يبلغ طوله 25mm، يقوم بحماية الغشاء الطبلي من التمزق الميكانيكي والفروق الحرارية. وهي تقوم بتجميع ونقل الرسالة الصوتية إلى الأذن الوسطى (الوجه الخارجي لغشاء الطبل).

- **الأذن الوسطى**: وهي مسؤولة عن نقل الصوت من الوسط الهوائي (الأذن الخارجية) إلى الوسط السائلي (الأذن الداخلية) بأقل خسارة ممكنة في الطاقة، ويتحقق ذلك بتخفيض السعة وزيادة الضغط الاهتزازي الصوتي، وهذا ما تقوم به سلسة العظيمات بتأثير آلية الرافعة وبتأثير المساحة (نسبة سطح غشاء الطبل إلى سطح النافذة البيضوية تقريبا حوالي 18) أي أن الضغط الصوتي يرتفع بمعدل 18 مرة ما بين غشاء الطبل والنافذة البيضوية. ويضاف لذلك أن مقبض المطرقة الملتصق بغشاء الطبل أطول من الجزء الملتصق من السندان مع الركابي وهذا بدوره يعطي زيادة أيضا في الضغط بمعدل 1,3. ونستطيع القول بأن معدل ارتفاع الضغط هو بحدود 20 مرة. وبهذا تنتقل الأمواج عبر مجرى السمع إلى الأذن الداخلية بدون خسارة.

تتصل الأذن الوسطى مع الأنف والحلق عن طريق بوق الأذن (نفير أوستاش) الذي ينفتح عند كل حركة بلع محققا بذلك توازن الضغط على

وجهي غشاء الطبل. ولهذا عند الارتفاعات العالية يكون الفرق كبيرا ما بين الضغط الخارجي والضغط في الأذن الوسطى ويتم تعديل ذلك بالبلع أو التثاؤب. وإن قلة السمع عن طريق نقل الصوت تكون ناتجة عن امتصاص الهواء الموجود داخل نفير أوستاش من جراء التهابات أدت إلى التصاق نفير أوستاش وعدم استطاعته أن ينفتح مما يؤدي ذلك إلى انجذاب غشاء الطبل نحو الداخل مع ألم ناتج عن الشد، وبنفس الوقت تسوء عملية نقل الصوت إلى الأذن الداخلية. ومن جهة أخرى لو بقي نفير أوستاش مفتوحا لسمعت جميع الأمواج الصوتية في الأنف والحلق لأنها تنتقل عن طريق نفير أوستاش إلى الأذن الوسطى فيهتز بذلك غشاء الطبل من الداخل وعندها تسمع كل حركة تنفس.

– **الأذن الداخلية**: تعتبر الأذن الداخلية المسؤولة عن تحويل تغيرات الضغط الصوتي إلى إشارة لغوية بوساطة العصب السمعي. وبسبب وجود النافذة المدورة فإن تغيرات الضغط الصوتي عند النافذة البيضوية قادرة على توليد حركة في السائل اللمفي المحيطي (على الرغم من عدم انضغاطية السائل) تنتقل إلى أهداب خلايا عضو كورتي بوساطة الغشاء القاعدي. وبسبب الشكل والخواص الميكانيكية للغشاء القاعدي ذي الاتساع والمرونة المتزايدة ابتداء من القاعدة وحتى الذروة، يوجد توزع دقيق لترددات الاهتزازات على طول الحلزون بدءا من الترددات المنخفضة قرب الذروة إلى الترددات العالية عند القاعدة كما في (الشكل 5) الذي يوضح مطال الحركة في كل نقطة من الغشاء القاعدي من أجل أربعة أصوات ذات ترددات مختلفة.



الشكل 5

كما يوجد فرق في الكمون مقداره 150 mv ما بين الوجه الداخلي والوجه الخارجي للخلايا الهدبية الحسية. أما كمون اللمف الباطني فيساوي 80 mv إذا كان المسرى لا يختلف عن المسرى القياسي، بينما يبلغ الكمون داخل الخلية الهدبية 70mv- . وإن اهتزازات الغشاء القاعدي بفعل تحريض صوتي هي المسؤولة عن حركة أهداب الخلايا الحسية متسببة بتغيير فرق الكمون عبر الغشاء. ونشير أخيرا إلى أن الأذن الداخلية تلعب دور محول حيث تحول الإشارة الصوتية (اهتزازة دورية) إلى إشارة كهربائية (فرق الكمون).

IV – المسالك والمراكز العصبية:

تقوم الأذن بدور مستقبل ومحول بآن واحد، وعندما تزود بإشارة كهربائية فإن الكمون الحلزوني يحدث إشارة صوتية تقوم الأذن بتحليل طيفي لها. وإن المسالك العصبية لا يمكنها نقل الإشارة إلا إذا كانت على شكل نبضات (تمثل النبضة بكمون عمل) لا يتجاوز ترددها 10^3 Hz ولذلك كان من الضروري إيجاد جملة ترميز تسمح بالانتقال من النموذج القياسي إلى النموذج النبضي ولاعتبارات تتعلق بشدة وتردد الصوت فإن العصب السمعي يتألف من 30000 ليف تقريبا.

V – مدخل إلى الفحص الوظيفي للسمع:

يسعى الفحص الوظيفي للسمع إلى كشف الصمم (نقص السمع) وتحديد نمطه ودرجته بالإضافة إلى الأجهزة اللازمة لهذا الفحص ونميز:

- الصمم الانتقالي (التوصيلي): ويرتبط بالخلل الوظيفي للمستقبل (الأذن الخارجية والوسطى)
- الصمم الحسي: ويرتبط بالخلل الوظيفي للمحول (الحلزون).
- الصمم الخلف الحلزوني (الخلف التيهية): ويرتبط بإصابة المسالك العصبية (على الأغلب التهاب العصب السمعي الناجم عن الورم).
- الصمم المركزي: ويرتبط بإصابة المراكز العصبية.

1 – الفحص الوظيفي الشخصي: ويقصد به الفحص اللازم إجراؤه للشخص القادر على فهم ما يطلب منه. والطرق التي سترد تظل الأكثر استخداما وسهولة في تحديد الدقة المرجوة من الفحص.

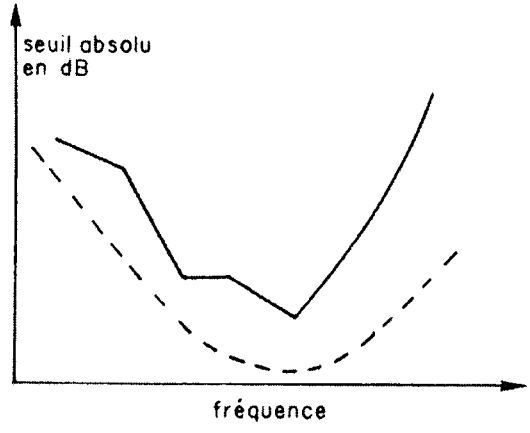
a – قياس السمع: وهي طريقة سهلة وقليلة الكلفة.

- **قياس السمع الصوتي**: في هذا القياس يطلب من الشخص تكرار عبارات تقال له بصوت خافت.
- **قياس السمع الآلي**: يتم سماع شوكات رنانة تطلق ترددات مختلفة يمكن استخدامها بالتوصيل الهوائي (إذا وضعت على بعد 2cm من الصيوان) أو بالتوصيل العظمي (إذا وضعت على الناتئ الخشائي) وإن المستقبل هنا هو عبارة عن الأذن الخارجية والأذن الداخلية وإن الشوكات الرنانة تطلق صوتا يستمر

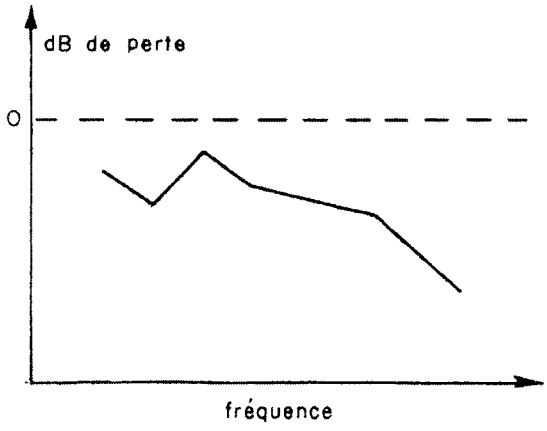
لفترة محددة تماما تتناقص سعته تدريجيا (تخامد موجي طفيف) ونقص السمع يظهر بنقصان أو انخفاض مدة سماع الصوت.

b – **تخطيط السمع**: إنها الطريقة الأكثر استخداما والأكثر دقة ولكنها تتطلب جهازا غالي الثمن (جهاز قياس السمع).

– **تخطيط السمع الصوتي البدائي**: يسمح تخطيط السمع الصوتي البدائي برسم منحني العتبات لأصوات صافية ذات ترددات متغيرة مسموعة بالنقل الهوائي (على قناع) أو بالنقل العظمي (باستخدام هزاز) ومن ثم نغير تدريجيا سوية شدة الصوت. تسمح هذه الطريقة بتقدير الخسارة فوق السوية الطبيعية ويعبر عنها بالديسيبل وذلك من أجل كل تردد كما في (الشكل 6) حيث يعبر الخط المنقط عن شخص طبيعي والخط المستمر عن شخص مصاب بالصمم.



الشكل 6



الشكل 7

- **تخطيط السمع الصوتي فوق البدائي**: يبحث تخطيط السمع الصوتي فوق البدائي عن انحرافات الأحاسيس الصوتية الموجودة عند التهابات الأذن الداخلية. ويسمح أيضا هذا التخطيط بتوضيح ظاهرة التعبئة المؤدية إلى انخفاض في حقل الصوت السمعي (ارتفاع العتبة المطلقة وبالتالي الصمم مع نقصان عتبة الشعور بالألم). وبمعنى آخر فالشخص يشتكي من عدم السماع عند التكلم بصوت منخفض ولكنه يشتكي أيضا من أننا نصرخ بقوة حالما نرفع الصوت قليلا. ويتم توضيح هذه الظاهرة بإجراء اختبار فولر كما في (الشكل 7) الذي يوضح الفروقات بالنسبة لعتبة شخص طبيعي (الديسيبلات الضائعة).

وتوجد هذه الحالة تحديدا في الالتهابات الحلزونية والأعصاب المتممة.

- **تخطيط السمع النطقي**: يعتبر تخطيط السمع النطقي أكثر دقة من قياس السمع الصوتي؛ لأن الكلمة الصادرة من مكبر صوت بشدة محددة تسمح بتحديد درجة العجز للشخص الأصم.

2 – الفحص الوظيفي الموضوعي:

a – كمون التأثير الكلي: يرتكز التخطيط الحلزوني الكهربائي على تسجيل كمون التأثير الكلي (P_A) للعصب السمعي باستخدام مسرى قطره صغير (0,2mm) مغروز (تحت تخدير موضعي) في القسم الخلفي السفلي لغشاء الطبل حتى مقربة من النافذة المدورة. ويسمح التحريض الصنعي بإلغاء الكمون الميكروفوني الحلزوني.

ولتخفيض النسبة إشارة/ضجيج تعالج الإشارة الملتقطة بمعالج خاص.

b – الكمونات السمعية الأولية المحرضة: لا يمكن بسهولة تسجيل الاستجابات المخيخية لتحريض صوتي؛ لأن هذا يتطلب وضع مساري بتماس المساحة القشرية السمعية.

مسائل غير محلولة

- عندما نضرب طرف أنبوب فولاذي، فإن المراقب الموجود عند الطرف الآخر للأنبوب يسمع صوتين منفصلين عن بعضهما البعض بزمن قدره (1,4 Sec).

احسب طول الأنبوب علما بأن سرعة الصوت في الهواء هي $\left(330\frac{m}{Sec}\right)$ وسرعته في الفولاذ هي $\left(5000\frac{m}{Sec}\right)$.

- ترسل باخرة إشارة صوتية قصيرة جدا إلى قعر البحر خلال زمن قدره θ. وإنه عندما تقطع هذه الباخرة إرسالها، فإنها تستطيع استقبال الإشارة المنعكسة عن قعر البحر والتي تصل إلى مستقبل الباخرة بعد زمن قدره t من بداية الإرسال.

a – احسب عمق البحر في هذا المكان.

تطبيق عددي: سرعة الصوت في البحر 1500 m/Sec و t = 1,2 Sec.

b – ما هي قيمة θ الأعظمية التي تسمح بقياس عمق قدره 1m.

- ما مقدار فرق مستوي الشدة ما بين موجتين صوتيتين مطال ضغطهما P_1 و P_2.

- إذا كان سطح نافذة مفتوحة $1m^2$ وكانت سوية الشدة الصوتية فيها 60 (dB). فما هي الاستطاعة الصوتية التي تدخل إلى الصالة من خلال هذه النافذة.

- احسب مطال اهتزاز جزيئات الهواء في موجة صوتية شدتها $10^{-12}\frac{w}{m^2}$ وترددها 3000 دورة في الثانية. علما بأن الممانعة الصوتية للهواء $430\frac{Kg}{m^2Sec}$.

أعد السؤال نفسه بالنسبة للشدة الموافقة لسوية الشعور بالألم.

- حدد بمساعدة فائقة الصوت سرعة انسياب مائع وذلك عند وضع محولات (جمل قادرة على إصدار واستقبال نبضات فائقات الصوت بشكل متناوب) في A وB كما هو موضح في الشكل وبحيث يصنع المنحى AB زاوية α مع منحى انسياب المائع.

بين أنه إذا كانت t_1 وt_2 الزمن اللازم لفائقات الصوت على الترتيب بغياب قطع المسافات BA وAB فإن معرفة $(t_2 - t_1)$ و$(t_2 + t_1)$ تسمح لنا بمعرفة سرعة المائع (يتحدد موضع AB بالزاوية α).