بسمه تعالی

دانشگاه صنعتی شریف

دانشکده‌ی فیزیک

دستور کار

آزمایشگاه الکتروآکوستیک

استاد محترم:

آقای دکتر امجدی

تهیه و تنظیم:

زهره داودی

بهار۸۶

فهرست:

مقدمه: **۳**

آزمایش شماره‌ی ۱:..... **۵**

بررسی آستانه‌ی شنوایی انسان در فرکانس‌های مختلف

آزمایش شماره‌ی ۲:..... **۱۰**

اندازه‌گیری زمان بازآوایش در اتاق زنده و اتاق سکوت

آزمایش شماره‌ی ۳:..... **۱۵**

اندازه‌گیری ضریب جذب و امپدانس آکوستیکی مواد مختلف

آزمایش شماره‌ی ۴:..... **۲۱**

اندازه‌گیری فرکانس طبیعی

آزمایش شماره‌ی ۵:..... **۲۶**

طرح‌های کلادنی

آزمایش شماره‌ی ۶:..... **۳۲**

تعیین مشخصه‌ی بلندگو

آزمایش شماره‌ی ۷:..... **۳۷**

همهمه

ضمیمه ی ۱: **۴۰**

آشنایی با نرم افزارهای مورد نیاز در آزمایشگاه

ضمیمه‌ی ۲: **۴۸**

طرح‌های کلادنی

منابع و مآخذ: **۵۸**

مقدمه:

آن‌چه شما در این آزمایشگاه تجربه خواهید کرد، تعدادی آزمایش کوتاه و مقدماتی است که قصد دارد برخی از مفاهیم کلیدی را که در قالب درس آکوستیک فراگرفته‌اید، بر شما عرضه کند. دانش تئوریک مورد نیاز برای گذراندن این آزمایشگاه علی‌الاصول در اختیار دانشجوی کارشناسی فیزیک می‌باشد و درصورتی‌که درس آکوستیک را نیز گذرانده باشد، از آزمایش‌ها بهره‌ی بیشتری خواهد برد.

آزمایش‌ها به‌گونه‌ای طراحی شده‌اند که بیش از هر چیز شما را به فکرکردن و تحلیل و بررسی داده-های به‌دست‌آمده وادارند. به‌طوریکه شما دریابید عددهای به‌دست‌آمده که در قالب جدول و نمودار پیش‌رو دارید، چه رفتاری از خود نشان می‌دهند و این رفتار آن‌ها بیانگر کدام ویژگی محیطی است که در آن قرار دارید و ا صلا این رفتار همان چیزی است که انتظار داشته‌اید یا خیر. این روند شما را به این جهت سوق می‌دهد که دیگر همه چیز را به دقت زیرنظر داشته باشید و به عوامل ایجاد خطا در آزمایشتان کاملا توجه کرده و آن‌ها را تا حدامکان کنترل کنید.

اما قبل از آن‌که دست به کار انجام آزمایش‌ها شوید، لازم است به نکات زیر توجه داشته باشید:

۱. نظم و انضباط شرط موفقیت است. سعی کنید همواره به موقع در آزمایشگاه حاضر شوید و آزمایش‌ها را با دقت و نهایت حوصله انجام دهید. تاخیر و عجله نه تنها سبب آشفتگی و دستپاچگی خودتان در انجام آزمایش می‌شود، غالبا برای گروه‌های دیگر نیز مشکلاتی پدید می‌آورد.

۲. قبل از انجام آزمایش حتما به تئوری آن مسلط شوید تا بدانید دقیقا قرار است چه کاری انجام دهید و چه اطلاعاتی به دست آورید. مطمئن باشید اطلاع از جنبه‌های نظری آزمایش عملکرد شما را به کلی تحت تاثیر قرار خواهد داد و توجه شما را از برخی جوانب کم‌اهمیت کار به جنبه‌های اصلی و تاثیرگذار آن معطوف می‌دارد.

۳. کارگروهی را در آزمایشگاه فراموش نکنید و اجازه دهید همه‌ی اعضای گروه به تناسب توانایی-هایشان قسمتی از کار را بر عهده بگیرند. آزمایش‌ها به‌گونه‌ای هستند که عموما یک نفر به تنهایی قادر نیست به راحتی آن‌ها را به انجام برساند.

۴. رعایت سکوت و پرهیز از ایجاد صداهای نامطلوب در آزمایشگاه آکوستیک ضروری است. غالبا خود یا دوستان شما مشغول انجام آزمایش‌هایی هستید صداهای محیط روند انجام آن‌ها را مختل می‌کند.

۵. مهارت در به‌کارگیری نرم‌افزارهای مورد نیاز برای تولید، ثبت و تحلیل داده‌ها در آزمایشگاه آکوستیک به اندازه‌ی مهارت شوت‌زنی برای یک بازیکن فوتبال ضروری است. نرم‌افزار به نوعی ابزار شما برای تولید داده‌های خام اولیه و در نهایت مترجم شما برای تبدیل داده‌های خروجی به نتایج معنادار است.

اما آن‌چه پس از انجام آزمایش اهمیت دارد، تحلیل داده‌ها و ارائه‌ی نتایج به‌دست‌آمده در قالب گزارش‌کار است. گزارش نوشته‌ایست که به وسیله‌ی آن یک فرد نتایج و جزئیات یک کار، مشاهده یا آزمایش را برای قضاوت یا تصمیم‌گیری در اختیار دیگران قرار می‌دهد. موضوع گزارش هرچه باشد، بسیار مهم است که گزارش به گونه‌ای نوشته شود که بیشترین اطلاعات را در کمترین حجم منتقل کند، ضمن این‌که کامل و به دور از تحریف باشد. گزارشگر تمام جزئیات را بدون هیچ‌گونه استنباط شخصی آورده و سپس در جای خود به بحث و تحلیل آن‌ها می‌پردازد. گزارش‌کار باید به فرمت مقاله و شامل بخش‌های زیر باشد:

۱. بیان مختصری از هدف آزمایش، نحوه‌ی انجام آن و نتایج حاصل‌شده در قسمت چکیده.

۲. بیان مبانی نظری آزمایش، هدف و شرح مختصری از نحوه‌ی رسیدن به آن هدف در قسمت مقدمه.

۳. شرح آزمایش شامل وسایل و امکانات مورد نیاز، نحوه‌ی انجام آزمایش، ارائه‌ی داده‌های خام و عوامل ایجاد خطا.

۴. اعلام نتایج و بیان چگونگی تحلیل داده‌ها برای به‌دست‌آوردن آن نتایج.

آزمایش شماره‌ی ۱:

بررسی آستانه‌ی شنوایی انسان در فرکانس‌های مختلف

تئوری و هدف آزمایش:

رسایی یک صدا فاکتوری است که روش دقیقی برای اندازه‌گیری آن وجود ندارد. احساس شنیدن از فردی به فرد دیگر فرق می‌کند. زیرا گوش به عنوان یک اندام حسی مانند سایر انـدام هـای بـدن از قدرت و ضعف نسبی برخوردار است. اما یکی از ساده‌ترین اندازه گیری های مربوط به توانایی گوش تعیین این است که حداقل تراز شدت قابل درک چگونه با فرکانس تغییـر مـی‌کنـد. حـداقل شـدت آکوستیکی که برای تشخیص یک فرکانس لازم است آستانه‌ی شنوایی همان فرکانس گفته می‌شود. اندازه گیری مربوط به این آستانه ها به وسیله‌ی عده‌ای از پژوهشگران صورت گرفته است. چنان‌کـه انتظار می‌رود، نتیجه‌های اندازه‌گیری بر روی افراد از فردی به فرد دیگر تغییر مـی‌کنـد، حتـی اگـر همه دارای شنوایی عادی باشند. از طرفی آستانه‌ی شدت تابع سن گوش دهنده است و با بالا رفـتن سن حساسیت گوش نسبت به فرکانس‌های زیاد بسیار کم می‌شود. به‌علاوه، شـکل صـحیح منحنـی آستانه، تابع شیوه‌ای است که شدت صوت توسط آن اندازه‌گیری شده است. مثلا نتایج انـدازه‌گیـری در لاله‌ی گوش، در میدان آزاد یا محیط بسته متفاوت است. همچنین شکل منحنی آستانه‌ی شدت تابع امتداد تابش پرتوهای صوتی و نیز شنوایی با یک یا دو گوش است.

فرکانسی که در آن حداکثر حساسیت وجود دارد برای گـوش عـادی در نزدیکـی ۳۰۰۰ سـیکل بـر ثانیه است که تا حدودی می‌توان آن را به حساب تشدید در مجرای شنوایی گذاشت. منحنی آستانه در فرکانسی نزدیک به ۱۰۰۰ سیکل بر ثانیه از خط صفر دسـی‌بـل عبـور مـی‌کنـد و بـا کـم‌شـدن فرکانس به طور منظمی زیاد می‌شود، چنان‌که در فرکانس ۵۰ سیکل بر ثانیـه حـداقل شـدتی کـه برای درک کردن آن لازم است، حدود ۱ میلیون برابر شدتی اسـت کـه بـرای درک فرکـانس ۳۰۰۰ سیکل بر ثانیه لازم است.

در فرکانس‌های زیاد نیز منحنی آستانه صعود می‌کند، و میزان افزایش در نزدیکی حد بالا آن چنان سریع است که می‌توان گفت در آن‌جا انقطاع تند صورت می گیرد. در حدود این فرکانس است که بیشترین اختلاف‌ها در گوش شنوندگان مشاهده می‌گردد، مخصوصا اگر بعضی از آن‌ها بیش از ۳۰ سال داشته باشند. فرکانس انقطاع برای مرد یا زن جوان ممکن است به ۲۰۰۰۰ یا بیشتر برسد، اما برای کسانی که سنشان ۴۰ یا ۵۰ باشد، به ندرت می‌وانند فرکانس بیش از ۱۵۰۰۰ را درک کنند. در فرکانس‌های کمتر از ۱۰۰۰ سیکل بر ثانیه آستانه‌ی شنوایی اصلا تابع سن شنونده نیست.

در این آزمایش که با استفاده از نرم‌افزار Cool Edit انجام می گیرد، سعی شده است که آستانه‌ی شنوایی فرد در فرکانس های مختلف با دقت هرچه بیشتر ثبت گردد تا بتوان به الگوی مناسبی برای رابطه‌ی میان فرکانس و آستانه‌ی شنوایی دست‌یافت.

وسایل و امکانات مورد نیاز:

نرم‌افزار Cool Edit Pro 2,1

اتاق سکوت

هدفون

روش انجام آزمایش:

ابتدا با استفاده از نرم‌افزار Cool Edit Pro 2,1 و بر اساس جدول -۱- فرکانس‌هایی در بازه‌ی ۱۰۰ تا ۲۰۰۰۰ هرتز بر روی نوت‌بوک خود تولید کنید، برای این‌کار به قسمت Generate در منوی نرم‌افزار بروید و در آن Tones را انتخاب کنید، در پنجره‌ی ایجاد شده Sample Rate را برابر ۴۴۱۰۰ برگزیده و آن‌را تایید نمایید. در پنجره‌ی بعد، کافیست Base Frequency و Duration مورد نظر را وارد کرده و تایید کنید. Cool Edit صوت مورد نظر را با فرکانس و بازه-ی زمانی مشخص تولید می‌نماید. بازه‌ی زمانی پخش هر فرکانس را ۴۵ ثانیه تا ۱ دقیقه منظور کرده و میان آن‌ها یک بازه ی دلخواه مثلا ۱۰ تا ۱۵ ثانیه سکوت (Silence) قرار دهید. برای تولید سکوت کافیست پس از آن‌که انتهای صوت تولید شدی مرحله‌ی قبل کلیک کردید، مجددا به

قسمت Generate بروید و این‌بار گزینه ی Silence را انتخاب نمایید. در پنجره‌ی ایجاد شده Silence Time مورد نظر را وارد کرده و تایید کنید.

پس از آن‌که فایل صوتی فوق را تولید و ذخیره نمودید، با گروه خود در اتاق سکوت مستقر شوید و فایل را در آن‌جا اجرا نمایید. در این‌حال باید یکی از اعضای گروه با استفاده از هدفون، یکی پس از دیگری به فرکانس‌های تولید شده گوش فرا دهد و فرد دیگر در حین پخش آن فرکانس، اقدام به تغییردادن شدت صوت نماید.

فرکانس(هرتز)	۱۲۵	۲۵۰	۵۰۰	۱۰۰۰	۲۰۰۰	۴۰۰۰	۸۰۰۰	۱۶۰۰۰
شدت صوت(دسی بل)								

جدول-۱- افزایش شدت

فرکانس(هرتز)	۱۲۵	۲۵۰	۵۰۰	۱۰۰۰	۲۰۰۰	۴۰۰۰	۸۰۰۰	۱۶۰۰۰
شدت صوت(دسی بل)								

جدول-۲- کاهش شدت

تغییر شدت را به دو صورت انجام دهید: یکبار شدت صوت را از یک مقدار مینیمم که در آن مطلقا هیچ صدایی شنیده نمی‌شود، به تدریج افزایش دهید تا جایی که فرد مستمع احساس کند که اکنون صدای مورد نظر را می‌شنود. این شدت را در جدول -۱- در قسمت افزایش شدت برای فرکانس مورد نظر ثبت کنید. یکبار شدت صوت را از یک مقدار ماکزیمم که در آن کاملا صدا به گوش می‌رسد، به تدریج کم نمایید تا لحظه ای که فرد مستمع احساس کند که صدای مورد نظر قطع شده است. این شدت را در جدول-۲- در قسمت کاهش شدت برای فرکانس مورد نظر ثبت کنید. تمام اعضای گروه باید یک‌بار باید به عنوان مستمع این فرآیند را تکرار نمایند.

روش تغییر شدت به این صورت است که در نوار ابزار نرم افزار بر روی قسمت Switch to Multitrack View کلیک کرده و وارد نمایی دیگر از نرم‌افزار شوید، آن‌گاه فایل ذخیره شده‌تان را در این قسمت باز و اجرا کنید. در این نما مشاهده می‌کنید که قسمتی تحت عنوان Track Properties وجود دارد و حاوی ستونی با یک نشان‌گر است که با جابه‌جا کردن آن به وسیله‌ی موس، شدت صوت اجرا شده بر حسب دسی‌بل تغییر می کند.

در حین انجام آزمایش در حفظ سکوت کوشش کنید تا از مختل کردن تمرکز صوتی فرد مستمع جلوگیری شود. برای آن‌که شخص دچار توهم نگردد و دیرتر یا زودتر از از زمان واقعی دچار احساس شنیدن یا عدم شنیدن نشود، لازم است خود از نگاه کردن به مانیتور و آگاهی از شدت صوت در هر لحظه پرهیز کند و تمام توجه خود را به شنیدن معطوف دارد.

خواسته‌های آزمایش:

۱- نمودار شدت بر حسب فرکانس را بر هر شخص به طور جداگانه رسم کنید. هر نمودار باید حاوی داده‌های مربوط به افزایش و کاهش شدت برای آن شخص باشد تا امکان مقایسه‌ی همزمان وجود داشته باشد. این مقایسه را انجام دهید و نتیجه را تحلیل نمایید.

۲- نمودار شدت بر حسب فرکانس مربوط به همه‌ی آزمایشگران را یک‌بار برای افزایش شدت و یک‌بار کاهش آن در یک دستگاه مختصات رسم نمایید. به نظر شما کدام‌یک از آزمایشگران از شنوایی بهتری برخوردار بوده است؟ در چه شرایطی مجازیم چنین مقایسه‌ای میان آزمایشگران انجام دهیم؟

۳- گوش انسان در کدام بازه‌ی فرکانسی بهتر عمل می‌کند؟ آیا داده‌های شما نیز این بازه را پیشنهاد می‌کند؟ اگر اختلافی با مقادیر پیش‌بینی‌شده مشاهده می‌کنید، علت آن را حدس بزنید.

۴- به نظر شما عوامل ایجاد خطا در این آزمایش چیست؟ راهکار خود را برای رفع این عوامل بنویسید.

فعالیت ویژه:

۱- توانایی گوش‌های خود را در درک صداها با یکدیگر مقایسه کنید. برای این‌کار کافیست گوش دادن به صدا را با فرکانس‌های گوناگون هر بار توسط یکی از گوش‌های خود انجام دهید. داده‌ها را ثبت نموده و آن‌ها را با یکدیگر مقایسه نمایید و بنابراین عنوان کنید کدام‌یک از گوش‌هایتان قوی‌تر است.

۲- از افراد مسن‌تر و جوان‌تر از خود بخواهید که این آزمایش را انجام دهند. داده‌های به دست آمده را ثبت کنید و توانایی شنیداری افراد را با توجه به سن آن‌ها ارزیابی نمایید. عنوان کنید که بهترین بازه‌ی فرکانسی در این افراد کدام است و چه تفاوتی با افراد عادی دارد.

آزمایش شماره‌ی ۲:

اندازه‌گیری زمان بازآوایش در اتاق زنده و اتاق سکوت

تئوری و هدف آزمایش:

تعریفی که سباین، فیزیکدان قرن نوزدهم میلادی از زمان بازآوایش محیط بسته می‌دهد، چنین است: عده‌ی ثانیه‌هایی که لازم است تا شدت صوتی که تراز آن ۶۰ دسی‌بل بالاتر از آستانه‌ی شنوایی است، به تراز آستانه‌ی شنوایی برسد. این پارامتر هنوز تنها پارامتر مهم در تشخیص خاصیت آکوستیکی اتاق‌ها به‌شمار می‌رود. معادله‌ی ساده‌ای که سباین نوشت، چنین است:

$$T = \frac{0.161V}{a}$$

معادله‌ی بالا برای محاسبه‌ی زمان بازآوایش اتاق به‌کار می‌رود، و برای تعیین آن فقط کافی است حجم اتاق V و ظرفیت کلی جذب انرژی آکوستیکی اتاق a ، را بدانیم. متفرعات نظری این فرمول اساسا بر مفهوم آکوستیک هندسی یا پرتوی نهاده شده است. در این نظریه فرض این است که انرژی صوتی که از منبع واقع در اتاق بیرون می آید، به شکل پرتوهای واگرا از آن خارج می‌شود، وهر بار این پرتوها به دیوار اتاق برخورد کنند، قسمتی از آن‌ها باز می‌تابد، و قسمتی دیگر در اتاق جذب می‌شود.پس از تعداد زیادی بازتاب‌های پیاپی می‌توان پذیرفت که صوت در فضای اتاق پخش شده است. یعنی چگالی متوسط انرژی در تمام حجم اتاق به یک اندازه است، و از این‌رو احتمال انتشار صوت در تمام جهات یکسان است. البته این نظریه رفتار واقعی موج‌های صوتی را در اتاق، به ویژه در فرکانس‌های پایین، بیش از حد ساده می‌کند. زیرا عوامل مهمی چون مدهای عادی ارتعاش اتاق، جایگاه مواد خاص گوناگون، تداخل و پراش موج‌های صوتی، و پارامترهای متعلق به شکل اتاق را نادیده می‌گیرد. با این وجود، همین فرمول غالبا نتیجه‌های کلی رضایت بخشی به دست می‌دهد. یکی از اهدافی که در این آزمایش مورد نظر ماست، این است که ضمن به دست آوردن زمان بازآوایش در دو محیط بسته، یکی

جذب کننده‌ی کامل یا اتاق سکوت، و دیگری نقطه‌ی مقابل آن یعنی اتاق زنده، بر اساس فرمول سباین به تقریب خوبی برای ظرفیت جذب آکوستیکی اتاق‌های مورد نظر دست یابیم.

موضوع جالب توجه دیگر آن است که شدت صوت در محیطی که تا حد ایده‌آلی از جذب کردن امواج صوتی خودداری می‌کند، با چه الگویی افت می کند، بر اسای مدل کلاسیکی انتشار پرتوها در محیط اتاق، شدت I در هر زمان t با شدت اولیه‌ی I_0 با رابطه‌ی زیر بستگی دارد:

$$I = I_0 e^{-\frac{ac}{4V}t}$$

بدیهی است که با داشتن a ظرفیت جذب آکوستیکی اتاق می‌توان ضریب افت اتاق را که به صورت زیر تعریف می‌شود، به دست آورد:

$$\alpha = \frac{ac}{4V}$$

که در این روابط، c سرعت صوت در محیط و برابر (m/s) ۳۴۳ می‌باشد. بنابراین، با یک اندازه‌گیری تجربی از زمان بازآوایش، خواهیم توانست برخی از ویژگی‌های آکوستیکی اتاق‌های زنده و سکوت در آزمایشگاه را تعیین کنیم.

وسایل و امکانات مورد نیاز:

نرم‌افزار Cool Edit Pro 2.1

اتاق سکوت

اتاق زنده

بلندگو

میکروفون

شرح آزمایش:

قبل از شروع آزمایش لازم است با استفاده از نرم‌افزار، بر اساس جدول -۱- فرکانس‌های موردنظر را تولید نمایید. برای این کار به قسمت Generate در منوی نرم افزار بروید و در آن Tones را انتخاب کنید، در پنجره ی ایجادشده Sample Rate را برابر ۴۴۱۰۰ برگزیده و آن را تایید نمایید. در پنجره-

ی بعد، کافیست Base Frequency و Duration مورد نظر را وارد کرده و تایید کنید. Cool Edit صوت مورد نظر را با فرکانس و بازه‌ی زمانی مشخص تولید می‌نماید. بازه‌ی زمانی پخش هـر فرکـانس را ۱۵ تا ۳۰ ثانیه منظور کرده و میان آن‌ها ۱۵ تا ۳۰ ثانیه سـکوت (Silence) قـرار دهیـد. بـرای تولیـد سکوت کافیست پس از آن‌که انتهای صوت تولید شده‌ی مرحله‌ی قبل کلیک کردید، مجددا بـه قـسمت Generate بروید و این‌بار گزینه ی Silence را انتخاب نماییـد. در پنجـره‌ی ایجـاد شـده Silence Time مورد نظر را وارد کرده و تایید کنید.

فرکانس(هرتز)	۱۲۵	۲۵۰	۵۰۰	۱۰۰۰	۲۰۰۰	۴۰۰۰	۸۰۰۰	۱۶۰۰۰
زمان بازآوایش(ثانیه)								

جدول-۱-

نوت‌بوک خود را در اتاق سکوت قرار دهید و پس از اجرای نرم‌افزار، میکروفـون را بـه آن وصـل کـرده و نرم‌افزار را در وضعیت ضبط صدا قرار دهید. برای انجام این‌کار، کافیست در صفحه‌ی اصلی نرمرافزار، بـر روی آیکون Record که به شکل یک دایره‌ی کوچک قرمز رنگ است، کلیـک نماییـد. ایـن آیکـون در پایین، سمت چپ صفحه‌ی مانیتور دیده می‌شود. فایل صوتی تولیـد شـده را اکنـون بـر روی کـامپیوتر آزمایشگاه ذخیره نمایید و پس از آن‌کـه از آمـاده‌بـودن بلنـدگو و میکروفـون موجـود در اتـاق سـکوت اطمینان حاصل کردید، درب اتاق را بسته و اقدام به پخش فایل نمایید. پس از اتمام کار حتما به خـاطر داشته باشید که فایل ضبط شده را با عنوان مناسب ذخیره نمایید.

حال همین مراحل را در مورد اتاق زنده نیز انجام دهید. از دوستان خود در آزمایـشگاه بخواهیـد کـه تـا زمان اتمام پخش فایلتان تا حدی سکوت را رعایت کرده و از تولید صداهای بلنـد و ناهنجـار خـودداری کنند، چراکه ممکن است در مرحله‌ی تحلیل صوت ضبط شده در اتاق زنده با مشکل مواجه شوید.

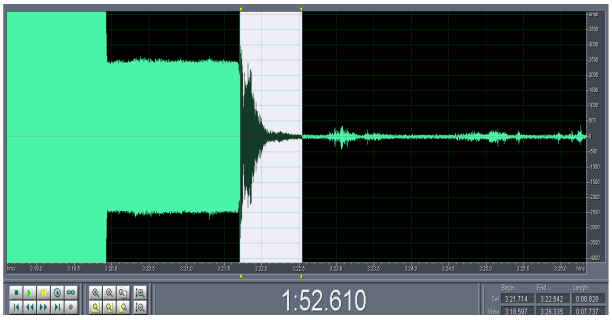
اما قسمت اصلی آزمایش به دست آوردن زمان بازآوایش برای هر فرکانس است. همان طور که گفته شد زمان بازآوایش زمانی است که از لحظه‌ی قطع صدا در اتاق سپری می‌شود تـا شـدت صـوت نـسبت بـه شدت اولیه اش ۶۰ دسی‌بل کاهش یابد. برای تشخیص این زمان ابتدا بـه قـسمت Analyze از منـوی نرم‌افزار بروید وShow Frequency Analyze را انتخاب کنید. با این کار نمـودار شـدت بـر حـسب

فرکانس در هر لحظه از زمان برای صوت در حال اجرا به نمایش درمی‌آید. ملاحظه می کنید کـه حتـی برای صداهای تک‌فرکانس تولید شده، پیوستاری از فرکانس‌ها وجود دارد که البته قله‌های نمودار مربوط به فرکانس اصلی و هماهنگ‌های آن است.

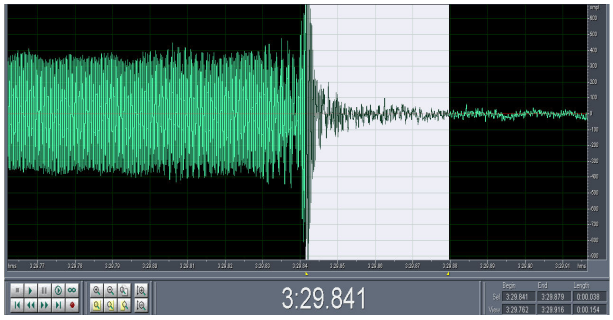
با کلیک بر هر قسمت از موج در حال پخش، نمودار شدت-فرکانس همان قسمت نشان داده می‌شود که اگر با نشانگر موس بر روی قله‌ی مربوط به فرکانس اصلی بروید، نرم‌افزار در قسمت پـایین سـمت چـپ نمودار، فرکانس و شدت همان نقطه را به شما نشان می دهد.

حال می توانید برای هر فرکانس ضبط شده، بر روی انتهای پخش آن فرکانس کلیک کرده و شـدت آن را از روی نمودار تحلیل فرکانسی یادداشت کنید، آن‌گاه تا جایی بر روی مـوج پـیش مـی رویـد کـه بـر اساس نمودار شدت-فرکانس دریابید که قله‌ی نمودار اکنون به اندازه ی ۶۰ دسی‌بـل نـسبت بـه شـدت اولیه نزول کرده است. اگر از نقطه اولیه‌تان تا این نقطه‌ی به دست آمده، با کلیک بر موس حرکت کـرده و در واقع این ناحیه را انتخاب نمایید، ملاحظه می‌کنید که در پایین سمت راسـت صـفحه ذیـل عنـوان Length و روبه‌روی عنوان Sel بازه‌ی زمانی محدوده‌ی مورد نظر بـه نمـایش در مـی‌آیـد. ایـن زمـان، همان زمان باز آوایش است.

شکل‌ها، موج رونده را در اتاقرهای سکوت و زنده برای فرکانس ۳۰۰۰ هرتز نشان می‌دهد. به طـوری‌کـه قسمت افت شدت به هنگام قطع فرکانس به وسیله‌ی ابزار بزرگ‌نمایی نرم‌افزار به خوبی دیده مـی‌شـود. این‌کار، به خصوص برای امواج در اتاق سکوت اهمیت دارد که زمان بازآوایش فـوق‌العـاده پـایین اسـت. برای ایجاد بزرگ‌نمایی در هر قسمت موج، می توانید آن قـسمت را انتخـاب کـرده و در قـسمت پـایین صفحه در نوار ابزار Zoom که با علامت ذره‌بین متمایز شده است، هر نوع بزرگ‌نمایی اعـم از افقـی یـا عمودی را بر روی موج اعمال کنید.



شکل -۱- نمایش موج رونده در اتاق زنده برای فرکانس ۳۰۰۰ هرتز



شکل -۲- نمایش موج رونده در اتاق سکوت برای فرکانس ۳۰۰۰ هرتز

خواسته‌های آزمایش:

۱- نمودار زمان بازآوایش بر حسب فرکانس را برای اتاق سکوت و اتاق زنده در یک دستگاه مختصات رسم کرده و بر این اساس آن‌ها را مقایسه کنید. نتیجه‌ی به دست آمده را بر اساس ویژگی‌های هر اتاق توجیه نمایید.

۲- زمان بازآوایش را در محدوده‌ی شنوایی انسان تحلیل نمایید.

۳- بر اساس فرمول سباین و پس از اخذ مقادیر مربوط به حجم اتاق زنده و سکوت، ظرفیت جذب آکوستیکی را برای هر اتاق و در هر فرکانس آزمایش شده، به دست آورید. آیا می‌توانید یک مقدار میانگین برای a در محدوده‌ی فرکانسی ایده‌آل برای شنوایی انسان بیابید؟

۴- ظرفیت جذب آکوستیکی اتاق‌ها را با هم مقایسه کرده و نشان دهید که با آن‌چه انتظار می‌رفت، مطابقت دارد.

۵- نرخ تباهی صوت، αرا در اتاق زنده برای هر فرکانس به دست آورید.

۶- توضیح دهید چرا لازم است زمان پخش هر فرکانس و نیز بازه‌ی زمانی سکوت میان آن‌ها را تا حد قابل قبولی طولانی در نظر بگیریم.

۷- به نظر شما عوامل ایجاد خطا در این آزمایش چیست، راهکار خود را برای رفع این عوامل بنویسید.

فعالیت ویژه:

۱- همان طور که ملاحظه می کنید زمان بازآوایش در اتاق زنده تا حد قابل ادراکی طولانی است. آزمایشی را طراحی و اجرا کنید که با استفاده از تنها یک کرونومتر، خود زمان بازآوایش اتاق را در محدوده‌ی ایده آل شنوایی اندازه بگیرید.

۲- روش دیگری برای تعیین زمان بازآوایش از روی نمودار پیدا کنید که از دقت بالاتری برخوردار باشد.

آزمایش شماره‌ی ۳:

اندازه‌گیری ضریب جذب و امپدانس آکوستیکی مواد مختلف

تئوری و هدف آزمایش:

یک موج صوتی هنگامی‌که در یک محیط مایع یا جامد منتشر می‌شود، مقداری از انرژی‌اش را از دست می‌دهد. این کاهش انرژی آکوستیکی به دلیل جذب صوت است. در جامدات، جذب امواج صوتی به دلیل ناخالصی‌های شبکه، خواص فروالکتریکی و فرو مغناطیسی، برهم‌کنش الکترون-فونون، تاثیرات حرارتی و تشدید مغناطیسی هسته است.

فرض کنید موج فرودی بر روی یک نمونه در یک نقطه فشار صوتی زیر را ایجاد کند:

$$P_i = A\cos(2\pi ft)$$

موج بازتابی در همان نقطه به صورت زیر خواهد بود:

$$P_r = B\cos[2\pi f(t\frac{2y}{c})]$$

در این رابطه، f فرکانس تحریک، y فاصله از سطح نمونه و c سرعت صوت در لوله است.

بنابر این فشار کل در این نقطه از جمع جبری دو رابطهٔ بالا به دست می آید:

$$P_y = P_i + P_r = A\cos(2\pi ft) + B\cos[2\pi f(t\frac{2y}{c})]$$

از این رابطه معلوم می‌شود که فشار صوتی در $y = \frac{\lambda}{2}$ یک مقدار ماکزیمم در $(A+B)\cos 2\pi ft$ دارد و در $y = \frac{\lambda}{4}$ مقدار مینیمم $(A-B)\cos 2\pi ft$ دارد.

حال با توجه به اطلاعات بالا می توانیم برای ضریب جذب فرمولی ارائه دهیم. با استفاده از تعریف ضریب جذب که نسبت انرژی جذب شده به انرژی فرودی به سطح نمونه است، داریم:

$$\alpha = \frac{A^2 - B^2}{A^2} = 1 - r^2$$

که در آن $r = \frac{B}{A}$ ضریب بازتاب می باشد.

با ایجاد یک موج ایستاده در لوله، به آسانی می‌توان نسبت فشار صوتی ماکزیمم $(A+B)$ به فشار صوتی مینیمم $(A-B)$ را در لوله به دست آورد. فشار صوتی ماکزیمم ومینیمم را توسط یک میکروفون متحرک در لوله استوانه‌ای اندازه‌گیری می‌کنیم.

$$n = \frac{P_{\max}}{P_{\min}} = \frac{A+B}{A-B} = \frac{1+\frac{B}{A}}{1-\frac{B}{A}} = \frac{1+r}{1-r}$$

بنابراین:

$$r = \frac{n+1}{n-1}$$

و در نهایت می‌توانیم بنویسیم:

$$\alpha = 1-r^2 = \frac{4n}{n^2+2n+1}$$

از طرف دیگر، امپدانس آکوستیکی کمیتی مختلط و عبارتست از نسبت فشار صوتی موثر در سطح محیط به سرعت موثر ذرات در آن نقطه. برای موج ایستا داریم:

$$Z_A = \frac{P_i + P_r}{v_i + v_r}$$

P و v با مشخصات امپدانس هوای داخل لوله مرتبط می‌گردند:

$$P_i = \rho c v_i$$

$$P_r = \rho c(-v_r)$$

بنابراین داریم:

$$Z_A = \frac{P_i + P_r}{v_i + v_r} = \rho c \frac{P_i + P_r}{P_i - P_r}$$

از طرفی می توانیم فشار صوتی فرودی و بازتابی را به صورت زیر بنویسیم:

$$P_i = Ae^{2\pi ift}$$

$$P_r = Be^{2\pi if(t-2y/c)}$$

P_r را بسط داده و می‌نویسیم:

$$P_r = Be^{2\pi ift}.e^{\frac{-4\pi ify}{c}} = B\frac{P_i}{A}e^{-4\pi if y/c}$$

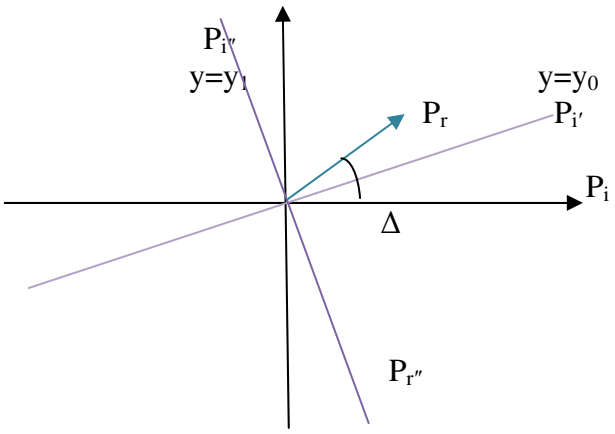
یا:

$$P_r = rP_i e^{\Delta}$$

که در آن Δ عبارتست از:

$$\Delta = -4\pi f\frac{y}{c} = -\frac{4\pi y}{\lambda}$$

موج تابشی در فاصله‌ی y نسبت به سطح نمونه به اندازه‌ی $\frac{2\pi y}{\lambda}$ تقدم فاز دارد، ولی موج بازتابی در همان فاصله نسبت به سطح نمونه به اندازه ی $\frac{2\pi y}{\lambda}$ تاخیر فاز دارد. بنابراین هنگام ترک موج از روی سطح نمونه بردار فشار صوتی مطابق شکل زیر دوران می‌یابد:



شکل-۱-

اولین ماکزیمم فشار صوتی وقتی که دو بردار روی هم می‌افتند، به دست می‌آید:

$$\Delta_0 = \frac{4\pi y_0}{\lambda}$$

اولین مینیمم نیز در $y = y_1$ اتفاق می افتد، یعنی در حالتی که دو بردار به اندازه ی $\frac{\pi}{2}$ چرخیده باشند، در این حال دامنه‌ی برآیند برابر $Pi\text{-}Pr=(1\text{-}r)Pi$ است، یعنی:

$$\frac{4\pi y_1}{\lambda} = \Delta_0 + \pi$$

حال با داشتن ضریب بازتاب و فاز می‌توان امپدانس آکوستیکی را به دست آورد:

$$\frac{Z_A}{\rho c} = \frac{P_i + P_r}{P_i - P_r} = \frac{1 + re^{i\Delta}}{1 - re^{i\Delta}} = Z_r + iZ_i$$

با استفاده از موج ایستاده در لوله می‌توانیم فاز Δ_0 را بدست آوریم:

$$\Delta_0 = \frac{4\pi y_1}{\lambda} - \pi$$

هدف ما در انجام این آزمایش به دست آوردن ضریب جذب مواد مختلف و امپدانس آکوستیکی آن-ها با استفاده از امواج ایستا می‌باشد.

وسایل و امکانات مورد نیاز:

ارابه و ریل مدرج

جعبه‌ی بلندگو

لوله به قطر ۱۰ سانتیمتر

لوله به قطر۳ سانتیمتر

قطعه‌های چوب‌پنبه و پشم‌شیشه

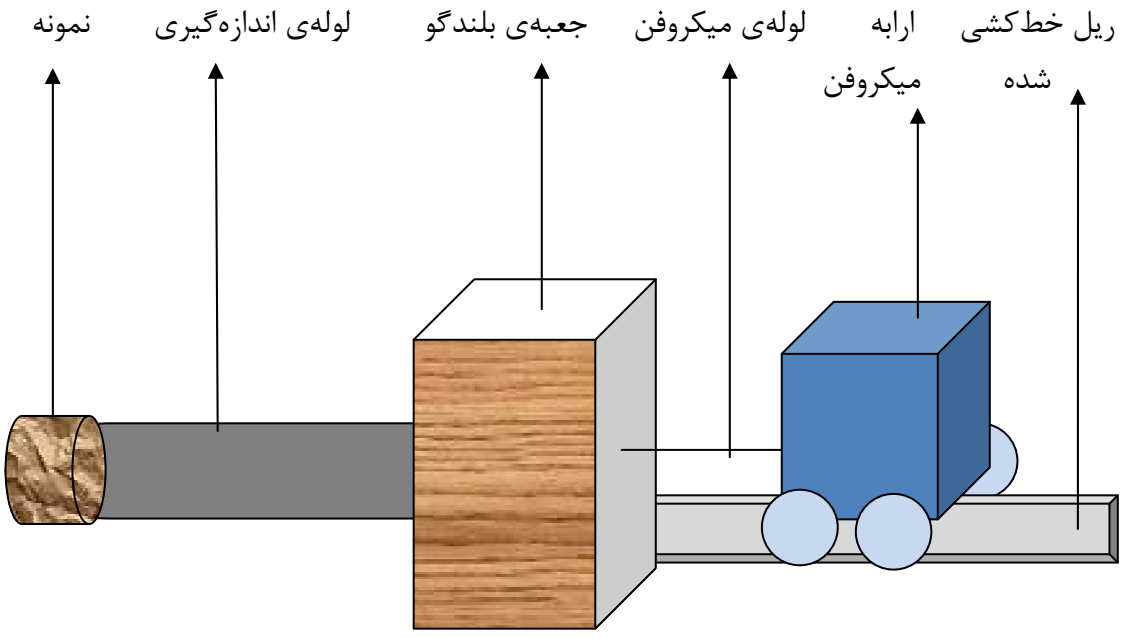
بلندگو

میکروفون

کامپیوتر و نرم‌افزار Real Time

شرح آزمایش:

ابتدا دستگاه را مطابق شکل زیر سوار کنید.

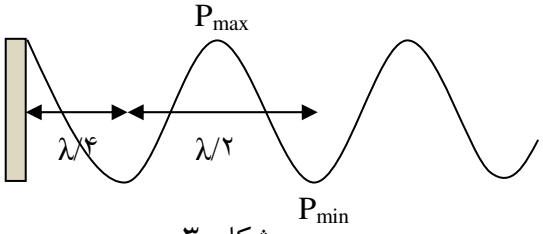


شکل-۲-

سپس توسط نرم‌افزار Real Time موج تک فرکانس سینوسی را در جعبه‌ی بلندگو ایجاد کرده و با حرکت دادن ارابه، اولین ماکزیمم و مینیمم دامنه‌ی موج ایستاده‌ی تولید شده در لوله را توسط قسمت FFT نرم افزار Real Time اندازه‌گیری کنید.

برای اندازه‌گیری امپدانس آکوستیکی، لوله‌ی متصل به میکروفون و سطح نمونه را طوری تنظیم کنید که وقتی میکروفون سطح نمونه را لمس می‌کند، ورنیه‌ی ماشین میکروفن روی صفر خط‌کش

ریل قرار گیرد. سپس فاصله‌ی اولین مینیمم y_1 و فاصله‌ی بین اولین و دومین مینیمم y_1-y_2 اندازه‌گیری کنید. داده‌ها را برای هر ماده در جدول‌های مربوط ثبت کنید.



شکل-۳-

جدول -۱- لوله ی بزرگ

فرکانس(هرتز)	۳۰۰	۴۰۰	۵۰۰	۶۰۰	۷۰۰	۸۰۰	۹۰۰	۱۰۰۰	۱۵۰۰	۱۸۰۰
مکان کمینه ی اول(y۱)										
شدت درکمینه ی اول										
مکان بیشینه ی اول(y۲)										
شدت در بیشینه ی اول										

جدول -۲- لوله ی کوچک

فرکانس(هرتز)	۸۰۰	۱۴۰۰	۲۰۰۰	۲۶۰۰	۳۲۰۰	۳۸۰۰	۴۴۰۰	۵۰۰۰	۵۶۰۰	۶۵۰۰
مکان کمینه ی اول(y۱)										
شدت درکمینه ی اول										
مکان بیشینه ی اول(y۲)										
شدت در بیشینه ی اول										

خواسته‌های آزمایش:

۱- نسبت فشار صوتی ماکزیمم به فشار صوتی مینیمم را برای هر فرکانس به دست آورید و بر اساس آن ضریب جذب مربوط به آن فرکانس را محاسبه کنید.

۲- نمودار ضریب جذب بر حسب فرکانس را برای هر ماده و به تناسب لوله‌ای که به کار برده‌اید، رسم کنید.

۳- امپدانس آکوستیکی موادی را که در دست دارید، برای فرکانس‌های مختلف حساب کنید.

۴- نمودار امپدانس آکوستیکی بر حسب فرکانس را برای هر ماده و به تناسب لوله‌ای که به کار برده‌اید، رسم کنید.

۵- امپدانس آکوستیکی با ضریب جذب یک ماده چه رابطه‌ای دارد؟ علت را توضیح دهید. آیا داده-های شما نیز این رابطه را تایید می کند؟

۶- فرکانسی وجود دارد که در آن جذب آکوستیکی برای یک ماده بیشینه می‌شود. این فرکانس را برای موادی که به کار برده‌اید، تشخیص دهید.
۷- چرا در آزمایش فرکانس‌های بیشتر را در لوله‌ی کوچک و فرکانس‌های کمتر را در لوله‌ی بزرگ تولید کرده‌ایم؟
۸- به نظر شما عوامل ایجاد خطا در این آزمایش چیست، راهکار خود را برای رفع این عوامل بنویسید.

فعالیت ویژه:

۱- یک راه برای به دست آوردن ظرفیت آکوستیکی ویژه‌ی اتاق بسته این است که ضریب جذب آکوستیکی مواد سازنده‌ی دیواره‌ها و سطح مقطع هریک را در دست داشته باشیم. با به کار بردن قطعه‌ی کوچکی از هر یک از مواد سازنده‌ی دیواره‌های اتاق زنده‌ی آزمایشگاه، نظیر گچ، موزاییک و غیره، آزمایش ضریب جذب را برای آن‌ها در فرکانس خاصی انجام داده و بر اساس آن، ظرفیت آکوستیکی ویژه‌ی اتاق زنده را به دست آورید. نتیجه را با مقدار به دست آمده از آزمایش بازآوایش مقایسه کرده و دلایل اختلاف موجود را تبیین نمایید.

آزمایش شماره‌ی ۴:

اندازه‌گیری فرکانس طبیعی

تئوری و هدف آزمایش:

انتقال موج آکوستیکی در یک محیط، با نوسان ذرات محیط صورت می‌گیرد، ذرات محیط مانند نوسانگرهای هماهنگی عمل می‌کنند که با یکدیگر جفت شده‌اند و این جفت شدگی سبب می‌شود که سیستم دارای فرکانس‌های مشخصه‌ای باشد که به ازای آنها نوسانات سیستم پایدارتر می‌ماند ودیرتر میرا می‌شود. پس هر سیستم آکوستیکی دارای فرکانس مشخصه‌ای است که اگر ذراتش با این فرکانس به نوسان درآیند، نوسان سیستم پایدارتر می‌ماند. به این فرکانس، فرکانس تشدید یا فرکانس طبیعی می‌گویند. ما در این آزمایش فرکانس طبیعی یک بالن و هوای داخل آن را اندازه می‌گیریم و اثر حجم بالن بر روی فرکانس تشدید را بررسی می‌کنیم.

یک وسیله‌ی آکوستیکی با حجم V که دارای ورودی باریکی به طول ℓ و سطح مقطع A است را در نظر می‌گیریم، به این وسیله تشدیدگر هلمهولتز می‌گویند. آن را در مقابل یک منبع موج تخت آکوستیکی قرار داده و به بررسی حرکت هوای داخل آن می‌پردازیم.

جرم هوای داخل گردنه‌ی تشدیدگر برابر با $\rho\ell A$ است که در آن ρ چگالی هواست. می‌توان در نظر گرفت که این حجم هوا به صورت یکپارچه حرکت می‌کند و این گونه، نیرویی که برای حرکت این جرم لازم است برابر است با $\rho\ell A\ddot{x}$، که x جابجایی نوسانی مولکول هاست.

مقاومت آکوستیکی سیستم به خاطر تابش صوت به دهانه‌ی ورودی حاصل می‌شود و به صورت پراکندگی انرژی آکوستیکی، ظاهر می‌گردد. این مقاومت به صورت $\rho c^2 \frac{kA^2}{2\pi}$ است، که در آن c سرعت صوت در هواست و $k = \frac{c}{\omega}$ ، عدد موج است.

می‌دانیم فشار آکوستیکی برابر است با $p = \rho c^2 s$ که در آن s نسبت تراکم (condensation) و برابر است با $\frac{dV}{V}$. در این صورت نیرویی که به خاطر فشار آکوستیکی بر A وارد می‌شود برابر است با:

$$df = pA = \rho c^2 A\, dV/V \qquad (۱)$$

بنابراین سختی موثر را اینگونه تعریف می‌کنیم:

$$k = df/dx = \rho c^2\, A^2/V \qquad (۲)$$

در حقیقت حجم هوای داخل محفظه مانند یک فنر عمل می‌کند و پارامتر سختی سیستم را تعیین می‌کند. وقتی که هوا فشرده است، فشار افزایش می‌یابد و وقتی که هوا انبساط پیدا می‌کند، فشار کاهش می‌یابد.

نیرویی که توسط موج فرودی بر سیستم اعمال می‌شود عبارت است از:

$$f(t) = p(t)A = p_0 A \sin \omega t \qquad (۳)$$

که در آن p_0 دامنه‌ی فشار است. با استفاده از قانون دوم نیوتن داریم:

$$A\rho\ell\ddot{x} + \frac{\rho c^2 k^2 A^2}{2\pi}\dot{x} + \frac{\rho c^2 A^2}{V}x = Ap_0 \sin \omega t \qquad (۴)$$

با تقسیم کردن بر A داریم :

$$\frac{\rho\ell}{A}(A\ddot{x}) + \frac{\rho c^2 k^2}{2\pi}(A\dot{x}) + \frac{\rho c^2}{V}(Ax) = p_0 \sin \omega t \qquad (۵)$$

یا اینکه :

$$M_a \ddot{X} + R_a \dot{X} + k_a X = p_0 \sin \omega t \qquad (۶)$$

که در آن $M_a = \frac{\rho\ell}{A}$ جرم آکوستیکی است، $R_a = \frac{\rho c^2 k^2}{2\pi}$ مقاومت آکوستیکی است، $(C_a = 1/k_a = V/\rho c^2)k_a = \frac{\rho c^2}{V}$ سختی آکوستیکی است و $\dot{X} = A\dot{x}$ سرعت حجمی است.

از شباهت این معادله با معادلات مشابه الکتریکی یا مکانیکی می‌توان دریافت که:

جدول-۱-

آکوستیکی	مکانیکی	الکتریکی
M_a	M	L
R_a	b	R
C_a	$1/k$	C

گفتیم که حجم نمونه مانند سختی سیستم عمل می‌کند. هر چقدر حجم بیشتر باشد، سختی نمونه و فشرده شدن آن در مقابل فشار اعمالی کمتر است. از طرف دیگر هوای داخل دهانه‌ی تشدیدگر را می‌توان با یک نوسانگر واحد، یکسان در نظر گرفت، لذا طول دهانه‌ی تشدیدگر با جرم آکوستیکی آن متناسب است.

از طرف دیگر به شباهت‌های الکتریکی می‌نگریم، حجم نمونه فضایی برای ذخیره شدن انرژی است یعنی هر چقدر حجم بیشتر باشد، محیط شامل ذرات بیشتری است لذا انرژی بیشتری در محیط جای گرفته‌است، از این لحاظ حجم می‌تواند متناسب با ظرفیت آکوستیکی باشد.

از حل معادله (۶) خواهیم داشت :

$$X(t) \propto \frac{p_0}{R + i(M_a - 1/\omega C_a)} \qquad (۷)$$

تشدید و بیشترین سرعت حجمی زمانی اتفاق می‌افتد که مخرج کسر فوق صفر شود.

$$\omega_n = \sqrt{\frac{1}{M_a C_a}} = c\sqrt{\frac{A}{\ell V}} \qquad (۸)$$

از رابطه فوق مشاهده می‌شود که فرکانس تشدید با عکس حجم و عکس طول دهانه‌ی لوله متناسب است. این رابطه را می‌توان به صورت فیزیکی این گونه تعبیر کرد: طول موج تشدید یک وسیله آکوستیکی تقریباً در حدود ابعاد وسیله است، پس هر چقدر ابعاد نمونه بزرگتر باشد، طول موج نیز بیشتر خواهد بود و فرکانس تشدید کمتر است.

فرکانس تشدید با سطح مقطع نمونه رابطه‌ی مستقیم دارد، زیرا هر چقدر A بزرگتر باشد، مقاومت نمونه در برابر عبور صوت، کمتر و اتلاف انرژی نیز کمتر است. بنابراین فرکانس‌های بزرگتر هم (که همیشه زودتر میرا می‌شوند) می‌توانند در سیستم پایدار بمانند و فرکانس تشدید بزرگتر خواهد بود.

وسایل و امکانات مورد نیاز:

بالون شیشه‌ای

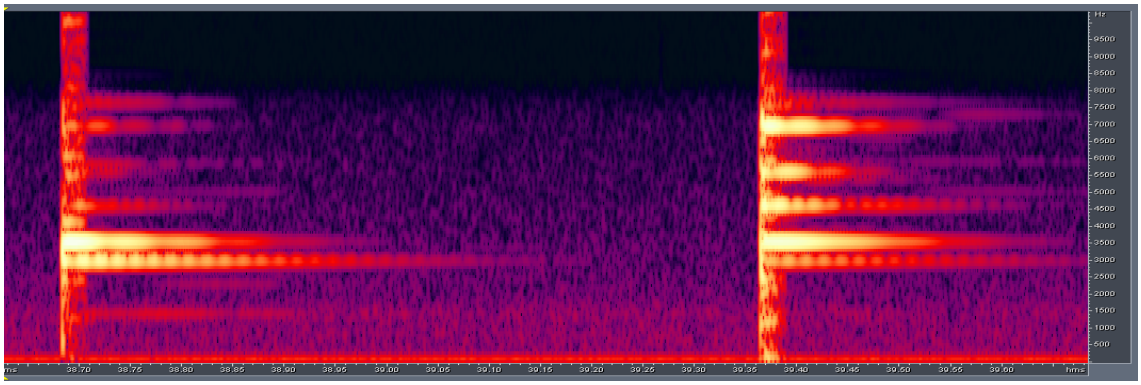
میکروفون تماسی

خط‌کش چوبی

نرم افزار Cool Edit Pro 2,1

شرح آزمایش:

میکروفون را به کامپیوتر خود وصل کرده و نرم افزار Cool Edit را اجرا نمایید. میکروفون تماسی را به بدنه‌ی بالون شیشه‌ای بچسبانید و با استفاده از خط‌کش چوبی به آن ضربه بزنید. صدای ایجاد شده را توسط نرم افزار ضبط کنید. برای انجام این کار، کافیست در صفحه‌ی اصلی نرم‌افزار، بر روی آیکون Record که به شکل یک دایره‌ی کوچک قرمز رنگ است، کلیک نمایید. این آیکون در پایین، سمت چپ صفحه‌ی مانیتور دیده می شود. سعی کنید شدت ضربه ها به اندازه ای باشد که همه‌ی فرکانس‌ها در طیف فرکانسی ضبط شده موجود باشد. ملاحظه می‌کنید که پس از ضربه‌ی اولیه، تا مدتی فرکانس‌های خاصی در سیستم باقی می‌مانند. این همان فرکانس طبیعی سیستم و هماهنگ‌های آن است.



شکل-۱- نمایش طیفی موج رونده حین ضربه به جسم
محور عمودی فرکانس و محور افقی زمان را نشان می دهد

آزمایش را برای حالت‌های زیر تکرار کنید:
میکروفون بدون تماس درون بالون آویزان شده است و بالون خالی است.
میکروفون بدون تماس درون بالون آویزان شده است و مقداری از حجم بالون با آب پر شده است.

خواسته‌های آزمایش:

۱- فرکانس‌هایی را ذکر کنید که در هر قسمت از آزمایش ماندگاری بیشتری در سیستم داشته‌اند. تفاوت میان دو مرحله‌ی تماس میکروفون به جسم و آویزان کردن آن درون جسم چیست؟ در هر مرحله فرکانس طبیعی چه سیستمی اندازه‌گیری می‌شود؟

۲- فرکانس تشدید را برای هوای محبوس در بالون، با استفاده از مشخصات بالون به دست آورید. نتیجه را با مقدار به دست آمده از آزمایش مقایسه کنید. علت اختلاف موجود را تبیین کنید.

۳- فرکانس تشدید را برای هوای محبوس در بالون، هنگامی‌که مقدار مشخصی آب در آن ریخته‌اید، به دست آورید. نتیجه را با مقداری که از آزمایش به دست آورده‌اید، مقایسه کنید. علت اختلاف موجود چیست؟

۴- انتظار دارید با ریختن آب به درون بالون فرکانس طبیعی سیستم چگونه تغییر کند؟ آیا داده-های شما نیز همین نتیجه را به دست می دهد؟

۵- علت استفاده از بالون با شکل هندسی خاص آن در این آزمایش چیست؟

۶- چرا در طیف فرکانسی که از ضربه به بالون ضبط کرده اید، پیوستاری از همه‌ی فرکانس‌ها وجود دارد؟

۷- به نظر شما عوامل ایجاد خطا در این آزمایش چیست، راهکار خود را برای رفع این عوامل بنویسید.

فعالیت ویژه:

۱- مشخصه‌های آکوستیکی بالون موجود را به عنوان یک تشدیدگر هولمهولتز به دست آورید. این مشخصه‌ها شامل حجم V، شعاع مقطع گردنه a، طول گردنه ℓ، فرکانس طبیعی f_0 ، طول موثر ℓ'، مقدار $\Delta l/a$، عامل کیفیت Q و بهره‌ی تراز فشار n_0 می باشند.

آزمایش شماره‌ی ۵:

طرح‌های کلادنی

تئوری و هدف آزمایش:

یکی از پدیده‌های جالب در طبیعت، انتشار امواج صوتی در دو بعد می‌باشد. ارنست کلدنی، حدود دویست سال پیش، آزمایشی طراحی کرد تا اشکال پیچیده‌ی حاصل از حل معادله موج را نشان دهد. او با کشیدن یک آرشه‌ی ویولون بر لبه‌ی یک صفحه‌ی باریک ثابت، آن را به لرزیدن وا می‌داشت و با ریختن شن ریز روی آن گره‌های ایجاد شده بر صفحه را نشان می‌داد. اما اکنون، امواج صوتی مکانیکی توسط یک منبع با فرکانس قابل تنظیم تولید شده و توسط یک بلندگو بر یک صفحه وارد می‌شوند.

شکل صفحات مورد مطالعه در این آزمایش دایره و مربع می‌باشند. هدف از انجام این آزمایش مشاهده و تحلیل شکل‌های تشکیل شده بر روی این صفحات می‌باشد. دلیل تشکیل چنین اشکالی توسط شن بر روی صفحات به مکانیزم انتشار امواج و تداخل آن‌ها در صفحه مربوط است. همان‌طور که می دانیم امواج صوتی منتشر شده بر روی صفحات از یک معادله‌ی موج دو بعدی تبعیت می‌کنند. این امواج می‌توانند بر روی صفحه‌ی انتشار با یکدیگر تداخل انجام دهند. این تداخل‌ها در بعضی از نقاط ویرانگر و در بعضی دیگر سازنده خواهد بود. تداخل ویرانگر در سطح صفحه منجر به تشکیل گره می‌شود. گره‌ها مکان‌هایی هستند که در آن‌ها امواج حرکتی نداشته و تقریبا ساکن می‌باشند. در نتیجه شن یا هر ماده‌ی دیگری که روی صفحه پاشیده شود، در این نقاط ساکن می‌مانند، در حالی‌که در سایر جاها حرکت می‌کنند. نتیجه‌ی این‌کار، جمع شدن شن‌ها در گره‌ها و نشان‌دادن توزیع گره‌ها بر روی صفحه می‌باشد.

شکل۱- طرح‌های کلدنی برای صفحات دایره‌ای و مربعی

شکل این گره‌ها از شکل توابع بسل در دو بعد تبعیت می‌کند. برای نشان‌دادن این موضوع، بـه حـل معادله‌ی موج در دو بعد برای شرایط مرزی مستطیلی و دایره‌ای می‌پردازیم.

الف) صفحه‌ی مستطیلی نوسان کننده

معادله‌ی موج دو بعدی را در مختصات دکارتی چنین است:

$$\partial_{xx}u + \partial_{yy}u = \frac{1}{c^2}\partial_{tt}u$$

برای حل چنین معادله‌ای، به شیوه‌ی جداسازی متغیرها عمل می‌نیم. به این صورت که فرض می‌کنیم:

$$u(x,y,t) = X(x)Y(y)T(t)$$

در نتیجه برای هر کدام از متغیرها خواهیم داشت:

$$X(x): \partial_{x,x}X + K_x{}^2 X(x) = 0$$
$$Y(y): \partial_{y,y}Y + K_y{}^2 Y(y) = 0$$

$$T(t): \partial_{t,t}T(t) + \omega^2 T(t) = 0$$

که در آن:

$$K_x^2 + K_y^2 = \frac{\omega^2}{c^2}$$

جواب نهایی در دستگاه مختصات دکارتی به صورت زیر خواهد بود:

$$u(x,y,t) = Ae^{[K_x x + K_y y - \omega t]}$$

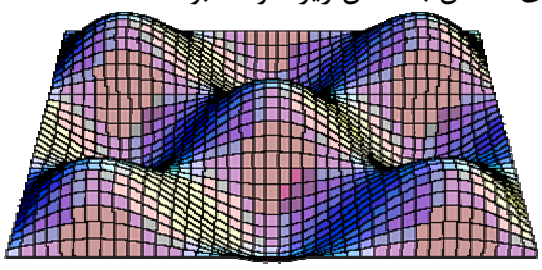
با اعمال شرایط مرزی زیر خواهیم داشت:

$$K_x a = n\pi, n = 1,2,3,...$$
$$K_y y = m\pi, m = 1,2,3,...$$
$$u(x,y,t) = A\sin(\frac{n\pi x}{a})\sin(\frac{m\pi y}{b})\cos\omega t$$

ملاحظه می‌شود که n-1 گره در جهت x و m-1 گره در جهت y خواهیم داشت. هم‌چنین:

$$\omega = \pi c\sqrt{(\frac{n}{a})^2 + (\frac{m}{b})^2}$$

می‌توان این تابع را با برنامه‌های استاندارد ریاضی (مثل Mathematica یا MATLAB) رسم کرد. مثلاً اگر n و m هردو برابر با 3 باشند، موج ایستاده‌ی حاصل به شکل زیر خواهد بود:



- شکل ۱-

ب) صفحه‌ی دایره‌ای نوسان‌کننده

معادله‌ی موج در مختصات استوانه‌ای به شکل زیر است:

$$\frac{\partial^2 \xi(r,t)}{\partial t^2} = c_w^2 \left(\frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \xi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \xi}{\partial z^2} \right) = c_w^2 \nabla^2 \xi(r,t)$$

از طرفی لاپلاسی در مختصات استوانه‌ای عبارتست از:

$$\nabla^2 \xi \equiv \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial}{\partial r} \xi \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2}{\partial \phi^2} \xi$$

بنابراین معادله‌یٔ موج به شکل زیر درخواهد آمد:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial}{\partial r} \xi \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2}{\partial \phi^2} \xi = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2}$$

برای جواب‌هایی از این معادله که تقارن استوانه‌ای دارند، داریم:

$$\frac{\partial^2 \xi(r,t)}{\partial t^2} = c_w^2 \frac{1}{r} \frac{\partial^2}{\partial r^2} \left(r \xi(r,t) \right)$$

در نتیجه:

$$\frac{\partial^2}{\partial t^2} \left(r \xi(r,t) \right) = c_w^2 \frac{\partial^2}{\partial r^2} \left(r \xi(r,t) \right)$$

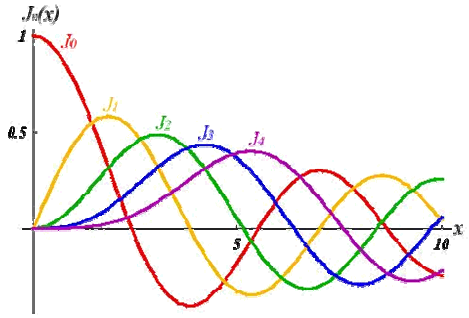
جواب نهایی این معادله به شکل زیر است:

$$\xi(r,t) = A \frac{e^{i(kx \pm \omega t)}}{r}$$

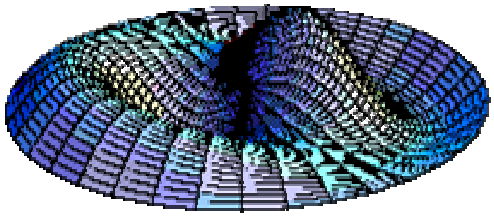
برای جواب‌هایی که تقارن استوانه‌ای ندارند، جواب نهایی به شکل زیر است:

$$\xi = \cos m(\phi - \alpha) J_m \left(\frac{2\pi \nu r}{c} \right) \cos(2\pi \nu t - \Omega)$$

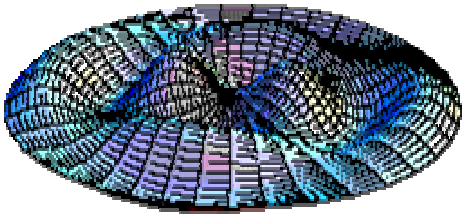
در این رابطه، تابع $J_m(x)$ نشان‌دهنده‌ی توابع بِسِل نوع اول است. شکل ۲ این تابع را برای مقادیر مختلف m نشان می‌دهد. در شکل‌های ۳ و ۴ نیز جواب کلّی معادله‌ی دیفرانسیل به ازای دو مقدار مختلف m و n رسم شده است.



شکل ۲- نمودار تابع $J_m(x)$ به ازای $m=1$ تا $m=4$.



شکل ۳- نمودار جواب به ازای $n=1$ و $m=2$.



شکل ۴- نمودار جواب به ازای $n=2$ و $m=3$.

وسایل و امکانات مورد نیاز:

Beat Frequency Oscillator Type 1022 (BFT)

بلندگوی مخروطی‌شکل

صفحه ی فلزی مربعی‌شکل

صفحه ی فلزی دایره ای‌شکل

شن نرم

قطعه‌ی یونولیتی

پیچ بلند و مهره جهت اتصال صفحه به بلندگو

سیم رابط

کامپیوتر و نرم‌افزار Cool Edit Pro 2,1

شرح آزمایش:

بلندگو را توسط سیم‌های رابط به مولد فرکانسی متصل کنید. برای به دست آوردن نتایج بهتر و پایدارتر، بین بلندگو و صفحه‌ی فلزی یک لایه‌ی نازک یونولیت قراردهید، این قطعه‌ی یونولیتی باعث می‌شد که نوسان بلندگو به طور یکنواخت به صفحه منتقل شود و ناهگنی‌های روی دهانه‌ی بلندگو موجب ایجاد خطا نشود. آن‌گاه صفحه‌ی دایره‌ای شکل را توسط پیچ و مهره بر روی بلندگو نصب کنید. صفحه را بر روی بلندگو کاملا محکم کرده و سطح آن را تراز نمایید. توجه کنید که

ترازبودن صفحه برای به دست آوردن طرح‌های متقارن اهمیت دارد. مقداری شن بر روی صفحه بپاشید به طوری که لایه‌ی نازکی از شن به طور یکنواخت همه‌ی سطح صفحه را بپوشاند. مقدار شن نباید آن‌قدر زیاد باشد که لرزش های ایجاد شده بر سطح توانایی جابجاکردن و شکل‌دادن به آن‌ها را نداشته باشد.

مولد فرکانسی را روشن نمایید و با چرخاندن پیچ مربوط اقدام به تغییر فرکانس نمایید. با لرزش بلندگو، صفحه هم مرتعش می‌شود و در نتیجه شن‌های روی صفحه به حرکت در می‌آیند. در بسامدهای مشخصی، شدت حرکت ذرات شن ناگهان افزایش پیدا می‌کند. در این بسامدها کمی صبر کنید تا ذرات شن آزادانه روی سطح حرکت کرده و شکل‌های منظمی به خود بگیرند. سپس بسامدی را که این اتفاق در آن افتاده بود، ثبت کرده و آرایش شن‌ها بر روی صفحه را روی کاغذ رسم کنید و یا از آن عکس بگیرید. برای مشاهدی طرح ها به اندازه‌ی کافی صبر کنید تا شن‌ها فرصت کافی برای جمع‌شدن در گره ها (نقاط بدون حرکت) را داشته باشند.

حال صفحه‌ی مربعی را باز کرده و صفحه‌ی دایره‌ای شکل را بر روی بلندگو نصب کنید. آزمایش را با این صفحه نیز تکرارکرده و نتایج را ثبت کنید. سعی کنید برای هر صفحه ۵ یا ۶ طرح متقارن به دست آورید.

خواسته‌های آزمایش:

۱- نقش‌های به دست آمده از صفحات مربعی و دایره‌ای را ارائه نمایید.

۲- میان طرح‌هایی که به دست آورده‌اید و اشکال موجود در ضمیمه‌ی ۲ مقایسه‌ای انجام دهید. علت اختلاف‌های موجود چیست؟

۳- مولد تولید امواج را به کامپیوتر خود متصل کرده و با استفاده از Cool Edit، یکی از فرکانس-هایی را که در آن طرح متقارنی مشاهده کرده‌اید، تحلیل فرکانسی نمایید. نتیجه را تحلیل کرده و اثر آن را بر نقش‌هایی که به دست آورده‌اید، بیان کنید.

۴- به نظر شما عوامل ایجاد خطا در این آزمایش چیست؟ راهکار خود را برای رفع این عوامل بنویسید.

فعالیت ویژه:

۱- آیا می‌توانید یکی از اشکالی را که در آزمایش حاصل شده است، خود با حل معادله‌ی موج در دو بعد و اعمال شرایط مرزی مناسب برای فرکانس مورد نظر به دست آورید؟ این کار را می توانید با به به‌کارگیری نرم‌افزارهایی چون Mathematica یا Matlab انجام دهید.

۲- صفحات فلزی دیگری با اشکال متنوعی چون بیضی، سه ضلعی، شش ضلعی و غیره تهیه کنید و طرح موج ایستاده بر آن‌ها را در فرکانس های مختلف مشاهده نمایید.

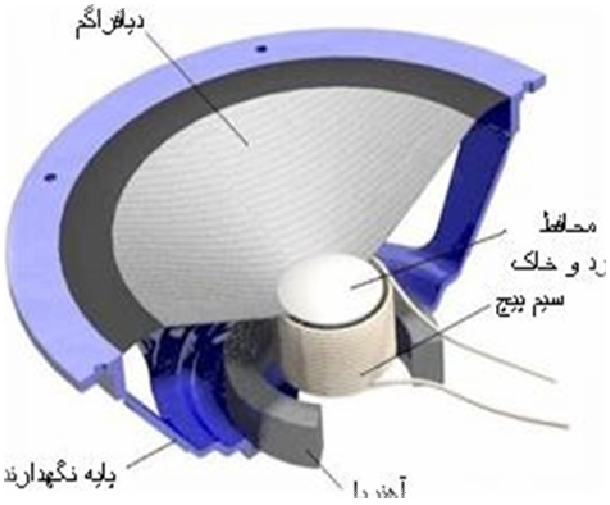
۳- طرح‌های کلدنی را به جای شن، با آب نیز می‌توان انجام داد. برای این‌کار شاید لازم باشد ابتدا صفحه را کمی چرب نمایید. استفاده از آب تصور شهودی‌تری از گره و شکم به شما می دهد و نقش‌های فوق‌العاده زیبایی ایجاد می‌کند.

آزمایش شماره‌ی ۶:

تعیین مشخصه‌ی بلندگو

تئوری و هدف آزمایش:

در یک سیستم پخش صوتی، جعبه‌ی بلندگو عامل تبدیل انرژی الکتریکی به صوتی است. اگر به بلندگو انرژی بدهیم، نوسانات مکانیکی تولید می‌کند و هوایی را که با آن در تماس است، به حرکت وامی‌دارد. قسمت‌های مختلف یک بلندگو در شکل زیر نشان داده شده است.



شکل-۱-

بلندگوها باید بازده بالا و پاسخ فرکانسی یکنواخت داشته باشند. به طور معمول شکل، اندازه و نحوه‌ی ساخت جعبه‌ی بلندگوها بر عملکرد آنها تاثیر می‌گذارد. جعبه‌ی بلندگو علاوه بر این‌که موج صوتی را هدایت می‌کند، پاسخ فرکانسی سیستم را تعیین و شدت صوت را کنترل می‌کند.

برای طرح‌ریزی یک بلندگوی موثر جهت تبدیل انرژی الکتریکی به انرژی صوتی که باید در هوا منتشر شود، لازم است چند عامل مربوط به یکدیگر را در نظر بگیریم. این عامل‌ها شامل کارایی الکتروآکوستیکی، یکنواخت‌بودن پاسخ دستگاه به فرکانس، خطی‌بودن پاسخ دامنه، پاسخ گذرا، متقارن بودن، قدرت و استحکام برای کار، اندازه، دوام، و قیمت است. بلندگوی ایده‌آل دارای مشخصات زیر است:

۱.باید دارای کارایی الکتروآکوستیکی نزدیک به صددرصد باشد.

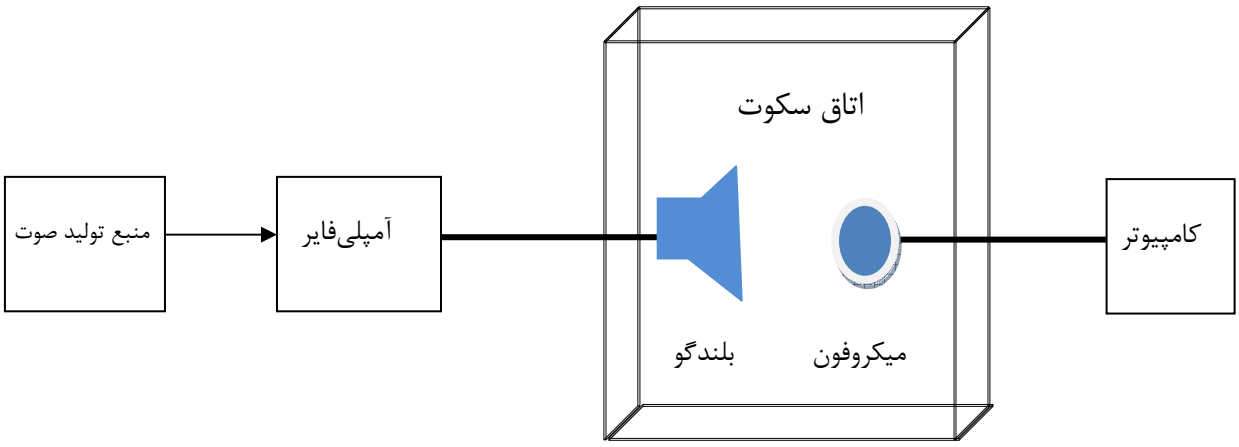
۲. پاسخ صوتی که از آن خارج می‌شود (بازداده)، در فاصله‌ی کامل فرکانس‌های قابل شنیدن مستقل از فرکانس باشد.
۳. در بازداده هارمونیک داخل نسازد، هم‌چنین به‌واسطه‌ی مدولاسیون داخلی در آن تابیدگی ایجاد نکند.
۴. سیگنال‌هایی را که به آن وارد می‌شوند، خواه عبوری باشد خواه پایدار، بتواند عینا به همان شکل دوباره بسازد.
۵. قادر باشد صوت را در اطراف خود مستقل از راستای بخصوصی منتشر کند.
۶. با در نظرگرفتن بازداده‌ی آکوستیکی که از آن انتظار داریم، تا حدامکان از نظر اندازه کوچک باشد.
هدف از انجام این آزمایش بررسی رفتار زاویه‌ای و پاسخ فرکانسی بلندگوی موجود در اتاق سکوت آزمایشگاه است.

وسایل و امکانات مورد نیاز:

منبع تولید امواج صوتی
آمپلی‌فایر
بلندگو
میکروفون
کامپیوتر و نرم‌افزار Cool Edit Pro 2,1

شرح آزمایش:

ابتدا مدار را مطابق شکل زیر می‌بندیم.



شکل-۲-

در این قسمت از آزمایش قرار است رفتار زاویه‌ای بلندگوی اتاق سکوت را بررسی کنید. از آن‌جا که باید زاویه را در هر مرحله ۲۰ درجه تغییر دهید، به ۱۸ یا برای اطمینان ۲۰ بازه‌ی زمانی پخش یک صوت تک‌فرکانس نیاز دارید به‌طوری‌که میان آن‌ها بازه‌ی سکوت مناسبی قرار داشته باشد. برای این‌کار به قسمت Generate در منوی نرم‌افزار بروید و در آن Tones را انتخاب کنید، در پنجره‌ی ایجاد شده Sample Rate را برابر ۴۴۱۰۰ برگزیده و آن‌را تایید نمایید. در پنجره‌ی بعد، کافیست Base Frequency و Duration مورد نظر را وارد کرده و تایید کنید. Cool Edit صوت مورد نظر را با فرکانس و بازه‌ی زمانی مشخص تولید می‌نماید. بازه‌ی زمانی پخش فرکانس را ۳۰ تا ۴۵ ثانیه منظور کرده و میان آن‌ها یک بازه‌ی دلخواه مثلا ۱۰ تا ۱۵ ثانیه سکوت (Silence) قرار دهید. برای تولید سکوت کافیست پس از آن‌که انتهای صوت تولید شده‌ی مرحله‌ی قبل کلیک کردید، مجددا به قسمت Generate بروید و این‌بار گزینه‌ی Silence را انتخاب نمایید. در پنجره‌ی ایجاد شده Silence Time مورد نظر را وارد کرده و تایید کنید.

شدت آمپلی‌فایر را در طول آزمایش تغییر ندهید. پس از آن‌که نوت‌بوک خود را در اتاق سکوت مستقر کردید، میکروفون را به آن وصل کرده و در فاصله‌ی مناسبی از بلندگو قرار دهید. با اجرای نرم‌افزار Cool Edit آن‌را در حالت ضبط صدا قرار دهید. پس از آن‌که درب اتاق بسته شد، فایل صوتی تولید شده را بر روی کامپیوتر آزمایشگاه اجرا نمایید. این فایل توسط بلندگو در اتاق سکوت پخش می‌گردد و دوستتان در هر بازه‌ی سکوت فرصت دارد اقدام به تغییر زاویه‌ی میان بلندگو و میکروفون، بر اساس زوایای مندرج در جدول زیر نماید. بدین‌ترتیب شما خواهید توانست شدت میانگین ضبط شده توسط میکروفون را برای هر زاویه به دست آورید.

جدول-۱- تغییر زاویه‌ی میان میکروفون و بلندگو

زاویه ی میان میکروفون و بلندگو	۰	۲۰	۴۰	۶۰	۸۰	۱۰۰	۱۲۰	۱۴۰	۱۶۰
شدت									

زاویه ی میان میکروفون و بلندگو	۱۸۰	۲۰۰	۲۲۰	۲۴۰	۲۶۰	۲۸۰	۳۰۰	۳۲۰	۳۴۰
شدت									

قسمت بعدی آزمایش را با ثابت نگه‌داشتن زاویه‌ی میان بلندگو و میکروفون مثلا در زاویه‌ی صفر درجه انجام می‌دهیم. اما این‌بار، از آن‌جا که قصد داریم رفتار بلندگو را به ازای فرکانس‌ها و شدت-های مختلف درک کنیم، لازم است به وسیله‌ی نرم‌افزار فرکانس‌های متنوعی را تولید و پخش نماییم. مانند قسمت قبل این‌کار را انجام دهید، اما این‌بار هر بازه را به یکی از فرکانس‌های مندرج در جدول ۲ اختصاص دهید. می‌توانید در این قسمت مقدار سکوت میان بازه‌ها را کمتر از قبل اختیار کنید. مجددا نوت‌بوک خود را در اتاق سکوت قرار دهید و هنگامی که از آماده بودن

میکروفون، بلندگو و اجرای عمل ضبط صدا توسط نرم‌افـزار اطمینـان حاصـل کردیـد، درب اتـاق را بسته و فایلی را که برای این مرحله آماده ساخته‌اید، ۳ بار بر روی کامپیوتر آزمایشگاه اجـرا نماییـد. بار اول آمپلی‌فایر را بر روی شدت کم، بار دوم بر روی شدت متوسط و بار سوم بر روی شـدت زیـاد تنظیم کنید. بدین ترتیب قادر خواهید بـود شـدت میـانگین پخـش‌شـده توسـط بلنـدگو را در هـر فرکانس از روی نرم‌افزار به دست آورید.

جدول-۲- شدت ورودی کم

فرکانس(هرتز)	۱۲۵	۲۵۰	۵۰۰	۱۰۰۰	۲۰۰۰	۴۰۰۰	۸۰۰۰	۱۶۰۰۰
شدت(دسی بل)								

جدول-۳- شدت ورودی متوسط

فرکانس(هرتز)	۱۲۵	۲۵۰	۵۰۰	۱۰۰۰	۲۰۰۰	۴۰۰۰	۸۰۰۰	۱۶۰۰۰
شدت(دسی بل)								

جدول-۴- شدت ورودی زیاد

فرکانس(هرتز)	۱۲۵	۲۵۰	۵۰۰	۱۰۰۰	۲۰۰۰	۴۰۰۰	۸۰۰۰	۱۶۰۰۰
شدت(دسی بل)								

خواسته‌های آزمایش:

۱-نمودار شدت صوت خروجی بلندگو را بر حسب زاویه‌ی میـان میکروفـون و بلنـدگو رسـم کنیـد. نمودار را تحلیل کنید.

۲- نمودار شدت بر حسب زاویه با راستای بلندگو، برای یک بلندگوی ایده‌آل به چـه صـورت اسـت؟ بلندگوی شما تا چه حد با این بلندگوی ایده‌آل تفاوت دارد؟

۳- کمترین و بیشترین بار صوتی بر گوش در چه زاویه‌ای نسبت به بلندگو رخ می‌دهد؟ این موضوع چه استفاده‌ی عملی می‌تواند داشته باشد؟

۴- نمودار شدت خروجی از بلندگو را بر حسب فرکانس صوت ورودی برای هریک از شدت‌های کـم، متوسط و زیاد رسم کنید. نمودارها را تحلیل کنید.

۵- یکی از ویژگی‌های بارز یک بلندگوی ایده‌آل خطی‌بودن پاسخ دامنه‌ی آن می‌باشد. به این معنی که اگر اختلاف شدت میان دو سیگنال ورودی یک دسی‌بل باشد، میان سیگنال‌های خروجی از بلندگو نیز همان یک دسی‌بل اختلاف وجود داشته باشد. بلندگوی شما با چه تقریبی خطی عمل کرده است؟

۶- بلندگوی شما در کدام محدوده‌ی فرکانسی بهتر عمل کرده است؟ چرا

۷- بلندگوی مورد آزمایش در کدام شدت‌ها عملکرد بهتری از خود نشان داده است؟ چرا؟

۸- طراحی اکثر بلندگوها به گونه‌ای است که در شدت‌های قابل تحمل برای گوش انسان و در فرکانس‌های معمولی برای گوش بیشترین کارایی را داشته باشند. آیا داده‌های شما نیز این موضوع را تایید می‌کند؟

۹- به نظر شما عوامل ایجاد خطا در این آزمایش چیست؟ راهکار خود را برای رفع این عوامل بنویسید.

فعالیت ویژه:

۱- نوع بلندگوی موجود در آزمایشگاه را تعیین کرده و در مورد نحوه‌ی عملکرد این بلندگوها توضیح دهید.

آزمایش شماره‌ی ۷:

همهمه

تئوری و هدف آزمایش:

در طراحی وساخت محیط‌هایی که جاذب فرکانس‌هایی هستند که شدت آن‌ها در ناحیه‌ی حساس گوش انسان قرار دارد، تحلیل آکوستیکی از اهمیت فراوانی برخوردار است.

گوش انسان در محدوده‌ی فرکانسی ۸۰۰ تا۵۰۰۰ سیکل بر ثانیه حساسیت بیشتری از خود نشان می‌دهد. حال اگر ما آلودگی‌های صوتی محیط‌های گوناگون را مطابق این آزمایش بررسی کنیم و بتوانیم مواردی را که برای گوش انسان مضر است، شناسایی نماییم، می‌توانیم با به‌کارگیری موادی که از ضریب جذب بالایی برخوردارند، در محیط مورد نظر از میزان آلودگی صوتی کم کنیم.

صدا و کاهش شنوایی:

بسیاری از افراد به طور مداوم و روزانه در محیط کار و خارج از آن در معرض اصوات غیرمجاز هستند. این امر می‌تواند منجر به کاهش شنوایی غیرقابل درمان شود که باعث ایجاد اشکال در ارتباط کلامی با دیگران و کاهش کیفیت زندگی اجتماعی فرد می‌شود. استفاده از وسایل صوتی و استریو در اتومبیل، استفاده از هدفون برای گوش دادن به موسیقی، ترافیک شهری، مواد منفجره‌ی تفریحی، تیراندازی و... همگی انسان را در معرض صدای غیرمجاز قرار می دهد. اما رایج‌ترین مکان مواجهه با صوت غیرمجاز و شایع‌ترین علت کاهش شنوایی ناشی از صوت، مواجهه با صدا در محیط کار است، به طوری که حدود ۳۰ درصد علل ناشنوایی و کم شنوایی در بزرگسالان مواجهه‌ی شغلی با صوت است. بروز این بیماری در فرد علاوه بر ایجاد ناتوانی، مشمول دریافت غرامت از کارفرما بوده و بار اقتصادی و مالی قابل توجهی به صنایع و کارفرمایان و موسسات بیمه تحمیل می کند.

اقداماتی که به منظور کاستن صدای محیط انجام می شود، شامل کنترل مهندسی دستگاه‌ها در محیط‌های پرسروصدا و رفع عیوب مربوط به دستگاه‌ها و در صورت لزوم، امکان تعویض دستگاه است. در صورتی که انجام اقدامات فوق ممکن نباشد یا قادر به رفع صدای غیرمجاز محیط نباشیم، باید گوشی های محافظ در اختیار افراد در معرض صوت غیرمجاز قرار داد. این گوشی‌ها متناسب با شدت و فرکانس صدای محیط کار تجویز می شود. برای این افراد باید سالانه معاینه‌ی شنوایی سنجی انجام شود تا در صورت مشاهده اختلال در تست شنوایی اقدامات مناسب به منظور پیشگیری از پیشرفت افت شنوایی بر دامنه فرکانس شنیداری انجام شود.

در این آزمایش قصد داریم چنین تحلیل آکوستیکی را برای محیط‌هایی که هرروزه در آن‌ها به سر می‌بریم، انجام دهیم.

وسایل و امکانات مورد نیاز:

میکروفون

کامپیوتر و نرم‌افزار Cool Edit Pro 2,1

شرح آزمایش:

شما در این آزمایش تنها نیاز به یک فایل صوتی دارید که همهمه‌ی ضبط شده از مکان‌های مختلف از جمله اتاق سکوت، اتاق زنده، کلاس درس، سالن کنفرانس، ترافیک شهری، اتاقک خودرو، ایستگاه مترو و غیره در آن موجود باشد. آنگاه کافیست این فایل را به وسیله‌ی Cool Edit اجرا کنید و به تحلیل آن بپردازید.

نمودار تحلیل فرکانسی شدت فرکانس‌های موجود در محیط را بیان می‌کند. برای مشاهده‌ی این نمودار به قسمت Analyze از منوی نرم‌افزار بروید وShow Frequency Analyze را انتخاب کنید. با این کار نمودار شدت بر حسب فرکانس در هر لحظه از زمان برای صوت در حال اجرا به نمایش درمی‌آید.

برای آن‌که به خوبی از فرکانس‌های موجود در محیط آگاهی پیدا کنید، می‌توانید از تبدیل فوریه داده‌های ورودی استفاده کنید. برای بهره‌گیری از این امکان، به قسمت View از منوی نرم‌افزار بروید و در زبانه‌ی ایجادشده Spectral View را انتخاب کنید.

نمودار هیستوگرام مشخص می‌کند که چه کسری از کل صدای نمونه، در چه بازه‌ای از تراز شدت قرار داشته است. برای مشاهده‌ی هیستوگرام یک صوت کافیست به قسمت Analyze از منوی نرم‌افزار رفته و در زبانه‌ی ایجادشده Statistics را انتخاب کنید. در پنجره‌ی ایجادشده به قسمت هیستوگرام بروید. ملاحظه می‌کنید نموداری به نمایش درمی‌آید که محور افقی آن تراز شدت صوت برحسب دسی‌بل و محور عمودی آن درصد نسبی آن شدت را درکل نمونه مشخص می‌کند.

Cool Edit اطلاعات مفصل دیگری نیز از صوت مورد نظر در اختیار شما می‌گذارد. این امکان در قسمت General از گزینه‌ی Statistics قرار دارد.

خواسته های آزمایش:

۱-نمودار تحلیل فرکانسی را برای محیط‌های مورد بررسی رسم کنید و بر اساس آن میان محیط-های مختلف مقایسه ای انجام دهید.

۲- هیستوگرام محیط‌های مختلف را رسم کرده و بر اساس آن میان آن‌ها مقایسه‌ای انجام دهید.

۳- فرکانس و شدت غالب در هر محیط چقدر بوده است؟

۴- کدام محیط از نظر صوتی آلوده‌ترین و کدامیک پاکیزه‌ترین بوده است؟ چرا؟

۵- به طور معمول میزان آلودگی صوتی در محیط‌های شلوغ سربسته بیشتر است یا محیط‌های شلوغ باز؟ پاسخ خود را بر اساس داده‌های به دست آمده بیان کنید.

۶- عوامل ایجاد خطا در این آزمایش چیست؟

فعالیت ویژه:

۱- با توجه به General Statistics داده‌ها در مکان‌های مختلف، فاکتورهای زیر را برای هریک از آن‌ها به دست آورده و در نموداری ستونی با یکدیگر مقایسه کنید:

Peak Amplitude، Maximum Sample Value، Minimum Sample Value، Average RMS Power، Maximum RMS Power، Minimum RMS Power، Total RMS Power.

آیا می‌توانید بگویید هریک از این فاکتورها نماینده‌ی چه ویژگی از موج هستند؟

ضمیمه‌ی ۱:

آشنایی با نرم‌افزارهای مورد نیاز در آزمایشگاه الکتروآکوستیک:

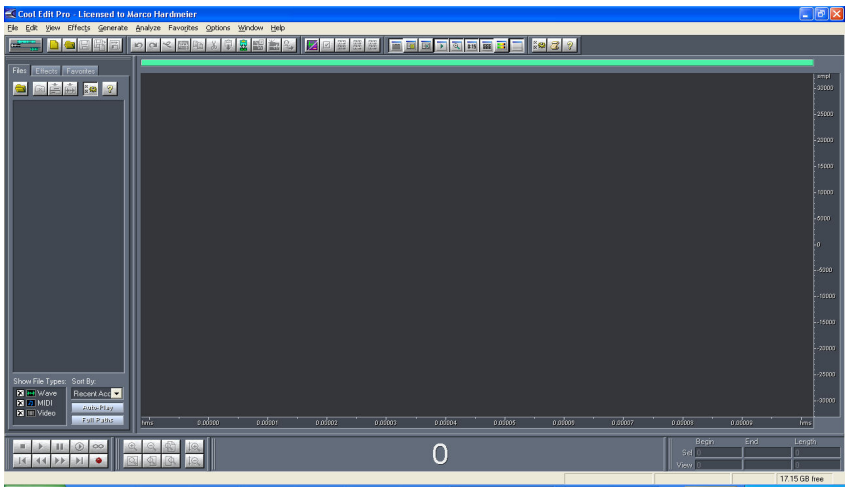
نرم‌افزار Cool Edit Pro 2,1

یکی از قویترین نرم افزارهای ویرایش صدا Cool Edit می باشد که علاوه بر آن‌کـه در آزمایـشگاه آکوستیک به آن نیاز دارید، می‌توانید از آن در انجام فعالیت‌های صوتی متنوعی نیز بهره بگیریـد. در این قسمت سعی کرده‌ایم ضمن آشنایی مختصر با محیط این نرم‌افزار، کارهایی را که می‌توان بـا آن انجام داد، مورد بررسی قرار دهیم. نرم‌افزار را می‌توانید از دستیار آزمایـشگاه تهیـه کـرده و آن‌را بـر روی کامپیوتر خود نصب کنید.

روش نصب این نرم افزار بسیار ساده است، در حین نصب، در مورد فرمت‌های مختلف فایل‌های صوتی که نرم‌افزار از آن‌ها پشتیبانی می‌کند، سوال می‌کند که شما می‌باید از لیست موجود فرمت-هایی را که مورد نیازتان است، انتخاب کنید. برای انتخاب کلیه‌ی فرمت‌ها می‌توانید بر روی دکمه‌ی select all کلیک کنید.

اجرای نرم افزار

پس از نصب کامل نرم‌افزار و اجرای آن، محیط زیر مشاهده خواهد شد. به طور پیش‌فرض در این محیط بخش‌های مختلفی وجود دارد که به طور خلاصه با آن‌ها آشنا می‌شوید.



شکل-۱- محیط نرم‌افزار

۱. Toolbars: این قسمت که در بالای پنجره قرار دارد، شامل آیکون‌هایی است که کار آن‌ها ذخیره‌کردن، بازکردن صفحه جدید، افزودن یا حذف فایل‌های صوتی وغیره می‌باشد.
۲. Organizer window: درسمت چپ محیط نرم‌افزار، پنجره‌ی organizer window دیده می شود که در آن بخش‌های file، effects و favorites تعبیه شده‌اند. همانطور که از نام آن‌ها مشخص است از این بخش‌ها برای فراخوانی فایل های صوتی و همچنین افزودن effect به آن‌ها استفاده می شود.
۳. Transport Controls: در این قسمت که در سمت چپ و پایین صفحه قرار دارد، دکمه‌هایی تعبیه شده که برای کنترل پخش، آغاز و قطع آن، عقب یا جلوبردن فایل‌های صوتی و غیره کاربرد دارند.
۴. Zoom Controls: همان‌طور که از نامش پیداست، برای بزرگ یا کوچک‌کردن محدوده‌ی دید فایل صوتی، به هنگام کار بر روی آن استفاده می‌شود. معمولا در زمان بریدن یا افزودن صوت جدید به فایل، محدوده‌ی دید را بزرگ‌تر می‌کنند تا میکس صدا به بهترین وجه انجام شود.
۵. Time: در این قسمت می‌توانید زمان بخشی از فایل را که بر روی آن قرار دارید، مشاهده کنید. به دلیل این‌که ما هنوز هیچ فایل صوتی را باز نکرده‌ایم، عدد صفر دیده می‌شود.
۶. Selection/View Controls: این قسمت، در سمت راست پایین صفحه قرار دارد و در آن اطلاعات مربوط به فایل صوتی از جمله زمان کل فایل، زمان قسمتی که انتخاب شده است، مدت زمان قسمتی که در صفحه دیده می شود و غیره نمایش داده می‌شود.
۷. صفحه‌ی کار: اصلی‌ترین قسمت صفحه که بعد از فراخوانی یا ذخیره‌کردن فایل صوتی مشاهده می‌شود.

اما مهارت‌هایی که شما باید در کار با نرم‌افزار در آزمایشگاه به‌دست آورید:

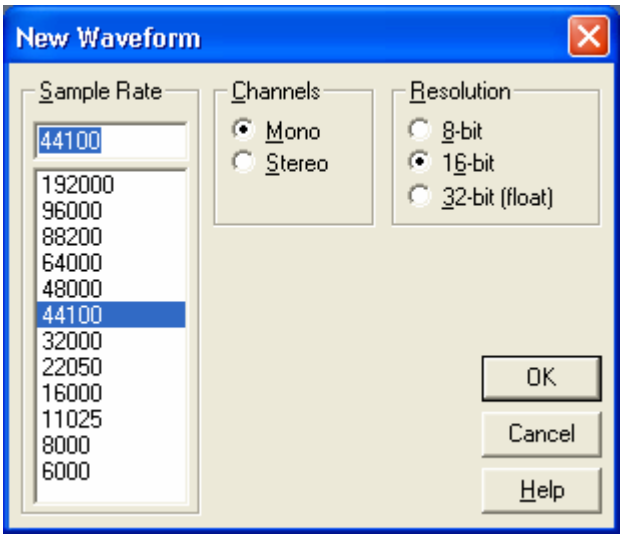
ذخیره‌کردن صدا از میکروفون یا کاست: به طور کلی برای ذخیره‌کردن صوت از میکروفون یا دستگاه ضبط‌صوت روش‌کار به یک صورت است، با این تفاوت که در هنگام ذخیره‌ی صدا از میکروفون می‌بایست کابل میکروفون، به ورودی میکروفون کارت صوتی وصل شود و برای ذخیره‌ی صوت از طریق دستگاه ضبط صوت، کابل ارتباطی باید به ورودی Line کارت صوتی وصل گردد. پس از برقراری اتصالات فوق، ابتدا در Cool Edit Pro 2.1 باید یک صفحه‌ی کار جدید ایجاد

کنید. برای این‌کار به منوی فایل مراجعه کرده و گزینه‌ی new را انتخاب کنید، در .پنجره‌ی new waveform باید مشخصات فایلی را که می‌خواهید بسازید، مشخص کنید. بهترین کیفیت برای یک فایل صوتی باید دارای مشخصه‌های زیر باشد:

Resolution: 32_bit (float)

Channels: stereo

Sample rate: 192000



شکل-۲- پنجره‌ی New Waveform

این نکته را در نظر بگیرید که هر چه بخواهید کیفیت را بالا ببرید، حجم فایل صوتی بیشتر می-شود و این موضوع ممکن است برای شما مشکل ایجاد کند.

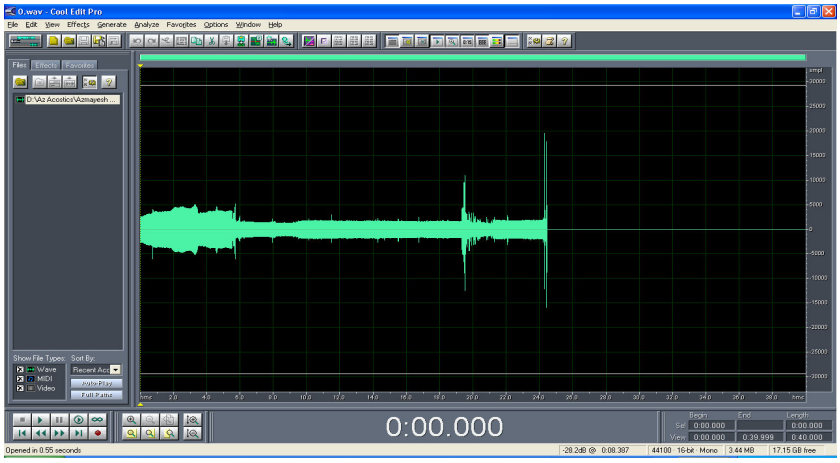
تفاوت بین حالت stereo و mono در این است که در حالت stereo صفحه‌ی کار شما دارای دو بخش left و right است که باعث بالارفتن کیفیت فایل صوتی می شود به طوری‌که کلیه‌ی صداهای موجود در فایل صوتی به طور واضح پخش می‌گردد. این حالت برای ساخت فایل‌های موسیقی که در آن چند نوع آلت موسیقی به‌کار رفته است، کاربرد دارد، ولی در حالت mono صفحه ی کار فقط دارای یک بخش است و کیفیت پایین‌تری دارد.

پس از تعیین مشخصات دلخواه روی دکمه ی ok کلیک کنید تا صفحه‌ی کار به یک صفحه‌ی مشکی تغییر کند.

حال در قسمت Transport Controls با کلیک روی دکمه‌ی record می‌توانید صدای ورودی

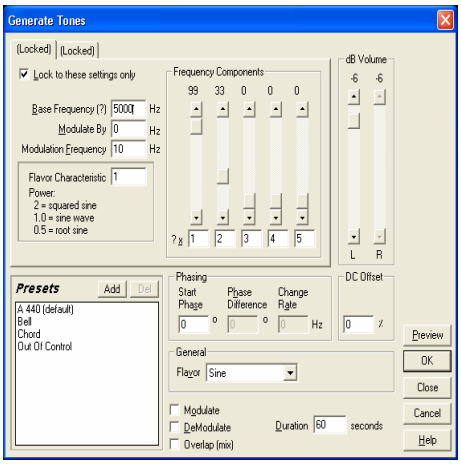
در کامپیوتر را ذخیره کنید. در حین ذخیره‌سازی مشاهده می‌کنید که در صفحه‌ی کار خطوطی به صورت منحنی نمایان می‌شود. این منحنی‌ها نمایشگر فرکانس صوت ذخیره شده در زمان می‌باشند. پس از اتمام عملیات بر روی دکمه stop کلیک کنید.

حال اگر بر روی دکمه‌ی play کلیک کنید، صدای ذخیره شده پخش می‌گردد.

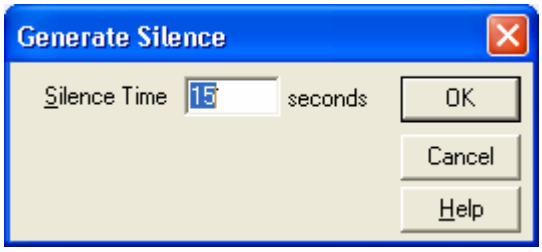


شکل-۳- نمایش صوت ضبط شده
محور عمودی فرکانس و محور افقی زمان را نشان می دهد

تولید صوت با فرکانس دلخواه: برای این‌کار به قسمت Generate در منوی نرم‌افزار بروید و در آن Tones را انتخاب کنید، در پنجره‌ی ایجاد شده Sample Rate، Channels و Resolution مورد نظر را برگزیده و آن‌را تایید نمایید. در پنجره‌ی بعد، کافیست Base Frequency و Duration مورد نظر را وارد کرده و تایید کنید. Cool Edit صوت مورد نظر را با فرکانس و بازه‌ی زمانی مشخص تولید می‌نماید. اما برای تولید سکوت کافیست مجددا به قسمت Generate بروید و این‌بار گزینه ی Silence را انتخاب نمایید. در پنجره‌ی ایجاد شده Silence Time مورد نظر را وارد کرده و تایید کنید.

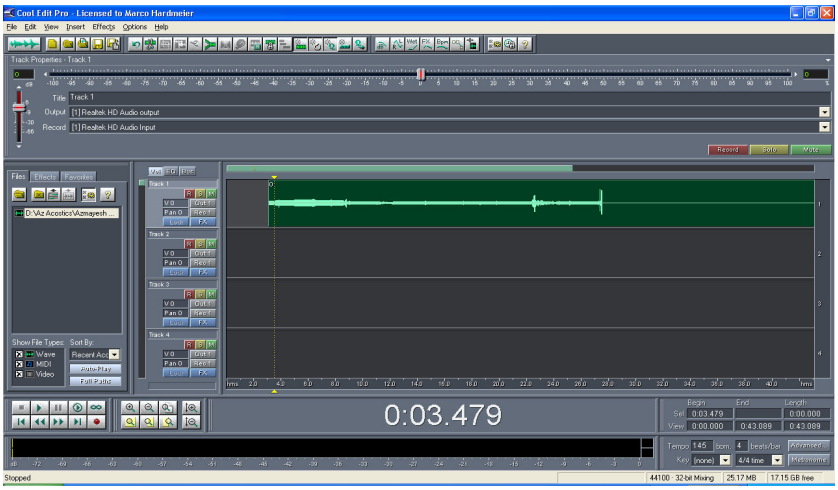


شکل-۴- تولید صوت با فرکانس و زمان دلخواه



شکل-۵- تولید بازه‌ی دلخواه سکوت

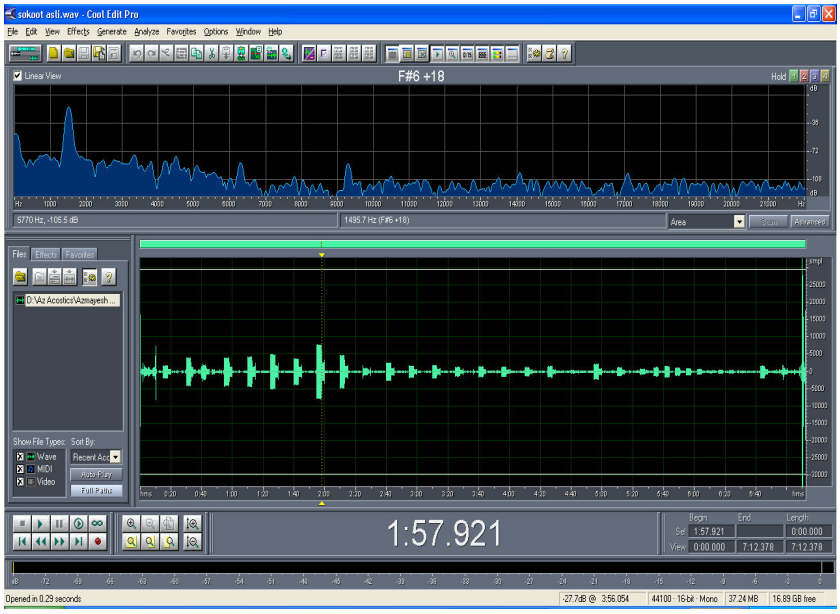
تغییر شدت صوت در حال اجرا: اما برای آن‌که بتوانید شدت صوت پخش‌شده توسط نرم‌افزار را به دلخواه خود تغییر دهید، باید وارد نمایی دیگر از نرم‌افزار شوید. با کلیک بر روی منوی View گزینه‌ی Multitrack View را انتخاب کنید. ملاحظه می‌کنید که برای اجرا شدن فایل در این نما، علاوه بر آن‌که لازم است در قسمت Organizer window فایل مورد نظر را باز کنید، باید با کلیک راست بر روی فایل مورد نظر گزینه‌ی Insert into Multitrack را نیز انتخاب کنید. با این‌کار فایل به قسمت سمت راست منتقل شده و قابل اجرا می‌باشد. اعمال تغییرات بر روی شدت صوت موردنظر در قسمت Track Properties از این نما امکان‌پذیر است. Cool Edit این تغییرات را با دقت دهم دسی‌بل بر روی صوت در حال اجرا اعمال می‌کند.



شکل-۶- نمای Multitrack View

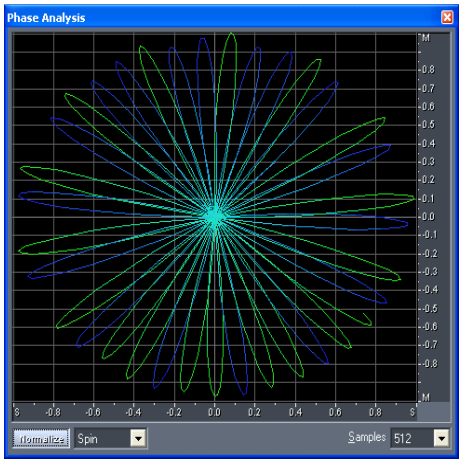
تحلیل امواج صوتی: یکی دیگر از امکاناتی که Cool Edit در اختیار شما می‌گذارد و در آزمایشگاه آکوستیک باید از آن استفاده کنید، تحلیل موج صوتی مورد نظر شماست، این تحلیل را نرم‌افزار به ۳ طریق برای شما انجام می‌دهد.

۱.تحلیل فرکانسی: برای آن‌که نمودار شدت صوت بر حسب فرکانس در هر لحظه از زمان برای شما نمـایش داده شـود، بـه قـسمت Analyze از منـوی نـرم‌افـزار بروید و Show Frequency Analysis را انتخاب کنید. ملاحظه می‌کنید که نشانگر مـوس را بـر روی هـر نقطـه از صـفحه‌ی نمودار نگاه دارید، فرکاتس و شدت آن نقطه در پایین سمت چپ نمودار به نمایش در می‌آید. ضمن آن‌که فرکانس غالب آن صوت در هر لحظه از زمان نیز در پایین سمت راست نمودار دیده می‌شود.

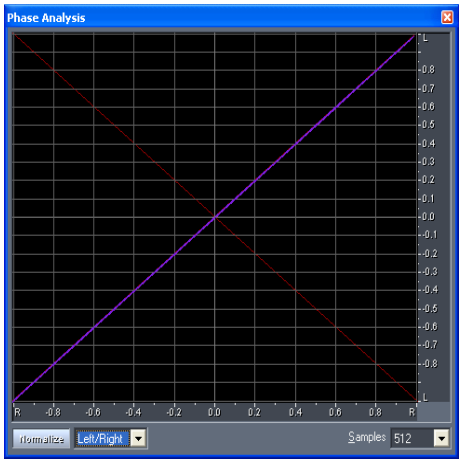


شکل-۷- تحلیل فرکانسی توسط نرم‌افزار
در نمودار بالا محور افقی فرکانس و محور عمودی شدت را نشان می‌دهد

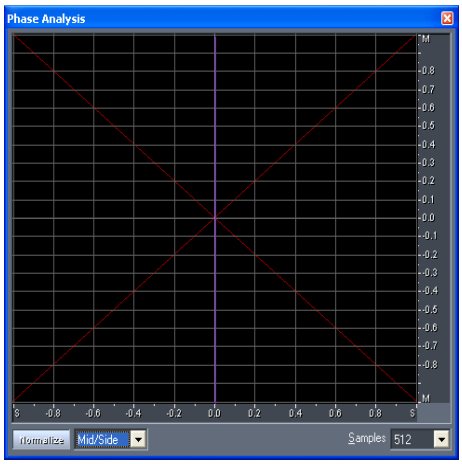
۲. تحلیل فاز: اگر بخواهید نمودار فاز موج درحال اجرا را مشاهده کنید، کافیست در منوی نرم‌افزار و در ذیل گزینه‌ی View، Show Phase Analysis را انتخاب کنید. در پنجره‌ای که به نمایش در می‌آید، می‌توانید بسته به انتخاب خودتان حالت‌های Spin، Left/Right یـا Mid/side را در Sample های مختلف مشاهده کنید.



شکل-۸- نمودار فاز برای حالت Spine

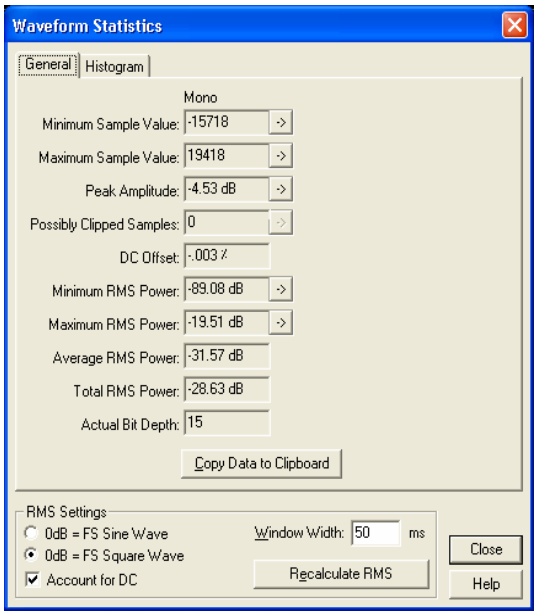


شکل-۹- نمودار فاز برای حالت Left/Right



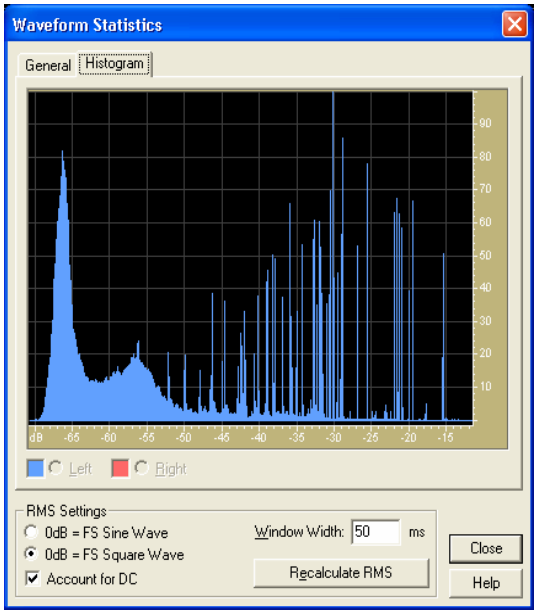
شکل-۱۰- نمودار فاز برای حالت Mid/Side

۳. آمار: این قسمت این امکان را برای شما فراهم می‌آورد که اطلاعات عددی از صوت در حال اجرا اعـم از Minimum Sample Value، Maximum Sample Value، Peak Amplitude و غیره را اعلام می‌کند. این قسمت با انتخاب Statistics از منوی Analyze پدیدار می‌شود.



شکل-۱۱- General Statistics

نمودار هیستوگرام مشخص می‌کند که چه کسری از کل صدای نمونه، در چه بازه‌ای از تراز شدت قرار داشته است. برای مشاهده‌ی هیستوگرام یک صوت کافیست به قسمت Analyze از منوی نرم‌افزار رفته و در زبانه‌ی ایجادشده Statistics را انتخاب کنید. در پنجره‌ی ایجادشده به قسمت هیستوگرام بروید. ملاحظه می‌کنید نموداری به نمایش درمی‌آید که محور افقی آن تراز شدت صوت برحسب دسی‌بل و محور عمودی آن درصد نسبی آن شدت را در کل نمونه مشخص می‌کند.

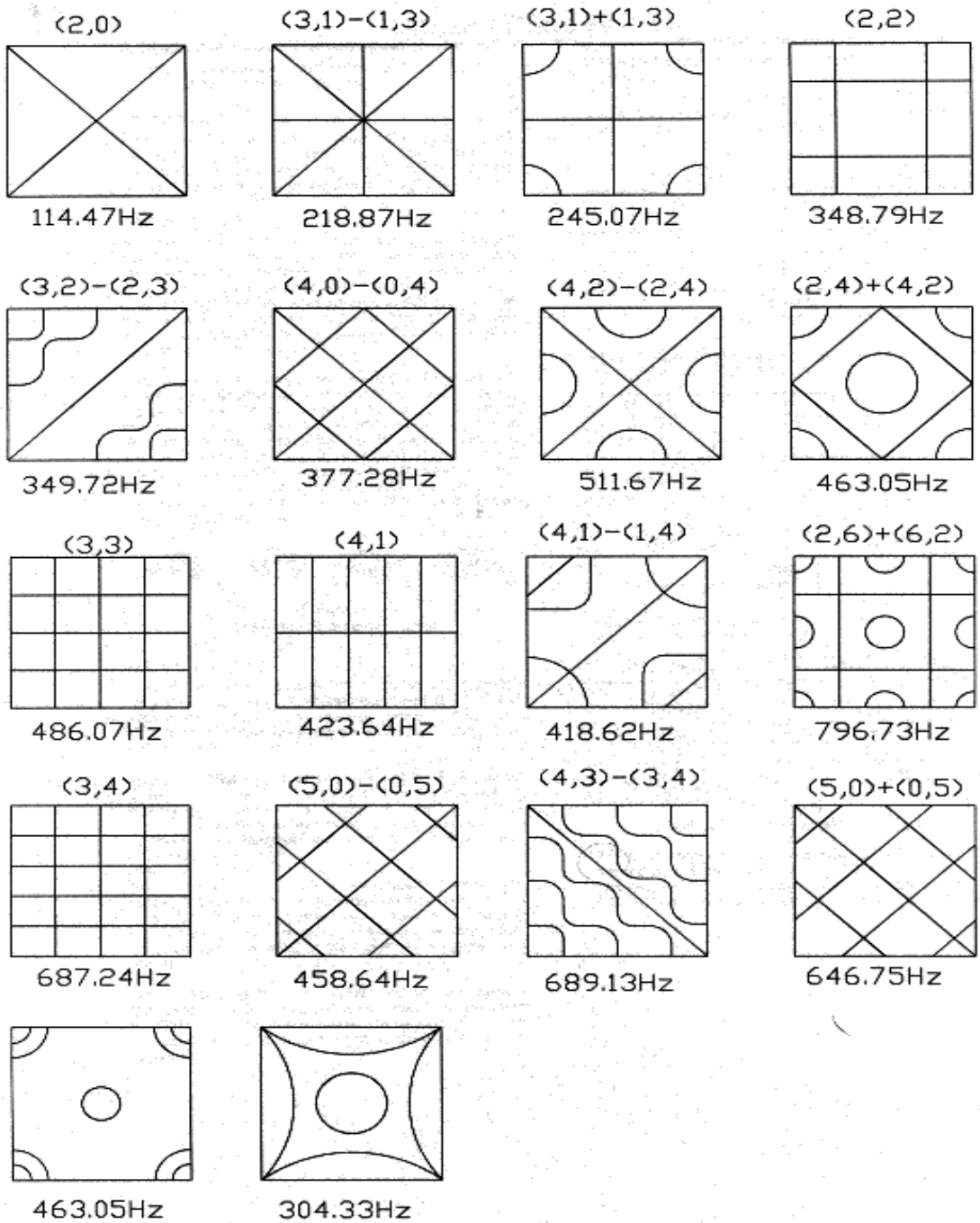


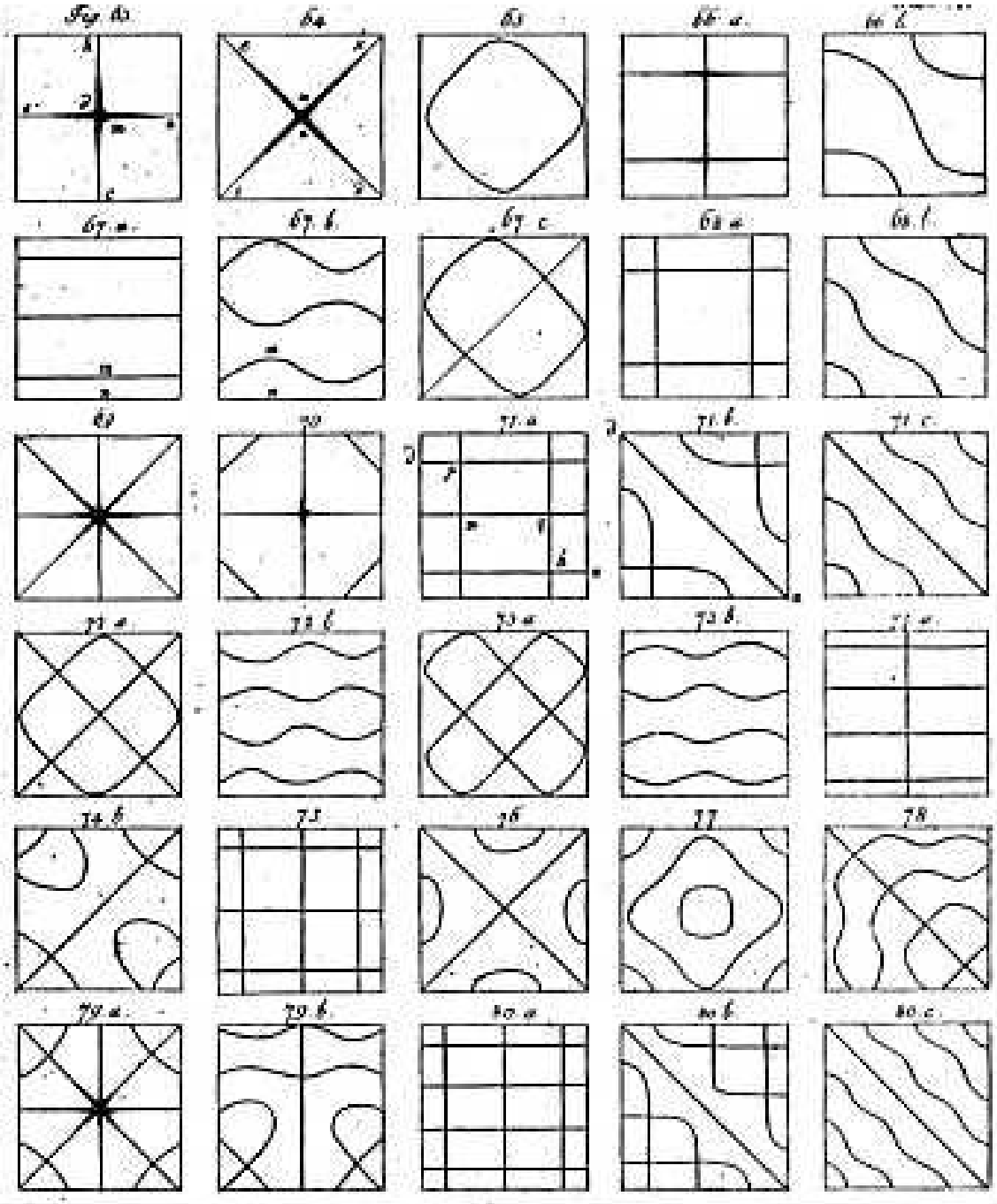
شکل-۱۲- هیستوگرام یک موج صوتی

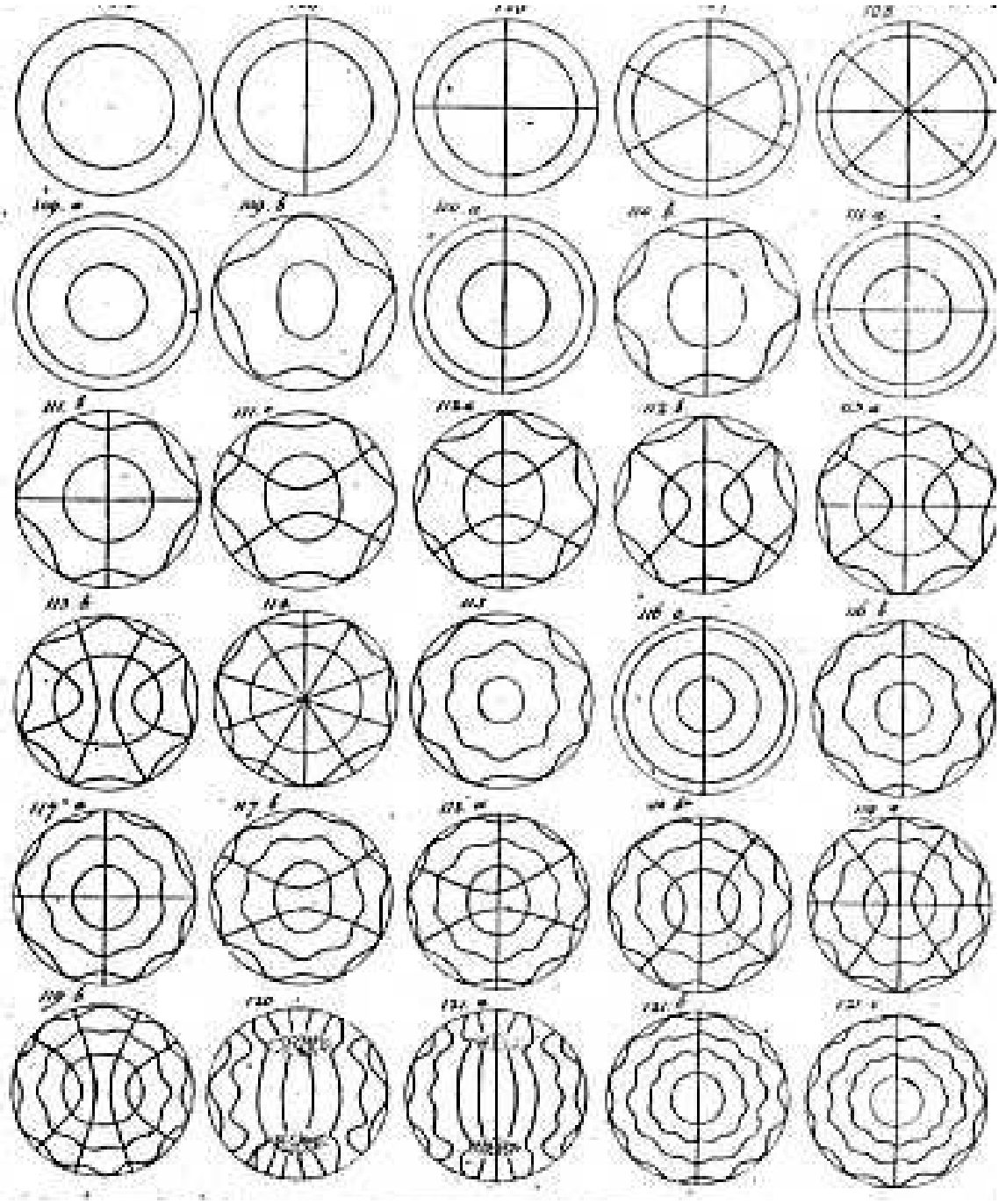
همان‌طور که ملاحظه می‌کنید، Cool Edit نرم‌افزاری کارا جهت انجام بسیاری از عملیات تحلیلی و ویرایشی بر روی فایل‌های صوتی است.

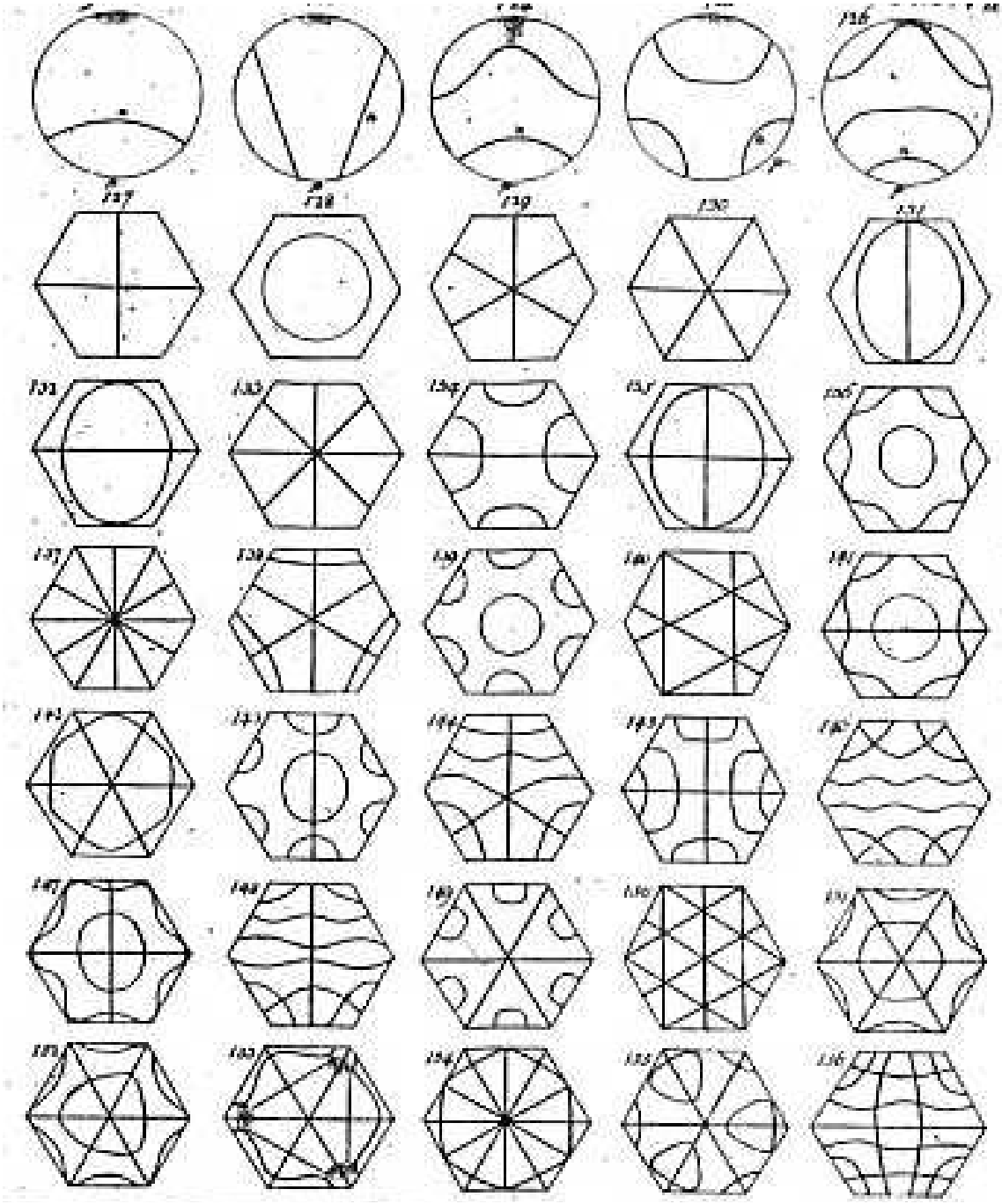
ضمیمه‌ی ۲ :

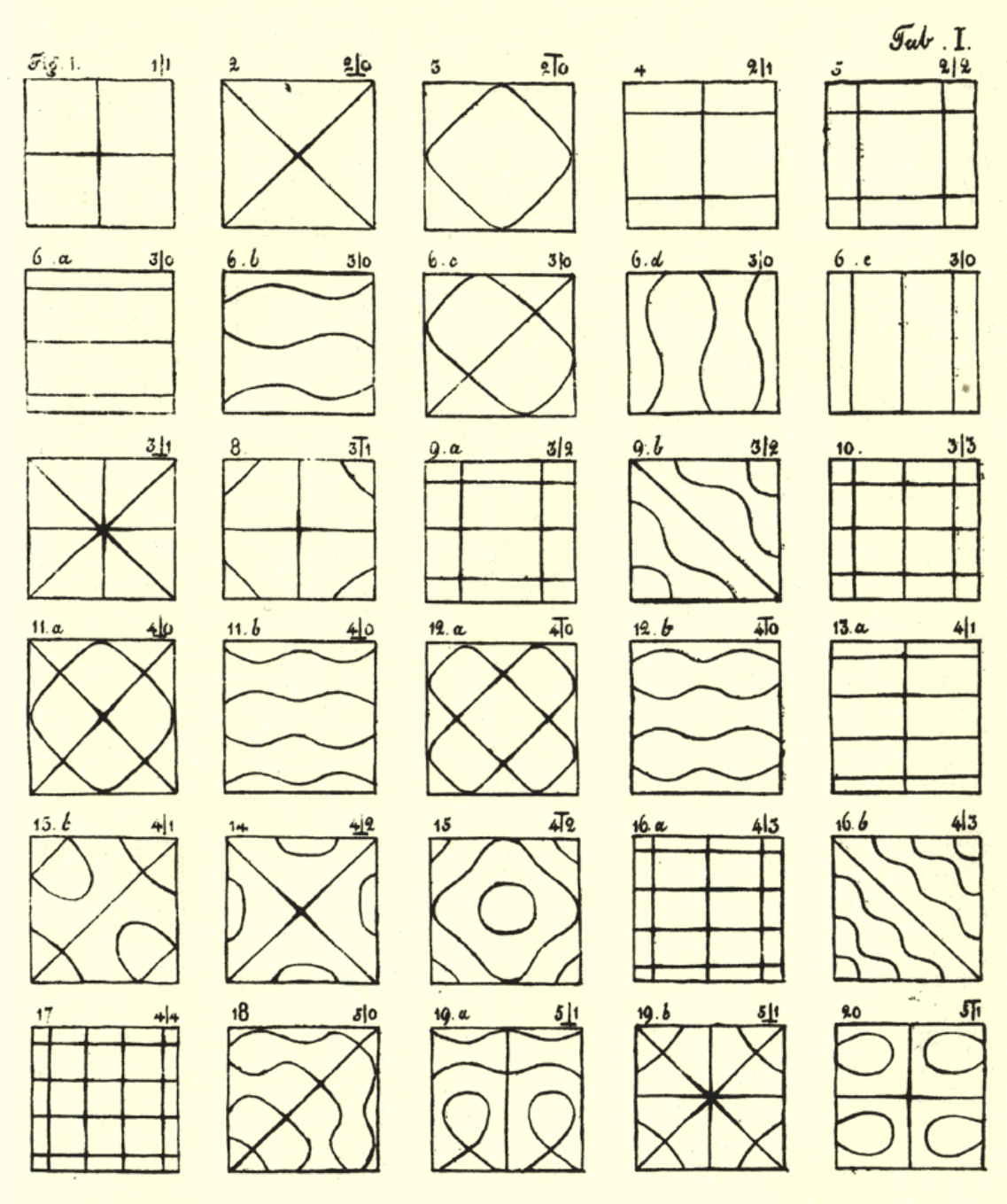
طرح‌های کلادنی

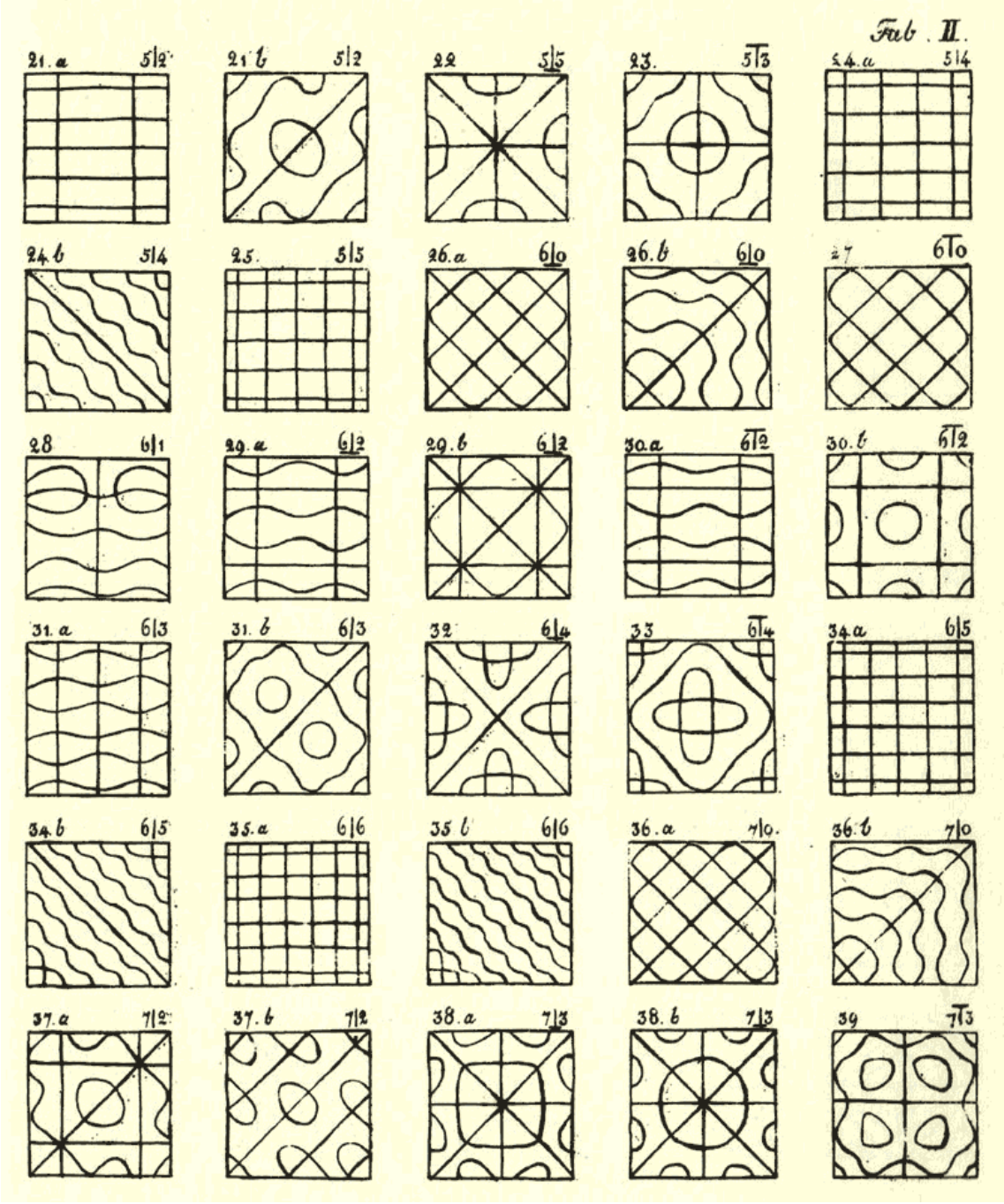


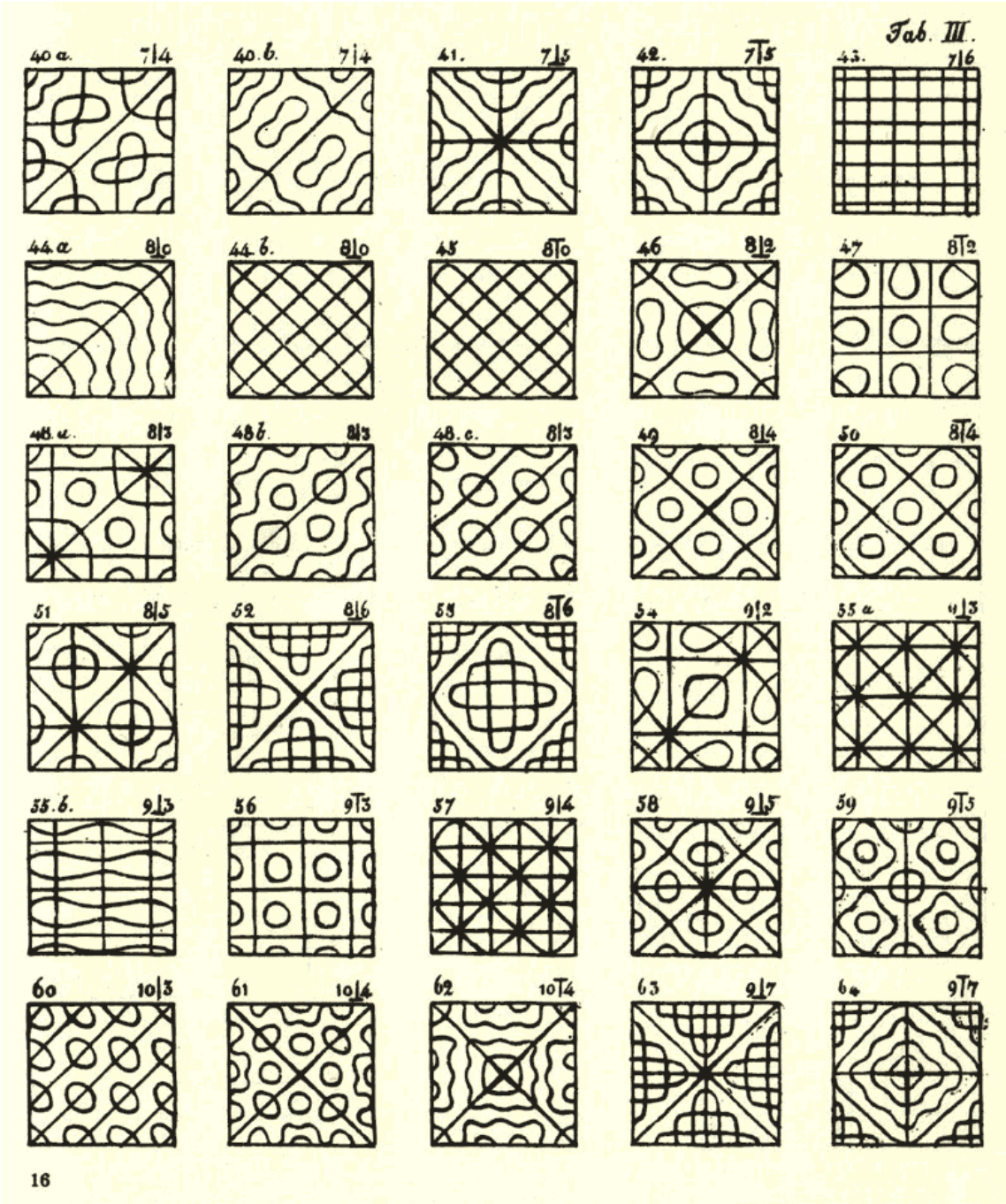


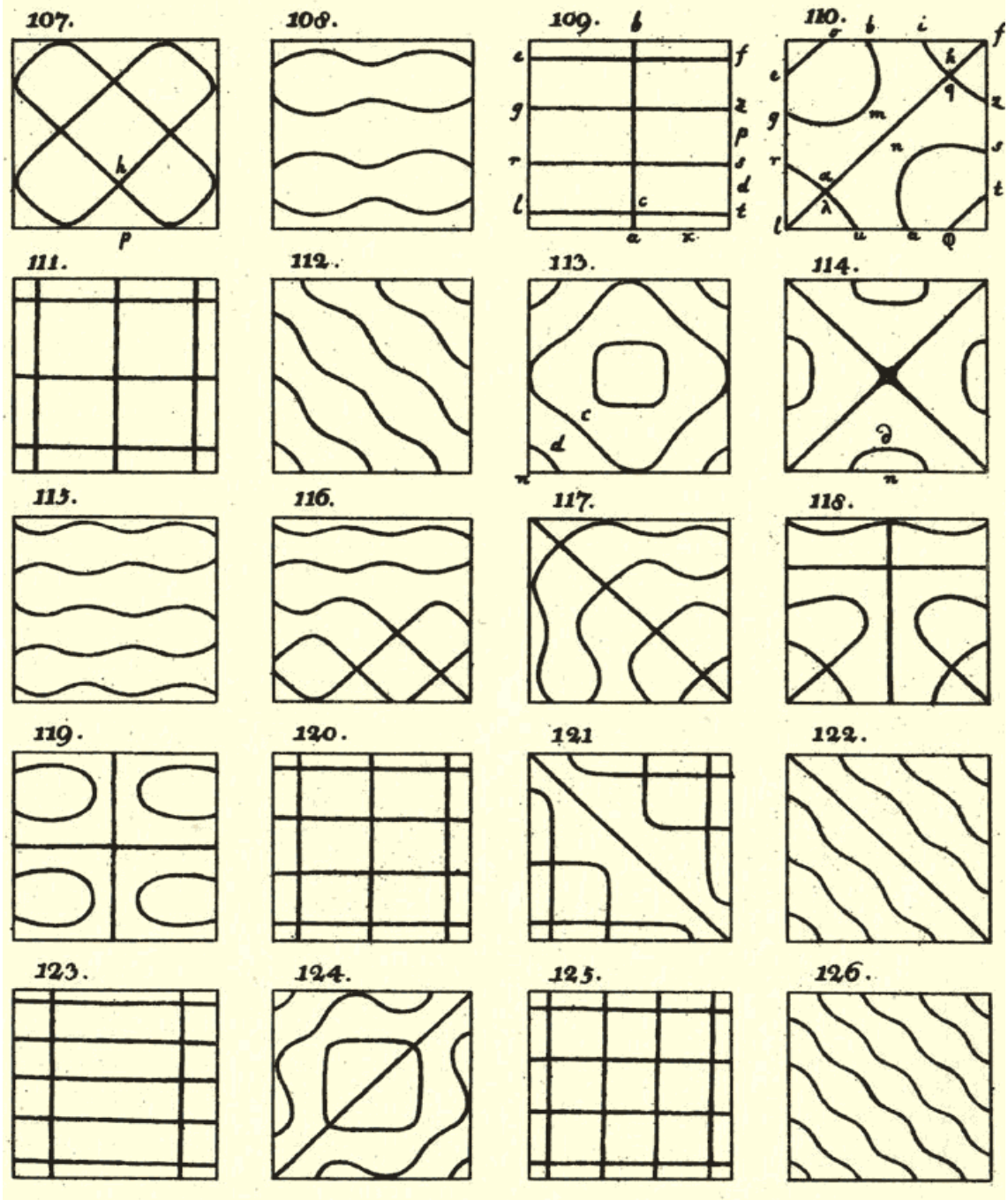


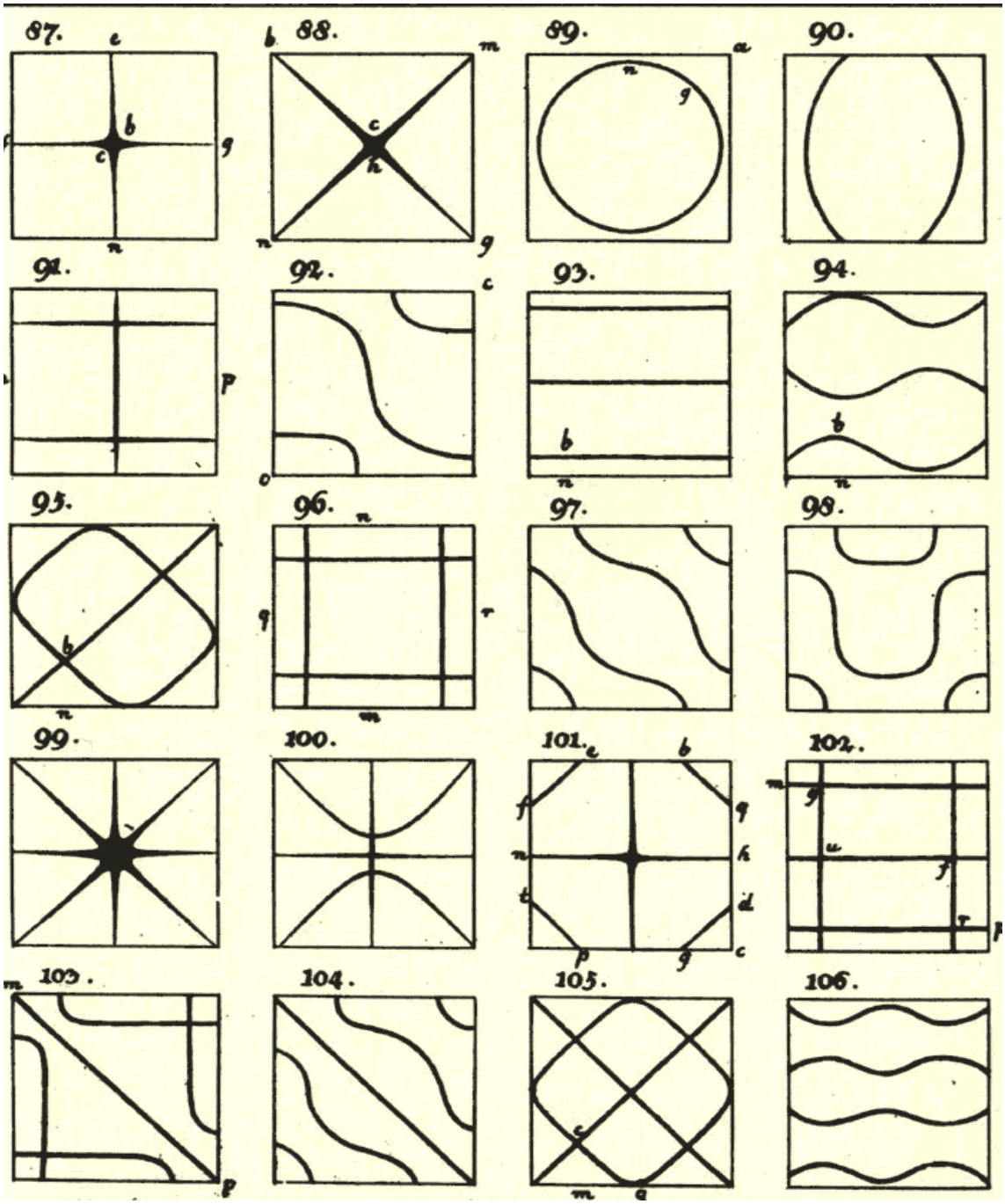


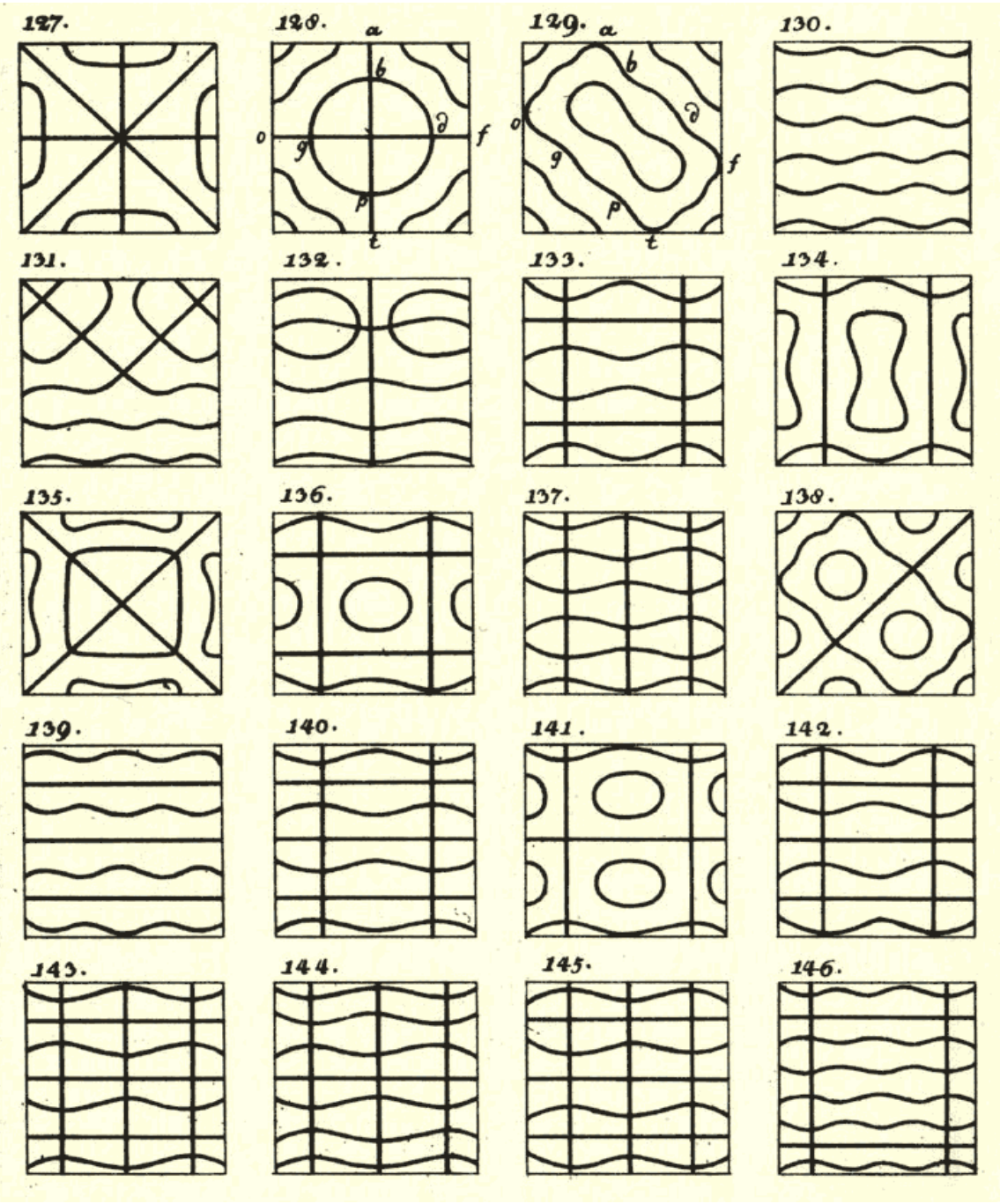

Tab. I.
Fig. 1. 1|1
2 2|0
3 2|0
4 2|1
5 2|2
6.a 3|0
6.b 3|0
6.c 3|0
6.d 3|0
6.e 3|0
3|1
8 3|1
9.a 3|2
9.b 3|2
10. 3|3
11.a 4|0
11.b 4|0
12.a 4|0
12.b 4|0
13.a 4|1
13.b 4|1
14 4|2
15 4|2
16.a 4|3
16.b 4|3
17 4|4
18 5|0
19.a 5|1
19.b 5|1
20 5|1


Tab. II.
21. a 5|2
21. b 5|2
22 5|5
23. 5|3
24. a 5|4
24. b 5|4
25. 5|5
26. a 6|0
26. b 6|0
27 6|0
28 6|1
29. a 6|2
29. b 6|2
30. a 6|2
30. b 6|2
31. a 6|3
31. b 6|3
32 6|4
33 6|4
34. a 6|5
34. b 6|5
35. a 6|6
35 b 6|6
36. a 7|0.
36. b 7|0
37. a 7|2
37. b 7|2
38. a 7|3
38. b 7|3
39 7|3


Tab. III.
40 a. 7|4
40. b. 7|4
41. 7|5
42. 7|5
43. 7|6
44 a 8|0
44. b. 8|0
45 8|0
46 8|2
47 8|2
48. a. 8|3
48 b. 8|3
48. c. 8|3
49 8|4
50 8|4
51 8|5
52 8|6
53 8|6
54 9|2
55 a 9|3
55. b. 9|3
56 9|3
57 9|4
58 9|5
59 9|3
60 10|3
61 10|4
62 10|4
63 9|7
64 9|7
16


107.
108.
109.
110.
111.
112.
113.
114.
115.
116.
117.
118.
119.
120.
121
122.
123.
124.
125.
126.


87.
88.
89.
90.
91.
92.
93.
94.
95.
96.
97.
98.
99.
100.
101.
102.
103.
104.
105.
106.


127.
128.
a
b
o
g
d
f
p
t
129.
a
b
o
d
g
f
p
t
130.
131.
132.
133.
134.
135.
136.
137.
138.
139.
140.
141.
142.
143.
144.
145.
146.

منابع و مآخذ:

الف) کتاب‌ها:

۱- مبانی آکوستیک، لارنس ای۰کینزلر، آستین آر. فرای، ترجمه‌ی دکتر ضیاالدین اسمعیل بیگـی، دکتر مهدی برکشلی، موسسه‌ی انتشارات امیرکبیر، چاپ سوم، ۱۳۶۴.

2-Schaum's Outline of Theory and Problems of Acoustics, William W.Seto. McGrow.Hill Book Company.

ب) صفحات وب:

3-http://www.harmonytalk.com/archives/000635.html

4-http://www.phy.bavidson.edu/stuhome/gimn/chladni

5-http://daneshnameh.roshd.ir

6-http://www.razmpa.com

7-State of California, Division of Environmental Analysis (http://www.dot.ca.gov/hq/env/noise/pub/FAQ.pdf)

8-Nor-121 Environmental Noise Analyzer (http://www.scantekinc.com/datasheets/nor121.htm)

9-http://www.phy.davidson.edu/StuHome/jimn/cladni/pages/theory.htm#rectp

10-http://www.efunda.com/math/bessel/besselJIPlot.cfm

پایان