بتهوون
مرکز موسیقی بتهوون شیراز

نشر نی

امین شهمیری

درآمدی بر
صوت‌شناسی در موسیقی

مرکز موسیقی بتهوون شیراز

سرشناسه: شهمیری، امین، ۱۳۰۸ - ● **عنوان و نام پدیدآور:** درآمدی بر صوت‌شناسی در موسیقی/ امین شهمیری. ● **مشخصات نشر:** تهران، نشر نی، ۱۳۸۸. ● **مشخصات ظاهری:** ۲۷۷ ص.: مصور. ● **نوبت چاپ:** چاپ ششم، ۱۳۹۹. ● **شابک:** 978-964-185-116-5 ● **وضعیت فهرست‌نویسی:** فیپا ● **موضوع:** موسیقی ـ صوت‌شناسی؛ سازهای زهی؛ سازهای بادی؛ صوت‌شناسی ● **رده‌بندی کنگره:** ۱۳۸۸ ۴ د ۹ ش / ML ۳۸۰۵ ● **رده‌بندی دیویی:** ۷۸۱/۲۳ ● **شمارهٔ کتابشناسی ملی:** ۱۸۶۴۹۱۹

نشرنی

درآمدی بر

صوت‌شناسی در موسیقی

امین شهمیری

به اهتمام و ویراستاری: ساقی جهانشاهی قاجار
نمونه‌خوانی: دلناز سالاربهزادی
چاپ ششم: تهران، ۱۳۹۹، ۵۵۰ نسخه
چاپ و صحافی: غزال
شابک: ۵ـ۱۱۶ـ۱۸۵ـ۹۶۴ـ۹۷۸

نشانی: تهران، خیابان دکتر فاطمی، خیابان رهی معیری، تقاطع خیابان فکوری، شمارهٔ ۲۰
کد پستی: ۱۴۱۳۷۱۷۳۷۱، تلفن دفتر نشر: ۸۸۰۲۱۲۱۴، تلفن واحد فروش: ۹ـ۸۸۰۰۴۶۵۸، نمابر: ۸۹۷۸۲۴۶۴
www.nashreney.com ● email: info@nashreney.com ● nashreney

© تمامی حقوق این اثر برای نشرنی محفوظ است. هرگونه استفادهٔ تجاری از این اثر یا تکثیر آن کلاً و جزئاً، به هر صورت (چاپ، فتوکپی، صوت، تصویر و انتشار الکترونیکی) بدون اجازهٔ مکتوب ناشر ممنوع است.

مرکز موسیقی بتهوون شیراز

فهرست مطالب

پیشگفتار ۹

فصل اول. یکاها ۱۳
۱.۱ کمیت چیست؟ ۱۳
۲.۱ کمیت‌های اصلی ۱۴
۳.۱ کمیت‌های فرعی ۱۵

فصل دوم. حرکت‌های هارمونیک ۱۹
۱.۲ حرکت هماهنگ ساده ۱۹
۲.۲ موج ۲۳
۳.۲ انواع موج ۲۳
۴.۲ چشمهٔ موج ۲۶
۵.۲ انتشار موج ۲۶
۶.۲ ویژگی‌های موج ۲۷
۷.۲ تداخل امواج ۲۸
۸.۲ تشدید ۲۹
۹.۲ معادلهٔ موج ۳۰
۱۰.۲ امواج صوتی ۳۱
۱۱.۲ منشأ صدا ۳۱
۱۲.۲ سرعت صوت ۳۲

فصل سوم. صوت ۳۵
۱.۳ صدا ۳۵

مرکز موسیقی بتهوون شیراز

۲.۳ موسیقی ۳۷
۳.۳ زبان ۳۸
۴.۳ سیر تحول صوت‌شناسی ۳۸
۵.۳ آکوستیک چیست؟ ۴۰

فصل چهارم. شنوایی ۴۳
۱.۴ فیزیولوژی گوش ۴۳
۲.۴ نوار بحرانی ۴۶
۳.۴ سازوکار شنوایی ۴۹
۴.۴ محدودهٔ شنوایی ۴۹
۵.۴ ویژگی‌های فیزیولوژیک صوت ۵۰
۶.۴ تراز شدت و مقیاس دسی‌بل ۵۵
۷.۴ اندازه‌گیری تراز فشار صوت ۵۷
۸.۴ شدت صوت و انتشار در میدان آزاد ۵۸
۹.۴ پدیدهٔ بلندی صدا ۵۹
۱۰.۴ پدیدهٔ تشخیص جهت (پدیدهٔ تمرکزگرایی) ۶۴
۱۱.۴ شنوایی مضاعف و شنیدن با هدفون ۶۴
۱۲.۴ اثر تقدم (تأثیر اولویت صوتی) ۶۵
۱۳.۴ صدای استریوفونیک و تصویر ذهنی صدا (تصاویر مجازی) ۶۶
۱۴.۴ درک پیچ ۶۹
۱۵.۴ اثر دوپلر ۷۱

فصل پنجم. آکوستیک ۷۳
۱.۵ شکست (انکسار) ۷۳
۲.۵ پژواک (انعکاس) ۷۴
۳.۵ پراش یا پخش (تفرق) ۷۵
۴.۵ صدا و میدان‌های صوتی در فضای بسته ۷۷
۵.۵ وضعیت آکوستیکی ۷۹
۶.۵ اصوات مزاحم ۸۰
۷.۵ نوفه و آثار زیان‌بار آن ۸۱
۸.۵ محافظت از شنوایی ۸۴
۹.۵ آکوستیک ساختمانی ۸۶
۱۰.۵ آکوستیک اتاق موسیقی ۸۷

مرکز موسیقی بتهوون شیراز

فصل ششم. گام‌ها ۹۱
۱.۶ تعریف نت ۹۲
۲.۶ تعریف موسیقی ۹۳
۳.۶ فاصلهٔ موسیقی ۹۴
۴.۶ تعریف گام ۹۹
۵.۶ انواع گام در یونان ۱۰۲
۶.۶ انواع گام در موسیقی غربی ۱۰۴
۷.۶ حدود اصوات موسیقی ۱۲۰

فصل هفتم. گام در موسیقی ایرانی ۱۲۳
۱.۷ یونان باستان و موسیقی ۱۲۳
۲.۷ ایران و موسیقی ۱۲۵

فصل هشتم. تار مرتعش ۱۳۹
۱.۸ صداسنج (سنومتر) ۱۳۹
۲.۸ هارمونیک‌ها ۱۴۰
۳.۸ انواع موج ۱۴۷
۴.۸ قوانین تارهای مرتعش ۱۵۱
۵.۸ امواج طولی ۱۵۵
۶.۸ ایجاد صداهای مرکب در تارهای مرتعش ۱۵۶
۷.۸ رده‌بندی سازها ۱۵۸

فصل نهم. سازهای زهی ۱۶۱
۱.۹ تاریخچهٔ سازهای زهی ۱۶۱
۲.۹ سازهای قدیمی ۱۶۵
۳.۹ سازهای امروزی ۱۶۹

فصل دهم. لوله‌های صوتی و سازهای بادی ۱۹۷
۱.۱۰ تعریف لوله‌های صوتی ۱۹۷
۲.۱۰ چگونه هوا در لوله‌های صوتی مرتعش می‌شود؟ ۱۹۸
۳.۱۰ بررسی حالت ارتعاش در لوله‌های صوتی ۲۰۱
۴.۱۰ لوله‌های صوتی باز ۲۰۳
۵.۱۰ لوله‌های صوتی بسته ۲۰۵
۶.۱۰ کاربرد لوله‌های صوتی ۲۰۷
۷.۱۰ سازهای بادی ۲۰۷

مرکز موسیقی بتهوون شیراز

۸.۱۰ سازهای زبانه‌دار یا قمیشی ۲۰۸
۹.۱۰ فلوت ۲۰۹
۱۰.۱۰ فلوت کوچک (پیکولو) ۲۱۰
۱۱.۱۰ کلارینت (قره‌نی) ۲۱۱
۱۲.۱۰ اوبوا (هوبوا) ۲۱۲
۱۳.۱۰ باسون ۲۱۳
۱۴.۱۰ نی هفت‌بند (نی) ۲۱۳
۱۵.۱۰ بالابان (نرمه‌نای) ۲۱۴
۱۶.۱۰ دوزَله (نی‌جفته) ۲۱۵
۱۷.۱۰ نی‌انبان ۲۱۶
۱۸.۱۰ سُرنا ۲۱۷
۱۹.۱۰ کَرنا ۲۱۷
۲۰.۱۰ بوق، برغو، نفیر ۲۱۸
۲۱.۱۰ ارغنون ۲۱۹
۲۲.۱۰ پن فلوت ۲۱۹
۲۳.۱۰ اُرگ ۲۲۰
۲۴.۱۰ شیپور (کُر) ۲۲۱
۲۵.۱۰ ترومپت ۲۲۱
۲۶.۱۰ ترومبون ۲۲۲
۲۷.۱۰ توبا ۲۲۳
۲۸.۱۰ ساکسوفون ۲۲۴
۲۹.۱۰ ساز دهنی ۲۲۴
۳۰.۱۰ آکاردئون ۲۲۵

فصل یازدهم. سازهای کوبه‌ای (ضربی) ۲۲۷
۱.۱۱ تعریف سازهای کوبه‌ای ۲۲۷
۲.۱۱ سازهای کوبه‌ای پوستی ۲۲۸
۳.۱۱ سازهای کوبه‌ای فلزی ۲۳۶
۴.۱۱ سازهای کوبه‌ای ملودیک ۲۴۳

فصل دوازدهم. موسیقی مدرن ۲۴۷
۱.۱۲ سازهای الکترونیکی و نقش آن‌ها در ابداع موسیقی مدرن ۲۴۸
۲.۱۲ موسیقی الکترونیکی ۲۴۹
۳.۱۲ موسیقی تجسمی ۲۵۶
۴.۱۲ موسیقی تصادفی یا پست‌مدرن ۲۵۷
۵.۱۲ موسیقی میکروتنی ۲۵۸

مرکز موسیقی بتهوون شیراز

فصل سیزدهم. اثر کیفیت صدا بر انسان ۲۶۱
۱.۱۳ تلاش برای صحبت در دنیایی ساکت ۲۶۱
۲.۱۳ بررسی عمق ناشنوایی ۲۶۱
۳.۱۳ نخستین گام‌ها برای حرف‌زدن ۲۶۲
۴.۱۳ حداکثر استفاده از حداقل شنوایی ۲۶۲
۵.۱۳ تسلط بر اصوات کلام ۲۶۳
۶.۱۳ ایجاد انباری از واژه‌ها ۲۶۳
۷.۱۳ درمان ماهیچه‌های سردرگم ۲۶۴
۸.۱۳ آماده‌شدن برای دنیای واقعی ۲۶۴
۹.۱۳ صداهای ناخواسته ۲۶۴
۱۰.۱۳ خطر ناشنوایی برای سازندگان دیگ بخار ۲۶۶
۱۱.۱۳ پرداخت هزینهٔ سروصدای صنعتی ۲۶۷
۱۲.۱۳ از ارابه تا سطل آشغال ۲۶۹
۱۳.۱۳ خانه‌های پرسروصدا ۲۷۰
۱۴.۱۳ دفاتر ساکت ۲۷۱
۱۵.۱۳ مبارزه با صدا به کمک «سروصدای سفید» ۲۷۲
۱۶.۱۳ مشکلات عصر جت ۲۷۳
۱۷.۱۳ شش ماه پس از شکستن دیوار صوتی ۲۷۵

منابع ۲۷۷

مرکز موسیقی بتهوون شیراز

فصل اول

یکاها

برای فهم علم صوت‌شناسی، دانشجوی رشتهٔ موسیقی باید درکی مناسب و دریافتی سریع از مباحث ریاضی و فیزیک پایه داشته باشد. مطالعهٔ مفاهیم اساسی ریاضی-فیزیک مفید، اما غیرضروری است. آنچه لازم است آشنایی با کمیت‌هایی مانند طول، جرم، زمان و مفاهیم مرتبط با آن‌ها مانند سرعت، شتاب، توان، و انرژی است. ما با آگاهی از مفاهیم پایهٔ فیزیک می‌توانیم مدل‌ها، سیستم‌های تشدیدشونده، و چگونگی انتشار صوت را در محیط‌های مختلف توجیه کنیم.

۱.۱ کمیت چیست؟

برحسب تعریف، به هر مفهوم قابل افزایش یا کاهش، کمیت گفته می‌شود. کمیت‌ها به‌طور کلی به دو دستهٔ *حقیقی* و *غیرحقیقی* تقسیم می‌شوند. کمیت‌های حقیقی اندازه‌پذیر هستند. به کمیتی اندازه‌پذیر گفته می‌شود که بتوانیم تساوی و مجموع هر دو نمونهٔ آن را تعریف کنیم؛ به این ترتیب همواره می‌توانیم هر دو نمونهٔ آن را با هم مقایسه و نسبت آن‌ها را تعیین کنیم. مثلاً طول، سطح، جرم، و حجم کمیت‌هایی حقیقی هستند. اما کمیت‌های غیرحقیقی اندازه‌ناپذیر و تنها با «نشانه‌گذاری» قراردادی مشخص می‌شوند، مانند عقل، هوش، دما، و چگالی. در علم فیزیک، کمیت‌ها به دو دستهٔ *اصلی* و *فرعی* تقسیم می‌شوند. تعداد کمیت‌های اصلی بسیار محدود است و برحسب نیاز و میزان پیشرفت علم در کشورهای مترقی، به‌طور موردی انتخاب شده‌اند. اما تعداد کمیت‌های فرعی بسیار زیاد است و با استفاده از فرمول‌ها و روابط فیزیکی برحسب کمیت‌های اصلی قابل محاسبه‌اند. به روابطی

مرکز موسیقی بتهوون شیراز

که کمیت‌های فرعی را برحسب کمیت‌های اصلی مشخص می‌کنند، *معادلهٔ ابعادی* یا *دیمانسیون* گفته می‌شود. مثلاً اگر طول، جرم، و زمان کمیت‌های اصلی باشند؛ آنگاه مساحت، حجم، سرعت، شتاب، نیرو، کار، و انرژی کمیت‌های فرعی خواهند بود.

در ادامه به نمونه‌هایی از کمیت‌های اصلی و فرعی اشاره می‌کنیم.

۲.۱ کمیت‌های اصلی

طول، مفهومی پایه و کمیتی فیزیکی از بُعد مساحت است. بشر روزانه با ویژگی‌هایی مختلف چون طول، جرم، زمان، و وزن سروکار دارد. بعضی از این ویژگی‌ها به‌راحتی قابل اندازه‌گیری هستند. در فیزیک ما فقط ویژگی‌های قابل‌اندازه‌گیری اجسام را مطالعه می‌کنیم و مفاهیم اساسی فیزیک نیز برمبنای همین اندازه‌گیری‌ها تعریف می‌شوند. متر با علامت اختصاری m، واحد طول، و مقدار آن ۱۶۵۷۶۳٫۷۳ برابر طول‌موج تابش الکترومغناطیس نور در خلأ است. در اواخر مهرماه ۱۳۶۲ در گردهمایی عمومی اوزان و مقادیر (CCPM) در پاریس، ۱ متر را برابر با مسافتی تعریف کردند که نور در ۱٫۲۹۹۷۹۲۴۵۸ ثانیه در خلأ می‌پیماید.

جرم، مقدار مادهٔ موجود در جسم است. جرم یک جسم به مقاومت آن در برابر حرکت بستگی دارد. *ماند* یا *لختی*، خاصیتی از ماده است که در برابر حرکت ایجاد مقاومت می‌کند. جرم معیاری کمّی از ماند (یا لختی) است. جرم همچنین معیاری از قابلیت جسم در ربودن اجسام دیگر به‌وسیلهٔ گرانش است. کیلوگرم با علام اختصاری Kg، یکای جرم است. ۱کیلوگرم، جرم قطعه‌ای از آلیاژ پلاتین ـ آیریدیم است که در موزه سِوْر در پاریس نگهداری می‌شود. برای اندازه‌گیری جرم یک جسم، آن را با جرم استاندارد مقایسه می‌کنیم.

زمان، با دانستن وقت می‌توانیم ترتیب رویدادها را مشخص کنیم و دریابیم هر رویداد چه وقت اتفاق افتاده و چه مدت طول کشیده است. زمان به عوامل طبیعی وابسته است. تغییراتی که در فاصله‌های زمانی یکسان تکرار می‌شوند، تغییرات پریودیک یا متناوب نام دارند. ثانیه با علامت اختصاری S، یکای زمان است. اتحادیهٔ بین‌المللی اخترشناسی آن را برابر ۱٫۳۱۵۵۶۹۲۵۹۷۵ سال شمسی تعریف کرده است. همچنین ثانیه را می‌توانیم به‌طور میانگین ۱٫۸۶۴۰۰ روز شمسی تعریف کنیم، و آن میانگینِ فواصل زمانی دو عبور پیاپی نقطه‌ای روی زمین از برابر خورشید در طول یک سال است.

مرکز موسیقی بتهوون شیراز

نیرو به دو شکل *رانشی* و *کششی* وجود دارد. معمولی‌ترین نیروی کششی شناخته‌شده، *نیروی جاذبه* است. *نیروی اصطکاک*، و نیروهای جاذبه و دافعه در آهن‌ربا مثال‌هایی دیگر از نیروی کششی هستند. بهترین راه اندازه‌گیری نیرو استفاده از کشش فنر است. میزان کشیدگی هر فنر متناسب با نیرویی است که آن را می‌کشد.

$$F = kx$$

k، ضریب سختی فنر، برای هر متر از آن مقداری ثابت است و به جنس فنر، قطر میله‌ای که فنر از آن ساخته شده است، قطر حلقه‌های فنر، و تعداد حلقه‌ها بستگی دارد. و x میزان افزایش طول فنر است. برای محاسبهٔ ضریب سختی فنر از رابطهٔ زیر استفاده می‌کنیم:

$$k = \mathrm{G}\ (l^{3}/ND^{4})$$

در این معادله G ضریب سنجش فنر، N تعداد حلقه‌ها، D قطر حلقه‌ها و l طول فنر است.

در دستگاه واحدهای MKS واحد نیرو، *نیوتن*، با علامت اختصاری N نشان داده می‌شود.

فشار، به معنای اندازهٔ نیروی متمرکز بر سطح است. هرگاه توزیع نیرو بر سطحی یکنواخت باشد، فشار وارد بر آن سطح مساوی خارج‌قسمت نیروی واردشده بر مساحت آن سطح خواهد بود. پس فشار به دو عامل نیرو و سطح بستگی دارد؛ هرچه سطحی که فشار بر آن وارد می‌شود، کوچک‌تر باشد، مقدار فشار بیش‌تر خواهد بود. معروف‌ترین یکاهای فشار نیوتن بر مترمربع، ($\mathrm{N/M^{2}}$) و میلی‌متر جیوه (mmHg) هستند.

فشار در مایعات با افزایش عمق زیاد می‌شود. در گازها حرکت دائمی مولکول‌ها تولید فشار می‌کند، مولکول‌های گاز با سرعت زیاد به دیواره‌های ظرف برخورد می‌کنند و به آن فشار می‌آورند.

از آن‌جا که درک کامل مفهوم *انرژی مکانیکی*، اساس فهم بهتر مفهوم سایر صورت‌های انرژی است، ابتدا انرژی مکانیکی را تعریف می‌کنیم. به مجموع انرژی‌های پتانسیل و جنبشی هر جسم، انرژی مکانیکی گفته می‌شود. *انرژی پتانسیل* ($E\mathrm{p}$)، انرژی ذخیره‌شده (نهفته) در جسم است؛ به عبارت دیگر، برای این‌که بتوانیم ذره‌ای را از نقطه‌ای به نقطهٔ دیگر ــ صرف‌نظر از چگونگی مسیر ــ انتقال دهیم، به انرژی پتانسیل نیاز داریم. انرژی، *توانایی انجام کار* است. اهمیت مفهوم انرژی به دلیل *اصل پایستگی* است که می‌گوید: بدون

بتهوون
مرکز موسیقی بتهوون شیراز

درنظرگرفتن آن‌چه در داخل یک دستگاه منفرد صورت می‌گیرد، انرژی کل (شامل تمامی صورت‌های انرژی) همواره ثابت است. اگر جسمی بر اثر نیروی F به اندازهٔ S تغییر مکان دهد، کار انجام‌شده توسط نیروی F چنین تعریف می‌شود

$$W = F.S$$

کار برابر است با جابه‌جایی ضرب‌در مؤلفهٔ نیرو بر امتداد جابه‌جایی. واحد کار، ژول، با علامت اختصاری J نشان داده می‌شود. در دستگاه CGS کار برحسب دین‌سانتی‌متر بیان می‌شود که به آن *ارگ* می‌گوییم.

کارِ انجام‌شده بر روی یک ذره با تغییر *انرژی جنبشی* (E_c) آن ذره برابر است؛ پس جرمی که حرکت می‌کند دارای انرژی جنبشی است. برای محاسبهٔ انرژی جنبشی یک جسم متحرک از معادلهٔ زیر استفاده می‌شود:

$$E_c = \frac{۱}{۲} mv^۲$$

انرژی جنبشی جسم در حال حرکت فقط به تندی جسم (بزرگی سرعت آن) بستگی دارد و مستقل از جهت حرکت جسم است.

ماشین‌ها سریع‌تر از انسان کار انجام می‌دهند. ماشینی که بتواند در مدت زمانی کم‌تر کار انجام دهد، *توان* یا قدرت بیش‌تری دارد. بنابراین، توان یک ماشین یا یک شخص به واحد کاری که در یک ثانیه انجام می‌دهد بستگی دارد. درکارهای عملی یا در ساختن ماشین‌ها کار انجام‌شده در واحد زمان از اهمیتی ویژه برخوردار است.

توان، قابلیت انجام کار و عبارت است از کار انجام‌شده (بر حسب ژول) در مدت زمان انجام کار (برحسب ثانیه).

$$\mathrm{P} = \frac{\text{ژول}}{\text{ثانیه}} = \mathrm{W}$$

یکای توان، وات، را با W نشان می‌دهیم.

$$۱\mathrm{W}(\text{وات}) = ۱\ \mathrm{J/s}$$

بتهوون
مرکز موسیقی بتهوون شیراز

نشر نی

ISBN 978-964-185-116-5

طرح جلد: پرویز بیانی