

فیزیک سازها

نویسنده: نوبل اچ. فله چر

توماس د. راسینگ

The Physics of Musical Instruments

Neville H. Fletcher
Thomas D. Rossing

مترجم: ایوب بنوشی

(جلد دوم)



انتشارات دانشکده صدا و سیما

نویل ایچ. فلهچر
 توماس د. راسینگ
 Fletcher Neville H. (Neville Horner)
 Thomas D. Rossing
 فیزیک سازها / نویسنده نویل ایچ. فلهچر، توماس د. راسینگ؛
 مترجم ایوب بنوشی.
 تهران: دانشکده صدا و سیمای جمهوری اسلامی ایران، ۱۳۸۸.
 ص. ۱۰۲۵. ۱۱۰۰۰۰ ریال:
 دوره: ۹-۵۵-۸۸۵۷-۹۶۴-۹۷۸؛ ج: ۱، ۶-۴۳-۸۸۵۷-۹۶۴-۹۷۸
 ج: ۲، ۵-۵۳-۸۸۵۷-۹۶۴-۹۷۸ ISBN:
 فبا
 کتابخانه ملی
 ج ۲
 عنوان اصلی: The Physics of Musical Instruments, 2nd ed
 موسیقی - صوت شناسی
 سازسازی
 راسینگ، توماس دی. ۱۹۲۹- م.
 بنوشی، ایوب، مترجم
 ۱۳۸۸، ۹۶۴-۸۸۵۷-۵۳-۵ MLTA
 ۷۸۴/۱۹۰۱۵۳
 ۱۹۶۷۴۳۲



انتشارات دانشکده صدا و سیما

فیزیک سازها

نویسنده: نویل ایچ. فلهچر - توماس د. راسینگ

The Physics of Musical Instruments

Neville H. Fletcher
Thomas D. Rossing

مترجم: ایوب بنوشی

ویراستار: فرهید فصیحی

طراح جلد: محمدرضا آستانه

ناظر امور فنی: هوشنگ شیرالی

لیتوگرافی، چاپ و صحافی: سروش

شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه

چاپ اول: زمستان ۱۳۸۸

قیمت: ۱۱۰۰۰ تومان

شابک: ۹۷۸-۹۶۴-۸۸۵۷-۴۳-۶

کلیه حقوق این اثر متعلق به دانشکده صدا و سیمای جمهوری اسلامی ایران است.

تهران - خیابان ولی عصر (عج)، ابتدای بزرگراه نیایش - دانشکده صدا و سیمای جمهوری اسلامی ایران.

تلفن و دورنگار: ۲۲۰۱۴۶۵۲ www.iribu.ir

یادداشت ناشر

به دلیل تعداد زیاد صفحات کتاب و مسایل ناشی از صحافی آن در یک جلد ، ناشر ترجیح داد این اثر را در دو جلد منتشر کند.
از این رو فصل های یکم تا دوازدهم در جلد اول و فصل سیزدهم تا پایان اثر در جلد دوم گنجانده شده است .

www.ketab.ir

فهرست

i پیش‌گفتار

iii پیش‌گفتار ویرایش نخست

vii یادداشت مترجم



۳ ۱ لرزش‌های آزاد و واداشته در سامانه‌های ساده

۴ ۱-۱ حرکت هماهنگ ساده در یک بعد

۷ ۲-۱ دامنه‌های مختلط

۸ ۳-۱ برهم‌نهی دو حرکت هماهنگ در یک بعد

۱۲ ۴-۱ انرژی

۱۳ ۵-۱ نوسان‌های میرا

۱۶ ۶-۱ سامانه‌های لرزان ساده‌ی دیگر

۲۱ ۷-۱ نوسان‌های واداشته

۲۶ ۸-۱ پاسخ گذرای یک نوسان‌گر

۲۸ ۹-۱ نوسان‌گر هماهنگ دو بعدی

۳۰ ۱۰-۱ نمایش گرافیکی لرزش‌ها: شکل‌های لیسازو

۳۲ ۱۱-۱ آمودهای طبیعی سامانه‌های دو جرمی

۳۴ ۱۲-۱ رفتار غیرخطی

۳۵ پیوست

۳۹ مرجع‌ها

۴۱ ۲ سامانه‌های پیوسته‌ی یک بعدی: تارها و شمش‌ها

۴۱ ۱-۲ آرایه‌ای خطی از نوسان‌گرها

- ۴۲ ۲-۲ معادله‌ی موجِ عرضی برای یک تار
- ۴۴ ۲-۲ پاسخِ عمومیِ معادله‌ی موج: موج‌های رونده
- ۴۵ ۴-۲ بازتاب در سرهای ثابت و آزاد
- ۴۶ ۵-۲ پاسخ‌های هماهنگِ ساده برای معادله‌ی موج
- ۴۷ ۶-۲ موج‌های ایستا
- ۴۸ ۷-۲ انرژیِ یک تارِ لرزان
- ۴۹ ۸-۲ تارِ زخمه‌خورده: تحلیلِ زمانی و بسامدی
- ۵۳ ۹-۲ تارِ مضرب‌خورده
- ۵۶ ۱۰-۲ تارِ آرشه‌خورده
- ۶۱ ۱۱-۲ تارِ برنگیخته: پاگیری
- ۶۴ ۱۲-۲ حرکتِ تکیه‌گاه‌های پایانی
- ۶۵ ۱۳-۲ میرایی
- ۷۰ ۱۴-۲ لرزش‌های طولیِ یک تار یا شمشِ نازک
- ۷۱ ۱۵-۲ موج‌های خمشی در یک شمش
- ۷۵ ۱۶-۲ شمش‌هایی با سرهای محکم‌شده و آزاد
- ۷۹ ۱۷-۲ لرزش‌های شمش‌های ضخیم: لختیِ دورانی و تغییرشکلِ برشی
- ۸۰ ۱۸-۲ لرزش‌های یک تارِ چغَر
- ۸۲ ۱۹-۲ پراکندگی در تارهای چغَر و زیربار: بسامدِ قطع
- ۸۳ ۲۰-۲ لرزش‌های چرخشیِ یک شمش
- ۸۷ ۳ سامانه‌های دو بعدی: پوسته‌ها، ورقه‌ها، و کاسه‌ها.....
- ۸۷ ۳-۱ معادله‌ی موج برای یک پوسته‌ی مستطیل
- ۹۰ ۳-۲ پوسته‌های مربعی: تبهگنی
- ۹۱ ۳-۳ پوسته‌های گرد
- ۹۳ ۳-۴ پوسته‌های واقعی: چغری و بارگذاریِ هوا
- ۹۴ ۳-۵ موج‌ها در یک ورقه‌ی نازک
- ۹۷ ۳-۶ ورقه‌های گرد
- ۹۹ ۳-۷ ورقه‌های بیضوی
- ۱۰۰ ۳-۸ ورقه‌های مستطیلی

۱۰۴	۳-۹ ورقه‌های مربعی
۱۰۷	۳-۱۰ ورقه‌های مربعی و مستطیلی با لبه‌های مقید
۱۱۰	۳-۱۱ ورقه‌های مستطیلی چوبین
۱۱۴	۳-۱۲ چغری خمشی در یک پوسته
۱۱۵	۳-۱۳ لرزش کاسه‌ها
۱۲۲	۳-۱۴ پاگیری نقطه‌ای تحریک
۱۲۶	مرجع‌ها

۴ سامانه‌های لرزانِ تزویج‌شده

۱۲۹	۴-۱ تزویج بین دو لرزش‌گر یکسان
۱۳۰	۴-۲ آموده‌های طبیعی
۱۳۲	۴-۳ تزویج ضعیف و قوی
۱۳۴	۴-۴ لرزش‌های واداشته
۱۳۸	۴-۵ مدارهای الکتریکی تزویج‌شده
۱۴۴	۴-۶ لرزش واداشته‌ی یک سامانه‌ی دو جرمی
۱۴۵	۴-۷ سامانه‌هایی با جرم‌های متعدد
۱۴۶	۴-۸ نمایش ترسیمی تابع‌های پاسخ بسامدی
۱۴۸	۴-۹ تارِ لرزانِ تزویج‌شده به یک صفحه - صدا
۱۵۱	۴-۱۰ دو تارِ تزویج‌شده با یک خرک
۱۵۵	پیوست
۱۶۳	مرجع‌ها

۵ سامانه‌های غیر خطی

۱۶۸	۵-۱ روش کلی حل
۱۷۰	۵-۲ نوسان‌گر غیر خطی
۱۷۴	۵-۳ نوسان‌گر خودنگیخته
۱۷۶	۵-۴ سامانه‌های چند آمودی
۱۷۹	۵-۵ قفل‌شدگی آمود در سامانه‌های خودنگیخته
۱۸۱	۵-۶ پدیده‌های غیر خطی در تارها

۱۸۶	۷-۵ پدیده‌های غیرخطی در ورقه‌ها و کاسه‌ها
۱۸۸	مرجع‌ها

۱۹۳	۶ موج‌های صدا در هوا
۱۹۴	۱-۶ موج‌های تخت
۱۹۹	۲-۶ موج‌های کروی
۲۰۱	۳-۶ ترازِ فشارِ صدا و شدت
۲۰۴	۴-۶ بازتاب، پراش، و جذب
۲۰۸	۵-۶ آمودهای طبیعی در کاواک‌ها
۲۱۱	مرجع‌ها

۲۱۳	۷ تابشِ صدا
۲۱۳	۱-۷ چشمه‌های چندقطبی ساده
۲۱۷	۲-۷ جفت‌هایی از چشمه‌های نقطه‌ای
۲۱۹	۳-۷ آرایه‌هایی از چشمه‌های نقطه‌ای
۲۲۳	۴-۷ تابش از یک چشمه‌ی کروی
۲۲۵	۵-۷ چشمه‌های خطی
۲۲۶	۶-۷ تابش یک چشمه‌ی صفحه‌ای در یک خفه‌کن
۲۳۰	۷-۷ تابنده‌های خفه‌نشده
۲۳۲	۸-۷ تابش از ورقه‌های بزرگ
۲۳۶	مرجع‌ها

۲۳۷	۸ لوله‌ها، شیپورها و کاواک‌ها
۲۳۷	۱-۸ لوله‌های استوانه‌ای بی‌نهایت
۲۴۱	۲-۸ افت‌های دیواره
۲۴۵	۳-۸ لوله‌های استوانه‌ای محدود
۲۵۰	۴-۸ تابش از یک لوله

۲۵۱	۵-۸ منحنی‌های پاگیری
۲۵۴	۶-۸ شیپورها
۲۶۱	۷-۸ شیپورهای مخروطی محدود
۲۶۶	۸-۸ شیپورهای بسل
۲۶۹	۹-۸ شیپورهای مرکب
۲۷۱	۱۰-۸ آشفنگی‌ها
۲۷۴	۱۱-۸ محاسبه‌های عددی
۲۷۵	۱۲-۸ شیپورهای خمیده
۲۷۷	۱۳-۸ اندازه‌گیری پاگیری اکوستیکی
۲۷۹	۱۴-۸ حوزه‌ی زمان
۲۸۴	۱۵-۸ معادل‌های مداری
۲۹۱	مرجع‌ها

III سازهای زهی

۲۹۷	۹ گیتارها و لوت‌ها.....
۲۹۸	۱-۹ طراحی و ساختمان گیتارها
۲۹۹	۲-۹ گیتار، در مقام یک سامانه‌ی متشکل از لرزنده‌های تزویج‌شده
۳۰۰	۳-۹ نیروی اعمال‌شده از سوی تار
۳۰۴	۴-۹ آمودهای لرزش بخش‌های تشکیل‌دهنده‌ی ساز
۳۰۸	۵-۹ تزویج صفحه‌ی رویین با کاواک هوا: مدل جفت-نوسان‌گر
۳۱۰	۶-۹ تزویج با صفحه‌ی پشتین: مدل سه-نوسان‌گر
۳۱۲	۷-۹ تشدیدهای کاسه‌ی گیتار
۳۱۵	۸-۹ پاسخ به نیروهای تار
۳۱۸	۹-۹ تابش صدا
۳۲۰	۱۰-۹ تشدیدها، صدای تابیده‌شده، و کیفیت
۳۲۴	۱۱-۹ خانواده‌ای از گیتارهای مقیاس‌شده
۳۲۵	۱۲-۹ استفاده از مواد مصنوعی
۳۲۶	۱۳-۹ گیتارهای الکتریکی

۳۲۸	۹-۱۴ پرده‌ها و جبران‌سازی
۳۲۹	۹-۱۵ لوت‌ها
۳۳۱	۹-۱۶ سایر سازهای زهی زخمه‌ای
۳۳۴	۹-۱۷ تقیده‌های ناشی از حرکت یک طرفه
۳۳۶	مرجع‌ها

۱۰ سازهای زهی آرشه‌ای

۳۳۹	۱۰-۱ تاریخچه‌ای خلاصه
۳۴۱	۱۰-۲ تحقیقات درباره‌ی اکوستیک ویولن
۳۴۳	۱۰-۳ ساختمان ویولن
۳۴۴	۱۰-۴ حرکت تارهای آرشه‌خورده
۳۵۷	۱۰-۵ لرزش‌های کاسه‌ی ویولن
۳۶۸	۱۰-۶ پاسخ گذرای کاسه‌ی ویولن
۳۶۸	۱۰-۷ تیر-صدا و شمش‌بم
۳۷۱	۱۰-۸ حرکت
۳۷۵	۱۰-۹ تابش صدا
۳۸۶	۱۰-۱۰ آرشه
۳۸۸	۱۰-۱۱ نت‌های گرگی و نواخت‌پذیری
۳۹۰	۱۰-۱۲ کیفیت نغمگی ویولن‌ها
۳۹۶	۱۰-۱۳ ویولا، چلو، و دوبل‌باس
۴۰۰	۱۰-۱۴ ویول‌ها
۴۰۱	۱۰-۱۵ یک خانواده‌ی جدید از ویولن‌ها
۴۰۵	مرجع‌ها

۱۱ هارپ‌ها، هارپسیکُردها، کلاویکُردها، و دُل‌سیمر

۴۱۲	۱۱-۱ سازهای سنتی
۴۱۸	۱۱-۲ هارپ
۴۲۳	۱۱-۳ هارپسیکُر
۴۲۷	۱۱-۴ ملاحظه‌هایی بر طراحی هارپسیکُر

۴۳۲	۵-۱۱ مشخصه‌های هارپسیکورد
۴۳۳	۶-۱۱ کلاویکورد
۴۳۷	مرجع‌ها

۱۲ پیانو ۴۳۹

۴۴۰	۱-۱۲ طراحی کلی پیانو‌ها
۴۴۳	۲-۱۲ کنش‌افزار پیانو
۴۵۳	۳-۱۲ تارهای پیانو
۴۵۷	۴-۱۲ چکش‌های پیانو
۴۶۶	۵-۱۲ صفحه-صدا
۴۷۶	۶-۱۲ زوال صدا، برهم‌کنش تارها، خرک، و صفحه-صدا
۴۸۱	۷-۱۲ گام‌بندی و کوک
۴۸۳	۸-۱۲ کوک و ناهماهنگی
۴۸۶	۹-۱۲ شیوش
۴۹۲	۱۰-۱۲ پیانوهای الکتریکی
۴۹۲	مرجع‌ها

واژه‌نامه‌ی فارسی به انگلیسی ۱-و

واژه‌نامه‌ی انگلیسی به فارسی ۱۷-و

نمایه ۱-ن

جلد دوم

۴۹۹	 ۱۳ تولید صدا با لرزش‌های زبانه و لب
۴۹۹	۱-۱۳ دریچه‌های کنترل‌شونده با فشار
۵۰۲	۲-۱۳ مدل شبهه-ایستا
۵۰۶	۳-۱۳ رفتار مولد در بسامدِ نواخت
۵۱۴	۴-۱۳ زبانه‌های آزاد
۵۱۷	۵-۱۳ مولدهای تزویج‌شده به شیپورها
۵۲۱	۶-۱۳ رفتار دامنه-بزرگ
۵۲۶	۷-۱۳ تحلیل غیرخطی
۵۲۹	۸-۱۳ شبیه‌سازی عددی
۵۳۲	مرجع‌ها
۵۳۵	 ۱۴ سازهای برنجی لبی
۵۳۵	۱-۱۴ سیر تکاملی سازهای برنجی
۵۳۸	۲-۱۴ برش‌نمای شیپورها
۵۴۱	۳-۱۴ قطعه-دهانی‌ها
۵۴۵	۴-۱۴ تابش
۵۴۸	۵-۱۴ کشویی‌ها و دریچه‌ها
۵۵۱	۶-۱۴ ناخطی‌گری دامنه-کوچک
۵۵۵	۷-۱۴ ناخطی‌گری دامنه-بزرگ
۵۶۰	۸-۱۴ منحنی‌های پاگیری ورودی
۵۶۱	۹-۱۴ گذارها
۵۶۵	۱۰-۱۴ بیناب‌های اکوستیکی
۵۶۶	۱۱-۱۴ خفه‌کن‌ها
۵۶۸	۱۲-۱۴ شیوه‌ی اجرا
۵۷۲	مرجع‌ها

۱۵ سازهای چوبین - بادی زبانه‌ای

- ۵۷۵ ۱-۱۵ شکل بوری چوبین - بادی‌ها
- ۵۷۵ ۲-۱۵ سوراخ‌های انگشتی
- ۵۷۹ ۳-۱۵ منحنی‌های پاگیری
- ۵۸۷ ۴-۱۵ برهم‌کنش زبانه و ستون هوا
- ۵۹۴ ۵-۱۵ جهت‌وری
- ۵۹۹ ۶-۱۵ شیوه‌های اجرا
- ۶۰۰ ۷-۱۵ بازده آکوستیکی
- ۶۰۳ ۸-۱۵ بیناب حدی
- ۶۰۳ ۹-۱۵ کلارینت
- ۶۰۶ ۱۰-۱۵ ابوا
- ۶۱۲ ۱۱-۱۵ باسون
- ۶۱۶ ۱۲-۱۵ ساکسیفن
- ۶۱۷ ۱۳-۱۵ سازهای با زبانه‌ی درپوش‌دار
- ۶۱۹ مرجع‌ها
- ۶۲۳

۱۶ فلوت‌ها و لوله‌های ارگ تنوره‌ای

- ۶۲۷ ۱-۱۶ پویایی یک تندباد
- ۶۲۷ ۲-۱۶ آشوبیدن یک تندباد هوا
- ۶۳۴ ۳-۱۶ برهم‌کنش تندباد - تشدیدگر
- ۶۳۸ ۴-۱۶ سازوکار برنگیزش بازساز
- ۶۴۳ ۵-۱۶ رویکردهای دقیق دینامیک شاره‌ای
- ۶۵۰ ۶-۱۶ ناخطی‌گری و تولید هماهنگ
- ۶۵۱ ۷-۱۶ حالت‌های گذرا و گذار آمودها
- ۶۵۴ ۸-۱۶ نوفه‌های ایرودینامیکی
- ۶۵۸ ۹-۱۶ سازهای فلوت گونه‌ی ساده
- ۶۶۰ ۱۰-۱۶ ریکورد
- ۶۶۲ ۱۱-۱۶ فلوت
- ۶۶۹

۱۷ ارگ‌های لوله‌ای..... ۶۸۷

- ۶۸۸ ۱-۱۷ اصولِ کلیِ طراحی
- ۶۹۴ ۲-۱۷ ردیف‌های لوله‌های ارگ
- ۶۹۶ ۳-۱۷ ردیفِ لوله‌های تنوره‌ای
- ۷۰۱ ۴-۱۷ لوله‌های تنوره‌ایِ خاص
- ۷۰۳ ۵-۱۷ ترکیب‌ها و خفه‌کن‌ها
- ۷۰۶ ۶-۱۷ کوک و اعتدال
- ۷۰۸ ۷-۱۷ تایشِ صدا از لوله‌های تنوره‌ای
- ۷۰۹ ۸-۱۷ گذارها در لوله‌های تنوره‌ای
- ۷۱۱ ۹-۱۷ صدایِ دازیِ لوله‌ایِ تنوره‌ای
- ۷۱۲ ۱۰-۱۷ اثرِ جنسِ لوله
- ۷۱۴ ۱۱-۱۷ ردیف‌های لوله‌های زبانه‌ای
- ۷۱۷ ۱۲-۱۷ تحلیلِ شیوش
- ۷۱۹ ۱۳-۱۷ ساختارِ نغمگی
- ۷۲۱ مرجع‌ها

www.ketab.ir

۱۸ درام‌ها..... ۷۲۷

- ۷۲۸ ۱-۱۸ کتلِ درام‌ها
- ۷۴۷ ۲-۱۸ درام‌های بم‌خوان
- ۷۵۰ ۳-۱۸ درام‌های زه‌دار
- ۷۵۴ ۴-۱۸ تام‌تام
- ۷۵۸ ۵-۱۸ درام‌های هندی
- ۷۶۴ ۶-۱۸ درام‌های ژاپنی
- ۷۶۹ ۷-۱۸ درام‌های اندونزی‌یایی
- ۷۶۹ ۸-۱۸ درام‌های امریکای لاتین

۷۷۲ ۹-۱۸ نمبورین‌ها

۷۷۲ مرجع‌ها

۷۷۵ ۱۹ سازهای کوبه‌ای مضرابی

۷۷۶ ۱-۱۹ گلاکین‌اشپیل

۷۷۸ ۲-۱۹ ماریمبا

۷۸۲ ۳-۱۹ کوکِ شمش‌ها

۷۸۶ ۴-۱۹ تشدیدگرها

۷۹۰ ۵-۱۹ ریلوفن

۷۹۲ ۶-۱۹ وایب‌ها

۷۹۳ ۷-۱۹ مضراب‌ها

۷۹۶ ۸-۱۹ چایم‌ها

۷۹۸ ۹-۱۹ مثلث‌ها و پنج‌پرها

۸۰۱ ۱۰-۱۹ سازهای کاملن

۸۰۲ ۱۱-۱۹ توبافن و چایم‌های کاملن

۸۰۳ مرجع‌ها

۸۰۵ ۲۰ سیمبال‌ها، گنگ‌ها، ورقه‌ها، و درام‌های فولادی

۸۱۸ ۳-۲۰ گنگ‌ها

۸۲۱ ۴-۲۰ کروتل‌ها

۸۲۲ ۵-۲۰ زنگ‌های ورقه‌ای

۸۲۴ ۶-۲۰ ورقه‌های خمیده: اره‌ی موسیقایی

۸۲۶ ۷-۲۰ بشقاب‌های فولادی

۸۳۳ مرجع‌ها

۸۳۵ ۲۱ زنگ‌ها.....

۸۳۶ ۱-۲۱ آمودهای لرزشِ ناقوس‌های کلیسا

۸۴۳ ۲-۲۱ کوک و اعتدال

۸۴۵ ۳-۲۱ نتِ ضربه

۸۴۷	۴-۲۱ زنگ‌های سومِ بزرگ
۸۴۹	۵-۲۱ نزولِ صدا و چهچهه
۸۵۳	۶-۲۱ مقیاس‌بندیِ زنگ‌ها
۸۵۶	۷-۲۱ آمودهای لرزشِ زنگوله‌ها
۸۵۷	۸-۲۱ شیوش و کوکِ زنگوله‌ها
۸۵۹	۹-۲۱ نزولِ صدا و چهچهه در زنگوله‌ها
۸۶۰	۱۰-۲۱ مقیاس‌بندیِ زنگوله‌ها
۸۶۱	۱۱-۲۱ تابشِ صدا
۸۶۲	۱۲-۲۱ زنگوله‌های بم‌خوان
۸۶۳	۱۳-۲۱ گوی‌ها
۸۶۴	۱۴-۲۱ زنگ‌های دو نغمه‌ای چینیِ کهن
۸۶۷	۱۵-۲۱ زنگ‌های معبدی چین، کرم و ژاپن
۸۷۰	مرجع‌ها

۲۲ سازها

۸۷۵	۲۲ موادِ اولیه‌ی سازها
۸۷۶	۱-۲۲ ویژگی‌های مکانیکیِ مواد
۸۸۳	۲-۲۲ موادِ سازنده‌ی سازهای بادی
۸۸۵	۳-۲۲ چوب
۸۹۳	۴-۲۲ پلاستیک‌ها و موادِ ترکیبی
۸۹۶	۵-۲۲ فلزها
۹۰۲	۶-۲۲ نتیجه‌گیری
۹۰۳	مرجع‌ها
۹۰۵	واژه‌نامه‌ی فارسی به انگلیسی
۹۲۱	واژه‌نامه‌ی انگلیسی به فارسی
۹۳۷	نمایه