نیمکره‌ای بشعاع ۲۰m پخش‌ودر انتهای‌آن قابل شنیدن باشد . شدت صوت لازم در روی سطح‌کره $10^{-4}watt/cm^2$ و سطح نیمکره در حدود $25\times10^{6}cm^2$ است لـذا توان لازم برابراست با :

$$10^{-4}\times25\times10^{6}=2500 \text{ وات}$$

یا ۲/۵kw . مسلماً توان‌الکتریکی که وارد بلندگو میشود بمراتب بیش از اینهاست زیرا بازده صوتی بلندگوچندان زیادنیست .

۲۳ـ۳ ، سطح شدت و بلندی صدا

چون حدود شدتی که گوش نسبت بآن حساس‌است بسیار زیاداست اشل‌لگاریتمی بجای اشل‌حسابی درسنجش شدت معمول است . برطبق این مقیاس **سطح‌شدت** β یك صوت چنین تعریف میشود .

$$\beta=10\log\frac{I}{I_0} \qquad (۲-۲۳)$$

دراین فرمول I_0 شدت اختیاری معینی است‌که آنرا شدت سنجش‌مینامیم ودرحدود $10^{-16}watt/cm^2$ است ودرحدودظریفترین شدت قابل‌احساس است. سطح شدت‌برحسب دسی‌بل decibels سنجیده میشود وبا * db نمایش داده میشود .

هرگاه‌شدت صوتی I_0 یا 10^{-16} وات برسانتیمترمربع‌باشد. سطح‌شدت‌آن صفراست ماکزیمم شدت قابل احساس برای‌گوش درحدود 10^{-4} وات برسانتیمتر مربع است‌که با شدت ۱۲۰db مطابقت دارد . جدول ۲۳ـ۱ سطح شدت را برحسب دسی‌بل برای چنـد شدت صوت شناخته شده نشان میدهد . این اطلاعات را کمیسیون مطـالعه وتحقیق در باره سروصدا درشهرنیویورك بدست‌آورده است .

---

* واحد شدت صوت bell است‌که با رابطه زیرتعریف میشود .

$$\text{سطح شدت} = \log I/I_0$$

این واحد بزرگی است لذا یکصدم آنرا دسی بل نامیده مورد استفاده قرار میدهند این‌واحد بنام **Alexander Graham Bell** نامگذاری شده است .

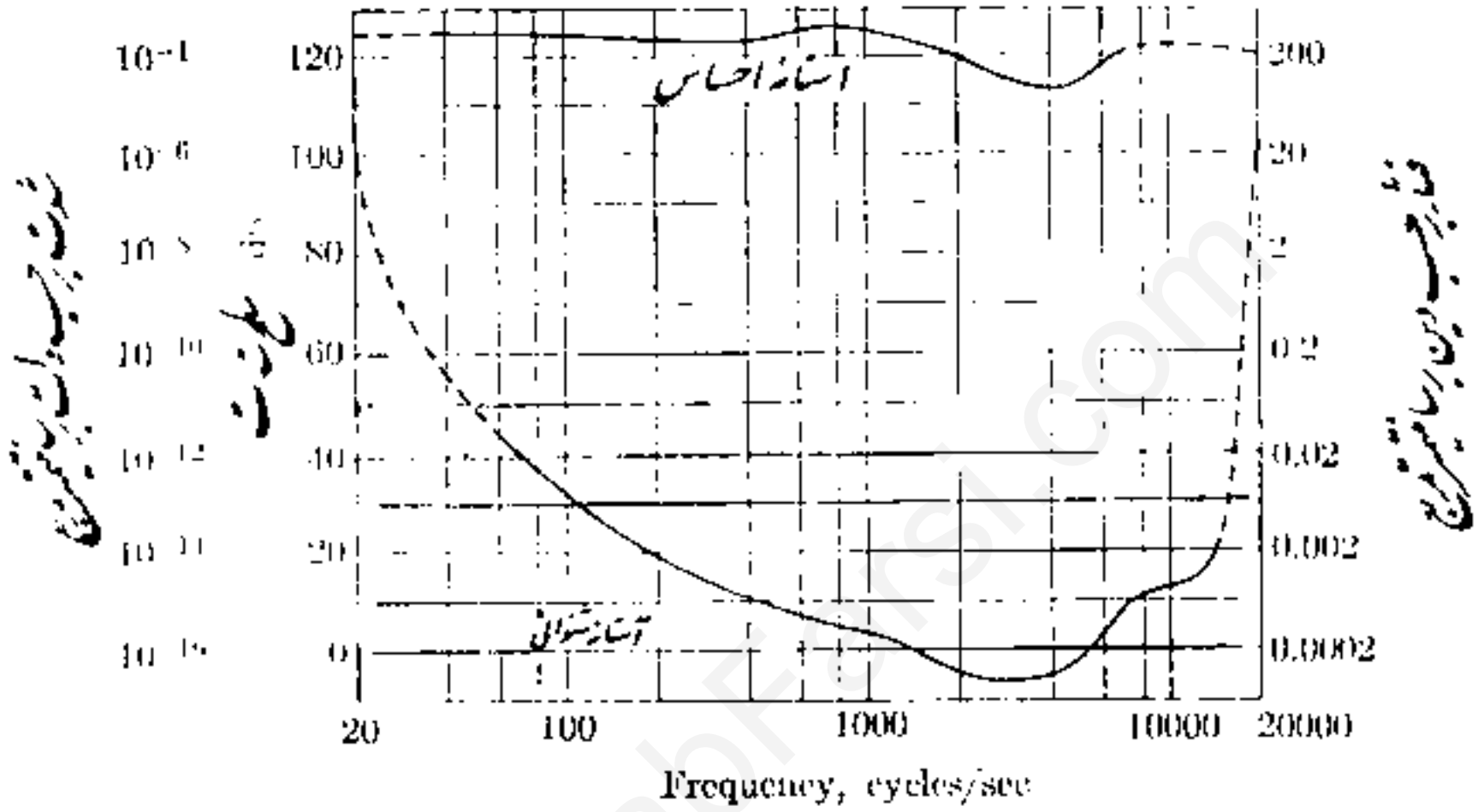
جدول ۲۳ـ۱

سطح شدت صوت منابع صوتی مختلف

منبع تولید صوت	سطح شدت
آستانه درد	۱۲۰
صدای پرچ کردن	۹۵
قطار بالا رونده	۹۰
وسائط نقلیه‌خیابان‌های شلوغ	۷۰
صحبت معمولی	۶۵
اتومبیلهای کم صدا	۵۰
صدای کم رادیو	۴۰
نجوا کردن	۲۰
صدای برگ درختان	۱۰
آستانه شنوائی	۰

درشکل ۲۳ـ۱ حدود فرکانس و شدتی را که گوش نسبت به آنها حساس است نشان میدهد وآنرا **سطح شنوائی** شخص مینامند . منحنی‌پائینی‌سطح ظریفترین شدتی‌را که گوش میتواند احساس کند نشان میدهد . از شکل پیداست که گوش نسبت به فرکانس‌های ۲۰۰۰ تا ۳۰۰۰ بیش‌ازسایرفرکانسها حساس است . آستانه شنوائی‌دراین‌فرکانسهادرحدود(dB) — است. درشدت‌هائی‌درحدود شدت منحنی بالائی که **آستانه احساس** نامیده‌میشود . این‌شدتها ابتدا احساس شنوائی وبعد بتدریج احساس درد بوجود میآورند . ارتفاع‌منحنی‌بالائی‌تقریباً ثابت وبرابر (dB)۱۲۰ است . هرصدائی‌را که قابل شنیدن باشد بانقطه‌ای واقع درمحدوده این منحنی میتوان نشان داد .

درحدود ۱٪ مردم آستانه شنوائی درحـــدود منحنی پائینی شکل ۲۳ـ۱ دارند ۵۰٪ مردم میتوانند صداهای بافرکانس ۲۵۰۰ وباشدت 8db را بشنوند و ۹۰٪ آنها وقتی‌سطح شدت 20db است میتوانندآنرا بشنوند .



شکل ۲۳ـ۱ ، سطح شنوائی بین آستانه شنوائی وآستانه احساس که توسط دانشگاری فلچر رسم شده است

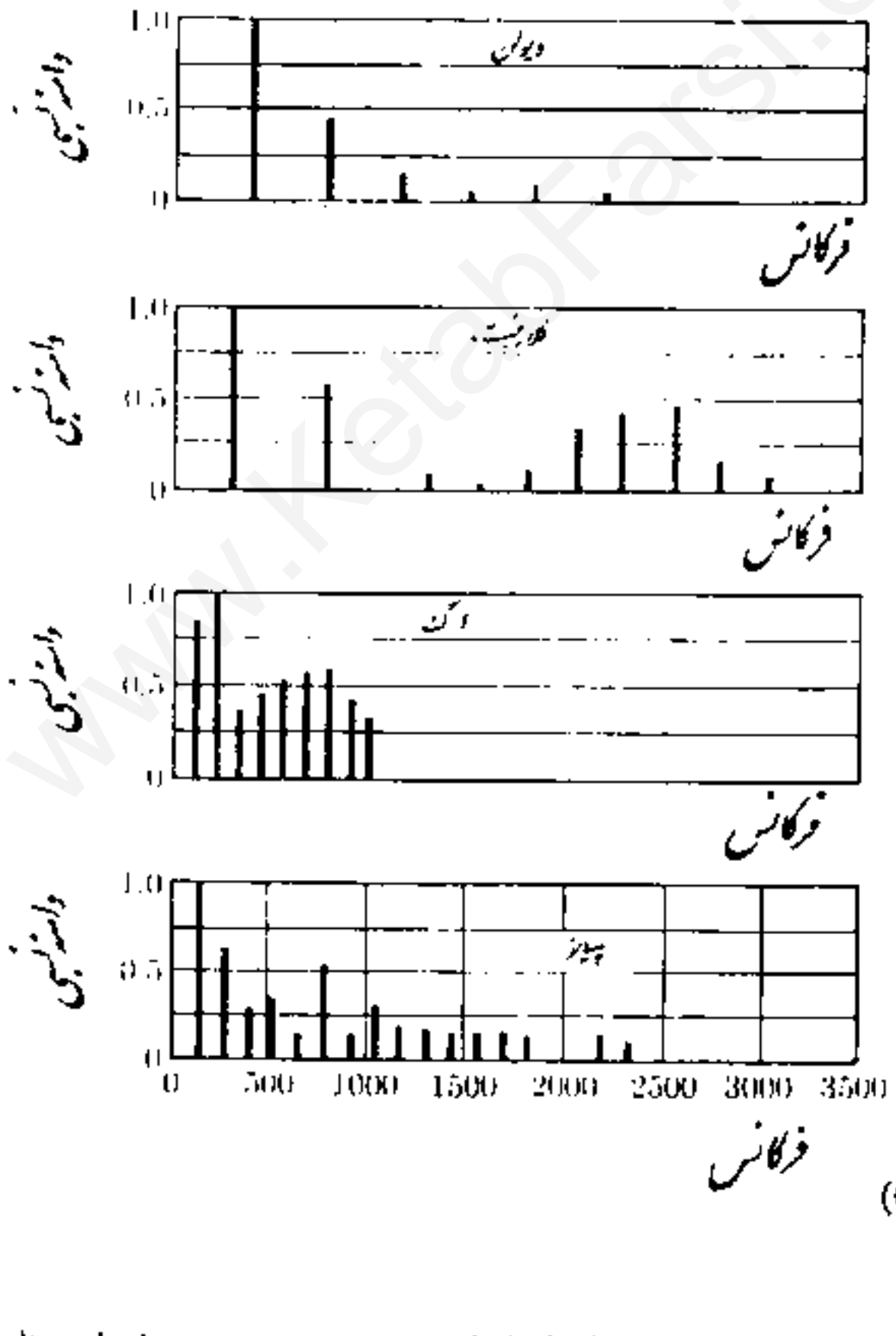
هرگاه شدت صوت درحدود 80db باشد فرکانسهای‌بین ۲۰ و ۲۰۰۰۰ را میتوان شنید . اما وقتی شدت 20db باشد فرکانسهای بین ۲۰۰ و ۱۵۰۰۰ را میتوان شنید . در فرکانس ۱۰۰۰ حدود سطح‌شدت از ۳ تا 120db ودرفرکانس ۱۰۰ فقط از ۳۰تا 120db است .

بلندی صدا معرف احساس ذهنی انسان از شدت صوت است . این تعریف جنبه ذهنی دارد ومانند شدت کمیتی‌عینی نبوده وقابل اندازه‌گیری نیست . وقتی شدت زیاد شود بلندی صدا نیز بیشتر میشود ولی رابطه‌کمی مشخصی بین آنها وجود ندارد . برای شنونده‌ای‌که سطح شنوائی اوشکل ۲۳ـ۱ است شدت 30db وفرکانس ۶۰ درمنطقه شنوائی نیست درحالی که درفرکانس ۱۰۰۰ همین شدت قابل شنیدن‌است . برای‌اینکه‌فرکانس ۶۰ باندازه‌فرکانس ۱۰۰۰ «بلند» شود باید شدت آن 65db بالارود .

۲۳ـ۴ ، ارتفاع و طنین

هرگاه سیم یا صفحه‌ایرا با ضربه بارتعاش درآورده ادامه ارتعاش‌آنرا آزادبگذاریم ملاحظه میکنیم‌که سیم یاصفحه با فرکانس اصلی‌وتعداد زیادی‌هم‌آهنگ‌های بعدی‌آن‌بارتعاش

درمیآید . هرگاه دیاپازنی با دقت کافی ساخته شده و با برخوردبه لاستیك بارتعاش درآید فقط با فرکانس اصلی نوسان میکند ولی در اسبابهای موسیقی وضع چنین نیست و دستگاه با فرکانس اصلی وتعداد متناهی هم آهنگ‌های بعدی بارتعاش در میـآید . ضربه هائی‌که از ارتعاشات این دستگاه‌ها بوسیله گـوش بمغز منتقل میشود حـاصل مجموعه فرکانس اصلی و هارمونیك‌هاست . فرض کنیم‌صوتی‌ازترکیب ارتعاش‌اصلی ۲۰۰ارتعاش درثانیه‌وهماهنگ‌های دوم ، سوم ، چهارم وپنجم این ارتعاشات باشدت‌های مختلف بوجود آید وصوت دیگری ، با همین فرکانسها ولی باشدت‌هائی غیراز شدت ارتعاشات صوت اول بوجود آید . اثراین درصوت دوگوش یکسان نیست . گوئیم طنین‌این دوصوت ۱با جنس و **quality** آندو) باهم متفاوت است



(C

شکل۲۳–۲ ، طیف صوتی بعضی از اسبابهای موسیقی تهیه شده توسط هاروی‌فلچر

طنین صوت نیز تعریف کمی نیست (وبهمین‌جهت‌آنرا **quality** مینامند) وکلماتی

نظیر مطبوع ، ملایم و... که معرف طنین هستند همه مبین کیفیت صوت میباشند . بنابر ـ تعریف **طنین صوت معیاری از تعداد هماهنگ‌ها وشدت هرهماهنك میباشد** . طیف‌صوتی اسبابهای مختلف موسیقی درشکل۲۳ـ۲ نشان داده شده است .

ارتفاع صوت عاملی است که باعث تشخیص‌صداهای زیر و بم میشود. این‌خاصیت‌صوت نیز مانند «بلندی» بیشترجنبه‌کیفی دارد تا کمی ونمیتوان آنرا با اسبابهای اندازه‌گیری سنجید. ارتفاع را تابع فرکانس صوت میدانند اما دوصوت هم فرکانس ، دقیقاً هم ارتفاع نیستند . هرگاه صوت ساده‌ای داشته باشیم هرچه فرکانس آن زیاد شود ارتفاع‌آن نیز به همان نسبت زیاد میشود ولی هرچه شدت صوت ساده‌ای را (که فرکانس‌آن ثابت است) زیاد کنیم ارتفاع‌آن‌کم میشود .

بسیاری‌از نت‌های اسبابهای موسیقی ، ازتعداد زیادی هم‌آهنگ ترکیب شده است . بطوریکه بعضی‌از این‌هم‌آهنگ‌ها از ارتعاش اصلی‌برجسته‌تر وممتازتراند. تعدادی‌هماهنگ بهرصورت که‌باهم ترکیب شوند ، گوش مشخصاتی را احساس میکندکه به‌مجموعه آنها تعلق دارد وارتفاعی را که‌گوش احساس میکند متعلق به ارتعاش‌اصلی این‌هم‌آهنگها است. حتی اگرفرکانس‌اصلی را حذف‌کنیم یعنی شدت‌آن درمقام مقایسه باشدت سایرهم‌آهنگ‌ها صفر باشد بازهم‌گوش ارتفاع مجموعه را معادل ارتفاع‌ارتعاش‌اصلی تشخیص میدهد . این‌احساس باندازه‌ای قوی است‌که اگر ارتعاش اصلی یك‌صوت مرکب‌را با صافی‌صوتی حذف‌کنیم در احساس شنوائی ما هیچگونه‌اثری ندارد . بنابراین‌گوش دارای این‌خاصیت عجیب است‌که ارتعاشات یك بلندگو را که فرکانسهای پائین هم‌آهنگ‌ها درآن وجود ندارد مانند وقتیکه فرکانسهای پائین‌حذف‌نشده است‌میشنود. بشرط آنکه هم‌آهنگهای آن‌بادقت‌کافی‌انتخاب‌شوند وقتی ناطقی پشت میکروفون صحبت میکند هم‌آهنگهای متعددی ایجاد میکند و شنونده نیز باورمیکندکه ناطق‌ها هم‌آهنگهای پائین وارتعاش اصلی‌را نیز تولید میکند در حالیکه او فقط هم‌آهنگهای بالای‌صوت‌را می‌شنود . پس‌اگرفرکانسهای پائین را درنت‌های یك‌موسیقی با ایجاد distorsion (اعوجاج) حذف‌کنیم میتوان هم‌آهنگهای بعدی را بوسیله دستگاه رادیوئی‌که برای‌فرکانس‌های‌کم ساخته نشده‌است‌منتشر کرده ارتعاش «ظنین» آنرا ازگیرنده دریافت‌کنیم . چنین نت بم مصنوعی را گوش یك موسیقی‌دان‌میتواند از نت‌بم واقعی‌تشخیص دهد ودرچنین‌گوشی نت‌مصنوعی ، پائین‌تر ازآن‌نت‌واقعی قرارمیگیرد که هم‌آهنگهای‌موجود درآن‌دو اشتراك بیشتری داشته باشند.

۲۳ـ۵ ، امواج کروی

درفصول قبل در باره انتشار امواج مسطح **درلوله‌های محتوی** سیال بحث کردیم .

هرگاه نیروی اصطکاك دربین نباشد موج سطحی در داخل لوله مسطح مانده دامنه آن تغییر نمی‌کند . اما هرگاه امواج ازچشمه‌ای واقع در درون‌آب یا هوا خارج شود درتمام‌جهات منتشرمیشود. ما دراینجافقط‌درباره منبع کروی ساده‌ای بحث خواهیم‌کرد که سطح کره فقط در امتداد شعاع ، نوسان میکند . مانند توپ لاستیکی‌که متناوباً بدرون‌آن بدمیم و از آن هوا بمکیم . چنین منبعی را **کره مرتعش** یا **pulsing sphere** مینامند . امواجی‌که ازچنین منبعی خارج میشود بصورت‌کرات متحدالمرکزی هستند . بنابراین انرژی موج برسطح‌کره‌ای بشعاع r یعنی برسطح‌کره‌ای بشعاع r یعنی برسطح $4\pi r^2$ توزیع میشود . درنتیجه چگالی انرژی (انرژی‌هرواحد سطح) با r^2 نسبت معکوس دارد . اما چون بنابر فرمول ۲۳ـ۱ شدت بامجذور دامنه‌متناسب‌است نتیجه میگیریم‌که دامنه موج متناسب معکوس با r خواهدبود .

هرگاه r نسبتاً زیاد شودموج با موج مسطح تقریباً مشابه است وتغییرات فشار ، با ارتعاش ذرات هم فازهستند . لذا انرژی بطور پیوسته از منبع بخارج منتشر میشود .

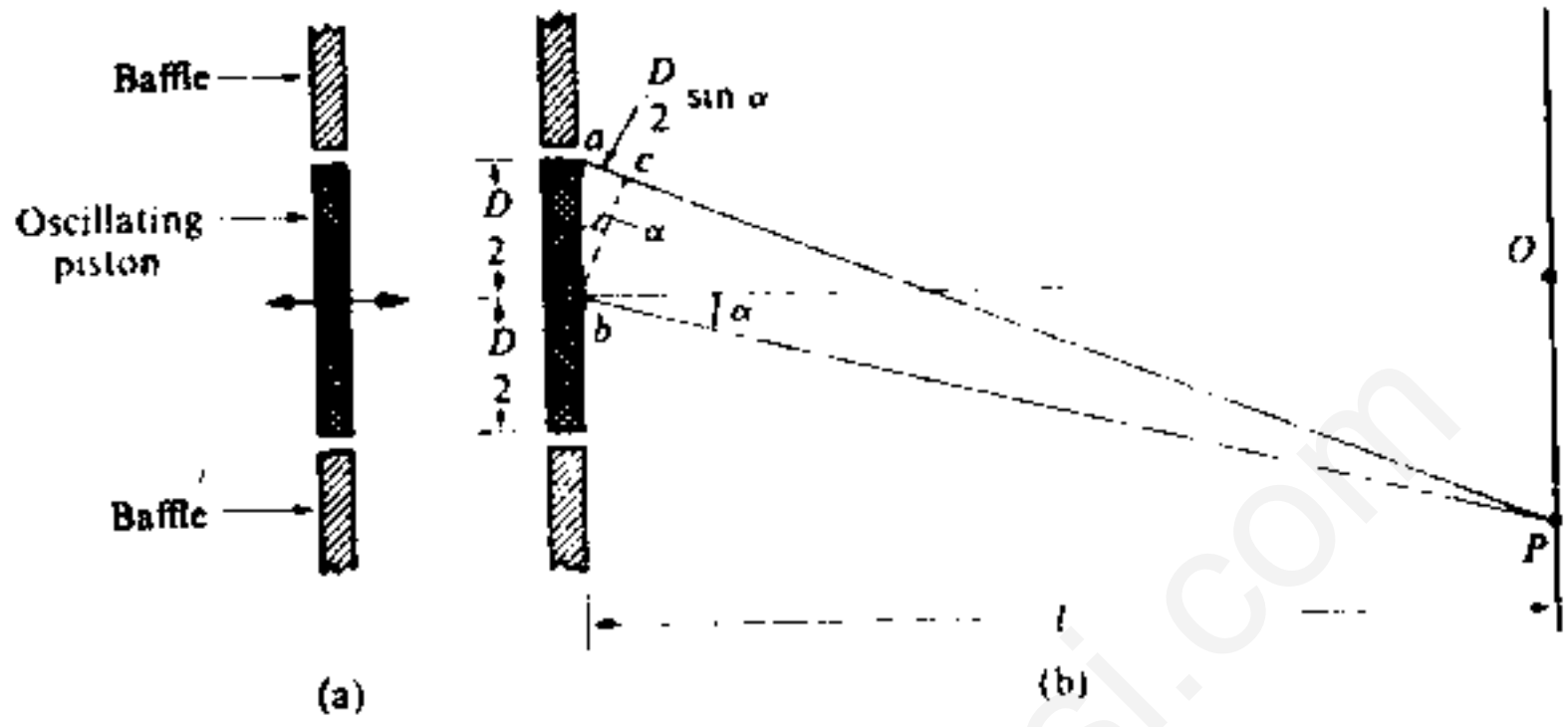
درفواصل بسیارکم از منبع وضع‌کاملا پیچیده است . فشـار و سرعت ذرات نه مانند امواج انتقالی همفاز و نه مانند امواج ساکن ۹۰° اختلاف دارند . اختلاف فاز بین فشار وسرعت ذرات عددی بین صفر و ۹۰° است . بنابراین فشار را میتوان بدومؤلفه تجزیه نمود یکی‌از این مؤلفه‌ها با سرعت همفاز ودیگری باآن ۹۰ درجه اختلاف فازدارد . مؤلفه‌اول باعث انتشار انرژی از منبع درفضا میشود درحالیکه مؤلفه دوم (با اختلاف فاز ۹۰°) باعث نوسان انرژی از داخل بخارج و بالعکس میشود . انرژی که بطور اتصالی از منبع بخارج منتقل میشود انرژی‌منتشره میباشد . انرژی منتشره‌که از منبع بخارج میرود برروی کلیه سطح‌های‌کروی مقداریست ثابت .

چون انرژی ازمنبع بخارج منتشر میشود بنابراین باید بطور پیوسته بمنبع انرژی داده شود تا ارتعاش آن ادامه یابد . در نتیجه ، پدیده انتشـار بمنزله مقاومتی است‌که در راه حرکت منبع وجود دارد . هرگاه منبع را بارتعاش درآورده آنرا بحال خودگذاریم ارتعاش‌آن مستهلك میشود. استهلاك، قسمتی بعلت انتشار یاتابش (**radiation**) میباشد. هرچه استهلاك تابشی بیشتر باشد ؛ بازده تابشی منبع بیشترخواهد بود .

۲۳ـ۶ ، تابش ازسطح پیستن ، تفرق

یك منبع واقعی صوت ، مثلا دیافراگم یك‌بلندگو ، بیشتر بیك صفحـه مرتعش شبیه است تا یك‌کره مرتعش . چنین منبعی از دوطرف انرژی منتشرمیکند . برای اینکه مطلب را بصورت ساده‌تری بیان‌کنیم بهتراست‌فرض‌کنیم پیستنی مطابق‌شکل۲۳ـ۳ درون سوراخی

واقع دریك‌صفحه در حال ارتعاش است . ما درباره امواجی‌که در سمت راست منتشر میشود مطالعه میکنیم .



شکل۲۳-۳ : (a) پیستن مدتمی درون یکسوراخ (b) نحوه نشان دادن می‌لیموم تفرق در امواجی که ازمنبع مستطیلی منتشر میشود

نحوه انتشار امواج درفضا درتابع‌شکل منبع و نسبت ابعاد آن به طول موج است . فرمول ریاضی توزیع موج درجهات مختلف ، برای اجسامی‌که اشکال مختلفی دارند بسیار پیچیده‌است ولی‌برای‌آنهاکه شکل دایره‌یاعربع مستطیل وامثالهم‌دارند‌صورت‌نسبتاًساده‌تری دارد . ساده‌ترین صورت فرمول متعلق به منبعی‌است‌که بشکل مربع مستطیل باشد . فرض کنیم وجه سمت راست پیستن را (که بشکل مربع مستطیل است) به نوارهای باریکی (که طول آنها برصفحه تصویرعمود است) . با ضخامت‌بینهایت‌کم تقسیم‌کنیم . هریك‌ازاین‌نوارها رامیتوان یك **منبع خطی** فرض‌کرد ، که از آنها امواج استوانه‌ای خارج میشود . محور مشترك همه‌سطح موجها برمنبع‌منطبق‌است؟اکنون ازاصولی‌که دربا ه ترکیب امواج میدانیم استفاده میکنیم .

نقطه P را که بفاصله l از منبع قراردارد (l از λ واز D طول منبع بمراتب‌بیشتر است) درنظر گیرید . دومنبع خیلی a و b را درنظر گیریدکه یکی در بالاترین و دیگری پائین‌ترازخط وسط پیستن قرار دارند . بمرکز P وبشعاع Pb قوسی رسم میکنیم تا Pa را درنقطه c قطع کند . ac اختلاف راه دو موجی‌است‌که ازدومنبع به P میرسند . چون l خیلی بزرگتراز D است bc تقریباً خط مستقیم و abc تقریباً مثلث قائم‌الزاویه است . زاویه α از این مثلث با α که Pb و ab باهم میسازند برابراست . بنابراین اختلاف راه ac چنین‌محاسبه میشود.

$$ac = \frac{D}{2}\sin\alpha \qquad (۲۳-۳)$$

هر گاه مقدار α چنان باشد که ca برابر نصف‌طول موج باشد امواجی که از a و b به P میرسند $180°$ اختلاف‌فاز دارند و تقریباً یکدیگر را خنثی میکنند. خنثی کردن کامل نیست زیرا (۱) راهی را که دوموج طی کرده‌اند دقیقاً بیك اندازه نیست و دامنه یکی از آنها کمتر ازدیگری است و (۲) جهت ممتد بطرف P برای دومنبع یکی نیستند و منبع خطی برخلاف منبع کروی درتمام جهات بطورمتشابه، امواج منتشر نمی‌کند. هر گاه l خیلی بزرگتر از D باشد هردواثر مذکور ضعیف است.

اینك منبع‌هائی راکه بلافاصله بعداز a و b واقعند درنظرمیگیریم. هر گاه ازمقادیر بینهایت کوچك درجه دوم صرفنظر کنیم شکلی عیناً نظیر ۲۳-۳ (b) بدست میآید، امواج حاصل ازاین دومنبع نیز در P یکدیگر را خنثی میکند. هر گاه استدلال را بهمین‌شکل ادامه دهیم ملاحظه میکنیم که امواج منتشر از پیستن اثر کلی‌شان در P صفر است. بشرط آنکه P درمحلی انتخاب شود که زاویه ObP برابر α باشد. هر گاه داشته باشیم

$$ac = \frac{\lambda}{2}$$

پس با استفاده ازفرمول ۲۳-۳ خواهیم داشت:

$$\sin\alpha = \frac{\lambda}{D} \qquad (۴-۲۳)$$

هر گاه بعنوان مثال $D = 12in$ و $\lambda = 6in$ (منطبق برفرکانس $2000 cycls/sec$ باشد داریم:

$$\sin\alpha = \frac{6}{12} = 0/50$$

$$\alpha = 30$$

درامتداد $30°$ بالا یا پائین امتداد قائم برمنبع انرژی منتشر نمیشود.

درامتداد هائیکه درآنها $\sin\alpha$ برابر $\frac{2\lambda}{D}$، $\frac{3\lambda}{D}$ و... باشد نیز تابش انرژی مینموم است. برای اثبات، باید صفحه منبع را به چهارقسمت، شش قسمت وغیره تقسیم نموده اثرمنابع خطی که براین قسمتها واقعند ومطابق آنچه فوقاً (درمورد دو قسمت کردن منبع) استدلال شد باهم سنجید.

باوجوداینکه با استدلال فوق جای می‌نیموم تابش را بسادگی پیدا کردیم، جای

ماکزیموم‌ها ونیز نحوه توزیع انرژی را با اینگونه استدلال‌ها نمیتوانیم پیدا کنیم . استدلال برای پیداکردن فرمول‌ها بسیار مفصل است و از ذکر آن خودداری میکنیم و فقط نتایج آنرا دراینجا بیان میکنیم . اولین ماکزیموم تابش بازاء $\alpha = 0$ یعنی درامتداد عمودبر پستن است . جای ماکزیموم‌های بعدی تقریباً دروسط فاصله دومی‌نیموم قراردارد . بـاید درنظرداشت که قسمت اعظم انرژی برنوار واقع بین دو می‌نیموم اول یعنی برنوار وسطی قرار دارد. دراغلب موارد میتوان ازانرژی بقیه صرفنظر نمود .

طرح توزیع انرژی را دریك منبعی که از استوانه گرد تشکیل شده بـاشد با استدلال مشابهی میتوان مشخص نمود . پستن را بحلقه‌های متحدالمرکز نازك تقسیم میکنیم و اثر جمعی امـواجی راکه ازهمه نقاط آن بیك نقطه دلخواه میرسدمحاسبه مینمائیم . در امتداد محورپستن ماکزیموم انرژی وتابشی وجود دارد . زاویه α که اولین می‌نیموم را مشخص میکند چنین بدست میاید :

$$\sin\alpha = 1/22\frac{\lambda}{D} \qquad (۵-۲۳)$$

که درآن D قطرپستن است . درحدود ۸۵٪ انرژی درون مخروطی که زاویه نیم راسش α است منتشرمیشود . هرگاه $D = 12\text{in}$ و $\lambda = 6\text{in}$ باشد :

$$\sin\alpha = 1/22 \times \frac{6}{12} = 0/61$$

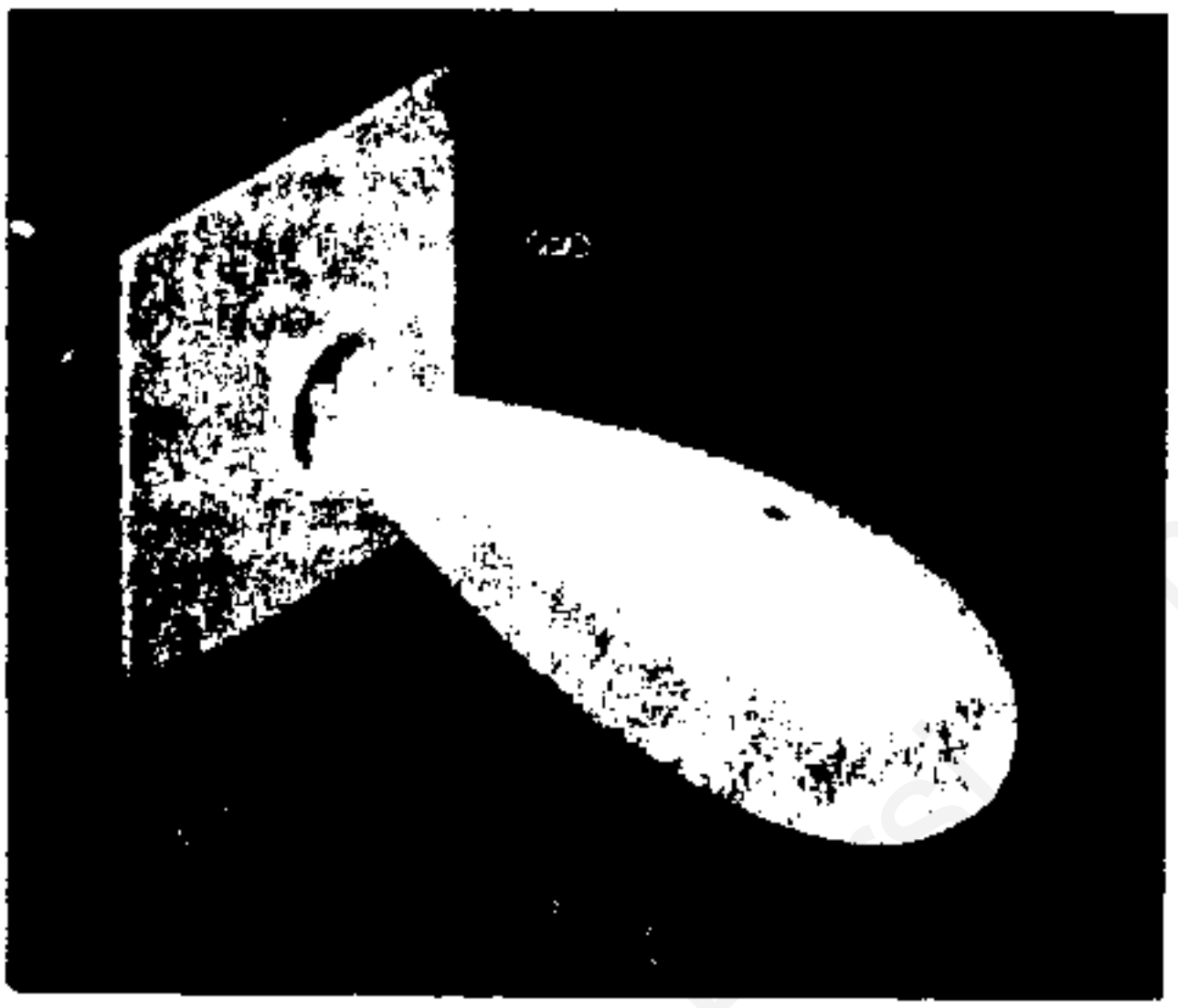
$$\alpha \simeq 37^\circ$$

شدت در ماکزیموم هـای بعدی خیلی سریع کاهش میابد . نوارهای بعدی بصورت دوائرمتحدالمرکزی دورماکزیموم اولیه‌قراردارند .

شکل ۲۳-۴ نمایش فضائی سطح توزیع شدت درجلوپستن استوانه‌ایست .

مستقیم‌الخط بودن مسیرصوتی که ازمنبع استوانه‌ای خارج میشود موارد استفاده عملی چندی دارد . مثلا وقتی بلندگوی یك سینما را میـازند میخواهند صدائی که ازبلندگو خارج میشود درون زاویه بزرگی‌توزیع شود . هرگاه قطر دهانه بلندگو 12in باشد امواج با فـرکانس ۲۰۰۰ را درون مخروطی که زاویه نیم رأسش 37° است منتشرمیشود . هرگاه فرکانس ۱۰۰۰۰ وطول موج درحدود $0/1\text{ft}$ شود (بالاترین صوت قابل شنیدن برای‌همه) زاویه نیم رأس برابراست با :

$$\sin\alpha = 1/22\frac{0/1}{1} = 0/122 \qquad \text{یا} \qquad \alpha \simeq 7^\circ$$



شکل ۲۳-۴ نمایش فضائی توزیع شدت درجلو سطح پیستون دوارازمرکز پیستون بهرنقطه ازسطح وصل شود برداری بدست میایدکه طول آن متناسب باشدت صوت درآن جهت بخصوص است .

واگرفرکانس ۱۲۰۰ باشدکه طول موج نظیرآن ۰/۸ فوت است :

$$\sin\alpha = \cdot/۱۲۲ \frac{\cdot/۸}{۱} = ۱/۰ \qquad \alpha = ۹۰^\circ$$

یعنی برای فرکانس ۱۲۰۰ یاکمتر ، امواج تقریباً بطورمتشابه پخش میشود ولی‌در فرکانس های حدود ۱۰۰۰۰ امواج صوتی دراطراف محور بلندگو متمرکز میگردند .

چون صحبت یك شخص موقعی خوب قابل فهم است‌که فرکانس های زیادآن مفهوم باشد ، درمحوطه سخنرانی چند بلندگو قرار میدهند تـا صدا را درجهات مختلف منتشر کند . اما صدای کم‌فرکانس را هر بلندگو درزاویه نسبتاً زیادی توزیع مینماید . بعضی‌اوقات مایلیم صوت حتماً دراطراف محورمتمرکزباشد و پخش نشود (فرستادن علامات صوتی در زیرآب و امثالهم) دراینجا باید قطر بلندگو را نسبت بطول موج ، نسبتاً بزرگ انتخاب نمود .

هرگاه بجای اینکه پیستنی درون شکافی قرارگیرد و ارتعاش تولیدکند منبع ارتعاش را درپشت صفحه‌ای قرارداده درآن فقط یك شکاف ایجادکنیم ، دراینحال نیزامواجی‌که از شکاف عبورمیکنند نظیرامواجی خواهدبـودکه قبلا پیستن ایجاد میکرد . هرگاه ابعاد طول

موج نسبت به ابعاد شکاف کوچك باشد تفرق امواج کم وبرعکس هرگاه ابعاد شکاف بمراتب کوچکترازطول موج باشد درتمام جهات منتشر میشود .

هرگاه درسرراه عبور موج ، مانعی قرارگیرد در نقطه‌ای دور ازمانع درائر وجود بقیه سطح موج ، اثرمانع قابل رؤیت نیست . بطورکلی اگر طول موج نسبتاً کم باشد تفرق کم است ومانع «سایه» ایجاد میکند . هرچه مانع بزرگتر باشد تفرق یا انحراف امواج بیشتر میشود . وقتی پشت دیواری ایستاده باشیم میتوانیم درگوشه‌های دیوار ، صدائی راکه درپشت آن تولیدمیشود بشنویم. هرچه طول موج بیشتر باشد (فرکانس کم) حدودی که صوت قابل شنیدن است وسیع تر و هرچه طول موج کمتر باشد (فرکانس زیاد) کمتر است . این پدیده را که درآن اثر تعداد زیادی ازنقاط منبع را دریك نقطه معین مورد بررسی قرار دادیم تفرق یا **differaction** مینامند .

۳۳ـ۷ ، بازده تابشی یك منبع صوتی

انتشارمستقیم صوت ازیك منبع ، تنها خاصیت مورد نظر درساختمان دستگاههای مولد صوت نیست. هرگاه ابعادمنابع صوتی نسبت بطول موج زیاد باشد امواج درجهت جلو منبع منتشر میشود . اختلاف فازبین فشار وسرعت ذره‌ها طوری است که انرژی همیشه ازمنبع بخارج منتشر میشود . اما هرگاه ابعاد منبع نسبت بطول موج کوچك باشد اختلاف فازمذکورطوری است که انرژی ازمنبع بخارج رفته مجدداً بمنبع برمیگردد وفقط قسمتی ازآن مستهلك میشود.

صوتی را درنظر گیریدکه فرکانس صوت آن ۲۵۰cycles/sec است (طول موج **۴ft**) و ازبلندگوئی بابعاد**6in** (که ابعادآن نسبت بطول موج کوچك است) بطوریکنواخت درتمام جهات بخارج منتشر میشود . برای اینکه توان تابشی صوت زیاد شود باید دامنه ارتعاش امواج ، زیاد باشد . بلندگوی ۸ فوتی برای این فرکانس بازده بیشتری دارد اما نمیتوانیم ازآن استفاده کنیم . بوقهائی که روی گرامافونهای قدیمی سوارمی کردند و نظائر آنها این امکان را بوجود می‌آوردکه ازمنبع‌های کوچك نیز امواج بافرکانس کم رابا بازده زیاد بتوان پخش نمود . البته انتشار صوت ، مستقیم و رو بجلو خواهد بود که مطلوب مانیست .

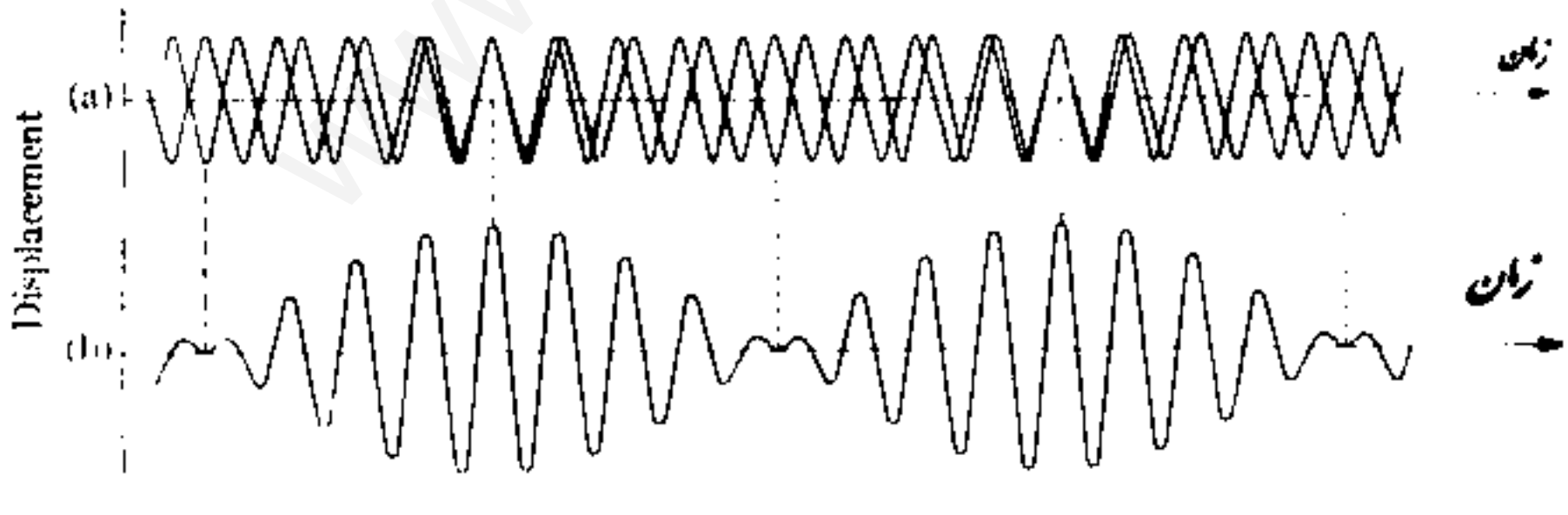
به بینیم بوق چه چیزی داردکه نحوه انتشارامواج را ازمنبع کنترل میکند . امواج بجای اینکه درتمام جهات منتشرشوند با دیواره بوق برخوردکرده انتشار آنها در امتداد معینی صورت میگیرد . باید دیواره‌ها طوری ساخته شوندکه انعکاس امواج ، فاز امواج را طوری تغییردهدکه قسمت اعظم انرژی صوتی بخارج منتشرشده بمنبع برنگردند . البته اگر بوق متعلق به یك اسباب موسیقی نظیر ترمپت باشد بایدقسمتی ازامواج دردهانه ترمپت بداخل

منعکس شوند تا امواج ایجاد شود ودستگاه با فرکانس معین بحال تشدید درآید .

چون دهانه بوق باید نسبتاً بزرگ باشد دراسباب‌های خانگی ازآنها استفاده نمی‌شود وقتی بلندگو بیشتر امواج کم فرکانس‌را باید منتشر کند ازدهانه‌های مخروطی معمولی‌استفاده میکنند . همچنین عقب منبع صوتی را نیز بازمیگذارند ودهانه‌دیگری روی آن سوارمیکند تا بدین ترتیب شدت اصوات منتشره را زیادکنند . یاآنرا درمحفظه‌ای که یك دهانه داردقرار میدهند . هر گاه حجم محفظه متناسب انتخاب شود اصوات درآن تشدید می‌شوند و امواج کم فرکانس که ازدهانه بخارج منتشرمی‌شوند همفازمنبع هستند . قبلا گفتیم که حتی اگر فرکانس‌های پائین درمجموعه هم‌آهنگ‌ها باشدت کمتری وجود داشته باشند گوش ارتعاش را با همان فرکانس اصلی احساس‌میکند. بنابراین اگرچند فرکانس اولیه را هم دستگاه حذف کند بازهم گوش‌آنها را آنچنانکه هست احساس می‌کند .

۸ـ۳۳ ، ضربان

تشکیل امواج ساکن درهوای درون لوله‌ها نمونه‌ای ازتشکیل امواج ساکن‌هستند . هر گاه دو موج هم دامنه وهم فرکانس که در دوجهت مخالف حرکت می‌کند بهم برخورد کنند موج‌ساکن تشکیل میشود . حال میخواهیم اگردامنه امواج مساوی ولی فرکانس‌آنها کمی باهم اختلاف داشته باشد چه اتفاقی میافتد . اگردو دیاپازن که فرکانس‌آنها کمی‌باهم اختلاف دارد یا در سیم پیانو که اختلاف فرکانس آنها کم باشد بارتعاش در آیند چنین وضعیتی وجود دارد . (وقتی سیم‌های پیانو چنین باشندگویند ازکوك خارج شده‌است)



شکل ۲۳ـ۵ هرگاه فرکانس دوموج‌کمی اختلاف داشته باشد دامنه اصوات متغیرشده ضربان بوجود میاید .

نقطه‌ای ازمحیط را درنظر گیرید که‌دوموج‌مذکوربآن رسیده باشند.شکل۲۳ـ۵(a) بعد حاصل از این دوموج برحسب‌زمان رسم شده است هرگاه محور افقی معرف یك ثانیه باشد فرکانس‌های ۱۶و۱۸ روی دستگاه رسم شده‌اند. باترکیب دوموج میتوان منحنی شکل

۲۳–۵ (b) را پیدا کرد که در آن چنانکه دیده میشود ، دامنه بازمان تغییر میکند. این امر باعث میشود که «بلندی صدا» تغییر کند و گوئیم درصوت ضربان یا Beat ایجاد شده است . میتوان کشش را دریکی ازدو سیم که فرکانس آنها کمی اختلاف دارد آنقدر تغییر داد که ضربان محو شود بدین ترتیب فرکانس هردو مساوی شده است .

فرمول ریاضی ضربان چنین بدست میآید. معادله دوموجی که بیك نقطه میرسند ممکن است بصورت زیر باشند .

$$y_1 = Y \cos 2\pi f_1 t \qquad y_2 = Y \cos 2\pi f_2 t$$

(دامنه‌ها مساوی فرض شده‌اند)

بااستفاده از دستور ترکیب امواج نتیجه میشود.

$$y = y_1 + y_2 = Y(\cos 2\pi f_1 t + \cos 2\pi f_2 t)$$

وچون درمثلثات دیده‌ایم که :

$$\cos a + \cos b = 2 \cos \frac{a+b}{2} \cdot \cos \frac{a-b}{2}$$

که میتوان آنرا بصورت زیر نوشت :

$$y = [2Y \cos 2\pi \left(\frac{f_1 - f_2}{2}\right) t] \cos 2\pi \frac{f_1 + f_2}{2} t \qquad (۶–۲۳)$$

فرکانس نوسان فوق را میتوان $\frac{f_1 + f_2}{2}$ یافرکانس متوسط درارتعاشی که باهم تداخل کرده‌اند دانست. دامنه نوسان نیز بافرکانس $\frac{f_1 - f_2}{2}$ بازمان تغییر میکند. هرگاه f_1 و f_2 بهم خیلی نزدیك باشند فرکانس ضربان خیلی کند میشود. فرکانس ضربان فاصله بین دو دامنه ماکزیموم متوالی است یعنی وقتی $t = \pm 1$ $\left[2\pi \frac{(f_1 - f_2)}{2}\right]$ شود . چون درهر سیکل یکبار تساوی مذکور حاصل میشود. بنابراین فرکانس ضربان دوبرابر $\frac{f_1 - f_2}{2}$ است یعنی

فرکانس ضربان برابر تفاضل فرکانس های دو ارتعاش هستند.

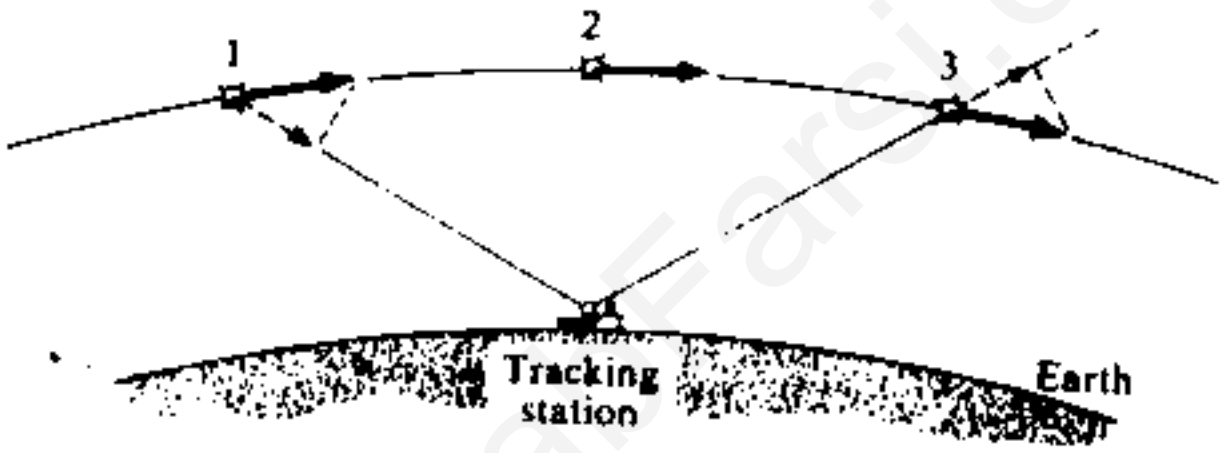
۲۳–۹ پدیده دوپلر

وقتی منبع صوت یاشنونده یاهردو، نسبت بهوادرحرکت باشند ارتفاع صوت درگوش شنونده

با ارتفاع آن وقتی حرکت نسبی وجود نداشته باشد فرق میکند. وقتی اتومبیلی درحال بوق زدن ازمقابل ماآمده بسرعت ازپهلوی ماعبور میکند ارتفاع صوت بوق بطور محسوس فرق میکند. این پدیده را **پدیده دوپلر** مینامند .

مافقط درحالتی بحث میکنیم که v_s و v_L سرعت منبع‌وشنونده بر خط واصل آندوقرار دارد. چون‌ممکن‌است جهت سرعت روبهم‌یامخالف‌آن باشد ونیز ممکن‌است شنونده‌جلو یاعقب منبع قرارداشته باشد لذا رعایت علامت درمقادیر v_s و v_L حتماً لازم است.

جهت مثبت را ازطرف‌شنونده بطرف‌منبع‌مثبت اختیار میکنیم. سرعت انتشار c همیشه مثبت فرض میشود .



شکل ۲۳-۶ سطوح موج که ازمنبع متحرك خارج میشود .

درشکل ۲۳-۶ شنونده L درسمت چپ چشمه S قرار دارد . بنابراین جهت مثبت v_L و v_s ازچپ براست‌است درلحظه $t = 0$ منبع درنقطه a وشنونده درنقطه b است. دایره خارجی سطح موجی‌که درلحظه $t = 0$ منتشر شده است نشان میدهد . این واقعیت‌که منبع متحرك است پس از آنکه صوت ازمنبع خارج شد دیگر درسرعت انتشار آن اثری ندارد سرعت انتشار c خاصیت محیط است نه منبع) این دایره نمایش کره‌ایست که مرکزآن a است وشعاع‌آن باسرعت c افزایش می‌یابد بنابراین شعاع آن ct است . فاصله ab برابر است با v_st پس داریم :

$$cb = (c+v_s)t \quad و \quad bd = (c-v_st)$$

درفاصله زمانی $t = 0$ تا $t = 1$ تعداد امواجی‌که از منبع خارج شده است f_st است که درآن f_s فرکانس منبع است درجلومنبع این امواج درفاصله bd ودرعقب‌آن درفاصله cb قرار میگیرد. طول موج درجلو منبع برابر است با :

$$\lambda = \frac{(c+v_s)t}{f_st} = \frac{c+v_s}{f_s}$$

وطول موج درعقب منبع برابراست با :

$$\lambda = \frac{(c+v_S)t}{f_S t} = \frac{c+v_S}{f_S}$$

امواجی‌که بشنونده L میرسد سرعتی برابر $c+v_L$ است (نسبت بشنونده) دارند فرکانس f_L که بگوش شنونده برخورد میکند برابر است با :

$$f_L = \frac{c+v_L}{\lambda} = \frac{c+v_L}{(c+v_S)/f_S}$$

ویا :

$$\frac{f_L}{c+v_L} = \frac{f_S}{c+v_S} \qquad (۷-۲۳)$$

این رابطه f_L را برحسب f_S معین میکند و بفرمول دیگری احتیاج نیست فقط کافی است علامت را بطور صحیح درنظر گیریم. بمثال زیر توجه کنید . هر گـاه محیطی‌که موج درآن منتشر میشود، خود باسرعت v_M درجهتی موازی خط واصل بین شنونده و منبع در حرکت باشد ، داریم :

$$\frac{f_L}{c+v_L-v_M} = \frac{f_S}{c+v_S-v_M} \qquad (۸-۲۳)$$

مثال ـ فرض میکنیم :

$$f_S = ۱۰۰۰\ cycles/sec \qquad c = ۱۰۰۰\ ft/sec$$

طول موجی‌که انمنبع ساکن خارج میشود برابراست با :

$$c/f_S = ۱/۰۰\ ft$$

(a) طول موجهارا درجلو وعقب منبع متحرك شکل ۲۳ـ۶(اگرسرعت آن $۱۰۰\ ft/sec$ باشد) بدست آورید.

درجلو منبع داریم :

$$\lambda = \frac{c-v_S}{f_S} = \frac{۱۰۰۰-۱۰۰}{۱۰۰۰} = ۰/۹۰\ ft$$

ودرپشت منبع خواهیم داشت :

$$\lambda = \frac{c+v_S}{f_S} = \frac{۱۰۰۰-۱۰۰}{۱۰۰} = ۱/۱۰\,ft$$

(ii) هر گاه شنونده L شکل ۲۳ـ۶ در حال سکون و منبع با سرعت $۱۰۰\,ft/sec$ از آن دور شود فرکانس را که بگوش او میرسد چه‌اندازه است چون داریم :

$$v_L = ۰ \quad و \quad v_S = ۱۰۰\,ft/sec$$

خواهیم داشت :

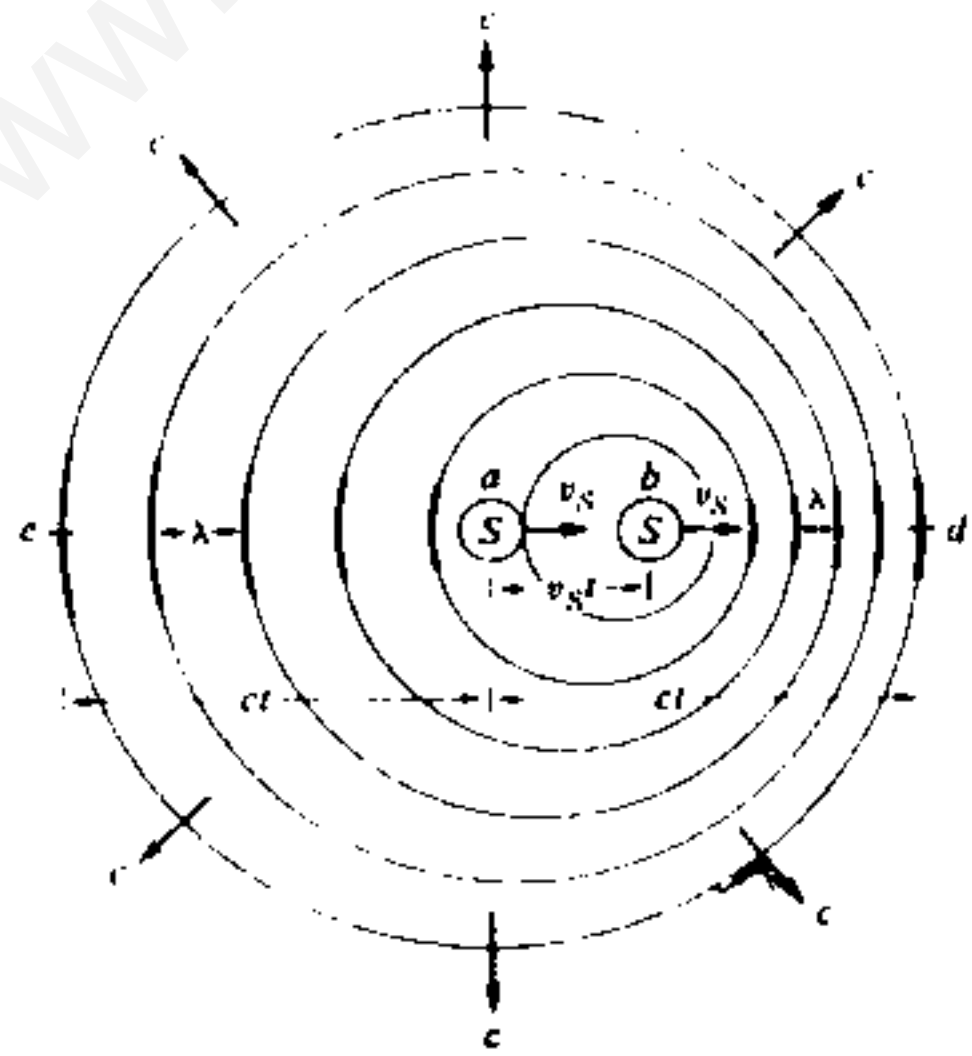
$$f_L = f_S \frac{c}{c+v_S} = ۱۰۰۰ \times \frac{۱۰۰۰}{۱۰۰۰+۱۰۰} = ۹۰۹\,cycles/sec$$

(c) هر گاه منبع شکل ۲۳ـ۶ ساکن وشنونده باسرعت $۱۰۰\,ft/sec$ بطرف چپ حرکت کند فرکانسی که بگوش شنونده میرسد چقدر است ؟ جهت مثبت (ازشنونده به‌منبع) هنوز ازچپ براست است . پس :

$$v_L = -۱۰۰\,ft/sec \quad و \quad v_S = ۰$$

$$f_L = f_S \frac{c+v_L}{c} = ۱۰۰۰ \times \frac{۱۰۰۰-۱۰۰}{۱۰۰۰} = ۹۰۰\,cycles/sec$$

پدیده دوپلر منحصر بامواج صوتی نیست. امواج نورانی که دراثر تغییر وضع موقت وبازگشت مجدد بوضع الکترونیکی اولیه اتمها بوجود میآید وطول موج آنها در زمین و



شکل ۲۳ـ۷ تعیین مزاحمه سرعت براساس دید یك ماهواره که از مقابل ایستگاهی عبور میکند

درستاره دیگر یکی است. اماطول موج بعضی ازاشعه نورانی‌که از ستارگان بزمین میآیند کمی‌کوتاهتر از همین طول موجها وقتی درزمین تولید میشوند میباشند. این میرساندکه ستارگان مذکور بزمین نزدیك یا ازآن دور میشوند ومیتوان سرعت حرکت‌آنهارا حساب کرد. حتی درآزمایشگاه ، وقتی درلوله‌ای تخلیه الکتریکی صورت میگیرد اتمهای درون آن ساکن نبوده باسرعت خیلی زیادی درحرکت است. بنابراین‌طول موج حاصل ازتخلیه الکتریکی درون گاز معین ، در حدود معین دراطراف طول موج اصلی توزیع شده‌اند . مثال جالب دیگردراین مورد ، انعکاس امواج رادار برجسم متحرکی‌نظیر اتومبیل‌یاکشتی یا هواپیماست . همین پدیده در مورد امواج صوتی زیر آبی پس ازبرخورد زیر دریائی اتفاق می‌افتد .

پدیده دوپلردرامواج رادیوئی بافرکانس f_s که ازیك ماهواره‌بایستگاه میرسداتفاق می‌افتد.وقتی‌ماهواره‌ازوضع(۱) بوضع (۲) میرودفرکانس‌ظاهری f_1 امواج که بزمین میرسد کاهش میبابد (شکل ۲۳–۷) و همچنین وقتی ازنقطه (۲) به (۳) میرود نیزکاهش میبابد.

هرگاه بتوان فرکانس f_1 را که بزمین میرسد با فرکانسی مساوی آنچه در دستگاه ایجاد میشود ترکیب‌کنیم ضربان بوجود میآید وفرکانس ضربان ممکن است چنان باشدکه امواج صوتی ایجادکند . وقتی ماهواره ازبالای ایستگاه عبور میکند ارتفاع صوت حاصله ازآن تغییر میکند .

۲۳–۱۰، فواصل وگام درموسیقی

هرگاه صدای موسیقی تولید شود ، هم موسیقیدان ها و هم مستمعین مبتدی می‌فهمند که رابطه‌ای **بین نت‌های** موسیقی وجود دارد. این روابط بزبان موسیقی با کلماتی نظیر **اکتاو** ، **ماژور سوم** ، **مینور سوم** وغیره بیان میشود. شنونده ، این فواصل را احساس کرده اساس آنهارا درك میکند وتجربه نشان میدهدکه فرکانس اصلی این نت ها نسبت بیکدیگر کسرهای مشخصی‌را ایجاد میکند . مثلا فرکانس C وسط ، درپیانو ، یك اکتاو بیالاتر از C' است وبرابر ۱ به۲ میباشد. هرگاه نت‌های C و E و G را بنوازیم **ترياد ماژر** حاصل میشودکه فرکانس‌آنها بترتیب متناسب بااعداد ۴و۵و۶ است .

هرگاه از C شروع کرده بطرف راست شستی‌های یك پیانورا فشار دهیم (فقطشستی های سفید) در۹ نت سه تریاد ماژور نواخته میشود . این درجدول ۲۳–۲ نشانداده شده است. میتوان بااستفاده ازاین جدول فرکانس تمام نت‌هارا با تعیین اندازه اختیاری برای یکی ازآنها بدست‌آورد.

بنابرموافقت بین‌المللی فرکانس نت A راکه بالای C میانه واقع است برابر ۴۴۰

جدول ۲۳ـ۲

رابطه فرکانس‌ها درگام دیاتونیک ماژور ودرگام معتدل

Re´	Do´	Si	La	Sol	Fa	mi	Re	Do	
D'	C'	B	A	G	F	E	D	متوسط C	رابطه‌فرکانس‌ها
	۲							۱	اکتاو کلید C
	(۸)			۶		۵		۴	۲ تریاد ماژور کلید C
	۶		۵		۴				۳ تریادماژور کلید F
۶		۵		۴			(۳)		۴ تریادماژور کلید G
۵۹۴	۵۲۸	۴۹۵	۴۴۰	۳۹۶	۳۵۲	۳۳۰	۲۹۷	۲۶۴	۵اتاو دیاتونیک (کلید C)
۹	۱۶	۹	۱۰	۹	۱۶	۱۰	۹		
۸	۱۵	۸	۹	۸	۱۵	۹	۸	۶	
تمام	نیمه	تمام	تمام	تمام	نیمه	تمام	تمام		
۵۸۷/۴	۵۲۳/۲	۴۹۳/۹۰	۴۴۰	۳۹۲	۳۴۹/۲	۳۲۹/۶	۲۹۳/۷	۲۶۱/۶	
۶	۱۲	۶	۶	۶	۱۲	۶	۶	۸	
$\sqrt[6]{2}$	$\sqrt[12]{2}$	$\sqrt[6]{2}$	$\sqrt[6]{2}$	$\sqrt[6]{2}$	$\sqrt[12]{2}$	$\sqrt[6]{2}$	$\sqrt[6]{2}$		

اختیارکرده‌اند درستون ۵ جدول۲۳ـ۲ فرکانس گام دیاتونیك ماژور راکه باکلیدC شروع میشود ثبت کرده‌اند نسبت فرکانس دردو نت متوالی $\frac{۹}{۸}$ ، $\frac{۱۰}{۹}$ ویا $\frac{۱۶}{۱۵}$ است. فواصل $\frac{۹}{۸}$ و $\frac{۱۰}{۹}$ را **فاصله کامل** و $\frac{۱۶}{۱۵}$ را نیم فاصله (نیم پرده) مینامند .

هرگاه دیاتونیك ماژور را با **D** شروع کنیم چهار نوت جدید برای تکمیل گام لازم است . هرگاه هریك ازنت هارا مبدء قرار دهیم برای هر اکتاو ۷۲ نت لازم است بهمین دلیل گام معتدل توسط **J.S. Bach** وضع‌شد. دراین گام درفاصله اکتاو ۱۲ نیم‌تن‌وجود دارد فاصله هرنت بانت مجاور برابر ریشه دوازدهم ۲ یعنی۱/۰۵۹۴۶ است باوجوداینکه تقسیم فواصل دراین گام بسادگی صورت گرفته است متأسفانه نت‌های آن کاملا برنت هـای گام دیاتونیك تطبیق نمیکند. فواصل گام دیاتونیك براساس خوش‌آیندی درگوش انتخاب شده است (که ازسه دسته هریك شامل سه تریاد ماژور تشکیل شده است و هریك از آنها آنها ازترکیب های هم‌آهنگ بوجود آمده‌اند) . نتیجه میگیریم که نت‌های گام معتدل که بافواصل مساوی انتخاب شده‌اند درگوش‌خوش‌آیند نیستند. اما اختلاف آنها بانت‌های گام دیاتونیك بسیارکم و ناچیز است و فقط گوشهای خیلی حساس میتوانند اختلافات آنهـا را تشخیص دهند .

مسائل

۱ـ۲۳ (a) هرگاه دامنه فشار یك موج صوتی سه برابرشود شدت موج چند برابر میشود. (b) دامنه فشار را چندبرابر کنیم تاشدت ۱۶ برابرشود.

۲ـ۲۳ (a) دوموج صوتی هم فرکانس ، یکی درهوا ودیگری درآب ، باشدت‌مساوی منتشرمیشوند. نسبت دامنه فشار موج رادرآب وهوا بدست آورید. هرگاه دامنه فشارمساوی باشد. (b) نسبت شدت و (c) اختلاف سطح شدت‌آندو را بدست آورید سرعت صوت را در آب برابر $۱۴۹۰ \frac{m}{sec}$ فرض کنید .

۳ـ۲۳ (a) مقیاس شدت را $watt/cm^2$ $۱۰^{-۱۶}$ فرض میکنیم . شدت منبعی زاکه $watt/cm^2$ $۱۰^{-۱۰}$ است برحسب**db** بدست‌آورید (b)سطح‌شدت صوتی راکه دامنه فشار آن $۲dynea/cm^2$ است پیداکنید..

۲۳ـ۴ شدت کل چند منبع صوتی مستقل برابر مجموع شدت هاست . شدت کل ۵ منبع مشابه که باهم بصدا درآمده‌اند چند db بیش ازشدت یکی از آنهاست ؟ چند منبع مشابه دیگر باآنها بصدا درآید تاشدت کلی برحسب دسی‌بل ، دوبرابرشود

۲۳ـ۵ سطح پنجره‌ای $1m^2$ است وشدت صدای خیابان روی سطح پنجره (که باز است) $60dl$ است چه توان صوتی وارد اطاق میشود.

۲۳ـ۶ (a) بالاترین وپائین‌ترین سطح‌شدت شخصی که سطح شنوائیش درشکل ۲۳ـ۱ رسم شده است چقدراست. (b) هرگاه شدت $40dl$ باشد حداقل وحداکثر فرکانس‌های قابل شنیدن را برای این شخص پیداکنید .

۲۳ـ۷ دوبلندگوی A و B صوت را درتمام جهات منتشرمیکند . توان صوتی A برابر 8×10^{-4} وتوان صوتی B برابر $13/5\times10^{-4}$ وات است. فاز هردو بلندگو در فرکانس $173 cycles/sec$ مساوی است (a) اختلاف فاز دوصوت را در خط واصل بین دومنبع درنقطه C بفاصله ۳متراز B وچهارمتر از A بدست‌آورید. (b) هرگاه A خاموش شود شدت صوت درنقطه C چه اندازه است. (c) هرگاه هر دو بلندگو روشن باشند شدت درC چه اندازه است.

۲۳ـ۸ سطح یك منبع صوتی که بشکل پیستنی دواراست چقدرباشد تا زاویه نیم‌رأس مخروطی که انرژی صوتی در آن پخش میشود برابر 45° باشد فرکانس $10000 \frac{cycles}{sec}$ است .

۲۳ـ۹ منبع صوتی دستگاهی فرکانس $50000 \frac{cycles}{sec}$ راتولید میکند(Sonar-System امواج صوتی با این حدود فرکانس را درزیرآب پخش میکند) سرعت صوت در آب برابر $1450 \frac{m}{sec}$ است شکل منبع رادایره‌فرض کنید. (a) طول موج را بدست آورید. (b) نیم رأس را 10° فرض کرده قطرمنبع را حساب کنید (c) اختلاف فرکانسی که ازاین منبع خارج‌میشود بافرکانس امواج منعکسه‌همین‌منبع روی دیواره یك‌زیردریائی که باسرعت $15mi/hr$ ازمنبع دور میشود چه اندازه است.

۲۳ـ۱۰ دوسیم مشابه پیانو وقتی با نیروی مساوی کشیده شوند هریك فرکانس $4000 ft/sec$ را دارند. کشش یکی‌ازآنهارا چنددرصد تغییردهیم تا فرکانس‌آن ۴ ارتعاش درثانیه تغییر کند. ازدیفرانسیل استفاده کنید.

۲۳ـ۱۱ نسبت دوارتعاش درفاصله نیم تن درگام دیاتونیك $\frac{16}{15}$ است. سرعت‌اتومبیلی تدرباشد صدای بوق آن درگوش شنونده ساکنی که در هوای آرام ایستاده است باندازه

نیم‌تن پائین‌آید. اتومبیل مستقیماً بطرف شخص آمده سپس مستقیماً ازوی دورمیشود

۱۲ـ۲۳ (a) مشتق فرمول (۲۳ـ۸) را حساب کنید. (b) بشکل ۲۳ـ۶ و مثالا مذکور درقسمت ۲۳ـ۹ رجوع کنید وفرض کنید باد با سرعت $50\ ft/sec$ در جهت حرکت منبع میوزد. طول وموج را درجلو و عقب منبع بدست آورید. (c) فرکانسی‌را که شنونده ساکن می‌شنود (وقتی منبع دور میشود) بدست‌آورید.

۱۳ـ۲۳ ترنی باسرعت $100\ ft/sec$ درهوای آرام حرکت‌میکند. فرکانس صوت‌ترن $500\ cycles/sec$ است. طول موج صوتی راکه (a) درجلومنبع و (b) درعقب‌آن که بگوش شنونده ساکنی میرسد ونیز فرکانس صوتی راکه‌بگوش شنونده‌ای میرسدکه در ترن دیگری نشسته وباسرعت $50\ ft/sec$ بیشترازسرعت ترن اول‌ودرهمان جهت درحرکت‌است درحالات زیر بدست‌آورید. (c) درجلو (d) درعقب لکوموتیو. (e) وقتی ترن دوم باولی نزدیک‌میشود (f) وقتی‌ازآن سبقت گرفته دورمیشود. (g) هرگاه بادسرعت $30\ ft/sec$ درجهت حرکت قطار بوزد جوابهای فوق‌چه میشود.

۱۴ـ۲۳ امواجی با فرکانس f_0 و طول موج λ_0 درامتداد افقی وبطرف راست در حرکت‌است. این‌امواج بدیواره‌منحنی که با سرعت v در حرکت است برخورد کرده منعکس میشوند (امتداد انتشار براین‌سطح عمود است). (a) درچه‌فاصله زمانی t چند موج بدیواره برخورد میکند (b) درانتهای زمان t موج اولیه‌ایکه ازمنبع منتشرشده درچه فاصله‌ای در سمت چپ دیواره قراردارد. (c) طول موج امواج منعکس‌برحسب λ_0 چه اندازه است (d) فرکانس امواج منعکس برحسب f_0 چه اندازه است. (e) شخصی درسمت چپ صفحه متحرک ایستاده است. چه احساسی ازتداخل امواج تابش ومنعکس دارد.

۱۵ـ۲۳ دو منبع A و B هر یك فرکانسی برابر $500\ \frac{cycles}{sec}$ دارند. A ساکن و B بطرف‌راست‌درحرکت وازA باسرعت $200\ ft/sec$ دورمیشودشنونده‌ای بین دومنبع با سرعت $100\ ft/sec$ بطرف‌راست درحرکت‌است. سرعت صوت‌رادرهوا $1100\ ft/sec$ بگیرید. (a) فرکانس حاصل ازA که بگوش شنونده میرسد چه اندازه‌است. (b) فرکانس B را که بگوش شنونده میرسد بدست‌آورید. (b) ضرباتی راکه شنونده می‌شنود بدست‌آورید.

۱۶ـ۲۳ مردی بحال سکون جلودیوارصاف وبزرگی ایستاده است. در جلو شخص دیاپازنی بافرکانس ۴۰۰ درحال ارتعاش است (فاصله شخص ودیاپازن ناچیزاست) هرگاه دیاپازن باسرعت $4\ ft/sec$ بطرف دیوارحرکت کند با تداخل امواجی که‌مستقیماً ازدیاپازن بشخص میرسد وامواجی که‌ازروی‌دیوارمنعکس‌میشوددرهرثانیه چند ضربان‌بوجودمیآید.

۱۷ـ۲۳ منبع‌صوتی S که صوتی بافرکانس ۱۰۰۰ ایجاد میکند باسرعت $100\ ft/sec$ بطرف راست‌درحرکت است. درطرف راست‌منبع دیوارصاف وسختی که‌باسرعت $400\ ft/sec$

بطرف چپ درحرکت است وجود دارد.(a) امواج‌در $0/01\ sec$ چقدر راه طی‌میکند.(b) طول موج درجلو منبع (یعنی درطرف راست آن) چقدراست. (c) درمدت ۰/۰۱ ثانیه‌چند موج بسطح برخورد میکند. (b) سرعت انتشار امواج منعکس چه اندازه است. (e) طول موج امواج منعکس چقدراست .

۱۸–۳۳ امواج رادار باسرعت نور یعنی $c = 3 \times 10^8 m/sec$ منتشرمیشوند. امواجی بطول موج ۱۰cm پس از برخورد با هواپیمائی منعکس میشوند . هواپیما بطرف منبع در حرکت است. بین امواجی که مستقیماً ازمنبع خارج میشوند وامواج منعکسه‌ضربان بوجود میآید وفرکانس ضربان ۱۰۰۰ است سرعت هواپیما چند میل برساعت است .

www.KetabFarsi.com

Angle		Sine	Cosine	Tangent	Angle		Sine	Cosine	Tangent
Degree	Radian				Degree	Radian			
0°	.000	0.000	1.000	0.000					
1°	.017	.018	1.000	.018	46°	0.803	0.719	0.695	1.036
2°	.035	.035	0.999	.035	47°	.820	.731	.682	1.072
3°	.052	.052	.999	.052	48°	.838	.743	.669	1.111
4°	.070	.070	.998	.070	49°	.855	.755	.656	1 150
5°	.087	.087	.996	.088	50°	.873	.766	.643	1.192
6°	.105	.105	.995	.105	51°	.890	.777	.629	1.235
7°	.122	.122	.993	.123	52°	.908	.788	.616	1.280
8°	.140	.139	.990	.141	53°	.925	.799	.602	1.327
9°	.157	.156	.988	.158	54°	.942	.809	.588	1.376
10°	.175	.174	.985	.176	55°	.960	.819	.574	1.428
11°	.192	.191	.982	.194	56°	.977	.829	.559	1.483
12°	.209	.208	.978	.213	57°	.995	.839	.545	1.540
13°	.227	.225	.974	.231	58°	1.012	.848	.530	1.600
14°	.244	.242	.970	.249	59°	1.030	.857	.515	1.664
15°	.262	.259	.966	.268	60°	1.047	.866	.500	1.732
16°	.279	.276	.961	.287	61°	1.065	.875	.485	1.804
17°	.297	.292	.956	.306	62°	1.082	.883	.470	1.881
18°	.314	.309	.951	.325	63°	1.100	.891	.454	1.963
19°	.332	.326	.946	.344	64°	1.117	.899	.438	2.050
20°	.349	.342	.940	.364	65°	1 134	.906	.423	2.145
21°	.367	.358	.934	.384	66°	1.152	.914	.407	2.246
22°	.384	.375	.927	.404	67°	1.169	.921	.391	2.356
23°	.401	.391	.921	.425	68°	1.187	.927	.375	2.475
24°	.419	.407	.914	.445	69°	1.204	.934	.358	2.605
25°	.436	.423	.906	.466	70°	1.222	.940	.342	2.747
26°	.454	.438	.899	.488	71°	1.239	.946	.326	2.904
27°	.471	.454	.891	.510	72°	1.257	.951	.309	3.078
28°	.489	.469	.883	.532	73°	1.274	.956	.292	3.271
29°	.506	.485	.875	.554	74°	1.292	.961	.276	3.487
30°	.524	.500	.866	.577	75°	1.309	.966	.259	3.732
31°	.541	.515	.857	.601	76°	1.326	.970	.242	4.011
32°	.559	.530	.848	.625	77°	1.344	.974	.225	4.331
33°	.576	.545	.839	.649	78°	1.361	.978	.208	4.705
34°	.593	.559	.829	.675	79°	1.379	.982	.191	5.145
35°	.611	.574	.819	.700	80°	1.396	.985	.174	5.671
36°	.628	.588	.809	.727	81°	1.414	.988	.156	6.314
37°	.646	.602	.799	.754	82°	1.431	.990	.139	7.115
38°	.663	.616	.788	.781	83°	1.449	.993	.122	8.144
39°	.681	.629	.777	.810	84°	1.466	.995	.105	9.514
40°	.698	.643	.766	.839	85°	1.484	.996	.087	11.43
41°	.716	.658	.755	.869	86°	1.501	.998	.070	14.30
42°	.733	.669	.743	.900	87°	1.518	.999	.052	19.08
43°	.751	.682	.731	.933	88°	1.536	.999	.035	28.64
44°	.768	.695	.719	.966	89°	1.553	1.000	.018	57.29
45°	.785	.707	.707	1.000	90°	1.571	1.000	.000	∞

www.KetabFarsi.com

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	....	0000	3010	4771	6021	6990	7782	8451	9031	9542
1	0000	0414	0792	1139	1461	1761	2041	2304	2553	2788
2	3010	3222	3424	3617	3802	3979	4150	4314	4472	4624
3	4771	4914	5051	5185	5315	5441	5563	5682	5798	5911
4	6021	6128	6232	6335	6435	6532	6628	6721	6812	6902
5	6990	7076	7160	7243	7324	7404	7482	7559	7634	7709
6	7782	7853	7924	7993	8062	8129	8195	8261	8325	8388
7	8451	8513	8573	8633	8692	8751	8808	8865	8921	8976
8	9031	9085	9138	9191	9243	9294	9345	9395	9445	9494
9	9542	9590	9638	9685	9731	9777	9823	9868	9912	9956
10	0000	0043	0086	0128	0170	0212	0253	0294	0334	0374
11	0414	0453	0492	0531	0569	0607	0645	0682	0719	0755
12	0792	0828	0864	0899	0934	0969	1004	1038	1072	1106
13	1139	1173	1206	1239	1271	1303	1335	1367	1399	1430
14	1461	1492	1523	1553	1584	1614	1644	1673	1703	1732
15	1761	1790	1818	1847	1875	1903	1931	1959	1987	2014
16	2041	2068	2095	2122	2148	2175	2201	2227	2253	2279
17	2304	2330	2355	2380	2405	2430	2455	2480	2504	2529
18	2553	2577	2601	2625	2648	2672	2695	2718	2742	2765
19	2788	2810	2833	2856	2878	2900	2923	2945	2967	2989
20	3010	3032	3054	3075	3096	3118	3139	3160	3181	3201
21	3222	3243	3263	3284	3304	3324	3345	3365	3385	3404
22	3424	3444	3464	3483	3502	3522	3541	3560	3579	3598
23	3617	3636	3655	3674	3692	3711	3729	3747	3766	3784
24	3802	3820	3838	3856	3874	3892	3909	3927	3945	3962
25	3979	3997	4014	4031	4048	4065	4082	4099	4116	4133
26	4150	4166	4183	4200	4216	4232	4249	4265	4281	4298
27	4314	4330	4346	4362	4378	4393	4409	4425	4440	4456
28	4472	4487	4502	4518	4533	4548	4564	4579	4594	4609
29	4624	4639	4654	4669	4683	4698	4713	4728	4742	4757
30	4771	4786	4800	4814	4829	4843	4857	4871	4886	4900
31	4914	4928	4942	4955	4969	4983	4997	5011	5024	5038
32	5051	5065	5079	5092	5105	5119	5132	5145	5159	5172
33	5185	5198	5211	5224	5237	5250	5263	5276	5289	5302
34	5315	5328	5340	5353	5366	5378	5391	5403	5416	5428
35	5441	5453	5465	5478	5490	5502	5514	5527	5539	5551
36	5563	5575	5587	5599	5611	5623	5635	5647	5658	5670
37	5682	5694	5705	5717	5729	5740	5752	5763	5775	5786
38	5798	5809	5821	5832	5843	5855	5866	5877	5888	5899
39	5911	5922	5933	5944	5955	5966	5977	5988	5999	6010
40	6021	6031	6042	6053	6064	6075	6085	6096	6107	6117
41	6128	6138	6149	6160	6170	6180	6191	6201	6212	6222
42	6232	6243	6253	6263	6274	6284	6294	6304	6314	6325
43	6335	6345	6355	6365	6375	6385	6395	6405	6415	6425
44	6435	6444	6454	6464	6474	6484	6493	6503	6513	6522
45	6532	6542	6551	6561	6571	6580	6590	6599	6609	6618
46	6628	6637	6646	6656	6665	6675	6684	6693	6702	6712
47	6721	6730	6739	6749	6758	6767	6776	6785	6794	6803
48	6812	6821	6830	6839	6848	6857	6866	6875	6884	6893
49	6902	6911	6920	6928	6937	6946	6955	6964	6972	6981
50	6990	6998	7007	7016	7024	7033	7042	7050	7059	7067
N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
50	6990	6998	7007	7016	7024	7033	7042	7050	7059	7067
51	7076	7084	7093	7101	7110	7118	7126	7135	7143	7152
52	7160	7168	7177	7185	7193	7202	7210	7218	7226	7235
53	7243	7251	7259	7267	7275	7284	7292	7300	7308	7316
54	7324	7332	7340	7348	7356	7364	7372	7380	7388	7396
55	7404	7412	7419	7427	7435	7443	7451	7459	7466	7474
56	7482	7490	7497	7505	7513	7520	7528	7536	7543	7551
57	7559	7566	7574	7582	7589	7597	7604	7612	7619	7627
58	7634	7642	7649	7657	7664	7672	7679	7686	7694	7701
59	7709	7716	7723	7731	7738	7745	7752	7760	7767	7774
60	7782	7789	7796	7803	7810	7818	7825	7832	7839	7846
61	7853	7860	7868	7875	7882	7889	7896	7903	7910	7917
62	7924	7931	7938	7945	7952	7959	7966	7973	7980	7987
63	7993	8000	8007	8014	8021	8028	8035	8041	8048	8055
64	8062	8069	8075	8082	8089	8096	8102	8109	8116	8122
65	8129	8136	8142	8149	8156	8162	8169	8176	8182	8189
66	8195	8202	8209	8215	8222	8228	8235	8241	8248	8254
67	8261	8267	8274	8280	8287	8293	8299	8306	8312	8319
68	8325	8331	8338	8344	8351	8357	8363	8370	8376	8382
69	8388	8395	8401	8407	8414	8420	8426	8432	8439	8445
70	8451	8457	8463	8470	8476	8482	8488	8494	8500	8506
71	8513	8519	8525	8531	8537	8543	8549	8555	8561	8567
72	8573	8579	8585	8591	8597	8603	8609	8615	8621	8627
73	8633	8639	8645	8651	8657	8663	8669	8675	8681	8686
74	8692	8698	8704	8710	8716	8722	8727	8733	8739	8745
75	8751	8756	8762	8768	8774	8779	8785	8791	8797	8802
76	8806	8814	8820	8825	8831	8837	8842	8848	8854	8859
77	8865	8871	8876	8882	8887	8893	8899	8904	8910	8915
78	8921	8927	8932	8938	8943	8949	8954	8960	8965	8971
79	8976	8982	8987	8993	8998	9004	9009	9015	9020	9025
80	9031	9036	9042	9047	9053	9058	9063	9069	9074	9079
81	9085	9090	9096	9101	9106	9112	9117	9122	9128	9133
82	9138	9143	9149	9154	9159	9165	9170	9175	9180	9186
83	9191	9196	9201	9206	9212	9217	9222	9227	9232	9238
84	9243	9248	9253	9258	9263	9269	9274	9279	9284	9289
85	9294	9299	9304	9309	9315	9320	9325	9330	9335	9340
86	9345	9350	9355	9360	9365	9370	9375	9380	9385	9390
87	9395	9400	9405	9410	9415	9420	9425	9430	9435	9440
88	9445	9450	9455	9460	9465	9469	9474	9479	9484	9489
89	9494	9499	9504	9509	9513	9518	9523	9528	9533	9538
90	9542	9547	9552	9557	9562	9566	9571	9576	9581	9586
91	9590	9595	9600	9605	9609	9614	9619	9624	9628	9633
92	9638	9643	9647	9652	9657	9661	9666	9671	9675	9680
93	9685	9689	9694	9699	9703	9708	9713	9717	9722	9727
94	9731	9736	9741	9745	9750	9754	9759	9763	9768	9773
95	9777	9782	9786	9791	9795	9800	9805	9809	9814	9818
96	9823	9827	9832	9836	9841	9845	9850	9854	9859	9863
97	9868	9872	9877	9881	9886	9890	9894	9899	9903	9908
98	9912	9917	9921	9926	9930	9934	9939	9943	9948	9952
99	9956	9961	9965	9969	9974	9978	9983	9987	9991	9996
100	0000	0004	0009	0013	0017	0022	0026	0030	0035	0039
N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

جرم اتمی عناصر براساس عدد ۱۲ که در کنگره بین‌المللی شیمی‌دانها در ۱۹۶۱ برای ایزوتوپ کربن ۱۲ تعیین‌گردید ، معین شده است
(جرم اتمی عناصری‌که مصنوعاً تهیه شده‌اند؛ جرم اتمی تقریبی ایزوتوپ‌های پایدارتر آنها درکروشه نوشته شده است)

Group→		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII			O
Period	Series											
1	1	1 H 1.00797										2 He 4.0026
2	2	3 Li 6.939	4 Be 9.0122	5 B 10.811	6 C 12.01115	7 N 14.0067	8 O 15.9994	9 F 18.9984				10 Ne 20.183
3	3	11 Na 22.9898	12 Mg 24.312	13 Al 26.9815	14 Si 28.086	15 P 30.9738	16 S 32.064	17 Cl 35.453				18 A 39.948
4	4	19 K 39.102	20 Ca 40.08	21 Sc 44.956	22 Ti 47.90	23 V 50.942	24 Cr 51.996	25 Mn 54.9380	26 Fe 55.847	27 Co 58.9332	28 Ni 58.71	
	5	29 Cu 63.54	30 Zn 65.37	31 Ga 69.72	32 Ge 72.59	33 As 74.9216	34 Se 78.96	35 Br 79.909				36 Kr 83.80
5	6	37 Rb 85.47	38 Sr 87.62	39 Y 88.905	40 Zr 91.22	41 Nb 92.906	42 Mo 95.94	43 Tc [99]	44 Ru 101.07	45 Rh 102.905	46 Pd 106.4	
	7	47 Ag 107.870	48 Cd 112.40	49 In 114.82	50 Sn 118.69	51 Sb 121.75	52 Te 127.60	53 I 126.9044				54 Xe 131.30
6	8	55 Cs 132.905	56 Ba 137.34	57–71 Lanthanide series*	72 Hf 178.49	73 Ta 180.948	74 W 183.85	75 Re 186.2	76 Os 190.2	77 Ir 192.2	78 Pt 195.09	
	9	79 Au 196.967	80 Hg 200.59	81 Tl 204.37	82 Pb 207.19	83 Bi 208.980	84 Po [210]	85 At [210]				86 Rn [222]
7	10	87 Fr [223]	88 Ra [226.05]	89–Actinide series**								

*Lanthanide series:	57 La 138.91	58 Ce 140.12	59 Pr 140.907	60 Nd 144.24	61 Pm [147]	62 Sm 150.35	63 Eu 151.96	64 Gd 157.25	65 Tb 158.924	66 Dy 162.50	67 Ho 164.930	68 Er 167.26	69 Tm 168.934	70 Yb 173.04	71 Lu 174.97
**Actinide series:	89 Ac [227]	90 Th 232.038	91 Pa [231]	92 U 238.03	93 Np [237]	94 Pu [242]	95 Am [243]	96 Cm [245]	97 Bk [249]	98 Cf [249]	99 Es [253]	100 Fm [255]	101 Md [256]	102 No	103

خطای اندازه‌گیری اعداد در مقابل آنها نوشته نشده است ، در صورت احتیاج به
رجوع کنید **American Institute of Physics Hand book**

Name of Quantity	Symbol	Value
Velocity of light in vacuum	c	2.9979×10^8 m/sec
Charge of electron	q_e	-1.602×10^{-19} coul = -4.803×10^{-10} statcoul
Rest mass of electron	m_e	9.108×10^{-31} kgm
Ratio of charge to mass of electron	q_e/m_e	1.759×10^{11} coul/kgm = 5.273×10^{17} statcoul/gm
Planck's constant	h	6.625×10^{-34} j·sec
Boltzmann's constant	k	1.380×10^{-23} j/°K
Avogadro's number (chemical scale)	N_0	6.023×10^{23} molecules/mole
Universal gas constant (chemical sca	R	8.314 j/mole·°K
Mechanical equivalent of heat	J	4.185×10^3 j/kcal
Standard atmospheric pressure	1 atm	1.013×10^5 new/m^2
Volume of ideal gas at 0°C and 1 atm (chemical scale)		22.415 liter/mole
Absolute zero of temperature	0°K	−273.16°C
Acceleration due to gravity (sea level, at equator)		9.78049 m/sec^2
Universal gravitational constant	G	6.673×10^{-11} new·m^2/kgm^2
Mass of earth	m_E	5.975×10^{24} kgm
Mean radius of earth		6.371×10^6 m = 3959 mi
Equatorial radius of earth		6.378×10^6 m = 3963 mi
Mean distance from earth to sun	1 AU	1.49×10^{11} m = 9.29×10^7 mi
Eccentricity of earth's orbit		0.0167
Mean distance from earth to moon		3.84×10^8 m = 60 earth radii
Diameter of sun		1.39×10^9 m = 8.64×10^5 mi
Mass of sun	m_S	1.99×10^{30} kgm = 333,000 × mass of earth
Coulomb's law constant	C	8.98×10^9 new·m^2/coul^2
Faraday's constant (1 faraday)	F	96,500 coul/mole
Mass of neutral hydrogen atom	m_{H^1}	1.008142 amu
Mass of proton	m_p	1.007593 amu
Mass of neutron	m_n	1.008982 amu
Mass of electron	m_e	5.488×10^{-4} amu
Ratio of mass of proton to mass of electron	m_p/m_e	1836.12
Rydberg constant for nucleus of infinite mass	R_∞	109,737 cm^{-1}
Rydberg constant for hydrogen	R_H	109,678 cm^{-1}
Wien displacement law constant		0.2898 cm·°K

Numerical constants: $\pi = 3.142$; $e = 2.718$; $\sqrt{2} = 1.414$; $\sqrt{3} = 1.732$

www.KetabFarsi.com

www.KetabFarsi.com

حق طبع محفوظ ومخصوص دانشکده علم وصنعت ایران