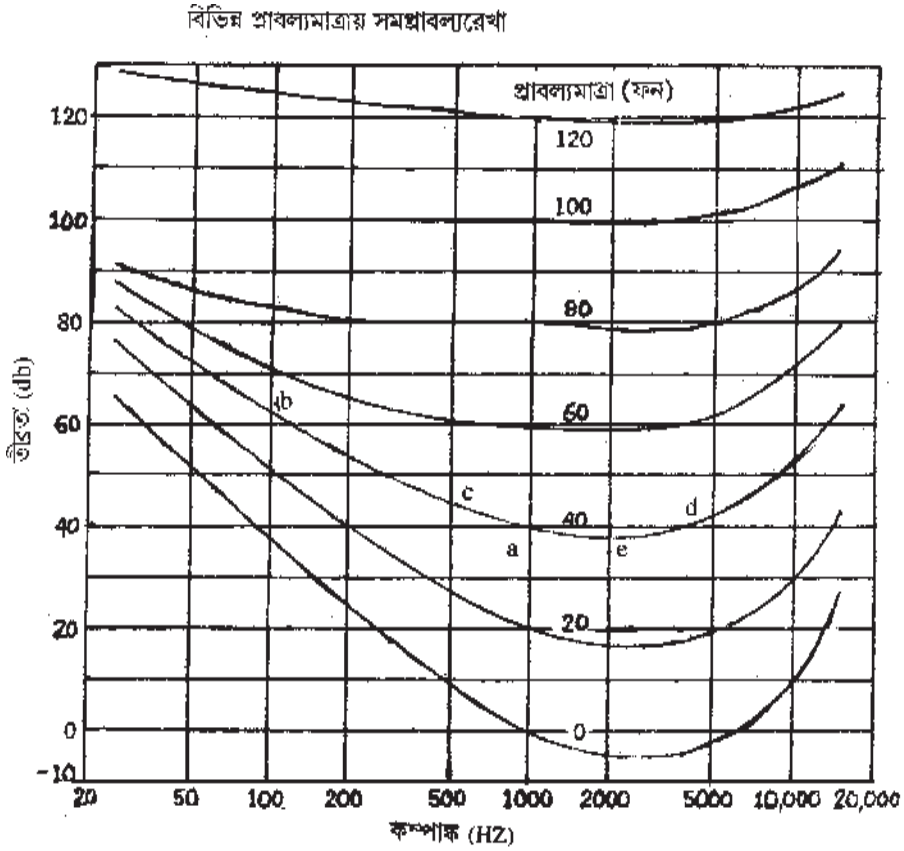


চিত্র : 14.8 বিভিন্ন প্রাবল্য মাত্রার সমপ্রাবল্য রেখা

এখন যদি শব্দের উৎসের কম্পাঙ্ক এবং সেইসঙ্গে শব্দের তীব্রতা এমনভাবে পরিবর্তিত করা যায়, যাতে শব্দের প্রাবল্যমাত্রা এক থাকে অর্থাৎ, শব্দের কম্পাঙ্ক পরিবর্তিত হলে সেটি শ্রোতার কানে সমান জোর বলে মনে হয়, তবে ঐ নির্দিষ্ট প্রাবলামাত্রার জন্য কম্পাঙ্ক তীব্রতা লেখচিত্র অঙ্কন করা যাবে। 14.8 চিত্রে এ ধরনের লেখচিত্র দেখানো হয়েছে। এই চিত্রে 40 ফনের রেখাটি লক্ষ্য করুন। এটি 1000 Hz কম্পাঙ্কে 40 db তীব্রতা নির্দেশ করেছে (a বিন্দু), যা আমরা ফন এককের সংজ্ঞা থেকেই আশা করি। কিন্তু এই রেকাটি100Hz কম্পাঙ্কে 62 db (b), 500 Hz কম্পাঙ্কে 45 db (c) ও 5000 Hz কম্পাঙ্কে 42 db (d) তীব্রতা দেখাচ্ছে। আমার 2000 Hz কম্পাঙ্কে তীব্রতা 38 db (e), যা 40 db এর চেয়েও কম। এর থেকে আপনি বুঝতে পারছেন যে, কম্পাঙ্ক পরিবর্তিত হলে প্রাবল্যমাত্রা সমান রাখতে তীব্রতারও পরিবর্তন করতে হয়।

কোনও বিশুদ্ধ কম্পাঙ্কের শব্দের প্রাবল্যমাত্রার মান শব্দটি কতক্ষণ ধরে শ্রুত হয় তার উপরও নির্ভর করে। শব্দটি আরম্ভ হওয়ার সঙ্গে সঙ্গে প্রাবল্যমাত্রার মান দ্রুত বাড়তে থাকে। এক সেকেন্ডের মতো সময়ে প্রাবল্যমাত্রা উচ্চতম মানে পৌঁছয় এবং তারপর ধীরে ধীরে কমতে থাকে।

প্রাবল্যমাত্রার সংজ্ঞা থেকে আপনার মনে হতে পারে যে তীব্রতা 50 db থেকে 60 db হলে যেমন তীব্রতার মান10 গুণ বৃদ্ধি পায়, তেমনই কোনও একসুর বিশিষ্ট শব্দের প্রাবল্যমাত্রা 50 ফন থেকে বেড়ে 60 ফন হলে শব্দটি দশগুণ জোর শোনাবে। এই ধারণা কিন্তু ঠিক নয়? ফন এককে প্রকাশিত প্রাবল্যমাত্রার সমান মান

দুই বা ততোধিক শব্দের প্রাবল্যমাত্রার সমতা বোঝাতে কার্যকরী হলেও দুই ভিন্ন প্রাবল্যমাত্রার শব্দের তুলনা করতে উপযোগী নয়। একটি উদাহরণ দিলে বিষয়টি স্পষ্ট হবে। ধরুন, আপনি 1000 Hz কম্পাঙ্কের একটি বিশুদ্ধ সুরের তীব্রতার মাত্রা 10 db থেকে বাড়িয়ে 20 db করলেন। এতে তীব্রতা 10 গুণ বৃদ্ধি পাবে। প্রাবল্যমাত্রা 10 থেকে বেড়ে 20 ফন-এ দাঁড়াবে। কিন্তু এতে শ্রোতার অনুভূতিতে শব্দের জোরালোভাব বাড়বে প্রায় 6 গুণ, 10 গুণ নয়। আবার যদি প্রাবল্যমাত্রা 50 থেকে বাড়িয়ে 60 ফন করা হতো, তবে শ্রোতার কাছে ঐ জোরালোভাব বাড়ত মাত্র 2 গুণ, যদিও তীব্রতা বাড়ত 10 গুণ। এর ফলে আমাদের এমন একটি একক প্রয়োজন যা শ্রোতা নির্ভর প্রবলতার মাপকাঠি হবে। পরবর্তী অংশে আমরা এই শ্রোতানির্ভর প্রবলতা বিষয়ে আনোচনা করব।

14.4.5 শ্রোতানির্ভর প্রবলতা (Subjective Loudness)

ধরুন, আপনাকে ওজন মাপার জন্য এক সেট বাটখারা তৈরি করতে হবে। আপনি প্রথমেই একটি বাটখারার ওজনকে একক ওজন বলে ধরে নেবেন। এবার তার সমান ওজনের আর একটি বাটখারা দিয়ে দুটি বাটখারা একত্রে রাখবেন ও দাঁড়ি পাল্লার সাহায্যে সে দুটির সমান তৃতীয় একটি বাটখারা তৈরি করে সেটিকে দুই একক ওজনের বাটখারা বলবেন। এইভাবে বিভিন্ন ওজনের বাটখারা তৈরি করে নিলে ব্যবহারের উপযোগী পুরো একসেট বাটখারা পাওয়া যাবে।

একই ভাবে যদি আপনাকে দাঁড়ি পাল্লার বদলে শ্রোতার শব্দানুভূতির উপর ভিত্তি করে শ্রোতানির্ভর প্রবলতার মাপকাঠি তৈরি করতে হয়, তবে শ্রোতার কানে কোন শব্দএকটি নির্দিষ্ট শব্দের দ্বিগুণ, তিনগুণ ইত্যাদি প্রবলতার বলে মনে হয় তা নির্ণয় করতে হবে। এটি করার দুইটি উপায় আছে।

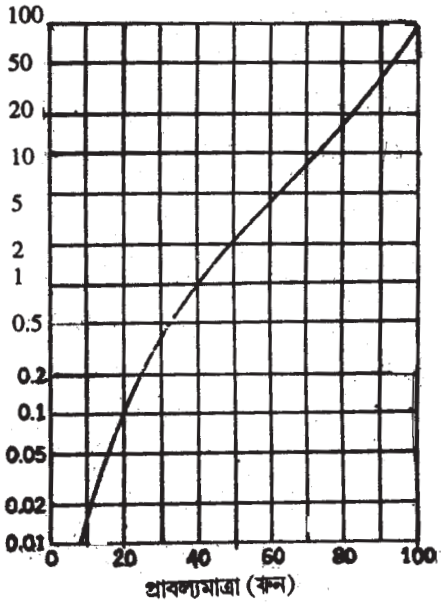
(i) ধরে নেওয়া যায় যে, কোনও শব্দ এক কানে শুনলে তা শ্রোতার কাছে যত প্রবল বলে মনে হয়, দুই কানে শুনলে তার দ্বিগুণ প্রবল মনে হয়। সুতরাং, যদি 'ক' শব্দ শ্রোতা দুই কানে শুনে যত প্রবল বলে মনে করেন, 'খ' শব্দটি এক কানে শুনেই তাঁর ততটা প্রবল মনে হয়, তবে 'খ' শব্দের শ্রোতানির্ভর প্রবলতা 'ক' শব্দের দ্বিগুণ। অবশ্য এই পদ্ধতিতে দুইটি শব্দের প্রবলতার 1 : 2 অনুপাত সম্বন্ধেই নিশ্চিত হওয়া সম্ভব, অন্য অনুপাতের ক্ষেত্রে এই পদ্ধতি খাটে না।

(ii) আমরা আগেই দেখেছি যে, শব্দের এক এক কম্পাঙ্কে বেসিলার পর্দার এক এক অংশ কম্পিত হয়। এর ফলে ভিন্ন কম্পাঙ্কের একই প্রবলতার দুইটি সুর যদি শ্রোতার কানে প্রবেশ করে তবে, সেগুলি বেসিলার পর্দার দুই ভিন্ন অংশে সাড়া জাগাবে এবং শ্রোতার শব্দানুভূতি যে কোনও একটি সুরের জন্য যতটা প্রবল হত তার দ্বিগুণ প্রবল হবে। এই পদ্ধতিতে ভিন্ন ভিন্ন কম্পাঙ্কের ও সমান প্রাবল্যমাত্রার দুই-এর অধিক সংখ্যক সুর ব্যবহার করে প্রবলতার আরও বড় অনুপাত নির্দিষ্ট করা যায়।

এর পর যে কাজটি করা প্রয়োজন সেটি হলো, প্রবলতার কেটি একক স্থির করা। 100 Hz কম্পাঙ্কের 40 db তীব্রতার সুরের প্রবলতাকে এই একক হিসাবে ধরে নেওয়া হয়। এই এককের নাম সোন (sone)।

আপনি যদি ফন এককের সংজ্ঞা ভেবে দেখেন, তবে দেখবেন যে, এই সুরটির প্রবল্যমাত্রা 40 ফন। এখন যদি 40 ফন অপেক্ষা কম বা বেশি প্রাবল্যমাত্রার সুরের প্রবলতার মান সোন এককে নির্ণয় করা যায়, তবে আমরা উভয় রাশির সম্পর্ক লেখচিত্রের সাহায্যে দেখাতে পারি। 14.9 চিত্রে এই লেখচিত্রটি দেখতে পাবেন।

লেখচিত্রটি ভাল করে লক্ষ্য করুন। আপনি বুঝতেই পারছেন—



চিত্র : 14.9 প্রবল্যমাত্রা ও প্রবলতার লেখচিত্র

- এই অনুভূমিক অক্ষে প্রাবল্যমাত্রা (LL) রৈখিকভাবে (linear) দেখানো হলেও উল্লম্ব অক্ষে প্রবলতা (L) দেখানো হয়েছে লগারিথ্‌মিক্ স্কেলে।
- 40 ফনের অধিক প্রাবল্যমাত্রায় লেখটি প্রায় সরলরৈখিক। এই অংশটির সমীকরণ সহজেই নির্ণয় করা যায়। সোনের সংজ্ঞা অনুযায়ী যখন LL = 40, তখন L = 1, log L = 0। যদি ধরে নেওয়া যায় যখন LL = 100, তখন LL = 100, log L = 2, তবে সমীকরণটি হবে,

$$(\log L - 0) = \frac{2-0}{100-40}(LL - 40)$$

বা, $\log L = \quad (LL - 40) = 0{\cdot}033LL - 1{\cdot}33$

বা, $L = 10^{-1{\cdot}33} \cdot 10^{0{\cdot}033LL} = 0{\cdot}047\ 10^{0{\cdot}033LL}$ ...14.1

মনে রাখতে হবে, 14.1 সমীকরণটি 40 ফনের কম প্রাবল্যমাত্রায় ব্যবহার করা যায় না।

1000Hz কম্পাঙ্কের সুরের ক্ষেত্রে আমরা প্রবলতার সঙ্গে ডেসিবেল মাত্রায় তীব্রতার সম্পর্ক নির্ণয় করতে পারি। এই বিশেষ কম্পাঙ্কে

$LL = 10\log$ যেখানে I = তীব্রতা এবং I_0= শ্রবণসাধ্যতার সীমায় তীব্রতা, অর্থাৎ $10^{-12}\mathrm{W}m^{-2}$

$$LL = 10(\log I - \log I_0) = 10\log I + 120$$

$$log\ L = \cdot033(10\ \log I + 120) - 1{\cdot}33 = 0{\cdot}33\log I + 2{\cdot}67$$

অর্থাৎ, $L = 464I^{0.33}$ ...14.2

14.2 সমীকরণ থেকে বোঝা যায় যে প্রবলতা মোটামুটিভাবে তীব্রতার ঘনমূলের সমানুপাতী।

14.4.6 মিশ্র কম্পাঙ্কের শব্দ

এ পর্যন্ত আমরা প্রধানত একটিমাত্র কম্পাঙ্কের শব্দ অর্থাৎ সুরের প্রবল্যমাত্রা এ প্রবলতা সম্বন্ধে আলোচনা করলাম। কিন্তু প্রকৃতিতে কোনও শব্দই একটিমাত্র কম্পাঙ্কের বিশুদ্ধ সুর নয়। আসলে কোকিলের ডাকই বলুন আর হরিপ্রসাদ চৌরাশিয়ার বাঁশিই বলুন, নানা উপসুর মিশ্রিত না থাকলে কোনটিই এত মিষ্টি হত না। এখন আমরা মিশ্র কম্পাঙ্কের শব্দের প্রবলতা সম্পর্কে আলোচনা করব।

আমরা আগেই জেনেছি, যেহেতু এক এক কম্পাঙ্কের সুর বেসিলার পর্দার এক এক অংশকে কম্পিত করে, সেজন্য এদের মধ্যে কোন ব্যতিচার (interference) ঘটে না এবং এগুলির মোট প্রবলতা স্বরগুলির একক প্রবলতার যোগফলের সমান হয়। এই নীতিটি আমাদের কাছে অত্যন্ত গুরুত্বপূর্ণ, কেন না, এর সাহায্যে আমরা মিশ্রকম্পাঙ্কের শব্দের প্রত্যাশিত প্রবলতা নির্ণয় করতে পারি। একটি উদাহরণ থেকে আপনি এর পদ্ধতিটি বুঝতে পারবেন। ধরা যাক, কোনও মিশ্র শব্দ 100, 200, 500, 1000, 2000, ও 5000 Hz কম্পাঙ্কে ছয়টি সুরের সংমিশণে গঠিত এবং প্রতিটির তীব্রতা 60db। এখন আমরা 14.8 চিত্রের সমপ্রাবল্যরেখাগুলির সাহায্যে প্রতিটি স্বরের প্রাবল্যমাত্রা নির্ণয় করে (এর জন্য কিছুটা চোখে দেখে আন্দাজের প্রয়োজন হবে) 14.9 লেখচিত্র থেকে প্রতিটির প্রবলতা নির্ণয় করতে পারি। এই প্রবলতাগুলির যোগফলই হবে মোট শ্রোতানির্ভর প্রবলতা। নিচের সারণিতে একইভাবে মোট প্রবলতা নির্ণয় করা হল। আপনি নিজে লেখচিত্রগুলির সাহায্যে নির্ণয়টি সঠিক হয়েছে কি না দেখে নিন।

সারণি 14.1 : মিশ্রকম্পাঙ্কের শব্দের প্রবলতা নির্ণয়

কম্পাঙ্ক(Hz)	তীব্রতা(db)	প্রবল্যমাত্রা(ফন)	প্রবলতা (সোন)
100	60	36	0·7
200	60	50	2·1
500	60	59	4·3
1000	60	60	4·5
2000	60	61	4·9
5000	60	58	4·0
			মোট প্রবলতা 20·5

এখানে মোট প্রবলতা 20·5 সোন, যার জন্য সাধারণভাবে 83 ফন প্রাবল্যমাত্রার প্রয়োজন। কেবলমাত্র 1000 Hz কম্পাঙ্কের একটি বিশুদ্ধ সুর 83 db তীব্রতাবিশিষ্ট হলে সেটির প্রাবল্যমাত্রা 83 ফন হত। কিন্তু এক্ষেত্রে তীব্রতা ছয়টি 60db তীব্রতার যোগফল অর্থাৎ 60 + 10log 6 বা, 68 db। এর থেকে আপনি নিশ্চয়ই বুঝতে পারছেন যে, একই তীব্রতা একটি কম্পাঙ্কে কেন্দ্রীভূত না হয়ে বিভিন্ন কম্পাঙ্কের ছড়ানো থাকলে শ্রোতার কর্ণে তা অধিকতর প্রবলতার অনুভূতি সৃষ্টি করে। এবার একটু বিরতি। আরও পড়ার আগে একটি অনুশীলনী আপনাকে বিষয়টি বুঝতে সাহায্য করবে।

অনুশীলনী 3 :

একটি শব্দ রেকর্ডিং - এর স্টুডিওতে 30db তীব্রতার 100 Hz কম্পাঙ্কের শব্দ, একটি ক্লাসঘরে 70 *db* তীব্রতার মিশ্র কম্পাঙ্কের শব্দ এবং একটি কারখানায় 130 db তীব্রতার মিশ্র কম্পাঙ্কের শব্দ তৈরি হয়। এই তিনটি ক্ষেত্রে একজন শ্রোতার কর্ণে কেমন অনুভূতি হবে?

অনুশীলনী 4 :

নিচের উক্তিগুলির মধ্যে যেগুলি ঠিক সেগুলির পাশে টিক্ চহ্ন দিন।

(a) লাউডস্পিকার বা পটকার শব্দ আমাদের শ্রবণযন্ত্রে কোনও ক্ষতি করে না।

(b) 60 db তীব্রতার শব্দের কম্পাঙ্ক 1000 Hz হলে তার প্রাবল্যমাত্রা 60 ফন, কিন্তু কম্পাঙ্ক কমলে প্রাবল্যমাত্রাও কম হবে।

(c) তীব্রতা 10 db বাড়লে তার মান 10 গুণ হয়, সুতরাং প্রাবল্যমাত্রা 10 ফন পরিমাণে বাড়লে শ্রোতার কর্ণে তা 10 গুণ জোরালো বলে মনে হবে।

(d) শব্দের শ্রোতানির্ভর প্রবলতা মোটামুটিভাবে তীব্রতার ঘনমূলের সমানুপাতী।

(e) একই তীব্রতা একটিমাত্র কম্পাঙ্কের পরিবর্তে বিভিন্ন কম্পাঙ্কে বিন্যস্ত হলে শ্রোতার কাছে শব্দটি প্রবলতর বলে মনে হয়।

14.4.7 সুর ও স্বরের তীক্ষ্ণতা (pitch)

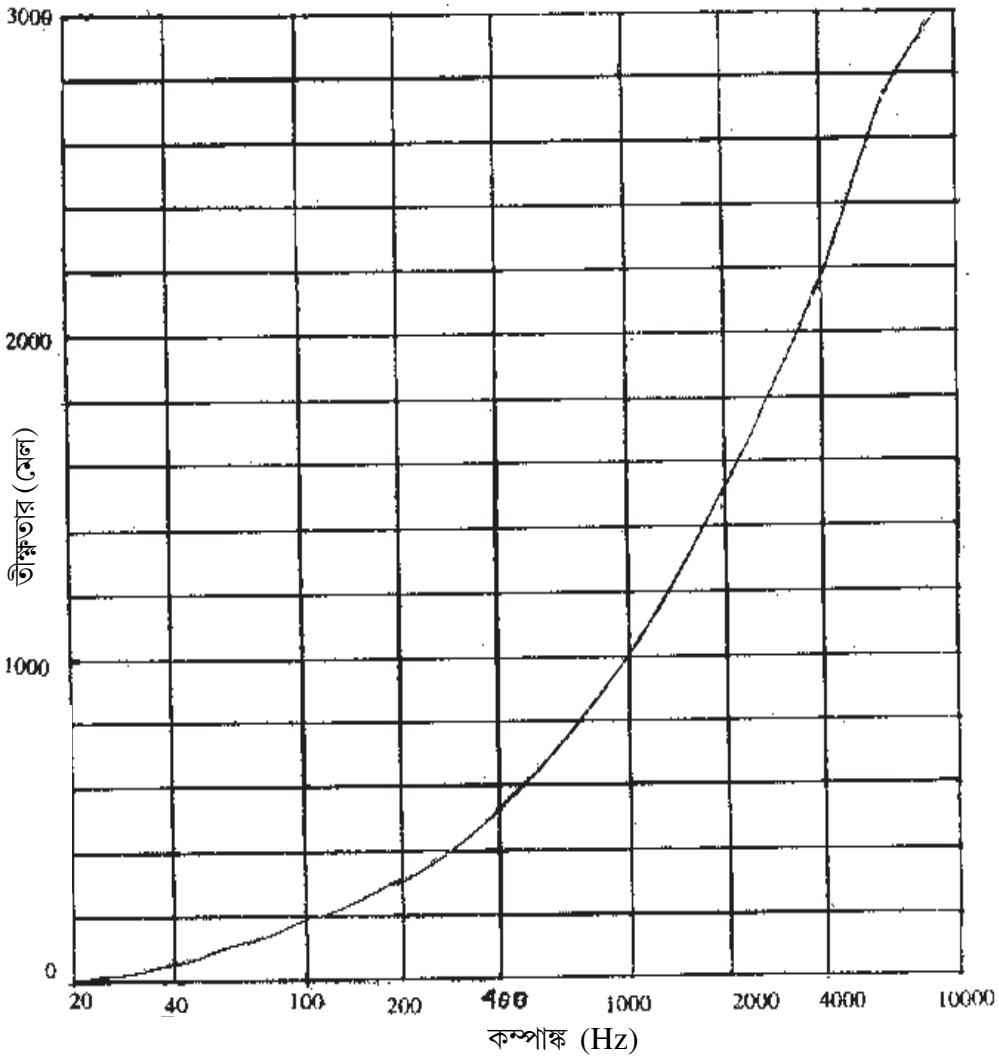
গান শুনতে আপনি নিশ্চয়ই ভালোবাসেন। গান শোনার সময় আপনি নিশ্চয়ই খেয়াল করেন যে, গায়ক বা গায়িকার কণ্ঠ একবার খাদে নেমে আসে আবার চড়ায় ওঠে। এক্ষেত্রে আপনার কানে একটানা শব্দের

যে গুণটি ধরা পড়ে সেটি হলো তার তীক্ষ্ণতা (pitch)। অর্থাৎ, কোনও সুর বা সুস্বরের তীক্ষ্ণতা বলতে আমরা বুঝি শ্রোতার অনুভূতিতে সেটি কতটা চড়া বলে মনে হয়।

কোনও সুরের তীক্ষ্ণতা প্রধানত তার কম্পাঙ্কের উপর নির্ভর করে। তীক্ষ্ণতা ও কম্পাঙ্কের সম্পর্ক নির্ণয় করতে শ্রোতার ব্যক্তিনির্ভর (subjective) অভিমত গ্রহণ করা প্রয়োজন, কেননা, প্রাবল্যমাত্রার মতো তীক্ষ্ণতাও সম্পূর্ণরূপে শ্রোতার অনুভূতির দ্বারাই সংজ্ঞিত হয়। এই সম্পর্ক দুইভাবে নির্ণয় করা যায়।

(i) শ্রোতা সমান প্রাবল্যমাত্রার (40 বা 60 ফন) দুইটি বিশুদ্ধ সুর একবার এটি, আর একবার অন্যটি, এইভাবে শোনেন এবং একটির কম্পাঙ্ক স্থির রেখে অন্যটির কম্পাঙ্ক এমনভাবে উপযোজন করেন যাতে সেটির তীক্ষ্ণতা প্রথমটির তুলনায় ঠিক অর্ধেক, অর্থাৎ এক সপ্তক নিচে বলে মনে হয়। এই প্রক্রিয়াটি বার বার প্রয়োগ করে সমস্ত শ্রাব্য কম্পাঙ্কের জন্য কম্পাঙ্কের হিসাবে তীক্ষ্ণতার মাপকাঠি তৈরি করা যায়। এই পদ্ধতিতে সাধারণত 1000Hz কম্পাঙ্কের বিশুদ্ধ সুরকে মানক হিসাবে ধরা হয় এবং এটির তীক্ষ্ণতাকে 1000 মেল (ইংরাজী melody শব্দ থেকে উদ্ভূত) বলা হয়। দেখা যায় যে, 60 ফন প্রাবল্যমাত্রায় যে শব্দের তীক্ষ্ণতা এর অর্ধেক অর্থাৎ 500 মেল বলে মনে হয়, তার কম্পাঙ্ক মাত্র 400Hz। আবার তীক্ষ্ণতা এর দ্বিগুণ অর্থাৎ 2000 মেল হতে হলে তার কম্পাঙ্ক হয় প্রায় 3100 Hz। এর থেকে বোঝা যায় যে তীক্ষ্ণতা ও কম্পাঙ্ক সমানুপাতিক নয়।

(ii) দ্বিতীয় একটি পদ্ধতিতে শ্রোতা সুরের কম্পাঙ্কের সর্বনিম্ন যে পরিবর্তন ধরতে পারেন সেটি নির্ণয় করা হয়। গড় কম্পাঙ্ক f যখন 500Hz-এর নিচে তখন এর মান 60 ফন প্রবল্যমাত্রার শব্দের ক্ষেত্রে প্রায় 3 Hz হতে দেখা যায়। উচ্চতর কম্পাঙ্কে রাশিটি প্রায় অপরিবর্তিত থাকে এবং এর মান হয় 0·002 থেকে 0·003। ধরে নেওয়া হয় যে, কম্পাঙ্ক পরিমাণ পরিবর্তিত হলে তীক্ষ্ণতা সব কম্পাঙ্কেই একই পরিমাণ কমে বা বাড়ে। সমগ্র শ্রবণপাল্লা জুড়ে পরপর এর মান নির্ণয় করে প্রতিটি সুরের তীক্ষ্ণতা 'মেল' - এর হিসাবে নির্ণয় করা হয়। কোনও সুরের তীক্ষ্ণতা শব্দের তীব্রতার উপরেও কিছুটা নির্ভর করে। কম্পাঙ্ক স্থির রেখে তীব্রতা বাড়ালে তীক্ষ্ণতা কিছুটা কম বলে অনুভূত হয়। তবে 100Hz-এর কাছাকাছি কম্পাঙ্কেই তীব্রতার সঙ্গে তীক্ষ্ণতার পরিবর্তন সর্বাধিক হয়, 1000 Hz-এর অধিক কম্পাঙ্কে তীক্ষ্ণতা তীব্রতার উপর বিশেষ নির্ভর করে না। আবার অতি উচ্চ কম্পাঙ্কে (> 3000 Hz) তীব্রতা বাড়লে তীক্ষ্ণতাও বাড়ে, এমনও দেখা গেছে।



চিত্র : 14.10 কম্পাঙ্ক ও তীব্রতার সম্পর্ক

60 ফন প্রাবল্যমাত্রায় সুরের কম্পাঙ্ক ও তীক্ষ্ণতার নির্ণীত সম্পর্ক 14.10 চিত্রে লেখের সাহায্যে দেখানো হয়েছে। এখানে লক্ষ্য করার বিষয় এই যে, 1000 Hz কম্পাঙ্কের নিচে মেল-এর হিসাবে তীক্ষ্ণতা সর্বদাই কম্পাঙ্কের চেয়ে বেশি। কিন্তু 1000 Hz কম্পাঙ্কের ঊর্ধ্বে তীক্ষ্ণতা কম্পাঙ্কের তুলনায় ক্রমশ কম হতে থাকে।

এ পর্যন্ত আমরা যে আলোচনা করলাম তা শুধু বিশুদ্ধ সুরের ক্ষেত্রেই খাটে। একাধিক সুরের সমন্বয়ে যে স্বর গঠিত হয় তার তীক্ষ্ণতা কত হবে? এই প্রশ্নের উত্তর সরাসরি দেওয়া যায় না। সাধারণভাবে যে শব্দে একটি মূলসুর ও তার উপসুরগুলি মিশ্রিত আছে, তার তীক্ষ্ণতা মূলসুরের কম্পাঙ্কের উপর নির্ভর করে। কিন্তু

অন্যক্ষেত্রে অবস্থার ব্যতিক্রম ঘটে। পরীক্ষা করে দেখা গেছে, 100, 200, 300,400 ও 500 Hz কম্পাঙ্কের সমান তীব্রতার সুরের সমন্বয়ে যে স্বর গঠিত হয় তার তীক্ষ্ণতা প্রায় 160 মেল। এখন যদি 100 Hz - এর সুরটি কমিয়ে দেওয়া যায় তবে আপনি নিশ্চয়ই আশা করবেন যে, তীক্ষ্ণতার বৃদ্ধি ঘটবে। কিন্তু বাস্তবে দেখা যায় যে, তীক্ষ্ণতা একই অর্থাৎ 160 মেল থাকে। আবার 400, 500, 600, 700, 800, 900 ও 1000 Hz কম্পাঙ্কের সমান তীব্রতার সাতটি সুরের মিশ্রণের তীক্ষ্ণতাও প্রায় 160 মেল হয়। কিন্তু 500, 700 ও 900 Hz কম্পাঙ্কের সুরগুলি বাদ দিলে তীক্ষ্ণতা বেড়ে প্রায় 300 মেল-এ দাঁড়ায়। এ থেকে এটাই বোঝা যায় যে, তীক্ষ্ণতা কেবলমাত্র সর্বনিম্ন কম্পাঙ্কের উপর নির্ভর করে না। বরং কম্পাঙ্কগুলির ব্যবধানের সঙ্গেও তীক্ষ্ণতার ঘনিষ্ঠ সম্পর্ক রয়েছে। এই ঘটনার কারণ আমাদের কর্ণপটহে চাপ ও শ্রবণ-নার্ভের উদ্দীপনার মধ্যে অরৈখিক (non-linear) সম্পর্ক। এ সম্বন্ধে আপনি পরবর্তী অংশে আরও জানতে পারবেন।

কোনও মিশ্র স্বরের মধ্যে যখন বহুসংখ্যক কম্পাঙ্ক খুব কাছাকাছি থাকে, তখন বেসিলার পর্দার অনেকটা অঞ্চল একত্রে উদ্দীপিত হয় এবং কোনও নির্দিষ্ট তীক্ষ্ণতাই শ্রোতা অনুভব করেন না। এ জাতীয় শব্দকে আমরা অপস্বর বা কোলাহল (noise) বলে থাকি। অপরপক্ষে, নির্দিষ্ট তীক্ষ্ণতার অনুভূতি জাগানো শব্দ শ্রবণসুখকর এবং একেই আমরা সুরেলা শব্দ (musical sound) বলি।

সুরেলা শব্দের আর একটি ধর্মের উল্লেখ করে আমরা এই অংশটি শেষ করব। এটি হল সুরেলা শব্দের জাতি (timbre)। শব্দের তরঙ্গাকৃতির সঙ্গে সংশ্লিষ্ট এই বৈশিষ্ট্যটির জন্যই আমরা প্রবলতা ও তীক্ষ্ণতা এক হওয়া সত্ত্বেও বাঁশি ও বেহালার শব্দের মধ্যে পার্থক্য ধরতে পারি। তবে এটাও মনে রাখতে হবে যে, সুরেলা শব্দের জাতি কেবলমাত্র তরঙ্গাকৃতির উপর নির্ভর করে না। একই শব্দ রেকর্ডিং-এর পর অধিক প্রাবল্যমাত্রায় বাজানো হলে অথবা বাজানোর সময় ডিস্ক বা চৌম্বক টেপের গতি বাড়িয়ে কম্পাঙ্কের বৃদ্ধি ঘটালে পুনর্গঠিত শব্দ কানে একই জাতির বলে মনে হয় না। জাতির কোনও পরিমাণগত পরিমাপ সম্ভব নয় এবং এটি সম্পূর্ণ ব্যক্তিনির্ভর ও গুণগত অনুভূতি হিসাবেই বর্ণিত হয়।

পরের অংশে যাওয়ার আগে একটি অনুশীলনীর উত্তর দিন।

অনুশীলনী - 5 :

নিচের বাক্যগুলিতে শূন্যস্থানগুলি উপযুক্ত শব্দ দিয়ে পূর্ণ করুন :—

কোনও সুরের তীক্ষ্ণতা প্রধানত তার.....-এর উপর নির্ভর করলেও.....সঙ্গেও তীক্ষ্ণতার কিছুটা পরিবর্তন ঘটতে পারে।.....একক মেল। 100 Hz কম্পাঙ্কের বিশুদ্ধ স্বরের তীক্ষ্ণতাকে.....মেল ধরা হয়। সমান ব্যবধানে থাকা কম্পাঙ্ক বিশিষ্ট কয়েকটি সমতীব্রতার সুর একত্রে ধ্বনিত হলে শব্দের তীক্ষ্ণতা সুরগুলির.....উপর নির্ভর করে। অত্যন্ত কাছাকাছি থাকা বহুসংখ্যক সুর ..... সৃষ্টি করে। সুরেলা শব্দের যে ধর্মের জন্য আমরা সানাই ও বাঁশির শব্দের পার্থক্য বুঝতে পারি, সেটি হল তার.....। এই ধর্মটি মূলত.....-এর উপর নির্ভরশীল হলেও.....ও কম্পাঙ্কের উপরও কিছুটা নির্ভর করে।

14.5 স্বরকম্প, শ্রুতি উপসুর ও যুক্তস্বন (Beats, aural harmonics and combination tones)

আমাদের শ্রবণযন্ত্রটির কার্যকারিতা ও নিজস্ব বৈশিষ্ট্যের বেশ কিছু পরিচয় আপনি ইতিমধ্যেই পেয়েছেন। এই অংশে আপনি দেখবেন যে, আমাদের কানে এমন কম্পাঙ্কের অনুভূতি সৃষ্টি হতে পারে যা উদ্দীপক চাপতরঙ্গের বা চাপতরঙ্গসমূহের কোনওটির কম্পাঙ্কের সমান নয়। নতুন এই কম্পাঙ্কগুলির সৃষ্টি কানের যান্ত্রিক ব্যবস্থার মধ্যেই ঘটে থাকে এবং শব্দ গ্রাহকের গতিপ্রকৃতির গাণিতিক বিশ্লেষণ দ্বারা এগুলির ব্যাখ্যা দেওয়া সম্ভব। স্বরকম্প, শ্রুতি উপসুর ও যুক্তস্বন এই জাতীয় কম্পাঙ্কের উদাহরণ। এখন দেখা যাক, কীভাবে এগুলি উৎপন্ন হয়।

স্বরকম্প : দুইটি সমরেখ সরল দোলগতি যখন প্রায় সমান কম্পাঙ্কের হয় তখন তাদের উপরিপাতনের ফলে এমন একটি দোলগতি উৎপন্ন হয় যার কম্পাঙ্ক সরল দোলগতি দুইটির কম্পাঙ্কের গড় এবং বিস্তার কম্পাঙ্ক দুইটির অন্তরের সমান কম্পাঙ্কে সরল দোলগতিতে কম্পিত হতে থাকে। EPH 03 কোর্সে আপনি এ বিষয়ে বিশদভাবে পড়েছেন। প্রায় সমান এবং শ্রাব্য কম্পাঙ্কের দুইটি সুর যখন কর্ণে শ্রুত হয়, তখন সেগুলি বেসিলার পর্দার একই অংশে উদ্দীপনা সৃষ্টি করে। তবে সুর দুইটির দশা ক্রমান্বয়ে সম ও বিপরীত হওয়ার ফলে বেসিলার পর্দার কম্পনের বিস্তার ওঠানামা করতে থাকে, ফলে উদ্দীপনার মানেও অনুরূপ তারতম্য ঘটে। এর ফলে শ্রোতা মাঝামাঝি কম্পাঙ্কের শব্দ শুনতে পান কিন্তু তাঁর অনুভূত প্রাবল্যমাত্রা কম্পিত হতে থাকে। একেই আমরা স্বরকম্প বলি।

দুইটি সুরের কম্পাঙ্কের মধ্যে সমতা আনার জন্য একটির কম্পাঙ্ক স্থির রেখে অন্যটি উপযোজিত (adjust) করা হয় যাতে স্বরকম্পের কম্পাঙ্ক ক্রমশ কমে শূন্য হয়। বাদ্যযন্ত্রের সুর বাঁধার জন্য এটি একটি প্রচলিত উপায়। হার্মোনিয়াম যন্ত্রের একেবারে খাদের অর্থাৎ বামদিকের পরপর দুটি রিড একসঙ্গে টিপে যন্ত্রটি বাজালে আপনি স্বরকম্প শুনতে পাবেন।

শ্রুতি উপসুর : স্বরকম্প উৎপাদনে আমাদের শ্রবণযন্ত্র বৈখিকভাবে কাজ করে অর্থাৎ বেসিলার পর্দার উদ্দীপনা শ্রবণ-নার্ভে যে সাড়া (response) তৈরি করে তা উদ্দীপনার সঙ্গে রৈখিকভাবে পরিবর্তিত হয়। শব্দের তীব্রতা অল্প হলে উদ্দিপক শব্দচাপ ও নার্ভের সাড়াকে সমানুপাতী বলে ধরা যায়। কিন্তু তীব্রতা বৃদ্ধি পেলে সাড়ার এই রৈখিকতা আর বজায় থাকে না। এই অবস্থায় একটি বিশুদ্ধ সুর অধিক তীব্রতার ধ্বনিত হলে শ্রোতা বিশুদ্ধ সুরটির কম্পাঙ্কের গুণিতক কম্পাঙ্কের সুরও শুনতে পান। এই গুণিতক কম্পাঙ্কের সুরগুলিকেই শ্রুতি উপসুর বলা হয়।

শ্রুতি উপসুরের উৎপত্তি গাণিতিকভাবে ব্যাখ্যা করা যায়। ধরা যাক শব্দ চাপ P ও নার্ভের সাড়া R-এর মধ্যে সম্পর্ক :

$$R = ap + bp^2 + cp^3 \qquad ...14.3$$

bp^2 ও cp^3 রাশিদ্বয় এখানে উভয়ের সম্পর্কের অরৈখিকতা (non-linearity) নির্দেশ করেছে। এখন ধরা যাক শব্দচাপ n কম্পাঙ্কে সরল দোলগতিতে কম্পিত হয়। $p = P \cos 2\ nt$ লিখলে,

$R = aP\cos 2\ nt + bP^2\cos^2 2\ nt + cP^3\cos^3 2\ nt$

$= aP\cos 2\ nt + bP^2(\cos 4\ nt + 1) + cP^3\ (\cos 6\ nt + 3\cos 2\ nt\ )$

বা, $R =$ $\cos 2\ nt + bP^2\cos 4\ nt + cP^3\cos 6\ nt + bP^2$ ...14.4

14.4 সমীকরণের ডানদিকের প্রথম তিনটি রাশি যথাক্রমে n, $2n$ ও $3n$ কম্পাঙ্কের আন্দোলন সূচিত করছে। এ থেকে প্রমাণিত হয় যে, শব্দচাপের পরিবর্তন কেবলমাত্র n কম্পাঙ্কে হলেও শ্রবণযন্ত্রের অরৈখিকতার ফলে সাড়ার মধ্যে উচ্চতর উপসুরও বর্তমান থাকবে। এগুলি শ্রুতি উপসুর।

শ্রুতি উপসুরের উপস্থিতি খুব সহজেই দেখানো হয়। ধরা যাক, কোনও শ্রোতাকে 200 Hz কম্পাঙ্কের একটি বিশুদ্ধ সুর বেশ উচ্চ তীব্রতায় শোনানো হলে। শ্রোতা 200 Hz কম্পাঙ্কের সুরটির সঙ্গে 400 Hz, 600 Hz প্রভৃতি কম্পাঙ্কের সুরের অনুভূতিও লাভ করবেন। এখন যদি 403 Hz কম্পাঙ্কের আরও একটি বিশুদ্ধ সুর তাকে শোনানো হয় তবে তিনি 400 Hz কম্পাঙ্কের উপসুরের সঙ্গে এই সুরটির উপরিপাতনের ফলে 3Hz কম্পাঙ্কের স্বরকম্পও শুনতে পাবেন। এভাবে 400 Hz উপসুরের উপস্থিতি নিশ্চিতভাবে প্রমাণিত হয়। 100 Hz-এর কাছাকাছি কম্পাঙ্কের বিশুদ্ধ সুর অপেক্ষাকৃত সহজেই শ্রুতি উপসুরের সৃষ্টি করতে পারে। প্রাবল্যমাত্রা 20 ফন থেকে বাড়তে থাকলে ক্রমশ দ্বিতীয়, তৃতীয় প্রভৃতি উপসুরগলি শোনা যায়।

যুক্তস্বন : প্রায় সমান কম্পাঙ্কের দুইটি বিশুদ্ধ সুর যদি একই সঙ্গে শ্রুত হয়, তবে তার ফল আপনি ইতিমধ্যেই জেনেছেন। কিন্তু সুর দুইটির কম্পাঙ্ক যদি এতটাই পৃথক হয় যে, তাদের ব্যবধানও শ্রাব্য কম্পাঙ্কের মধ্যে পড়ে, তখন কম্পাঙ্কদ্বয়ের বিয়োগফল এবং যোগফলের সমান অর্থাৎ সমষ্টি ও আন্তর কম্পাঙ্কের সুরও শোনা যায়। এই সুরগুলিকে আমরা যুক্তস্বন বলি।

শ্রুতি উপসুরের মতো যুক্তস্বনের উৎপত্তিও শ্রবণযন্ত্রের অরৈখিকতায় জন্যই ঘটে। 14.3 সমীকরণের অপেক্ষাকৃত ক্ষুদ্র রাশি cp^3-কে উপেক্ষা করে আমরা লিখতে পারি।

$R = ap + bp^2$ (R = নার্ভের সাড়া, p = শব্দচাপ)

ধরে নিন, শব্দচাপ n ও m দুই কম্পাঙ্কের দুইটি পৃথক বিশুদ্ধ সুরের দ্বারা উৎপন্ন অর্থাৎ,

$p = P_1 \cos 2\ nt + P_2\cos 2\ mt$

শব্দচাপের ওই রাশি ব্যবহার করে,

$R = a\ (P_1 \cos 2\ nt + P_2 \cos 2\ mt) + b(P_1^2 \cos^2 2\ mt + P_2^2 \cos^2 2\ mt + 2P_1P_2 \cos 2\ nt \cos 2\ mt)$

$= a\ (P_1 \cos 2\ nt + P_2 \cos 2\ mt) + bP_1^2\ (\cos 4\ nt + 1) + bP_2^2\ (\cos 4\ mt + 1)$

$+ bP_1P_2[\cos 2\ (n + m)t + \cos 2\ (n - m)t]$ ...14.5

লক্ষ্য করে দেখুন R - এর রাশিটির মধ্যে n, m, $2n$, $2m$ ছাড়াও $n + m$ ও $n - m$ কম্পাঙ্কের সমষ্টি ও আন্তর উপাংশ রয়েছে। এর থেকে বোঝা যায়,যুক্তস্বনগুলি শ্রবণযন্ত্রের অরৈখিকতার ফলেই উৎপন্ন হয়।

বিড়ালের কানের শঙ্খনালী-বিভবের পরিমাপ করে যুক্তস্বনের অস্তিত্ব দেখা গেছে। 700 Hz ও 1200 Hz কম্পাঙ্কের দুইটি বিশুদ্ধ সুর কর্ণে প্রবেশ করিয়ে শঙ্খনালী-বিভবে 500 Hz, 1900 Hz, 1700 Hz, ও 3100 Hz কম্পাঙ্কের সাড়ার সন্ধান পাওয়া যায়। লক্ষ্য করুন, এই কম্পাঙ্কগুলি যথাক্রমে 1200 –700, 1200 + 700, 2 × 1200 – 700 ও 2 × 1200 + 700 Hz - এর সমান।

শ্রুতি উপসুরের ক্ষেত্রে বর্ণিত পদ্ধতিতেও যুক্তস্বনগুলির সন্ধান করা যায়। এক্ষেত্রে 700 ও 1200 Hz কম্পাঙ্কের দুটি বিশুদ্ধ সুর কানে প্রবেশ করিয়ে শঙ্খনালী বিভবে 500 Hz, 1900 Hz, 1700 Hz ও 3100 Hz কম্পাঙ্কের সাড়ার সন্ধান পাওয়া যায়। লক্ষ্য করুন, এই কম্পাঙ্কগুলি যথাক্রমে 1200 – 700, 1200 + 700, 2 × 1200 + 700 Hz ও 2 × 1200 + 700 Hz এর সমান।

শ্রুতি উপসুরের ক্ষেত্রে বর্ণিত পদ্ধতিতেও যুক্তস্বনগুলির সন্ধান করা যায়। এক্ষেত্রে 700 Hz ও 1200 Hz কম্পাঙ্কের দুটি বিশুদ্ধ সুর মোটামুটি উচ্চ $\frac{\text{প্রাবল্য}}{2}$ তীব্রতায় ধ্বনিত করে এগুলির সঙ্গে তৃতীয় একটি উপযোজনযোগ্য সন্ধানী সুর শ্রোতাকে শোনানো হয়। সন্ধানী সুরটির কম্পাঙ্ক যখন 500 Hz, 1900 Hz প্রভৃতির কাছাকাছি হয়, তখন শ্রোতা স্বরকম্প শুনতে পান এবং এর দ্বারা বিভিন্ন সমষ্টি ও আন্তর কম্পাঙ্কের উপস্থিতি সূচিত হয়।

এই প্রসঙ্গে একটি কথা বলা যেতে পারে। আজ থেকে দেড়শ বছরেরও আগে বিজ্ঞানী ওম্ (G.S. Ohm, 1787-1854) এই সিদ্ধান্তে এসেছিলেন যে, আমাদের কানে বিশুদ্ধ সরল দোলগতির কম্পন একটিমাত্র সুরের অনুভূতি সৃষ্টি করে, কিন্তু অন্য ধরনের পর্যাবৃত্ত কম্পন কানে বিশ্লেষিত হয় এবং যথেষ্ট তীব্রতা থাকলে প্রতিটি উপসুর পৃথকভাবে অনুভূত হয়। কিন্তু এই অংশে আমরা লক্ষ্য করলাম যে, কানে এমন কম্পাঙ্কের অনুভূতি সৃষ্টি হতে পারে যা শ্রুত শব্দে সম্পূর্ণ অনুপস্থিত। সুতরাং, ওম, - এর সিদ্ধান্ত সম্পূর্ণ সত্য নয়।

14.6 দ্বিকর্ণীয় দিক নির্ণয় (Binaural localization)

আপনার হয়ত মনে হয়েছে যে, শব্দের প্রবলতা, তীক্ষ্ণতা বা জাতি অনুভব করতে একটি কানই যথেষ্ট। সুতরাং, মানুষ বা অন্যান্য স্তন্যপায়ী জীবের দুইটি কানের কি প্রয়োজন? এর উত্তরে বলা যায় যে, আমরা যে শব্দ, শুনি তার উৎসটি কোথায় সেটাও আমাদের জানার প্রয়োজন হয়। মনে করুন, শিক্ষা সহায়ক অনুষ্ঠানে

কোন একজন শিক্ষার্থী একটি প্রশ্ন করলেন। শিক্ষক মহাশয়ের শুধু প্রশ্নটি শুনলেই চলবে না, তাঁকে জানতে হবে, কে প্রশ্নটি করলেন অর্থাৎ কোন দিকে থেকে প্রশ্নের শব্দটি এল। শব্দের উৎসের দিক নির্ণয় করার জন্য দুই কানে শব্দটি শোনা একান্তই প্রয়োজন।

দুই কানে শব্দ শোনার ফলে দুটি পৃথক উপায়ে আমরা শব্দের দিক নির্ণয় করি। এগুলি হলো।

- দুই কানে অনুভূত প্রবলতার ভিত্তিতে তীব্রতার তুলনামূলক বিচার
- ক্ষণস্থায়ী শব্দের ক্ষেত্রে দুই কানে শব্দ পৌঁছনোর সময়ের ব্যবধান, অথবা দীর্ঘস্থায়ী শব্দের ক্ষেত্রে শ্রুত শব্দের দশার প্রভেদ।

এই দুইটি উপায় সম্বন্ধে আমরা পৃথকভাবে আনোচনা করব।

দুই কানে শ্রুত শব্দের তীব্রতার প্রভেদ হওয়ার কারণ শ্রোতার মস্তক ও কান পত্রকের শব্দছায়া। এক্ষেত্রে যে সাধারণ নীতি প্রযোজ্য, সেটি হল, অনচ্ছ বস্তুর আকার যখন তরঙ্গের দৈর্ঘ্যের তুলনায় ক্ষুদ্র হয় তখন সেটি ঐ তরঙ্গের জন্য কোনও ছায়াঞ্চল সৃষ্টি করে না। শব্দতরঙ্কের কম্পাঙ্ক 1000 Hz-এর কম অর্থাৎ তরঙ্গদৈর্ঘ্য 35 cm অপেক্ষা বেশি হলে শ্রোতার মস্তক, যেটির ব্যাস প্রায় 20 cm, কোনও ছায়াঞ্চল সৃষ্টি করে না এবং দুই কানে শ্রুত শব্দের তীব্রতায় বিশেষ পার্থক্য থাকে না। 1000 Hz-এর অধিক কম্পাঙ্কে মস্তকের শব্দছায়ায় অবস্থিত হওয়ার ফলে শব্দ উৎস অভিমুখী কানের তুলনায় দূরবর্তী কানে পৌঁছনো শব্দের তীব্রতা কম হয়। শ্রোতার দুই কানে টেলিফোন রিসিভারের সাহায্যে সামান্য কম বেশী তীব্রতার শব্দ পৌঁছে দিয়ে দেখা গেছে 1000 Hz এর অধিক কম্পাঙ্কের বিশুদ্ধ সুরের ক্ষেত্রে শ্রোতা যে দিকের কানে শব্দের তীব্রতা বেশি, শব্দের উৎস সেই অনুযায়ী বাম বা ডানপাশে আছে মনে করেন। 3000 Hz-এর অধিক কম্পাঙ্কে কর্ণপত্রক দুটিও শ্রবণনালিকার সামনে ছায়ার সৃষ্টি করে, ফলে শ্রোতা শব্দের উৎস তার সামনে না পিছনে আছে তাও বুঝতে পারেন।

অপরপক্ষে, দুই কানে পৌঁছানো বিশুদ্ধ এক সুরের শব্দের ক্ষেত্রে দশার প্রভেদ শব্দের তরঙ্গদৈর্ঘ্য এবং শব্দের শ্রোতার সোজাসুজি সামনের দিকে থেকে বাম বা ডানদিকে কতটা কোণে সরে আছে, তার উপর নির্ভর করে। উৎসটি সম্পূর্ণ একপাশে থাকলে দশার প্রভেদ হবে , যেখানে d = মস্তকের ব্যাস ও = শব্দের তরঙ্গদৈর্ঘ্য। 150 Hz-এর মতো অতি নিম্ন কম্পাঙ্কে এর মান প্রায় 0.03, সুতরাং, দশার প্রভেদ অত্যন্ত কম। 800 = 900 Hz কম্পাঙ্কে দশার প্রভেদ প্রায় 180° হয়। কিন্তু এর বেশি কম্পাঙ্কে দশার প্রভেদ 180° - এর চেয়ে বেশি হয় এবং এর ফলে উৎসের নিকটবর্তী কানে যে শব্দতরঙ্গ পৌঁছয়, সেটি দশাকোণে এগিয়ে না থেকে পিছিয়ে আছে বলে মনে হয়। সুতরাং, 1000 Hz বা তদূর্ধ্ব কম্পাঙ্কে দশার প্রভেদ শব্দ উৎসের দিক নির্ণয়ে সাহায্য করে না। 200 থেকে 800 Hz কম্পাঙ্কের ক্ষেত্রে যে এটি কার্যকরী থাকে তা পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণিত হয়েছে। পূর্বের পরীক্ষার মতো শ্রোতার দুই কানে টেলিফোন রিসিভারের সাহায্যে ভিন্ন দশায় বিশুদ্ধ সুর শ্রবণ করিয়ে দেখা গেছে, শ্রোতা যেদিকের কানে দশায় এগিয়ে থাকা শব্দ শোনেন, শব্দের উৎস সেদিকেই আছে বলে মনে করেন।

বাস্তবে শ্রুত শব্দের মধ্যে সাধারণত উচ্চ ও নীচ—সব কম্পাঙ্কই উপস্থিত থাকে। উপরন্তু শ্রোতা ইচ্ছামত মাতা ঘোরাতেও পারেন। এর ফলে আমরা তীব্রতার প্রভেদ ও দশার প্রভেদ—দুটিকেই কাজে লাগাই এবং মোটামুটি সঠিকভাবে শব্দের উৎসের দিক নির্ণয় করতে পারি।

শ্রুতি সম্বন্ধীয় আলোচনা এখানেই শেষ হল। এই আলোচনা যেহেতু মানুষেরই শ্রবণেন্দ্রিয় ও শ্রবণ ক্ষমতার সম্বন্ধে, এটি সম্ভবত আপনার কাছে কৌদুহলোদ্দীপক বলে মনে হয়েছে। এবার আপনি একটি অনুশীলনী উত্তর দেওয়ার চেষ্টা করুন।

অনুশীলনী - 6 :

(a) শব্দের তীব্রতা কম থাকলে শ্রুতি উপসুর শোনা যায় না কেন?

(b) 600 Hz ও 1000 Hz কম্পাঙ্কের দুটি বিশুদ্ধ সুর একসঙ্গে ধ্বনিত হল। এমন চারটি কম্পাঙ্কের উল্লেখ করুন যেগুলিতে যুক্তস্বন শোনা যাবে।

(c) 100 Hz কম্পাঙ্কের বিশুদ্ধ শব্দ দুই কানে সমান প্রবতলায় শ্রুত হয়। এর কারণ কী?

14.7 সারাংশ

বর্তমানে এককটির উপজীব্য বিষয় মানুষের শরীরে প্রকৃতিদত্ত শব্দ উৎপাদক ও শব্দগ্রাহক দুটি যন্ত্র—বাগ্‌যন্ত্র ও কান। এককটির দুই মূল অংশের প্রথমটিতে বার্গযন্ত্রের গঠন ও কার্যপ্রণালী আলোচিত হয়েছে, যার মধ্যে আছে ঘোষধ্বনি ও শ্বাসধ্বনি, উভয় প্রকার কণ্ঠস্বরের উৎপাদন। কণ্ঠস্বরে এ ক্ষমতা বাহিত হয় তার পরিমাণ অত্যন্ত অল্প। এই ক্ষমতা পুরুষ ও মহিলার কণ্ঠস্বরের বিভিন্ন ফুরিয়ে উপাংশে কীভাবে বন্টিত থাকে তার সংক্ষিপ্ত উল্লেখ করা হয়েছে।

দ্বিতীয় অংশটি শ্রুতি সম্পর্কীয়। কানের গঠন ও কার্যপ্রণালী ছাড়াও কানের শ্রবণসীমা অর্থাৎ শ্রবণসাধ্য শব্দের সর্বনিম্ন তীব্রতা ও সহনীয় সর্বোচ্চ তীব্রতার উল্লেখ করা হয়েছে। তবে নৈর্ব্যক্তিকভাবে পরিমাপযোগ্য তীব্রতা ছাড়াও শ্রোতা নির্ভর দুইটি রাশি ব্যবহার করার প্রয়োজন হয়। এর একটি প্রাবল্যমাত্র, যেটি যে শব্দগুলি বিভিন্ন কম্পাঙ্কের অথচ শ্রোতার কাছে সমান প্রাবল্যের বলে মনে হয় সেগুলিকে সম্পর্কিত করে। অন্যটি শ্রোতা নির্ভর প্রবলতা, যেটির সাহায্যে দুইটি শব্দের একটি শ্রোতার কানে অন্যটির তুলনায় কতগুণ জোরালো বলে মনে হয় তা নির্ণয় করতে সাহায্য করে। এই দুই রাশির বিষয়ে আলোচনা ছাড়া এগুলির একক, যথাক্রমে ফন ও সোন এখানে সংজ্ঞাত ও ব্যবহৃত হয়েছে।

পরিশেষে, দুইটি কানে শ্রবণের সাহায্যে আমরা কীভাবে শব্দ উৎসের দিক নির্ণয় করি সে সম্বন্ধে এই এককে আলোচনা করা হয়েছে।

14.8 সর্বশেষ প্রশ্নাবলী

1. কণ্ঠস্বর উৎপাদনে (a) ফুস্‌ফুস্, (b) স্বরতন্ত্রী, (c) জিহ্বা, ওষ্ঠ ও দন্তের ভূমিকা ব্যাখ্যা করুন।
2. মানুষের কণ্ঠস্বরে কী পরিমাণে বিভিন্ন কম্পাঙ্ক উপস্থিত থাকে?
3. মানুষের কানের গঠন বর্ণনা করুন এবং কানের বিভিন্ন অংশের কার্য ব্যাখ্যা করুন।
4. শব্দের তীব্রতা ও প্রাবল্যমাত্রার সম্পর্ক বর্ণনা করুন।
5. শব্দের প্রাবল্যমাত্রা ও প্রবলতার প্রভেদ কী? প্রবলতা রাশিটির জ্ঞান আমাদের কাজে লাগে এমন দুইটি ক্ষেত্রের উল্লেখ করুন।
6. তীক্ষ্ণতা কী এবং এটি কোন্ কোন্ রাশির উপর নির্ভর করে?
7. স্বরকম্প, শ্রুতি উপসুর ও যুক্তস্বন কীভাবে উৎপন্ন হয় তা ব্যাখ্যা করুন।
8. শব্দ উৎসের দিক নির্ণয়ে দুইটি কান কীভাবে কাজ করে, ব্যাখ্যা করুন।

14.9 উত্তরমালা

ঘ

অনুশীলনী :

1. (i) হ্যাঁ, শ্বাসধ্বনিতে অর্থাৎ ফিসফিস করে কথা বলতে স্বরতন্ত্রীর ব্যবহার হয় না, তবে বায়ুস্রোত মুখগহ্বর, নাসিকাগহ্বর প্রভৃতির মধ্যে নিয়ন্ত্রিত হয়ে অর্থপূর্ণ শব্দ সৃষ্টি করে।

   (ii) সাধারণ কথাবার্তায় প্রায় 10 W ক্ষমতার শব্দ সৃষ্ট হয়, তবে জোরে কথা বললে এটি 200 W পর্যন্ত যেতে পারে।

2. শ্রবণনালিকা—কর্ণপটহ—হাতুড়ি—নেহাই—রেকাব—ডিম্বাকৃতি পর্দা—অন্তঃকর্ণের তরল—বেসিলার পর্দা—শ্রবণ—নার্ভ।

3. 30 db তীব্রতার 100 Hz কম্পাঙ্কের শব্দ—প্রাবল্যমাত্রা 0 ফনের নিচে। সুতরাং শ্রবণসাধ্য নয়।

   70 db তীব্রতার মিশ্র কম্পাঙ্কের শব্দ—কোনও অস্বস্তি ব্যতীত শোনা যাবে।

   130 db তীব্রতার মিশ্র কম্পাঙ্কের শব্দ—কানে অস্বস্তির সৃষ্টি করবে।

4. (b), (d), (c) — ঠিক।

5. কম্পাঙ্ক, তীব্রতার, তীক্ষ্ণতার, 1000, ব্যবধানের, অপস্বর, জাতি, তরঙ্গাকৃতি, প্রাবল্যমাত্রা।

6. (a) শব্দের তীব্রতা কম থাকলে 14.3 সমীকরণে p-এর মান ছোট ধরতে হবে। সেক্ষেত্রে bp^2 ও cp^3 রাশিগুলি উপেক্ষণীয় হবে, অর্থাৎ R ও p এর সম্পর্ক রৈখিক হবে। 14.4 সমীকরণে R এর রাশিমালায় মুলসুর ব্যতীত অন্যান্য উপসুরগুলি থাকবে না। এর ফলে শ্রুতি উপসুর শোনা যাবে না।

(b) 400 Hz, 1600 Hz, 1400(1000 × 2 – 600) Hz, 2600 (1000 × 2 + 600) Hz

(c) 100 Hz কম্পাঙ্কে তরঙ্গদৈর্ঘ্য প্রায় 3.5 m, যা মস্তকের ব্যাসের তুনলায় অনেক বড়। ফলে শ্রোতার মস্তক এই কম্পাঙ্কে কোনও ছায়াঞ্চল সৃষ্টি করে না এবং শব্দ উভয় কানে প্রায় সমান তীব্রতায় পৌঁছায়।

সর্বশেষ প্রশ্নাবলী

1. এর উত্তর আপনি 14.2 অংশে পাবেন।

2. 14.3 অংশে এ বিষয়ে আলোচনা করা হয়েছে।

3. 14.4.1 অংশে কানের গঠন ও 14.4.2 অংশে বিভিন্ন অংশের কার্যপ্রণালী ব্যাখ্যা করা হয়েছে।

4. 14.4.4 অংশে আপনি প্রশ্নটির উত্তর পাবেন।

5. ফন এককে সমপ্রাবল্যমাত্রার শব্দ কানে সমান জোরালো শোনায় কিন্তু প্রাবল্যমাত্রার মানের বৃদ্ধির সঙ্গে শব্দ কতটা জোরালো শোনাবে তার নির্দিষ্ট সম্পর্ক নেই। যদি একটি শব্দ উৎসের সঙ্গে অনুরূপ আর একটি শব্দ উৎস ব্যবহার করা হয় তবে তীব্রতা দ্বিগুণ হলেও (3db বৃদ্ধি) প্রাবল্যমাত্রা সাধারণভাবে 3 ফন বৃদ্ধি পাবে না। অপরপক্ষে, কানে শব্দ কত জোর শোনা যাবে তা সোন এককে প্রবলতা দিয়ে নির্দেশ করা যায়। জোরালোভাব দ্বিগুণ বৃদ্ধি পেলে প্রবলতাও দ্বিগুণ হবে। বিভিন্ন উৎস থেকে আসা শব্দের জন্য মোট প্রবলতা একক প্রবলতাগুলির যোগফল এবং শ্রোতার কাছে মিলিত শব্দ কত জোর শোনাবে তা নির্দেশ করে।

   প্রবলতা রাশিটি জানা থাকলে আমরা (i) বিভিন্ন উৎস থেকে আসা শব্দ মিলিতভাবে শ্রোতার কানে কতটা জোরালো শোনাবে তা নির্ণয় করতে পারি ও (ii) যে শব্দে বিভিন্ন তীব্রতার একাধিক কম্পাঙ্কের উপাংশ আছে তা শ্রোতার কাছে কতটা জোর মনে হবে তার গণনা করতে পারি।

6. শ্রোতার অনুভূতিতে কোনও সুর অথবা সুস্বর কতটা চড়া মনে হয়, তাকেই ঐ সুর বা সুস্বরের তীক্ষ্ণতা বলা হয়। কোনও সুরের তীক্ষ্ণতা প্রধানত তার কম্পাঙ্কের উপর নির্ভর করে, তবে তীব্রতার উপরেও এটি কিছুটা নির্ভরশীল। একটি মূলসুর ও তার কিছু উপসুরের সমন্বয়ে গঠিত শব্দের তীক্ষ্ণতা মূলসুরের কম্পাঙ্ক দ্বারাই নির্ধারিত হয়। কিন্তু মূলসুর ও তার উপসুর নয় এমন কয়েকটি সুরের

মিশ্রণে গঠিত শব্দের ক্ষেত্রে তীক্ষ্ণতা সর্বনিম্ন কম্পাঙ্কের উপর নির্ভর না করে কম্পাঙগুলির ব্যবধানের উপর নির্ভর করে।

7. 14.5 অংশে এ সম্বন্ধে আলোচনা করা হয়েছে।

8. 14.6 অংশে এই প্রশ্নের উত্তর পাবেন।

এই এককটির রচনায় নিম্নোক্ত পুস্তকগুলির সহায়তা নেওয়া হয়েছে। আপনি ইচ্ছা করলে এগুলি পড়ে দেখতে পারেন।

1. Fundamentals of Acoustics — L.E. Kinsler & A.R. Frey, Wiley Eastern Ltd.

2. Acoustics — A. Wood, Blackie & Son Ltd.

3. উচ্চতর স্বনবিদ্যা—যুগলকিশোর মুখোপাধ্যায়, পশ্চিমবঙ্গ রাজ্য পুস্তক পর্ষদ।