## 13.6.1 মাইক্রোফোন

আপনি আগেই জেনেছেন যে, মাইক্রোফোনের কাজ শব্দের কম্পনকে বৈদ্যুতিক সংকেতে রূপান্তিরিত করা। এই রূপান্তরণে নানা ধরনের ভৌত ঘটনা ব্যবহার করা হয়ে থাকে। যেমন তড়িৎচুম্বকীয় আবেশ, ধারকের ধারকত্বের ও পাত্রে আবদ্ধ রাখা কার্বন কণার রোধের পরিবর্তন, চাপবিদ্যুৎ বা পিজোইলেকট্রিক (piezoelectric) অভিক্রিয়া এবং চৌম্বক ততি বা ম্যাগনেটোস্ট্রিকশন (magnetostriction)। যে কোনও মাইক্রোফোন ব্যবহারযোগ্য হতে হলে তার কয়েকটি বাঞ্ছনীয় গুণ থাকা প্রয়োজন। আপনি হয়ত এগুলি সম্বন্ধে আগেই জেনে নিতে চাইবেন। এই গুণগুলি হল :

(a) **সুবেদিতা (sensitivity) :** মাইক্রোফোনে আপতিত শব্দচাপের বিস্তার $\rho_0$ এবং মুক্ত বর্তনীতে মাইক্রোফোন দ্বারা উৎপন্ন ভিবব প্রভেদের বিস্তার $E_0$ — এই দুই-এর অনুপাত অর্থাৎ $M =$ রাশিটি মাইক্রোফোনের সাড়া (response) বা সুবেদিতা সূচিত করে। এটির একক ভোল্ট/প্যাস্কাল । অনেক সময় 0·1 প্যাস্কাল পিছু এক ভোল্ট বিভব প্রভেদকে মানক হিসাবে ধরে ডেসিবেলের হিসাবে সুবেদিতার মান লেখা হয়। এই হিসাবে সুবেদিতার আপেক্ষিক মান $\frac{E_0 / p_0}{0{\cdot}1} = \frac{E_0}{10 p_0}$ । যেহেতু উৎপন্ন ক্ষমতা বিভব প্রভেদের বর্গের সমানুপাতী, ডেসিবেলের হিসাবে মাইক্রোফোনের সাড়া $n = 10 \log\left(\frac{E_0}{10 p_0}\right)^2 = 20 \log\left(\frac{E_0}{10 p_0}\right)$।

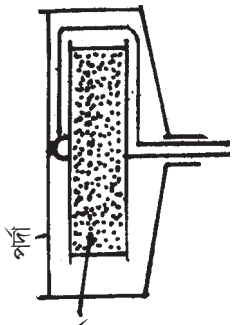
সাধারণভাবে, মাইক্রোফোনের অন্যান্য গুণগুলি অক্ষত রেখে সুবেদিতার মান যত অধিক হয় ততই ভাল। তবে উচ্চমানের ইলেকট্রনিক বিবর্ধক সহজলভ্য হওয়ায় সুবেদিতার মান কিছুটা কম হলেও সেই ঘাটতি সহজেই পূরণ করা যায়।

**(b) কম্পাঙ্ক-সাড়ার সুসমতা (uniformity of frequency-response) :** মাইক্রোফোনের সুবেদিতা বা সাড়ার মান শব্দের কম্পাঙ্কের উপর নির্ভরশীল হলে উৎপন্ন বিভব প্রভেদ মিশ্র কম্পাঙ্কের শব্দের কম্পনকে যথাযথভাবে অনুসরণ করে না। ফলে অভিলিখিত শব্দে বা লাউডস্পিকারে উৎপন্ন শব্দে বিকৃতি ঘটে। এই বিকৃতি এড়িয়ে শব্দের অবিকলতা (fidelity) বজায় রাখার জন্য মাইক্রোফোনের সাড়ার যথাসম্ভব কম্পাঙ্ক-অনির্ভর হওয়া প্রয়োজন।

**(c) তীব্রতা-ব্যাপ্তি (dynamic range) :** মাইক্রোফোনে আপতিত শব্দের তীব্রতার যে পাল্লার মধ্যে উৎপন্ন বিভব প্রভেদ শব্দচাপের সমানুপাতী থাকে, সেটিই মাইক্রোফোনের তীব্রতা ব্যাপ্তি। অতি দুর্বল শব্দে মাইক্রোফোনের নিজস্ব অপস্বর এবং অতি তীব্র শব্দের ক্ষেত্রে উৎপন্ন বিভব কম্পনের বিকৃতি তীব্রতা ব্যাপ্তিকে সীমিত রাখে।

এবার আমরা প্রচলিত কয়েক প্রকার মাইক্রোফোনের গঠন ও কার্যনীতি সম্বন্ধে আলোচনা করব। এগুলি হল কার্বন মাইক্রোফোন, ধারক বা কনডেনসার মাইক্রোফোন, পিজোইলেকট্রিক মাইক্রোফোন ও চল কুণ্ডলী মাইক্রোফোন।

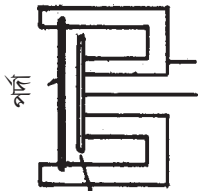
**কার্বন মাইক্রোফোন :** এ জাতীয় মাইক্রোফোনে একটি প্রকোষ্ঠে কার্বনের দানা কিছুটা আলগাভাবে ভরা থাকে (চিত্র 13.12) । শব্দ মাইক্রোফোনের পর্দায় আপতিত হলে শব্দচাপের ফলে পর্দাটি কম্পিত হয় এবং পর্দার সঙ্গে যুক্ত একটি পিস্টন কার্বনের দানাগুলির উপর চাপের হ্রাস বৃদ্ধি ঘটায়। এই চাপের সঙ্গে দানাগুলির পরস্পরের মধ্যে স্পর্শতলও কমে বাড়ে, ফলে কার্বনের দানাগুলির বৈদ্যুতিক রোধও পরিবর্তিত হয়। এই অবস্থায় যদি আপনি ব্যাটারির সাহায্যে কার্বনের মধ্য দিয়ে বৈদ্যুতিক প্রবাহ পাঠাতে চেষ্টা করেন, তবে শব্দের কম্পনের সঙ্গে কার্বনের মধ্য দিয়ে বৈদ্যুতিক প্রবাহও কম্পিত হতে থাকবে।



কার্বনের দানা
চিত্র : 13.12

কার্বন মাইক্রোফোনের বৈদ্যুতিক সংকেত শক্তিশালী। এর সাড়ার মান - 45 থেকে - 40 ডেসিবেলের মত। এটি টেকসই অথচ স্বল্পমূল্য ; তবে এটিতে কম্পাঙ্ক সাড়া সুসম না হওয়ায় শব্দের অবিকলতা বজায় থাকে না। টেলিফোন ও বেতার যোগাযোগে কার্বন মাইক্রোফোন প্রায়ই ব্যবহৃত হয়।

**ধারক মাইক্রোফোন :** এই মাইক্রোফোনে একটি টান দেওয়া ধাতুর পর্দা ও একটি দৃঢ়ভাবে সংবদ্ধ পাত মিলিতভাবে একটি সমান্তরাল পাত ধারকের মত কাজ করে। আপতিত শব্দের কম্পনের সঙ্গে ধাতুর পর্দাটি কম্পিত হয়, ধারকের ধারকত্বেরও হ্রাস বৃদ্ধি হয়। এই ধারকের সঙ্গে একটি ব্যাটারি ও ভার রোধ শ্রেণী সমবায়ে যুক্ত করলে ধারকত্বের ওঠানামার ফলে ভাররোধের মধ্য দিয়ে পরিবর্তী তড়িৎপ্রবাহের সৃষ্টি হয়। 13.13 চিত্রে আপনি ধারক মাইক্রোফোনের একটি গঠনচিত্র দেখতে পাবেন।



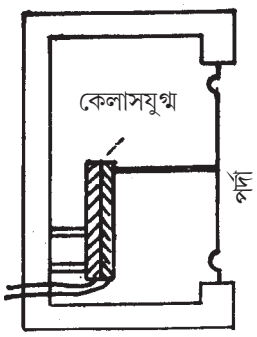
সংবদ্ধ পাত
চিত্র : 13.13

ধারক মাইক্রোফোনের একটি বড় সুবিধা এই যে, এর সুবেদিতা প্রায় 6-7 KHz পম্পাঙ্ক পর্যন্ত অপরিবর্তিত থাকে। অবশ্য এর বেশি কম্পাঙ্কে টান দেওয়া ধাতুর পর্দার নিজস্ব কম্পাঙ্কে অনুনাদের ফলে কম্পাঙ্ক-সাড়া বৃদ্ধি পায়। এরও অধিক কম্পাঙ্কে সাড়ার মান পর্দার ভরের উপর নির্ভরশীল হয় এবং ক্রমশ কমে যায়। ধারক মাইক্রোফোনের সুবেদিতার মান অত্যন্ত অল্প। ডেসিবেলের হিসাবে এটি - 50db এর কাছাকাছি। তবে ইলেকট্রনিক বিবর্ধক ব্যবহার করে এই অসুবিধা কাটিয়ে ওঠা যায়। ধারকের ধারকত্ব সাধারণত অত্যন্ত অল্প হয়, প্রায় 100 pF এর মতো। এজন্য দীর্ঘ যোজক তার ব্যবহার না করে মাইক্রোফোনের সঙ্গেই প্রাক্-বিবর্ধক (pre-amplifier) রেখে উৎপন্ন বিভব প্রভেদকে বিবর্ধিত করতে হয়। ব্যবহারের সময় এই মাইক্রোফোনে 200 থেকে 400 ভোল্টের ব্যাটারি অথবা সম্পূর্ণ স্থির বিভবের ব্যাটারি এলিমিনেটর ব্যবহার করতে হয়।

**পিজোইলেকট্রিক মাইক্রোফোন :** এ ধরনের মাইক্রোফোনের ক্রিয়া বুঝতে হলে প্রথমেই পিজোইলেকট্রিক বা চাপ বিদ্যুৎ ধর্মের বিষয়টি আলোচনা করে নিতে হবে। দ্বাদশ এককে আপনি এ সম্বন্ধে কিছুটা জেনেছেন।

কোয়ার্টজ, রোশের সল্ট (Rochelle Salt), এ ডি পি (ammonium dihydrogen phosphate) প্রভৃতি কেলাসে পিজোইলেকট্রিক ধর্ম দেখা যায়। এই কেলাসগুলি থেকে বিশেষভাবে কাটা অংশে যান্ত্রিক পীড়ন প্রয়োগ করলে সেটির দুই তলের মধ্যে বিভব প্রভেদ তৈরি হয় এবং দুই বিপরীত তলে পরস্পর বিপরীত বৈদ্যুতিক আধান দেখা দেয়। বিভব প্রভেদের নাম অবশ্য কেলাসটি কীভাবে কাটা হয়েছে এবং কোন ধরনের পীড়ন প্রয়োগ করা হয়েছে অর্থাৎ, তা সংনমন, প্রসারণ বা বংকন—এর কোন জাতীয়, তার উপর নির্ভর করে। শব্দতরঙ্গ পিজোইলেকট্রিক কেলাসের উপর আপতিত হলে শব্দচাপের ওঠানামার সঙ্গে কেলাসের দুই বিপরীত তলের মধ্যে যে বিভব প্রভেদ সৃষ্ট হয়, সেটি বিবর্ধন করে লাউস্পিকারে অথবা শব্দ অভিলেখন ব্যবস্থায় পাঠানো হয়। এই জাতীয় মাইক্রোফোনকে কেলাস মাইক্রোফোন বলা হয়। বেরিয়াম টাইট্যানেট জাতীয় সেরামিক পদার্থে বিশেষ প্রক্রিয়ায় স্থায়ী বিদ্যুৎ-মেরুভবন (electric polarization) ঘটালে এটি পিজোইলেকট্রিক ধর্ম লাভ করে। এই জাতীয় সেরামিক পদার্থ যে মাইক্রোফোনে ব্যবহৃত হয়, তাকে সেরামিক মাইক্রোফোন বলা হয়।

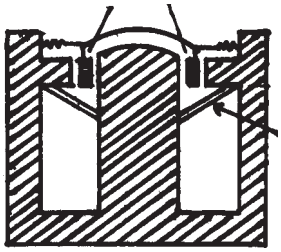
সাধারণ শব্দচাপে পিজোইলেকট্রিক মাইক্রোফোনে উৎপন্ন বিভব প্রভেদ অতি অল্প মানের হয়। এই বিভব প্রভেদ বাড়ানোর জন্য যে বিশেষ গঠন পদ্ধতি অবলম্বন করা হয় সেটি আপনি 13.14 চিত্রে দেখতে পাবেন। শব্দতরঙ্গ একটি হালকা পর্দার উপর আপতিত হয়ে সেটিকে কম্পিত করে। পর্দার কেন্দ্রের সংলগ্ন একটি কাঁটা ঐ কম্পনকে দুইটি পিজোইলেকট্রিক কেলাসের এক প্রান্তে সঞ্চালিত করে। কেলাস দুইটি পাশাপাশি জোড়া লাগানো থাকে এবং বৈদ্যুতিক সংযোগের সুবিধার জন্য সেগুলির উভয়দিকে ধাতুর প্রলেপ লাগানো থাকে। কেলাসযুগ্মের (bimorph) উপর পীড়ন প্রযুক্ত হলে সেটি তার বিকৃতির সমানুপাতী বিভব প্রভেদ উৎপন্ন করে। মাইক্রোফোনের পর্দা, কাঁটা ও কেলাসযুগ্ম এমনভাবে তৈরি হয় যে, সেটির কম্পনশীল অংশের অনুনাদ কম্পাঙ্ক সচরাচর যে কম্পাঙ্ক পাল্লার মধ্যে মাইক্রোফোনটি ব্যবহৃত হয়, তার উপরে থাকে। ফলে এটির কম্পাঙ্ক সাড়া প্রায় সুসম থাকে। এই পদ্ধতিতে নির্মিত মাইক্রোফোনের সাড়া সাধারণত শ্রাব্য কম্পাঙ্কে –50 5 ডেসিবেলের মধ্যে থাকে। ধারক মাইক্রোফোনের তুলনায় কেলাস মাইক্রোফোনের একটি বাড়তি সুবিধা এই যে, এটিতে কোনও সংলগ্ন প্রাক্-বিবর্ধক ব্যবহারের প্রয়োজন হয় না। অভিভাষণ ব্যবস্থায়, শ্রবণ সহায়ক যন্ত্রে ও শব্দের তীব্রতা মাপক যন্ত্রে প্রায়ই পিজোইলেকট্রিক মাইক্রোফোন ব্যবহার করা হয়।



চিত্র : 13.14

**চলকুণ্ডলী (moving coil) মাইক্রোফোন :** 13.3.2 অংশে যে চলকুণ্ডলী পিক-আপের উল্লেখ করা হয়েছে, এই মাইক্রোফোনের কার্যনীতি তারই অনুরূপ। 13.15 চিত্র থেকে আপনি এই মাইক্রোফোনের গঠনটি বুঝতে পারবেন। এখানে M একটি বাটির আকারের স্থায়ী চুম্বক যার একটি মেরু (N) বলায়কৃতি এবং অন্য মেরুটি বাটির কেন্দ্রে স্তম্ভের আকৃতিবিশিষ্ট (S) D পর্দাটি দৃঢ় ও অর্ধগোলকাকৃতি, এর বাইরের অংশ ঢেউ খেলানো পাতের সাহায্যে নিবদ্ধ, যাতে পর্দাটি সহজে ওঠানামা করতে পারে। পর্দার সঙ্গে একটি তারের কুণ্ডলী আটকানো থাকে, যেটি পর্দার কম্পনের সঙ্গে স্থায়ী চুম্বককের চৌম্বক্ষেত্রে চলাফেরা করে। এর ফলে

এই কুণ্ডলীতে চৌম্বক আবেশজনিত বিভব প্রভেদের সৃষ্টি হয়। চুম্বকের মেরু দুইটির মধ্যে রেশমের কাপড়ের একটি শঙ্কু আটকানো থাকে। পর্দা ও রেশমী শঙ্কুর মধ্যে আবদ্ধ বায়ু সংনমন ও তনুভবনের ফলে পর্দার উপর প্রত্যানয়ক বল তৈরি করে। ঢেউ খেলানো পাতটিও পর্দাকে সাম্যাবস্থায় ফেরাতে সাহায্য করে। এছাড়া রেশমী শঙ্কুটি শ্রাব্য কম্পাঙ্কের মধ্যে পর্দার অনুনাদী কম্পন রোধ করে কম্পাঙ্ক—সাড়াকে অনেকটা সুষম করে। এই মাইক্রোফোনের সাড়ার মান অত্যন্ত কম, প্রায়-90 থেকে -95 ডেসিবেলের মধ্যে, তবে এর অভ্যন্তরীণ প্রতিরোধ (internal impedance) খুব কম, প্রায় 10 এর মতো। ফলে উৎপন্ন পরিবর্তী বিভব প্রভেদকে সহজেই ট্রান্সফরমার দ্বারা বর্ধিত করে বিবর্ধকে পাঠানো যায়।



স্থায়ী চুম্বক
চিত্র : 13.15

**দিষ্টতা (directionality) :** এখানে আপনি চার ধরনের মাইক্রোফোনের গঠন, কার্যপদ্ধতি ও কয়েকটি ধর্ম সম্বন্ধে জানতে পারলেন। কিন্তু মাইক্রোফোনের আরও একটি গুরুত্বপূর্ণ ধর্ম সম্বন্ধে আপনার মনে জিজ্ঞাসা থাকতে পারে। আমরা নাটকের মঞ্চে যে মাইক্রোফোন ব্যবহার করি তা মঞ্চের বিভিন্ন অংশ থেকে আসা শব্দ ধরতে সক্ষম হওয়া উচিত। কিন্তু একজন সাংবাদিক ভিড়ের মধ্যে কোনও এক নির্দিষ্ট ব্যক্তির কণ্ঠস্বর রেকর্ড করতে চাইলে তাঁর মাইক্রোফোন যত একমুখী (unidirectional) হয় ততই ভাল। এই দুই ক্ষেত্রে মাইক্রোফোনের যে ধর্মটি আমরা বিবেচনা করছি সেটি হল তার দিষ্টতা (directionality)। শব্দ মাইক্রোফোনের ওপর সরাসরি সামনে থেকে আপতিত হলে যে সাড়া পাওয়া যায়, মাইক্রোফোনের অক্ষের সঙ্গে শব্দ আপতনের দিখে আনত থাকলে সাড়া তার চেয়ে কম হয়। এটির প্রথম কারণ মাইক্রোফোনের দ্বারা শব্দতরঙ্গের ব্যবর্তন (diffraction), যার ফলে শব্দের তরঙ্গদৈর্ঘ্য মাইক্রোফোনের আকারের সঙ্গে তুলনীয় হলে তির্যকভাবে আপতিত শব্দ মাইক্রোফোনে অপেক্ষাকৃত অল্প শব্দচাপ উৎপন্ন করে। দ্বিতীয় কারণটি এই যে, তির্যকভাবে আপতিত শব্দ মাইক্রোফোনের পর্দার বিভিন্ন অংশে যে পরিবর্তী শব্দচাপ প্রয়োগ করে মাইক্রোফোনের আকার তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের তুলনায় নেহাত ছোট না হলে তার দশাকোণ পর্দার বিভিন্ন অংশে বিভিন্ন হয়। ফলে সেগুলির প্রভাব ব্যতিচারের ফলে ক্ষয়প্রাপ্ত হয়। তবে মাইক্রোফোনের দিষ্টতা তার গঠন, আকার, আকৃতি ও শব্দের তরঙ্গদৈর্ঘ্যের ওপর নির্ভরশীল এবং বিভিন্ন প্রয়োগের ক্ষেত্রে বিভিন্ন প্রকার দিষ্টতা বাঞ্ছনীয় বলে মনে করা হয়। এবার আমরা মাইক্রোফোনের বিপরীতধর্মী একটি যন্ত্রের কথা আলোচনা করব।

## 13.6.2 লাউডস্পিকার (Loudspeaker)

মাইক্রোফোন যেমন শব্দতরঙ্গের কম্পনকে বৈদ্যুতিক বিভব বা প্রবাহের কম্পনে পরিণত করে, তেমনই লাউডস্পিকার বৈদ্যুতিক বিভব বা প্রবাহের কম্পন থেকে শব্দ উৎপন্ন করে। অর্থাৎ, এটির কার্য মাইক্রোফোনের কার্যের ঠিক বিপরীত। আদর্শ লাউডস্পিকারের যে গুণগুলি থাকা উচিত সেগুলি আগে জেনে নেওয়া যাক। এগুলি হল :

(a) বৈদ্যুতিক শক্তিকে শব্দশক্তিতে রূপান্তরণের দক্ষতা যথাসম্ভব অধিক হওয়া উচিত।

(b) শব্দ উৎপাদন সাড়া (acoustic output response) সমগ্র শ্রাব্য কম্পাঙ্কে কম্পাঙ্ক-অনির্ভর হওয়া উচিত।

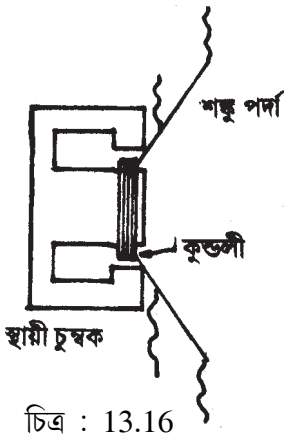
(c) উৎপন্ন শব্দে যেন কোনওরূপ বিকৃতি না থাকে এবং স্থায়ী ও ক্ষণস্থায়ী, উভয় প্রকার বৈদ্যুতিক সংকেতের জন্যই যেন উৎপন্ন শব্দের অবিকলতা বজায় থাকে।

(d) উৎপন্ন শব্দের বিকিরণ অদিষ্ট, অর্থাৎ বিভিন্ন দিকে সমভাবে বন্টিত হওয়া চাই।

(e) নির্দিষ্ট শব্দ উৎপাদন ক্ষমতার জন্য লাউডস্পিকারের আকার যেন যথাসম্ভব ছোট হয়।

মাইক্রোফোনের মধ্যে লাউডস্পিকার, যাকে অনেক সময় 'স্পিকার' বলা হয়, বিভিন্ন ভৌত ঘটনাকে ভিত্তি করে নির্মিত হতে পারে। এখানে আমরা সর্বাধিক প্রচলিত চলকুণ্ডলী লাউড স্পিকারের গঠন ও কার্যনীতির বিষয়ে আলোচনা করব।

**চলকুণ্ডলী লাউডস্পিকার (Moving coil loudspeaker) :** এটির গঠন অনেকটা চলকুণ্ডলী মাইক্রোফোনের মতো। চিত্র 13.16 লক্ষ্য করলে আপনি দেখতে পত্রাবেন যে, এর চুম্বকটি বাটির আকৃতি, একটি মেরু বলয়াকৃতি এবং বাটির অক্ষ বরাবর একটি দণ্ডই অন্য মেরু। শক্ত কাগজের তৈরি একটি শঙ্কু আকৃতির পর্দার সঙ্গে আটকানো স্বরকুণ্ডলী দুটি চৌম্বক মেরুর মধ্যে সমাক্ষভাবে থাকে। শঙ্কুর বাইরের প্রান্ত ঢেউ খেলানো (corrugated) এবং তার বেড়টি আবদ্ধ থাকে। পর্দার কেন্দ্রীয় অঞ্চলটিও ঢেউ খেলানো কাগজ বা অন্য কোনও নরম পর্দার সাহায্যে স্পিকারের প্রকোষ্ঠের সঙ্গে আটকে রাখা হয়।



চিত্র : 13.16

স্বরকুণ্ডলীতে শব্দসংকেতের বিদ্যুৎপ্রবাহ পাঠানো হলে চৌম্বকক্ষেত্র প্রবাহের দিক ও মান অনুযায়ী কুণ্ডলীর উপর বল প্রয়োগ করে। এর ফলে স্বরকুণ্ডলীটি এবং তার সঙ্গে সমগ্র পর্দাটি সমাক্ষভাবে সামনে পিছনে কম্পিত হয়। এই কম্পনই স্পিকার থেকে শব্দ উৎপন্ন করে। শঙ্কু পর্দাটির ব্যাস বেশ বড়, প্রায় 20-25 cm পর্যন্ত হওয়ায় পর্দার কম্পন অনেকটা বায়ুতে সঞ্চালিত হয়, যার ফলে উৎপন্ন শব্দটি আমরা বেশ জোরে শুনতে পাই।

নিম্ন কম্পাঙ্কে শঙ্কু পর্দাটির সবটাই একত্রে কম্পিত হয়। কিন্তু উচ্চ কম্পাঙ্কে পর্দাটি এক বা একাধিক নিস্পন্দ বৃত্ত দ্বারা বিভক্ত হয়। বাইরের অঞ্চলগুলিতে কম্পনের বিস্তার কম থাকে। শব্দ প্রধানত কেন্দ্রীয় অঞ্চল থেকেই বিকীর্ণ হয়। সাধারণত একটি লাউডস্পিকার উচ্চ ও নিম্ন উভয় কম্পাঙ্কে যথেষ্ট শব্দক্ষমতা বিকীর্ণ করতে পারে না। এজন্য একই সঙ্গে অন্তত দুইটি স্পিকার ব্যবহার করা হয় যার মধ্যে নিম্ন কম্পাঙ্কের স্পিকারটির শঙ্কু পর্দা বড় এবং উচ্চ কম্পাঙ্কের স্পিকারটির শঙ্কুপর্দা অপেক্ষাকৃত ছোট হয়। একটি ইলেকট্রিনিক নির্বাচক বর্তনী বিবর্ধক থেকে আসা শব্দ সংকেতের নিম্ন ও উচ্চ কম্পাঙ্ক উপাংশগুলিকে পৃথক করে সেগুলিকে যথাযথভাবে দুই স্পিকারে চালিত করে। আপনি হয়ত লাউডস্পিকার বাক্সে বড় উফার (woofer, কুকুরের ডাকের সাদৃশ) ও ছোট টুইটার (tweeter, পাখির ডাকের সদৃশ) স্পিকার দেখেছেন। এগুলির প্রয়োজনীয়তা এবার আপনি উপলব্ধি করতে পারছেন।

এবার মাইক্রোফোন এবং লাউডস্পিকার সম্বন্ধে একটি অনুশীলনীর জবাব দিন।

**অনুশীলনী- 4 :**

(i) ধারক মাইক্রোফোনের তুনলায় কার্বন মাইক্রোফোনের একটি সুবিধা ও একটি অসুবিধা লিখুন।

(ii) উত্তম মাইক্রোফেনের কোন্ কোন্ গুণ থাকা উচিত?

(iii) লাউডস্পিকারের শব্দ-উৎপাদন সাড়া, উৎপন্ন শব্দের বিকৃতি ও বিকিরণের দিষ্টতা কেমন হওয়া উচিত বলে আপনি মনে করেন?

(iv) উভার ও টুইটার স্পিকারের কাজ কী?

## 13.7 সারাংশ

এই এককটিতে শব্দ অভিলেখন ও পুনর্জননের প্রচলিত প্রযুক্তিগুলির সম্বন্ধে একটি সংক্ষিপ্ত বিবরণ দেওয়া হয়েছে। প্রথমেই ঊনবিংশ শতাব্দীর মাঝামাঝি থেকে আজ পর্যন্ত শব্দ প্রযুক্তির যে সব যুগান্তকারী আবিষ্কার ও উন্নয়ন ঘটেছে, সেগুলির একটি কালানুক্রমিক তালিকা দেওয়া হয়েছে। এর পর গ্রামাফোন রেকর্ডে অভিলেখনের যান্ত্রিক পদ্ধতি, চৌম্বক ফিতায় অভিলেখনের চৌম্বক পদ্ধতি এবং সবাক চলচ্চিত্রের ফিল্ম ও আলোকীয় ডিস্কে অভিলেখনের আলোকীয় পদ্ধতির পৃথক পৃথক বর্ণনা দেওয়া হয়েছে। প্রতিটি ক্ষেত্রে শব্দ পুনর্জননের ব্যবস্থাটিও আমরা আলোচনা করেছি।

আলোকীয় ডিস্কে যে ডিজিট্যাল পদ্ধতি ব্যবহৃত হয় তা চৌম্বক ফিতা এবং চলচ্চিত্রের ফিল্মেও ব্যবহৃত হচ্ছে। শব্দ অভিলেখন ও পুনর্জননের ক্ষেত্রে এটিই বর্তমানে প্রচলিত পদ্ধতি। সুতরাং, নতুন এই প্রযুক্তির সঙ্গে আপনাকে পরিচিত করতে এর মূল নীতিটি পৃথকভাবে আলোচনা করা হয়েছে।

যে কোন শব্দ প্রযুক্তিতেই মাইক্রোফোন এবং লাউডস্পিকার অত্যন্ত গুরুত্বপূর্ণ ও অপরিহার্য আনুষঙ্গিক যন্ত্র। তাই এগুলি সম্বন্ধেও পৃথকভাবে আলোচনা করা হয়েছে।

এই এককে যন্ত্রাবলীর বিভিন্ন অংশের পুঙ্খানুপুঙ্খ বর্ণনার চেয়ে পদার্থবিদ্যার দৃষ্টিকোণ থেকে সেগুলির কার্যনীতির ব্যাখ্যায় বেশি জোর দেওয়া হয়েছে। এটি হয়ত আপনার দৃষ্টি এড়ায়নি।

## 13.8 সর্বশেষ প্রশ্নাবলী

1. গ্রামাফোন রেকর্ডে শব্দ অভিলেখন পদ্ধতির সংক্ষিপ্ত বর্ণনা দিন।

2. যান্ত্রিক পুনর্জনন ব্যবস্থায় পিক-আপ নির্মাণে যে প্রযুক্তি ব্যবহৃত হয়, মাইক্রোফোন যন্ত্রও সেই প্রযুক্তিগুলির উপর নির্ভর করেই কাজ করে। — এই উক্তির সমর্থনে যুক্তি দেখান।

3. গ্রামাফোন রেকর্ডের তুলনায় চৌম্বক ফিতা ব্যবহারের সুবিধা কী কী?

4. টেপরেকর্ডার যন্ত্রের কার্যপ্রণালী সংক্ষেপে বর্ণনা করুন।

5. সবাক চলচ্চিত্রে কীভাবে শব্দের অভিলেখন ও পুনর্জনন করা হয়?

6. শব্দ অভিলেখন ও পুনর্জননের ডিজিট্যাল পদ্ধতির বিবরণ দিন।

7. কমপ্যাক্ট ডিস্ক বা আলোকীয় ডিস্কে কিভাবে শব্দ অভিলিখিত হয় এবং এগুলি থেকে কীভাবে শব্দের পুনর্জনন ঘটানো হয়?

8. প্রচলিত কোনও এক ধরনের মাইক্রোফোনের গঠন ও কার্যনীতির বর্ণনা দিন।

9. সাধারণ লাউডস্পিকারের গঠন ও কার্যপদ্ধতি বর্ণনা করুন।

## 13.9 উত্তরমালা

**অনুশীলনী :**

1. (i) বৈদ্যুতিক পিক-আপ প্রধানত চার প্রকারের হয় : (a) তড়িৎচুম্বকীয়, (b) চাপবৈদ্যুতিক বা পিজোইলেকট্রিক, (c) রোধ ও (d) ধারকীয়।

(ii) শব্দের পর্যায় কাল সেকেন্ড। এই সময়ে রেকর্ডটি = = 0·0067 রেডিয়ান কোণে ঘুরবে। সুতরাং, শব্দের একটি পূর্ণ পর্যায়, $0{\cdot}0067 \times 12$ অর্থাৎ $0{\cdot}081\text{cm}$ দৈর্ঘ্য জুড়ে থাকবে।

2. (i) লৌহের অক্সাইড $Fe_0O_3$ ও ক্রোমিয়াম ডাই-অক্সাইড।

(ii) এ সি বায়াস অভিলেখন পদ্ধতি ব্যবহার করলে সংকেতের তুলনায় অপশব্দের পরিমাণ অনেক কম হয় এবং এর ফলে অভিলেখনের উৎকর্ষ বাড়ে।

(iii) প্লে-ব্যাক হেড যে বিভব উৎপন্ন করে তা সাধারণত অভিলিখিত শব্দের কম্পাঙ্কের সমানুপাতী হয়, যার ফলে উচ্চ কম্পাঙ্কের শব্দগুলি বেশি জোরে শোনা যায়। এতে মিশ্রিত কম্পাঙ্কের স্বর বিকৃত শোনায়। এই বিকৃতি রোধ করার জন্যই সমানীকরণের প্রয়োজন হয়।

(iv) স্টিরিও অভিলেখনে সাধারণ অভিলেখনের দ্বিগুণ সংখ্যক শব্দলিপির প্রয়োজন হয় অর্থাৎ, সোজামুখে দুইটি ও বিপরীতমুখে দুইটি, মোট চারটি শব্দলিপি থাকে।

3. (i) পরিবর্তী ঘনত্ব অভিলেখনে রেখাচিত্রটি সূক্ষ্ম না হলে তার মধ্য দিয়ে ফিল্মের উপর আপতিত আলো অনেকটা প্রস্থ জুড়ে থাকবে। এর ফলে অভিলেখনের সময় চলমান ফিল্মের যে কোনও বিন্দুতে বেশ কিছুক্ষণ সময় ধরে আলো পড়বে এবং ঐ সময়ের মধ্যে আলোর তীব্রতায় শব্দ সংকেত অনুযায়ী কম বেশি ঘটলেও অভিলিখিত শব্দলিপিটিতে ঐ সময়ের গড় তীব্রতা অনুযায়ী কালিমার ঘনত্ব দেখা যাবে। এতে বিশেষ করে উচ্চতর কম্পাঙ্কগুলির অভিলেখন যথার্থ হবে না।

(ii) পাশাপাশি দুইটি শব্দলিপির ব্যবহারে অবাঞ্ছিত অপশব্দ কমানো যায়। প্রয়োজনে এই দুইটি শব্দলিপিকে স্টিরিওফোনিক শব্দ অভিলেখনের জন্য ব্যাবহার করা যায়।

(iii) কম সংখ্যক বিটের সংখ্যা ব্যবহার করলে তীব্রতা ব্যাপ্তি অপেক্ষাকৃত কম এবং শব্দের বিকৃতি অপেক্ষাকৃত বেশি হতো।

(iv) আলোকীয় ডিস্কে খোদিত গর্তগুলি অত্যন্ত ক্ষুদ্র হয়। একমাত্র লেজার রশ্মিই গর্তগুলির আকারের সঙ্গে তুলনীয় প্রস্থচ্ছেদের হতে পারে।

4. (i) **সুবিধা :** শক্তিশালী বৈদ্যুতিক সংকেত।

**অসুবিধা :** কম্পাঙ্ক—সাড়া অসম, ফলে শব্দের অবিকলতা কম।

(ii) 13.6.1 অংশে আপনি এব সম্পূর্ণ উত্তর পাবেন।

(iii) ও (iv) 13.6.2 অংশে এ সম্বন্ধে আলোচনা দেখে নিন।

## সর্বশেষ প্রণালী

1. 13..3.1 অংশে আপনি এ সম্বন্ধে পড়েছেন।
2. 13.3.2 এবং 13.6.1 অংশ দেখে নিন। লক্ষ্য করুন যে, পিক-আপ এবং মাইক্রোফোন— উভয় যন্ত্রের গঠনেই একই প্রযুক্তি যথা (i) চাপবৈদ্যুতিক বা পিজোইলেকট্রিক ক্রিয়া; (ii) কার্বন দানার উপর চাপের সঙ্গে রোধের পরিবর্তন; (iii) ধারকের দুই পাতের মধ্যে ব্যবধানের তারতম্যের ফলে ধারকত্বের পরিবর্তন ও (iv) তড়িৎচুম্বকীয় ক্রিয়া ব্যবহৃত হয়।

3 ও 4. 13.4 অংশে এ বিষয়ে আলোচনা করা হয়েছে।

5. 13.5.1 অংশে আপনি এ বিষয়ে পড়েছেন।

6 ও 7. 13.5.2 অনুচ্ছেদে এ বিষয়ে আলোচনা করা হয়েছে।

8. 13.6.1 অংশে বিভিন্ন ধরনের মাইক্রোফোনের গঠন ও কার্যনীতি সম্বন্ধে আলোচনা করা হয়েছে।

9. 13.6.2 অংশটি দেখে নিন।

# একক 14 বাক্ ও শ্রুতি (Speech and Hearing)

গঠন

14.1 প্রস্তাবনা

উদ্দেশ্য

14.2 বাক্ ও বাগ্‌যন্ত্র

14.3 কণ্ঠস্বরে ক্ষমতার বহিঃপ্রবাহ

14.4 কান

14.4.1 কানের গঠন

14.4.2 কান কীভাবে কাজ করে

14.4.3 কানের শ্রবণশক্তির বৈশিষ্ট্য ও সীমাবদ্ধতা

14.4.4 শব্দের প্রাবল্যমাত্রা

14.4.5 শ্রোতানির্ভর প্রবলতা

14.4.6 মিশ্র কম্পাঙ্কের শব্দ

14.4.7 সুর ও স্বরের তীক্ষ্ণতা।

14.5 স্বরকম্প, শ্রুতি উপসুর ও যুক্তস্বন

14.6 দ্বি-কর্ণীয় দিক নির্ণয়

14.7 সারাংশ

14.8 সর্বশেষ প্রশ্নাবলী

14.9 উত্তরমালা

## 14.1 প্রস্তাবনা

এই পাঠক্রমের পূর্ববর্তী এককগুলিতে আমরা শব্দতরঙ্গের উৎপত্তি, শব্দের নানাবিধ ধর্ম, একস্থান থেকে অন্যস্থানে শব্দতরঙ্গের সঞ্চরণ, শব্দের সংরক্ষণ ও পুনর্গঠন এবং আনুষাঙ্গিক কয়েকটি বিষয়ে আলোচনা করেছি। সুরেলা শব্দের বৈশিষ্ট্য সম্পর্কে আপনি যেমন কিছুটা জানতে পেরেছেন, তেমনই সুরহীন শব্দ বা অপস্বর কী, তাও আপনার নজরে এসেছে। কিন্তু এগুলি ছাড়াও আর এক প্রকারের প্রাকৃতিক শব্দ আছে যার মাধ্যমে আমরা পরস্পরের মধ্যে ভাব বিনিময় করি। আপনি হয়ত অনুমান করতে পারছেন, এখানে আমরা কোন ধরনের শব্দের কথা বলছি। এটি হল বাক্ বা আমাদের কণ্ঠনির্গত শব্দ। এই শব্দ উৎপন্ন হয় এবং এর বৈশিষ্ট্যগুলি কী, সে বিষয়ে আপনার নিশ্চয়ই কিছুটা অনুসন্ধিৎসা আছে।

অপরপক্ষে, যে কোনও উচ্চারিত শব্দ বা সঙ্গীতের সার্থক পরিণতি তার শ্রবণে। কোনও শব্দ অভিলিখিত (recorded) হলেও তা তখনই সার্থক হয় যখন সেই শব্দ পুনর্গঠিত হয় এবং আমরা সেটি শুনি। আমাদের শ্রবণেন্দ্রিয় বা কর্ণের গঠন ও কার্যপ্রণালী এবং বিভিন্ন কম্পাঙ্ক ও তীব্রতার শব্দের প্রতি আমাদের শ্রবণযন্ত্র কীভাবে সাড়া দেয়, সেটিও আমাদের কৌতুহল জাগ্রত করে।

এই এককটিতে আমরা মনুষ্যদেহের শব্দসৃষ্টি ও শব্দানুভূতির জটিল অথচ অত্যন্ত কার্যকরী দুইটি যন্ত্র—বাগ্‌যন্ত্র ও কানের গঠন ও কার্যপদ্ধতি সম্বন্ধে আলোচনা করব। এখানে আপনি বিশেষ করে লক্ষ্য করবেন যে, অন্য যে কোনও শব্দের মত মানুষের কণ্ঠস্বরও মাইক্রোফোন, অ্যামপ্লিফায়ার, অসিলোস্কোপ প্রভৃতি যন্ত্রের সাহায্যে সম্পূর্ণ ব্যক্তি নিরপেক্ষভাবে বিশ্লেষণ করা সম্ভব। কিন্তু কোন শব্দ মানুষের শ্রবণেন্দ্রিয় দ্বারা শ্রুত ও বৈদ্যুতিক সঙ্কেতের রূপে নার্ভ সমূহের দ্বারা মস্তিষ্কে প্রেরিত হয়ে কোন্ অনুভূতি সৃষ্টি করে, তার বর্ণনা ও বিশ্লেষণ কেবলমাত্র শ্রোতার উপলব্ধির উপর নির্ভর করেই করা সম্ভব। এই বর্ণনা বা বিশ্লেষণ একান্তই ব্যক্তিনির্ভর এবং এগুলি এক ব্যক্তি থেকে অন্য ব্যক্তির ক্ষেত্রে কিছুটা ভিন্ন হওয়া অসম্ভব নয়।

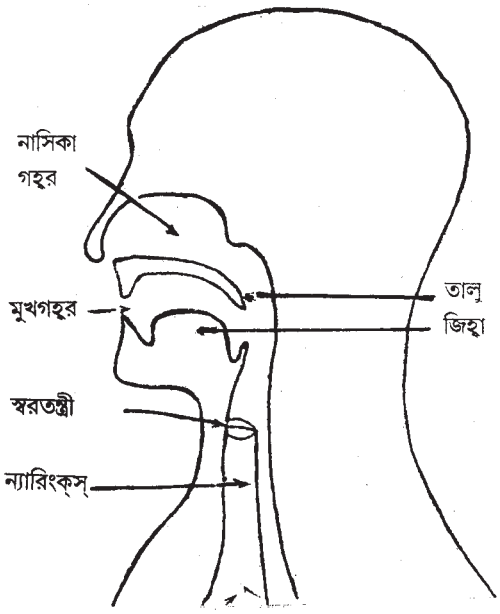
**উদ্দেশ্য ঃ**

এই এককটি পাঠ করলে, আশা করা যায় যে আপনি—

- মানুষের বাগ্‌যন্ত্র এবং শ্রবণযন্ত্র অর্থাৎ কানের গঠন বর্ণনা করতে পারবেন এবং এগুলির প্রতিটি অংশের কার্য ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- কণ্ঠস্বরে বিভিন্ন কম্পাঙ্কের উপাংশের উপস্থিতি এবং সেগুলির মধ্যে ক্ষমতার বন্টনের বিবরণ দিতে পারবেন।
- বিভিন্ন কম্পাঙ্কে কোন্ নিম্নতম তীব্রতার শব্দ আমরা শুনতে সক্ষম হই এবং কোন্ তীব্রতায় শব্দ আমাদের কর্ণে অস্বস্তির সৃষ্টি বা ক্ষতিসাধন করে, সে বিষয়ে নিজে অবহিত হতে ও অপরকে অবহিত করতে পারবেন।
- শব্দের তীব্রতার সঙ্গে প্রাবল্যমাত্রা ও শ্রোতানির্ভর প্রবলতাকে সম্পর্কিত করতে, দুটির মধ্যে পার্থক্য ব্যাখ্যা করতে এবং 'ফন' ও 'সোন' এককগুলির সংজ্ঞা দিতে পারবেন।
- মিশ্র কম্পাঙ্কের শব্দের তীব্রতার বন্টন জানা থাকলে প্রত্যাশিত প্রবলতা গণনা করতে পারবেন।
- সুরের কম্পাঙ্ক ও তীক্ষ্ণতার মধ্যে সম্পর্ক ব্যাখ্যা করতে পারবেন এবং তীক্ষ্ণতার একক 'মেল' এর সংজ্ঞা দিতে পারবেন।
- স্বরকম্প, শ্রুতি উপসুর ও যুক্তস্বনের উৎপত্তির বৈজ্ঞানিক ব্যাখ্যা দিতে পারবেন এবং
- আমরা কীভাবে দুই কানের সাহায্যে শব্দ উৎসের অবস্থান নির্ণয় করি তা বোঝাতে পারবেন।

## 14.2 বাক্ ও বাগ্‌যন্ত্র

জটিল দেহযন্ত্রের মধ্যে মানুষের বাগ্‌যন্ত্র নিজেই একটি অত্যন্ত কার্যকর যান্ত্রিক ব্যবস্থা। আপনি যদি একবার ভেবে দেখেন যে, বিভিন্ন কম্পাঙ্কের ও তীব্রতার কত বিচিত্র রকমের শব্দ এই বাগ্‌যন্ত্র থেকে নির্গত হয় তবে আপনি এই যন্ত্রটির কর্মকুশলতায় আশ্চর্য না হয়ে পারবেন না। 14.1 চিত্রে মানুষের বাগ্‌যন্ত্রের বিভিন্ন অংশগুলি দেখানো হয়েছে।

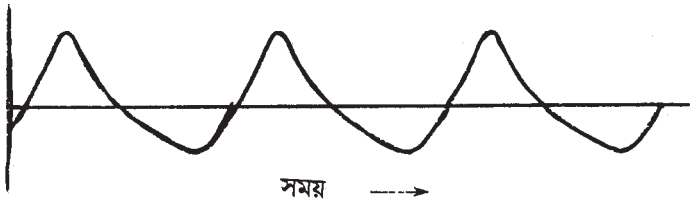



চিত্র : 14.1 মানুষের বাগ্‌যন্ত্র ফুসফুস থেকে বায়ু স্রোত

শব্দ উৎপাদনে শক্তির মূল উৎস আমাদের বুকের মাংসপেশি। এই মাংসপেশির সংকোচনের ফলে ফুসফুস থেকে বায়ুস্রোত শ্বাসনালীর (trachea) মধ্য দিয়ে বাগ্‌যন্ত্র বা ল্যারিংস-এ (larynx) প্রবেশ করে। এই বায়ুস্রোতের প্রবাহ নিয়ন্ত্রণের দ্বারা অর্থাৎ বায়ুর বেগ ও চাপের তারতম্য ঘটিয়েই আমরা শব্দ উৎপাদন করি।

বায়ুস্রোতের এই নিয়ন্ত্রণ (modulation) দু'ভাবে ঘটানো হয়। ল্যারিংসের উপরের প্রান্ত দুটি পর্দার মতো স্বরতন্ত্রী (vocal cord) দিয়ে আচ্ছাদিত থাকে। স্বরতন্ত্রী দুটির মাঝখানে যে রেখাছিদ্র (slit) থাকে, সেটির খোলা ও বন্ধ হওয়ার ফলে ল্যারিংসের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত বায়ুস্রোতে তারতম্য ঘটে। আমাদের সাধারণ কথাবার্তা, বা গান গাওয়ার সময় এই স্বরতন্ত্রীগুলি কাজ করে এবং এই শব্দগুলিকে আমরা ঘোষধ্বনি (voice) বলি। স্বরতন্ত্রীর মধ্য দিয়ে নির্গত বায়ুস্রোতের শব্দচাপের অর্থাৎ গড় বায়ুচাপের অতিরিক্ত চাপের করাত-দাঁত তরঙ্গের মতো তারতম্য ঘটে।

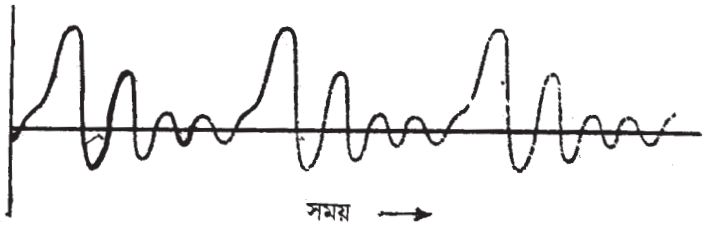
সময়ের সঙ্গে এই শব্দচাপের ওঠানামা 14.2(a) লেখচিত্রে দেখানো হয়েছে। চাপের এই তারতম্যের কম্পাঙ্ক স্বরতন্ত্রীর টান ও দৈর্ঘ্যের উপর নির্ভর করে। এ বিষয়ে হয়ত টানা তারের সঙ্গে স্বরতন্ত্রীর আচরণে আপনি মিল লক্ষ্য করবেন। স্বরতন্ত্রীর দৈর্ঘ্য পুরুষের ক্ষেত্রে প্রায় 2.5 cm এবং নারীর ক্ষেত্রে 1.5 cm হয়। এই দৈর্ঘ্য কম হওয়ার ফলে নারীকণ্ঠের কম্পাঙ্ক স্বাভাবিকভাবে পুরুষের তুলনায় বেশি হয়। স্বরতন্ত্রীর টান বাড়লে উচ্চারিত স্বরের তীক্ষ্ণতা বাড়ে এবং গান গাওয়ার সময় আমরা অভ্যাসবশতই স্বরতন্ত্রীর টান কমিয়ে বাড়িয়ে থাকি।




চিত্র : 14.2 (a) স্বরতন্ত্রী থেকে নির্গত বায়ুর শব্দ চাপ।

স্বরতন্ত্রী থেকে নির্গত হওয়ার পর নিয়ন্ত্রিত চাপের বায়ু কণ্ঠ (throat) মুখগহ্বর ও নাসিকা গহ্বরে প্রবেশ করে। এই গহ্বরগুলির আকার ও আকৃতি জিহ্বা, ওষ্ঠ ও দন্তের দ্বারা পরিবর্তিত করা যায় এবং তার দ্বারা বায়ুপ্রবাহকে আরও নিয়ন্ত্রিত করে আমরা নানা ধরনের ঘোষধ্বনি উৎপন্ন করি। আপনি নিজে কথা বলার সময় জিহ্বা, ওষ্ঠ ও দন্তের অবস্থানের পরিবর্তন লক্ষ্য করে দেখতে পারেন। 'আ' স্বরধ্বনি উচ্চারণের সময় শব্দচাপে যে ধরনের পরিবর্তন ঘটে তা 14.2(b) চিত্রে দেখানো হয়েছে।

ঘোষধ্বনি ছাড়াও আমরা শ্বাসধ্বনি (breath sound) বা ফিসফিসানি হিসাবে পরিচিত আর এক ধরেনর শব্দ করে থাকি। এগুলির জন্য স্বরতন্ত্রীকে কোনও কাজ করতে হয় না। বায়ুস্রোত সরাসরি মুখগহ্বর প্রভৃতির মধ্য দিয়ে নিয়ন্ত্রিত হয়ে নির্গত হয় এবং অনেক অল্প তীব্রতার শব্দ উৎপন্ন করে। বায়ু প্রবাহের ঘর্ষণ দ্বারা (fricative) উৎপন্ন ব্যঞ্জনধ্বনি 'ফ' (f) ও 'স' (s) এবং স্পর্শবর্ণ 'প্, ট্ ও ক্ - ও এইভাবে উৎপন্ন হয় অর্থাৎ এগুলির ক্ষেত্রে স্বরতন্ত্রীগুলি নিষ্ক্রিয় থাকে।



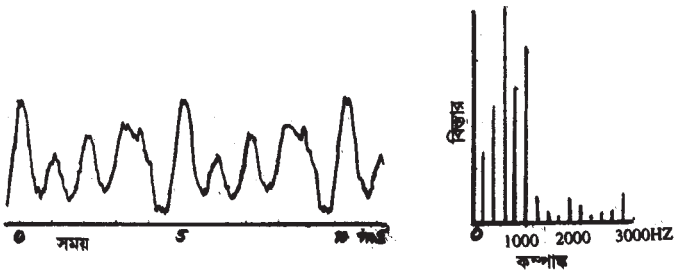
চিত্র : 14.2 (b) 'আ' স্বরধ্বনির শব্দচাপ।

## 14.3 কণ্ঠস্বরে ক্ষমতার বহিঃপ্রবাহ (Power output) :

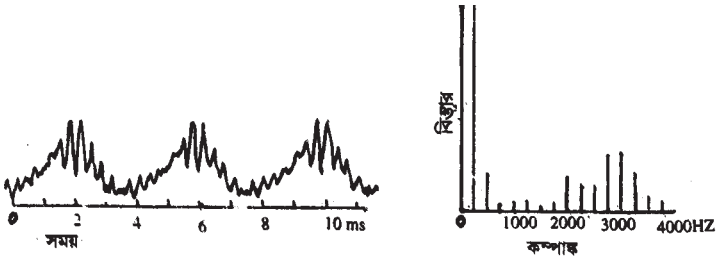
আপনি জানেন যে, শব্দতরঙ্গ শক্তি পরিবাহিত করে। এজন্য শব্দ সৃষ্টি করার জন্য বক্তাকে ক্ষমতা ব্যয় করতে হয়। সাধারণ কথোপকথনের সময় যে ক্ষমতা ব্যয় হয় তার মান অতি দ্রুত ওঠানামা করে। কয়েক সেকেন্ড সময়ের জন্য গড় নির্ণয় করে দেখা যায় যে, সাধারণ কথাবার্তায় প্রায় $10\mu$W (মাইক্রোওয়াট) ক্ষমতা শব্দ দ্বারা বাহিত হয়। স্বরতন্ত্রীর ওপর সহনক্ষমতার অতিরিক্ত পীড়ন সৃষ্টি না করে আমরা গড়ে প্রায় 200 Wক্ষমতাবাহী শব্দ উৎপন্ন করতে পারি। সজোরে চিৎকার করলে এই ক্ষমতার পরিমাণ 100 W এ পৌঁছয়। অরপরক্ষে আমরা যখন ফিসফিস করে কথা বলি তখন যে ক্ষমতা বাহিত হয়, তার মান মাত্র 0·001 W। যদি দীর্ঘ সময়ের উপর গড় ক্ষমতা না ধরে আপনি একটি অক্ষর (syllable) উচ্চারণ করতে যেটুকু সময় লাগে অর্থাৎ প্রায় 0·2 সেকেন্ড সময়ের মধ্যে কণ্ঠস্বরবাহিত ক্ষমতার পরিমাপ করেন, তবে তার মানে অনেকটা হ্রাস-বৃদ্ধি লক্ষ্য করবেন। উদাহরণস্বরূপ, 'ও' স্বরবর্ণটি উচ্চারণের সময় ক্ষমতা যদি 50 W হয় তবে ইংরাজী 'v' ব্যঞ্জনবর্ণ উচ্চারণের সময় এই ক্ষমতা মাত্র, 0·03 W - এ দাঁড়ায়।

বহু বিজ্ঞানী মানুষের কণ্ঠস্বরে বিভিন্ন কম্পাঙ্কের স্বরের উপস্থিতি ও সেগুলির ক্ষমতার তুলনামূলক মানের উপর গবেষণা করেছেন। জার্মান বিজ্ঞানী ট্রেন্ডেলেনবুর্গের (1924) গবেষণার একটি ফল আলোচনা করা যাক। পুরুষ ও মহিলা কণ্ঠে 'ই' বা '*t*' স্বরবর্ণটি উচ্চারিত হলে বায়ুতে যে কম্পন সৃষ্টি হয় তার লেখচিত্র 14.3(a) ও (b) চিত্রে দেখানো হয়েছে। এখানে পুরুষকণ্ঠের মূল কম্পাঙ্ক 200Hz এবং মহিলা কণ্ঠের মূল

কম্পাঙ্ক প্রায় 250Hz। লেখচিত্র দুইটির ফুরিয়ে বিশ্লেষণ করলে বিভিন্ন ফুরিয়ে উপাংশের যে বিস্তার পাওয়া যায়, সেগুলিও পাশের স্তম্ভচিত্রে দেখানো আছে। পুরুষ ও মহিলাকণ্ঠে একই স্বর উচ্চারিত হলে কম্পনের যে গুণগত প্রভেদ থাকে, তা নিশ্চয়ই আপনার দৃষ্টি এড়াবে না। কিন্তু লক্ষ্য করলে দেখবেন, দুই ক্ষেত্রেই3000Hz কম্পাঙ্কে বেশ শক্তিশালী ফুরিয়ে উপাংশ রয়েছে, যেটি 'ই' স্বরবর্ণটির একটি বৈশিষ্ট্য। অন্যান্য গবেষকরাও দেখেছেন যে, প্রতি স্বরবর্ণের ক্ষেত্রেই মূল কম্পাঙ্ক যাই হোক, একটি বা দুইটি উচ্চতর কম্পাঙ্কে সর্বদাই শক্তিশালী ফুরিয়ে উপাংশের উপস্থিতি লক্ষ্য করা যায়।




চিত্র 14.3(a) : পুরুষ কণ্ঠে 'ই' স্বরবর্ণের কম্পন ও ফুরিয়ে উপাংশগুলির বিস্তার। (মূলসুরের কম্পাঙ্ক 200Hz)




চিত্র 14.3(b) : মহিলাকণ্ঠে 'ই' স্বরবর্ণের কম্পন ও ফুরিয়ে উপাংশগুলির বিস্তার (মূলসুরের কম্পাঙ্ক 250Hz)

স্বাভাবিক কথোপকথনে ধ্বনি ক্ষমতা কম্পাঙ্কের এক বিস্তৃত পাল্লার মধ্যে বন্টিত থাকে। পুরুষকণ্ঠের ক্ষেত্রে প্রায় 500Hz কম্পাঙ্কে সর্বাধিক ক্ষমতা বাহিত হতে দেখা যায়। নিম্নতর কম্পাঙ্কে 100Hz পর্যন্ত ক্ষমতা বিশেষ হ্রাস না পেলেও উচ্চতর কম্পাঙ্কে বাহিত ক্ষমতা অপেক্ষাকৃত দ্রুত হ্রাস পায় । তবে ক্ষমতা কম হলেও উচ্চতর কম্পাঙ্কগুলিই উচ্চারিত শব্দকে সুবোধ্য করে। স্বরতন্ত্রীর মূলসুরের নিম্নকম্পাঙ্কগুলি বরং উচ্চতর কম্পাঙ্কগুলির বাহক হিসাবে কাজ করে।

এ পর্যন্ত যা পড়লেন তাতে হয়ত বুঝেছেন যে, আমাদের কণ্ঠনিঃসৃত শব্দের তীব্রতা এবং কম্পাঙ্ক—উভয়েরই পাল্লা খুব বড়। আমরা যে শ্রবণেন্দ্রিয় দিয়ে এত বিচিত্র শব্দগ্রহণ ও উপলব্ধি করি, তার দক্ষতাও বড় কম নয়। আমরা এর পরের অংশে এই শ্রবণেন্দ্রিয় অর্থাৎ কর্ণ সম্বন্ধে আলোচনা করব। তবে তার আগে আপনার জন্য একটি সহজ অনুশীলনী রইল।

**অনুশীলনী — 1 :**

(i) স্বরতন্ত্রীকে ব্যবহার না করে আমরা কী কথা বলতে পারি?

(ii) সাধারণ কথাবার্তায় আমরা কী পরিমাণ ক্ষমতার শব্দ সৃষ্টি করি?

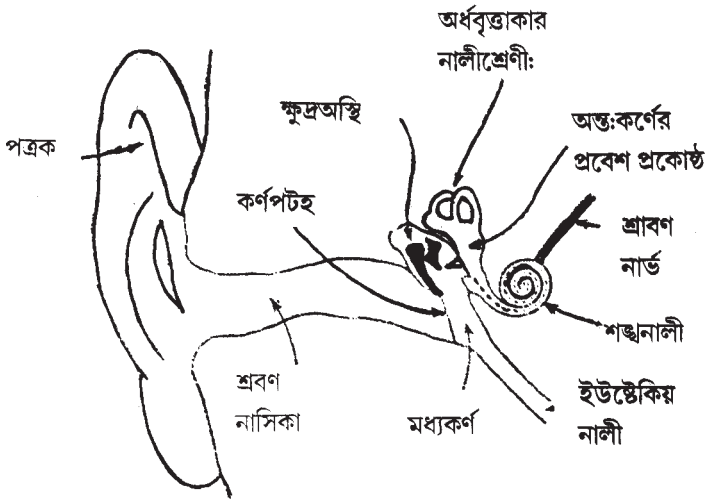
## 14.4 কান

আমাদের মস্তকের দুইপাশে অবস্থিত দুইটি কান আমাদের শ্রবণেন্দ্রিয়। কান বায়ু বা অন্য কোনও মাধ্যমে শব্দতরঙ্গকে প্রথমে যান্ত্রিক কম্পনে পরিণত করে এবং তারপর বৈদ্যুতিক সঙ্কেতে পরিণত ক'রে নার্ভ তন্তুর দ্বারা মস্তিষ্কে প্রেরণ করে। সমস্ত স্তন্যপায়ী জীবের কানের গঠন একই ধরনের। অবশ্য ব্যাং এবং কোনও কোনও গিরগিটি জাতীয় প্রাণীর কানপটহ মাথার উপর অনাচ্ছাদিত অবস্থায় থাকে। আবার মাছেরা তাদের পার্শ্বীয় রেখার (interal line) সাহায্যে জলের মধ্যে শব্দের জন্য কম্পন অনুভব করতে পারে।

আমরা এখানে কেবল মানুষের কানের গঠন ও কার্যপদ্ধতি নিয়ে আলোচনা করব।

### 14.4.1 কানের গঠন

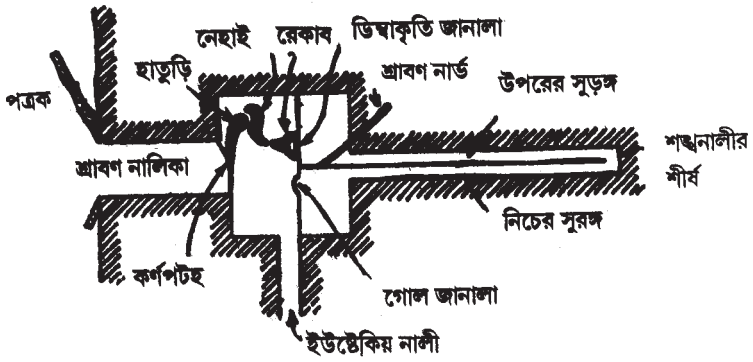
মানুষের কানের তিনটি প্রধান অংশ আছে। এগুলি হল বহিঃকর্ণ, মধ্যকর্ণ ও অন্তঃকর্ণ (চিত্র 14.4)। কানের পত্রক বা পাতা (pinna) যা বাইরে থেকে দেখা যায়, শ্রবণ-নালিকা (auditory canal) ও কর্ণপটহ বা কানের পর্দা (cardrum), এগুলি নিয়েই বহিঃকর্ণ গঠিত। কর্ণপটহের অভ্যন্তরে মধ্যকর্ণে আছে একটি বায়ুপূর্ণ গহ্বর, যার মধ্যে তিনটি ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র অস্থি (ossicle) পেশি ও সন্ধিবন্ধনীর (ligament) দ্বারা সন্নিবিষ্ট থাকে। আকৃতিতে মিল থাকার জন্য অস্থিগুলির নাম হাতুড়ি (malleus), নেহাই (incus) ও রেকাব (stapes)। হাতুড়ির সুর দিকটি কানের পর্দার সঙ্গে যুক্ত থাকে এবং সন্ধিবন্ধনীর টানের ফলে হাতুড়িটি পর্দাকে সামান্য পরিমাণে ভিতর দিকে টেনে রাখে। আপতিত শব্দতরঙ্গের ফলে পর্দার যে কম্পন হয়, তার ফলে হাতুড়ি, নেহাই ও শেষে রেকাবটি কম্পিত হতে থাকে। রেকাবের একপ্রান্তে পাদানির মতো যে চ্যাপটা পাত থাকে সেটি মধ্যকর্ণ ও অন্তঃকর্ণের মাঝখানে যে ডিম্বাকৃতি জানালা থাকে সেটিকে ঢেকে রাখে। অন্তঃকর্ণটি একপ্রকার তরলে পূর্ণ থাকে এবং রেকাবের কম্পন ঐ তরলে চাপতরঙ্গের সৃষ্টি করে। মধ্যকর্ণের গহ্বর ও কণ্ঠনালী, ইউস্টেকিয় নালী (Eustachian tube) দ্বারা যুক্ত থাকে। এই নালীটি সাধারণভাবে বন্ধ থাকলেও হাই তোলার বা খাদ্য গলাধঃকরণের সময় সেটি খুলে যায় এবং সেটির মধ্য দিয়ে বায়ুচলাচল ক'রে মধ্যকর্ণের ভিতরে বায়ুচাপ বাইরের সমান রাখে।




**চিত্র : 14.4 কানের গঠন**

অন্তঃকর্ণের তিনটি অংশ। এগুলি হল প্রবেশ প্রকোষ্ঠ (vestibule), অর্ধবৃত্তাকার নালীশ্রেণী ও শঙ্খনালী (cochlea)। আগেই জেনেছেন যে, অন্তঃকর্ণের গহ্বরটি তরলে পূর্ণ থাকে। মধ্যকর্ণ ও অন্তঃকর্ণের মাঝখানের

দেওয়ালে ডিম্বাকৃতি জানালা ছাড়াও পাতলা পর্দা দ্বারা আচ্ছাদিত একটি গোল জানালা থাকে, কিন্তু দুটি জানালাই বন্ধ থাকায় ঐ তরল মধ্যকর্ণে যেতে পারে না। তবে রেকাবটি যখন কম্পনের ফলে ডিম্বাকৃতি জানালায় চাপ দেয় তখন গোল জানালার পর্দাটি মধ্যকর্ণের দিকে স্ফীত হয়। এর ফলে চাপতরঙ্গ সহজেই অন্তঃকর্ণের তরলের মধ্যে চলাচল করতে পারে। অর্ধবৃত্তাকার নালীশ্রেণী আমাদের শরীরের ভারসাম্য রক্ষায় সহায়তা করে। তবে শ্রবণকার্যে এগুলির কোনও




চিত্র : 14.5 কর্ণের সরলীকৃত নকশা

ভূমিকা থাকে না। শঙ্খলানীটি শঙ্খের মতো প্যাঁচ দেওয়া গোলাকৃতি প্রস্থচ্ছেদের একটি নালী। 2 প্যাঁচের এই নালীর মোট দৈর্ঘ্য প্রায় 3.1 cm। নালীটির দৈর্ঘ্য বরাবর একটি বিভাজক দেওয়াল (cochlear partition) নালীটিকে পাশাপাশি দুইটি সুড়ঙ্গে বিভক্ত করে। উপরের সুড়ঙ্গটি ডিম্বাকৃতি জানালায় এবং নিচের সুড়ঙ্গটি গোল জানালায় শুরু হয় কিন্তু সুড়ঙ্গ দুইটি অপর প্রান্তে শঙ্খলানীর শীর্ষে একটি ছোট ছিদ্র দ্বারা সংযুক্ত থাকে। বিভাজন দেওয়ালটির গঠন অত্যন্ত জটিল। এটির মধ্যে একাধিক পর্দা থাকে যার মধ্যে একটি হল বেসিলার পর্দা (basilar membrane)। শ্রবণ নার্ভগুলি এই বেসিলার পর্দার মধ্যে প্রবেশ করে এবং নার্ভের সরু সরু চুলের মতো প্রান্তগুলি পর্দাটি থেকে বার হয়ে থাকে।

কর্ণের গঠনটি বুঝতে যাতে আপনার সুবিধা হয়, সেজন্য 14.5 চিত্রে কর্ণের বিভিন্ন অংশের একটি সলরীকৃত নকশা দেখানো হল। এবার দেখা যাক কর্ণ নামক এই জটিল যন্ত্রটি কীভাবে কাজ করে।

## 14.4.2 কান কিভাবে কাজ করে

আমাদের কান একটি অত্যন্ত সুদক্ষ, সংবেদনশীল অথচ শক্তপোক্ত যন্ত্র। অত্যন্ত ক্ষীণ শব্দও আমাদের কর্ণে ধরা পড়ে। বায়ুতে ক্ষীণতম যে শব্দ আমরা শুনতে পাই, তার বাহিত ক্ষমতা মাত্র $10^{-12}Wm^{-2}$ এবং শব্দচাপ $2 \times 10^{-5}Pa$। এই চাপ বায়ুমণ্ডলের চাপের $5 \times 10^{9}$ ভাগের এক ভাগ এবং এই শব্দচাপ 1000Hz কম্পাঙ্কে কাণের পর্দার যে সরণ সৃষ্টি করে তার পরিমাণ মাত্র $10^{-9}cm$। অন্যদিকে, আধুনিক মিউজিক সিস্টেমের শব্দ বা বোমা-পটকার শব্দে আমাদের কর্ণ বিকল হয়ে যায় না, যদিও এ সব ক্ষেত্রে শব্দচাপের মাপ 100Pa ছাড়িয়ে যেতে পারে। এছাড়া এটি যে শুধু 20 থেকে 1500Hz কম্পাঙ্কের শব্দ শুনতে পারে তাই নয়। প্রচণ্ড গোলমালের মধ্যে একটি বিশেষ কম্পাঙ্কের শব্দ এটি চিনে নিতে পারে। কর্ণের এই কর্মক্ষমতা নিশ্চয়ই আপনাকে কিছুটা অবাক করছে।

শ্রবণের প্রক্রিয়ার মধ্যে কানের তিনটি অংশেরই নির্দিষ্ট ভূমিকা আছে। বায়ুবাহিত শব্দতরঙ্গ প্রথমেই

শ্রবণনালিকার মধ্যে প্রবেশ করে। শ্রবণ নালিকার ব্যাস 0·7 cm ও দৈর্ঘ্য প্রায় 2.5 cm। এটির ভিতরের প্রান্ত কর্ণপটহ দ্বারা আচ্ছাদিত থাকায় এটি একটি আবদ্ধ অর্গান নলের মতো আচরণ করে। বায়ুতে শব্দের বেগ $340 ms^{-1}$, প্রান্তীয় ত্রুটির শুদ্ধি ব্যাসের 0.3 গুণ ধরে নিলে এই অর্গান নলের প্রথম অনুনাদ কম্পাঙ্ক

বা প্রায় 3100 Hz। পরীক্ষা করে দেখা গেছে যে, মোটামুটি এই কম্পাঙ্কে সত্যই অনুনাদ ঘটে এবং কর্ণপটহে শব্দচাপ শ্রবণনালিকার প্রবেশপথের তুলনায় 10 ডেসিবেল বেশি হয়। এই অনুনাদ অবশ্য তীক্ষ্ণ নয় এবং 2000 থেকে 6000Hz কম্পাঙ্কের মধ্যেই শব্দচাপের বেশ কিছুটা মানোন্নতি (gain) লক্ষ্য করা যায়। এছাড়া মানুষের মস্তক দ্বারা শব্দতরঙ্গের ব্যবর্তনের (diffraction) ফলেও মুক্ত বায়ুর তুলনায় শ্রবণনালিকার সামনে শব্দচাপ কিছুটা বেশি হয়।

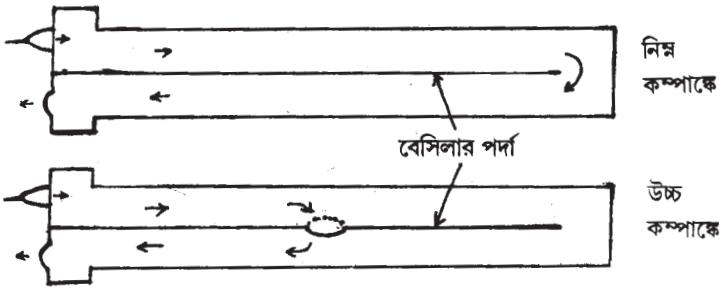
কর্ণপটহের কম্পনের সঙ্গে হাতুড়িটির যে কম্পন হয় তা নেহাই এর মাধ্যমে রেকাবে পৌঁছায়। রেকাবটির অগ্রপশ্চাৎ কম্পন ডিম্বাকৃতি জানালার মধ্য দিয়ে অন্তঃকর্ণের তরলে চাপতরঙ্গ সৃষ্টি করে। পর্দা ও ক্ষুদ্র অস্থিগুলি স্বাভাবিক কম্পনের কম্পাঙ্ক 800 থেকে 1500Hz এর মধ্যে থাকে। তবে এই কম্পন যথেষ্ট অবমন্দিত (damped) হওয়ায় কর্মপটহটি মিশ্রিত কম্পাঙ্কের শব্দতরঙ্গে সঠিকভাবে সাড়া দিতে পারে। উপরন্তু, পটহের স্বাভাবিক কম্পনের ফলে কোন অতিরিক্ত শব্দানুভূতির সৃষ্টি হয় না।

আপনার মনে হতে পারে যে, শোনার জন্য মধ্যকর্ণের কী প্রয়োজন? অর্থাৎ কর্ণপটহের ঠিক ভিতরেই তরলপূর্ণ অন্তঃকর্ণ থাকলেও শব্দ শ্রবণ সম্ভব হতো। এই ধারণাটি ঠিক নয়। প্রথমত, আপতিত শব্দের তীব্রতা অধিক হলে ক্ষুদ্র অস্থিগুলির নিযন্ত্রক মাংসপেশির টান এমনভাবে পরিবর্তিত হয় যে, হাতুড়ির গতি অত্যধিক হলেও রেকাবের গতি তার সমানুপাতী না হয়ে কম হয়, ফলে অন্তঃকর্ণ তীব্র শব্দজনিত ক্ষতি থেকে রক্ষা পায়। দ্বিতীয়ত, কানের পর্দার তুনলায় ডিম্বাকৃতি জানালার ক্ষেত্রফলের অনুপাত প্রায় 30 : 1 এবং বিজ্ঞানীরা মনে করেন যে, ক্ষেত্রফলের এই অনুপাত ও ক্ষুদ্রঅস্থিগুলির সরণের অনুপাত শ্রবণনালিকার বায়ু ও অন্তঃকর্ণের তরলের মধ্যে কিছুটা প্রতিরোধ-মিল (impedance matching) ঘটায়, যাতে রেকাবটি যতদূর সম্ভব অধিক তরঙ্গশক্তি অন্তঃকর্ণের তরলে সঞ্চারিত করতে পারে।

এবার দেখা যাক, শ্রবণপ্রক্রিয়ার মধ্যে অন্তঃকর্ণের ভূমিকা কী শঙ্খনালীর দেওয়াল দৃঢ় এবং অন্তঃকর্ণের তরল অনমনীয় (incompressible) হওয়ায় রেকাবটি যখনই ভিতর দিকে ঢুকে আসে তখনই তরলটি প্রবাহিত হয় ও গোল জানালার আচ্ছাদন বাইরের দিকে সরে যায়। নিম্ন কম্পাঙ্কে তরল শঙ্খনালীর শীর্ষে বেসিলার পর্দায় যে ছিদ্র থাকে তার মধ্য দিয়ে চলাচল করে। কিন্তু অধিক কম্পাঙ্কে উপরের সুড়ঙ্গের তরল বেসিলার পর্দার কোনও এক অংশকে কম্পিত করে, যার ফলে কম্পন সরাসরি নিচের সুড়ঙ্গের তরলে পৌঁছে যায়। 14.6 চিত্র দেখলে প্রক্রিয়াটি আপনার কাছে স্পষ্ট হবে। কম্পাঙ্ক যত বাড়ে, বেসিলার পর্দার কম্পিত অংশটি ততই প্রবেশ প্রকোষ্ঠের কাছাকাছি থাকে।

বেসিলার পর্দার যে কোনও অংশের নড়াচড়া ঘটলে ঐ অংশের চুলের মতো নার্ভ কোষগুলির পীড়ন ঘটে। কোষগুলি তখন পিজোইলেকট্রিক প্রক্রিয়ায় বিভব প্রভেদ সৃষ্টি করে। এই বিভবকে আমরা শঙ্খনালী-বিভব

(cochlear potential) বলি। এই বিভবই নার্ভ দ্বারা মস্তিষ্কে বাহিত হয় এবং শব্দের অনুভূতি সৃষ্টি করে।



চিত্র : 14.6 শঙ্খনালীর মধ্যে তরলের প্রবাহ

সমগ্র প্রক্রিয়াটি জেনে আপনার নিশ্চয়ই মনে হচ্ছে যে, আমাদের কান একটি সুন্দর প্রাকৃতিক মাইক্রোফোন। তবে এই শ্রবণযন্ত্রেরও কিছু কিছু স্বাভাবিক সীমাবদ্ধতা ও নিজস্ব বৈশিষ্ট্য আছে। এরপর আপনি সেগুলি সম্বন্ধে জানতে পারবেন। এখন একটি অনুশীলনীর উত্তর দিতে চেষ্টা করুন।

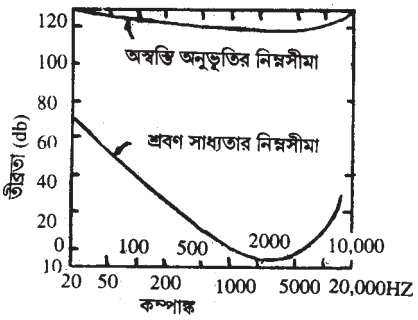
**অনুশীলনী - 2 :**

নিচে দেওয়া কানের অংশগুলি শব্দের অনুভূতি বহনে কোনও না কোনও ভূমিকা পালন করে। এগুলিকে কার্য পরম্পরা অনুযায়ী সাজিয়ে দিন :

1. রেকাব, 2. অন্তঃকর্ণের তরল, 3. হাতুড়ি, 4. শ্রবণ নার্ভ, 4. শ্রবণনালিকা, 6. ডিম্বাকৃতি পর্দা, 7. নেহাই, 8. বেসিলার পর্দা, 9. কানের পর্দা বা কর্ণপটহ।

## 14.4.3 কানের শ্রবণশক্তির বৈশিষ্ট্য ও সীমাবদ্ধতা

আপনি হয়ত জানেন যে, মানুষের কান কেবলমাত্র নির্দিষ্ট একটি পল্লার মধ্যে থাকা কম্পাঙ্কের শব্দ শুনতে পায়। আবার শব্দের তীব্রতা অত্যন্ত অল্প হলে তা যেমন কানে ধরা পড়ে না, তেমনই অত্যুচ্চ তীব্রতার শব্দ কানে যন্ত্রণার সৃষ্টি করে, কখনও কখনও তা বধিরতাও সৃষ্টি করতে পারে।



চিত্র : 14.7 শব্দানুভূতির সীমা

সর্বনিম্ন কোন্ তীব্রতার শব্দ আমাদের শ্রবণসাধ্য হয় এবং সর্বোচ্চ কোন্ তীব্রতা ছাড়িয়ে গেলে সেই শব্দ কানে বিশুদ্ধ শব্দানুভূতির বদলে অস্বস্তি বা কট্‌কটানি সৃষ্টি করে তা শব্দের কম্পাঙ্কের উপর নির্ভর করে। আমাদের কান প্রায় 3000Hz কম্পাঙ্কের শব্দের ক্ষেত্রে সবচেয়ে বেশি সংবেদনশীল। আপনি 14.4.2 অংশে ইতিমধ্যেই পড়েছেন যে, এর কারণ শ্রবণনালিকার মধ্যে শব্দের অনুনাদ। প্রায় 1000 Hz কম্পাঙ্কে সর্বনিম্ন যে তীব্রতার শব্দ আমরা শুনতে সক্ষম হই, সেটিকে আমরা ০ db (ডেসিবেল) তীব্রতা বলে অভিহিত করি। আপনি আগেই জেনেছেন যে, এই তীব্রতার মান $10^{-12}Wm^{-2}$। অবশ্য শ্রবণসাধ্যতার এই নিম্নসীমা ব্যক্তি থেকে ব্যক্তিতে বিভিন্ন হয়, আবার কানের পত্রকের সামনে, অথবা সম্পূর্ণ

খোলা জায়গায় কোথায় তীব্রতা মাপা হয় তার উপরও নির্ভর করে। শব্দ কোন দিকে থেকে আসছে এবং শ্রোতা এক কান দিয়ে শুনছেন না উভয় কান দিয়ে, তার উপরেও এই তীব্রতার মান নির্ভরশীল। 14.7 লেখচিত্রে ডেসিবেলের হিসাবে কম্পাঙ্কের সঙ্গে শ্রবণসাধ্যতার নিম্নসীমা ও অস্বস্তি অনুভূতির নিম্নসীমা দেখানো হয়েছে। এই পরিমাপে বিভিন্ন অনুভূমিক দিক থেকে আসা শব্দের মিশ্রণ ব্যবহৃত হয়েছে এবং শ্রোতার দুই কানই খোলা রাখা হয়েছে। এই লেখচিত্র থেকে আপনি নিশ্চয়ই বুঝতে পারছেন যে, কম্পাঙ্ক 1000 Hz এর নিচে নামলে এই শ্রবণসীমা 0 db থেকে ক্রমশ বাড়তে থাকে। অবশ্য 30 Hz কম্পাঙ্কের নিচে এ ধরনের পরিমাপ নির্ভরযোগ্য থাকে না। অপরপক্ষে, উচ্চকম্পাঙ্কে এই শ্রবণসীমা দ্রুত বৃদ্ধি পায় এবং কম্পাঙ্কের কোন এক ঊর্ধ্বসীমায় শব্দ আর শ্রবণসাধ্য থাকে না। এই ঊর্ধ্বসীমা 30 বছর বয়স পর্যন্ত শ্রোতার ক্ষেত্রে 2000 - 25000 Hz হতে পারে কিন্তু চল্লিসোর্ধ্ব বয়সের শ্রোতার ক্ষেত্রে ক্রমশ কমে 15000 থেকে 10000 Hz কম্পাঙ্কে দাঁড়ায়। অবশ্য 1000 Hz কম্পাঙ্কের নিচে শ্রবণসীমা বয়সের উপর নির্ভর করে না।

শব্দের তীব্রতা ক্রমশ বাড়তে থাকলে যে তীব্রতায় কর্ণে অস্বস্তির সৃষ্টি হয়, তার মান মাঝামাঝি কম্পাঙ্কে প্রায় 120 db। এই মান কম্পাঙ্কের ওপর খুব বেশি নির্ভর করে না। 140 db তীব্রতায় কানে যন্ত্রণা অনুভূত হয় এবং এর বেশি তীব্রতা বেশিক্ষণ স্থায়ী হলে শ্রবণযন্ত্রের স্থায়ী ক্ষতি হতে পারে। 160 db বা তদূর্ধ্ব তীব্রতার শব্দ মুহূর্তের মধ্যে শ্রবণশক্তি নষ্ট করতে পারে।

## 14.4.4 শব্দের প্রাবল্যমাত্রা (Loudness level)

শব্দের তীব্রতা ও কানের শ্রবণসীমা সম্বন্ধে আমরা আগের অংশে যে আলোচনা করলাম, তার থেকে আপনার মনে হতে পারে যে, কোন শব্দ আমাদের কানে কত জোর বলে মনে হয় তা ঐ শব্দের তীব্রতার উপর নির্ভর করে। প্রকৃত ঘটনা এই যে, এটি ঐ শব্দের তীব্রতা ও কম্পাঙ্ক-উভয়ের উপরই নির্ভর করে। 14.8 লেখচিত্র থেকে আপনি এ ব্যাপারটি কিছুটা বুঝতে পারবেন। এখানে বিভিন্ন প্রাবল্যমাত্রায় সমপ্রাবল্যরেখা (Loudness level contour) দেখানো হয়েছে। 20 db তীব্রতার শব্দের কথাই ধরুন। কম্পাঙ্ক যদি 1000, 2000 বা 5000 Hz হয় তবে এই তীব্রতার শব্দ আমরা সহজেই শুনতে পাব। কিন্তু ঐ একই তীব্রতার শব্দ 100 Hz কম্পাঙ্কের হলে তা আমাদের শ্রবণসাধ্য হবে না। সুতরাং, কোন শব্দ আমাদের কানে কত বেশি অনুভূতির সৃষ্টি করে বা সহজ ভাষায় কত জোর শোনায় সেটিকে আমরা একটি ভিন্ন নামে অভিহিত করব। এটি হল শব্দের প্রাবাল্যমাত্রার একক ফন (Phon)।

এখন প্রশ্ন, নির্দিষ্ট কম্পাঙ্কের কোনও শব্দের প্রাবল্যমাত্রা আমরা কীভাবে নির্ণয় করব? 1000 Hz কম্পাঙ্কের কোন শব্দের তীব্রতা যত ডেসিবেল, তার প্রাবল্যমাত্রা তত ফন বলে ধরে নেওয়া হয়। অর্থাৎ, বিশুদ্ধ 1000 Hz কম্পাঙ্কের 20db তীব্রতার শব্দের প্রাবল্যমাত্রা 20 ফন, 40 db তীব্রতার শব্দের প্রাবল্যমাত্রা 40 ফন ইত্যাদি।