একক 10 ❑ শব্দের তীব্রতা (intensity), প্রাবল্য (loudness) ও কম্পাঙ্কের (frequency) পরিমাপ

গঠন

10.1 প্রস্তাবনা
উদ্দেশ্য
10.2 শব্দের তীব্রতা ও তার ডেসিবল একক
10.3 প্রাবল্য এবং তার একক
10.3.1 তীব্রতা ও প্রাবল্যের তুলনা
10. 4 তীব্রতার পরিমাপ
10.4.1 র‍্যালের চাকতি (Rayleighi's Disc)
10.4.2 তপ্ত তার মাইক্রোফোন (Hot wire microphone)
10.4.3 আলোকীয় পদ্ধতি (optical method)
10.4.4 ধ্বনি রেডিওমিটার (Sound radiometer)
10.4.5 ডিজিটাল সাউন্ড লেভেল মিটারের রূপরেখা.
10.5 শব্দের কম্পাঙ্কের পরিমাপ
10.5.1 স্ট্রবোস্কোপিক চক্র পদ্ধতি
10.5.2 র‍্যালের শব্দ চক্র
10.5.3 ক্যানিয়ার দ্য লাতুরের সাইরেন
10.5.4 হেলম্‌হোল্‌ৎস্‌ অনুনাদক
10.5.5 ডিজিটাল ফ্রিকোয়েন্সিমিটার,
10.5.6 অসিলোস্কোপ পদ্ধতি.
10.6 সারাংশ
10.7 সর্বশেষ প্রশ্নাবলী
10.8 উত্তরমালা

10.1 প্রস্তাবনা

মানুষ তার জন্ম থেকে নানাজাতীয় শব্দের সঙ্গে পরিচিত হয়। বাইরের প্রকৃতির সঙ্গে তথ্য আদান-প্রদানের একটি গুরুত্বপুর্ণ উপায় হল শ্রবণেন্দ্রিয়র সাহায্যে শব্দগ্রহণ এবং নিজস্ব বাগ্‌যন্ত্র বা অন্য কোনো যান্ত্রিক ব্যবস্থার দ্বারা শব্দ সৃষ্টি। শব্দ শুধু দরকারী কথাবার্তা আর নীরস তথ্য আদান-প্রদানের মাধ্যম নয়, শব্দ মানুষের শিল্পসৃষ্টি, ভাব বিনিময় এবং বিনোদনেরও মাধ্যম। সে কারণে শব্দের বৈচিত্র্য ও প্রকারভেদ আমাদের কৌতূহল জাগ্রত করে।

স্বাভাবিক ক্ষমতায় মানুষ বিভিন্ন ধরনের শব্দের পার্থক্য বুঝতে পারে। যেমন—জোরে, আস্তে, তীক্ষ্ণ, গম্ভীর ইত্যাদি। কিন্তু ভৌতবিজ্ঞানের ক্ষেত্রে এরকম গুণগত পার্থক্য যথেষ্ট নয়। আপনি নিশ্চয়ই একমত হবেন যে, ভৌতবিজ্ঞানে যে সব রাশি ব্যবহার করা হয়, সেগুলি পরিমাপযোগ্য হওয়া একান্তই প্রয়োজন। অতএব, বিভিন্ন উৎস থেকে উৎপাদিত বিভিন্ন শব্দের প্রকৃতি নির্ধারণ করা হয় কয়েকটি নির্দিষ্ট বৈশিষ্ট্য বিচার করে। একটি হল 'কম্পাঙ্ক'—অর্থাৎ, শব্দ উৎসটি সেকেন্ডে কতবার কম্পিত হচ্ছে এবং তার ফলে প্রতি সেকেন্ডে মাধ্যমে কতগুলি তরঙ্গ উৎপন্ন হচ্ছে। আর একটি হল 'তীব্রতা'—অর্থাৎ শব্দের গতিমুখে বা লম্বভাবে স্থিত একক ক্ষেত্রফলের মধ্য দিয়ে একক সময়ে প্রবাহিত গড় শব্দশক্তির পরিমাণ। এগুলি ভৌত রাশি, নির্দিষ্টভাবে মাপা সম্ভব। আবার কতকগুলি বৈশিষ্ট, আছে, যা মানব ইন্দ্রিয় অনুভব করতে পারে, কিন্তু সরাসরি পরিমাপ করা যায় না। যেমন শব্দের 'প্রাবল্য' মানে শব্দ কতটা জোরালো, তার অনুভব। তীব্রতাকে মাপার জন্য 'ডেসিবেল' নামে একটি নির্দিষ্ট একক আছে, যা আপনি একটু পরেই পড়বেন। কিন্তু প্রাবল্য একটি শ্রোতা-নির্ভর অনুভূতি, সুতরাং তাকে সরাসরি মাপা যায় না। প্রাবল্য পরোক্ষভাবে দুটি তীব্রতার তুলনা হিসাবে মাপা হয় এবং ফন (Phon) এককে প্রকাশ করা হয়। এই এককে তীব্রতা ও প্রাবল্যের তুলনামূলক বিশ্লেষণ করা হয়েছে এবং তীব্রতা মাপার বিভিন্ন আলোচনা করা হয়েছে।

শব্দের কম্পাঙ্কের সঙ্গে সম্বন্ধিত একটি অনুভূতি হল তীক্ষ্ণতা, শব্দ কতটা চড়া বলে মনে হচ্ছে সেই অনুভব। আমরা শুনে বুঝতে পারি, হুইসলের শব্দ তীক্ষ্ণ আর সানাইয়ের খাদের পর্দার আওয়াজ ভারী। কিন্তু এই 'তীক্ষ্ণ' আর 'ভারী' ভাব মাপা সম্ভব নয়। যেটা মাপা যায়, তা হল কম্পাঙ্ক। শব্দ ভারী বা চড়া হবে তার কম্পাঙ্ক কম বা বেশি হলে। কম্পাঙ্ক সরাসরি মাপা যায়, অথবা দুটি উৎস থেকে নির্গত শব্দের তরঙ্গ সংখ্যার তুলনা করে নির্ণয় করা যায়। এই এককে দু-রকম পদ্ধতিই ব্যাখ্যা করা হবে। শব্দের আর একটি বিশেষত্ব হল তার গুণ বা জাতি। এর মাধ্যমে একই কম্পাঙ্ক ও তীব্রতার দুটি শব্দ উৎসকে পৃথকভাবে চেনা যায়। জাতি নির্ভর করে তরঙ্গের প্রকৃতি অর্থাৎ সময়ের সঙ্গে কম্পাঙ্ক বিস্তার পরিবর্তনের প্রকৃতির উপর। এই এককে সে সম্বন্ধে আলোচনা করা হবে। এখানে বলে রাখা ভাল, তীক্ষ্ণতা ও জাতি একমাত্র সুরেলা শব্দের ক্ষেত্রেই বিচার্য। কোলাহল (noise)-এর তীক্ষ্ণতা ও জাতি অর্থহীন, কারণ কম্পাঙ্কই নির্দিষ্ট নয়।

উদ্দেশ্য

এই এককটি পড়লে আপনি যে কাজগুলি করতে পারবেন, তা হল—

- শব্দের তীব্রতা ও প্রাবল্য বলতে কী বোঝায়, তা ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- পরিচিত 'ডেসিবেল' এককটির অর্থ কী, তা বোঝাতে পারবেন এবং প্রয়োজনমত এই এককটির ব্যবহার করতে পারবেন।
- তীব্রতা পরিমাপ করার বিভিন্ন পদ্ধতি বর্ণনা করতে পারবেন।
- কম্পাঙ্ক কীভাবে মাপা হয়, তা ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- সুরেলা শব্দের গুণ বা জাতি কাকে বলে, তা বুঝিয়ে দিতে পারবেন।

উপরের বিষয়গুলির সঙ্গে যুক্ত বিভিন্ন যন্ত্রের সঙ্গে পরিচিত হয়ে প্রায়োজনে সেগুলি ব্যবহার করতে পারবেন।

10.2 শব্দের তীব্রতা ও তার ডেসিবেল একক

একক নিশ্চয় কোনও সময়ে মোটরগাড়ির হর্ন বা লাউডস্পিকার থেকে নির্গত শব্দ অত্যন্ত তীব্র বলে অস্বস্তি অনুভব করেছেন। আবার টেলিফোনে কথা বলার সময় যে শব্দ শুনতে পেয়েছেন, তা যথেষ্ট তীব্র নয় বলে আপনার হয়ত অসুবিধা হয়েছে। শব্দের এই 'তীক্ষ্ণতা' বলতে শব্দবিজ্ঞানে ঠিক কী বোঝায়?

কোনো একটি নির্দিষ্ট বিন্দুতে শব্দের তীব্রতা বলতে বোঝায়, সেখানে শব্দের গতি অভিমুখের সঙ্গে লম্বভাবে অবস্থিত একক ক্ষেত্রফলের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত গড় শব্দক্ষমতার পরিমাণ। তীব্রতার একক প্রতি বর্গমিটার পিছু ওয়াট অর্থাৎ W/m^2। দেখানো যায় যে, কোন মাধ্যমে শব্দের তীব্রতার মান

$$I = \frac{1}{2}\rho_0 c\omega^2 A^2$$

যেখানে ρ_o = মাধ্যমের গড় ঘনত্ব, c = মাধ্যমে শব্দের বেগ = শব্দতরঙ্গের কৌণিক কম্পাঙ্ক এবং A = শব্দতরেঙ্গর বিস্তার। l -এর রাশিমালা থেকে আপনি বুঝতে পারছেন যে, শব্দের তীব্রতা অনেকগুলি বিষয়ের উপর নির্ভরশীল। এখন এই বিষয়গুলি আলাদা করে দেখা যেতে পারে।

(i) কম্পাঙ্কের বিস্তার : তীব্রতার রাশিমালা থেকে এটা স্পষ্ট যে, নির্দিষ্ট কম্পাঙ্কের শব্দের জন্য তীব্রতা বিস্তারের বর্গের সমানুপাতী হয়। আপনি যখন রেডিওর ভলিউম নবটি ঘোরান তখন নির্গত শব্দের বিস্তার বাড়ে বলেই তীব্রতাও বাড়ে। তবে কম্পনের বিস্তার অন্য কয়েকটি বিষয়ের উপরও নির্ভর করে।

(a) উৎসের আকার : উৎসের আকারের সঙ্গে শব্দতরঙ্গের বিস্তার বৃদ্ধি পায়। এজন্যই গিটার, বেহালা প্রভৃতি বাদ্যযন্ত্রে ফাঁপা সাউন্ড বক্স থাকে। শুধু তারের কম্পনের তুলনায় সাউন্ড বক্সের বাতাসের কম্পনের ফলে উৎপন্ন শব্দের বিস্তার ও তীব্রতা অনেক বেশী হয়।

(b) শব্দের উৎস থেকে শ্রোতার দূরত্ব : শব্দের উৎস থেকে যত দূরে যাওয়া যায়, সাধারণভাবে শব্দের তীব্রতা তত হ্রাস পায়। যদি একটি বিন্দু উৎস থেকে উৎপন্ন শব্দ চতুর্দিক সমভাবে ছড়িয়ে পড়ে, তবে নির্গত শব্দশক্তি থেকে r দূরত্বে মোট $4\ r^2$ ক্ষেত্রফলের (অর্থাৎ r ব্যাসার্ধের গোলকের তলের ক্ষেত্রফলে) বিতরিত হয়। সুতরাং, একক ক্ষেত্রফলের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত ক্ষমতা উৎস থেকে দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতী হয়। শব্দের তীব্রতা ও উৎস থেকে দূরত্বের এ জাতীয় সম্পর্ককে আমরা ব্যস্তবর্গ (inverse square) নিয়ম বলে থাকি।

শব্দের উৎস থেকে শ্রোতার দূরত্বের উপর তীব্রতা নির্ভর করে বলেই অনেক উচ্চতায় ওড়া জেট প্লেনের শব্দ ক্ষীণ শোনায়। কিন্তু সেটি যখন নিচ দিয়ে ওড়ে, তখন তার গর্জন রীতিমত অসুবিধার সৃষ্টি করে।

(ii) শব্দের কম্পাঙ্ক : শব্দের বিস্তার অপরিবর্তিত থাকলে তীব্রতা কম্পাঙ্কের বর্গের সমানুপাতী হয়। এটি অবশ্য কানে শুনে সমসময়ে বোঝা যায় না, কেননা আমাদের কানের সংবেদনশীলতাও কম্পাঙ্কের উপর নির্ভর করে।

(iii) মাধ্যমের ঘনত্ব : তীব্রতার রাশিমালা থেকে আপনি বুঝতে পারবেন যে,তীব্রতা মাধ্যমের ঘনত্বের সমানুপাতী। এজন্য বায়ু অপেক্ষা জলে শব্দের তীব্রতা বেশি হয়। আবার অধিক উচ্চতায় যেখানে বায়ুর ঘনত্ব সমুদ্রতলের চেয়ে কম, সেখানে শব্দের তীব্রতাও অপেক্ষাকৃত কম হয়।

এবার আমরা তীব্রতার একক সম্বন্ধে আলোচনা করব। আপনার মনে হতে পারে যে, "প্রতি বর্গমিটার পিছু ওয়াট" কেই তীব্রতার একক হিসাবে ব্যবহার করা যেতে পারে। এটি কিন্তু আমাদের কাছে খুব সুবিধাজনক নয়। সর্বনিম্ন তীব্রতার যে শব্দ আমাদের কানে ধরা পড়ে, তার তীব্রতা I_0 এর মাত্রা 10^{-12} W/m^2 । আমাদের সাধারণ কথাবার্তার সময় তীব্রতা এরও লক্ষগুণ অর্থাৎ 10^{-7}W/m^2 হতে পারে। আবার লাউডস্পিকারের জোর শব্দ বা বিস্ফোরণের শব্দের তীব্রতা এরও লক্ষ গুণ অর্থাৎ 10^{-2} W/m^2 অতিক্রম করতে পারে। তীব্রতার এই বিশাল পাল্লা আমাদের কানের বিস্ময়কর কর্মক্ষমতা সূচিত করলেও তীব্রতার মাত্রা সংখ্যা দ্বারা প্রকাশের ক্ষেত্রে অসুবিধার সৃষ্টি করে। তাই তীব্রতাকে সরাসরি W/m^2 এককে প্রকাশ না করে আমরা নিম্নতম শ্রবণযোগ্য তীব্রতার (I_0) সঙ্গে অনুপাত হিসাবে লগারিদ্‌ম্‌ স্কেলে প্রকাশ করি।

এর ফলে যে এককটির উৎপত্তি হয়, সে নামটি আপনার খুবই চেনা—ডেসিবেল। প্রায়ই শোনা যায়, বাজিপটকা, গাড়ির হর্ন, মাইক প্রভৃতির উপর নিষেধাজ্ঞা, " অমুক পরিমাণ ডেসিবেল ছাড়ানো চলবে না"। অর্থাৎ শব্দের তীব্রতা মাপার একক হল ডেসিবেল। তীব্রতা বৃদ্ধির মাপকাঠিতে সমতা আনার জন্য তীব্রতা বৃদ্ধিকে উভয় তীব্রতার অনুপাতের লগারিদ্‌ম্‌রূপে (ভূমি-10) প্রকাশ করা হয়। এই আপেক্ষিক তীব্রতাকে বিজ্ঞানী আলেকজান্ডার গ্রাহাম বেলের (Bell) নামানুসারে বেল (Bel) একক বলা হয়। যদি শব্দের ক্ষমতা বা প্রতি একক সময়ে নির্গত শব্দশক্তির পরিমাণ P_1 থেকে পরিবর্তিত হয়ে P_2 হয়ে যায়, তাকে বেল এককে এইভাবে প্রকাশ করা হবে: $\left(\frac{P_2}{P_1}\right)$

ক্ষমতার বৃদ্ধির বেল সংখ্যা (number of bels) = $\log_{10}$ ...10.1

বাস্তবে বেল অর্থাৎ ক্ষমতার দশগুণ বৃদ্ধি ব্যবহারিক প্রয়োগের জন্য খুবই বড় বলে তার এক দশমাংশকে ডেসিবেল (decibel) নাম দেওয়া হয় এবং একক হিসাবে dB লেখা হয়। সুতরাং, ক্ষমতার বৃদ্ধির ডেসিবেল

সংখ্যা (number of decibels) = $10\log_{10}$ ...10.2

ডেসিবেলই শব্দের তীব্রতা বা ক্ষমতা বোঝানোর ব্যবহারিক একক। এবারে দেখুন ডেসিবেল (*dB*) পরিবর্তন কতটা বৃদ্ধি বা হ্রাস নির্দেশ করে। ক্ষমতার এক ডেসিবেল বৃদ্ধি বলতে বা প্রায় 1·26 গুণ বৃদ্ধি বোঝায়। মনে করুন, P_1 এর তুলনায় P_2 পরিমাণ 1000 গুণ বেশি। ডেসিবেল এককে বৃদ্ধি হবে মাত্র 30dB অর্থাৎ, ডেসিবেলে সামান্য বৃদ্ধি মানে বাস্তবে অনেক বৃদ্ধি।

শব্দের তীব্রতা স্তর বলতে বোঝায়, কোনো মানক 'শূন্য' স্তরের তুলনায় তার আপেক্ষিক তীব্রতা। 'মানক শূন্য তীব্রতা স্তর' হিসাবে শব্দের 10^{-12}Wm^{-2} তীব্রতা ধরে নেওয়া হয়। এখন যদি বলা হয় '60 ডেসিবেল শব্দ' তার মানে উক্ত স্তরের সাপেক্ষে 60dB বৃদ্ধি বা 10^6 গুণ বৃদ্ধি।

10.3 তীব্রতা এবং তার একক

শব্দের তীব্রতা আর প্রাবল্য বলতে সাধারণ ভাষায় একই বিষয় বোঝায়। কিন্তু পদার্থবিদ্যার ভাষায় তীব্রতার একটি নির্দিষ্ট সংজ্ঞা আছে। প্রাবল্যের এরকম কোনো সংজ্ঞা নেই। এটি মানব ইন্দ্রিয়ের একটি অনুভব মাত্র। শ্রোতার কানের উপরে নির্ভর করে শব্দ কতটা জোরালো শোনা যাবে।

তীব্রতার মতো প্রাবল্য সরাসরি যায় না। তা ছাড়া একই তীব্রতার কিন্তু ভিন্ন কম্পাঙ্কের শব্দ কোনো এক ব্যক্তির কাছে সাধারণত সমান জোরালো মনে হয় না। সে কারণে প্রাবল্য মাপার জন্য একটি নির্দিষ্ট মানক ধরে নিয়ে তার সাপেক্ষে অন্য উৎসগুলির তুনলা করা হয়। ধরা যাক একটি 1000Hz কম্পাঙ্কের 10^{-12} Wm^{-2} তীব্রতার শব্দ উৎস নেওয়া হল। যে শব্দের প্রাবল্য মাপা হবে, তার সঙ্গে মানক উৎসের শব্দ উৎপাদন করে ওই মানক উৎসটির তীব্রতা ক্রমশ পরিবর্তন করা হয় যতক্ষণ না উভয় উৎসের প্রাবল্য সমান হয়ে যায়। ধরা যাক, এই কাজ করতে গিয়ে মানক উৎসের তীব্রতা ndB ছড়ানো হল। তখন পরীক্ষাধীন উৎসটির প্রাবল্যমাত্রাকে বলা হবে n ফন (phon)।

সুতরাং, ফন হল প্রাবল্যমাত্রার একক, যেমন তীব্রতার একক ছিল ডেসিবেল। একমাত্র 1000 Hz কম্পাঙ্কের জন্য ফন স্কেল ও ডেসিবেল স্কেল সমান হবে। অর্থাৎ, তীব্রতা যত ডেসিবেল, প্রাবল্যমাত্রা ঠিক তত ফন হবে।

10.3.1 তীব্রতা ও প্রাবল্যের তুলনা $\frac{lb}{l}$

আগের দুটি অনুচ্ছেদ থেকে বোঝা যাচ্ছে যে, তীব্রতা আর প্রাবল্য দুটি পৃথক ধারণা। শব্দের তীব্রতা সরাসরি মাপা যায়। পরের অনুচ্ছেদেই তা দেখা যাবে। কিন্তু প্রাবল্য একটি অনুভূতি—শব্দ কতটা জোরালো শোনাচ্ছে তা প্রকাশ করার উপায়। এই কারণে প্রাবল্য পরোক্ষভাবে মাপা হয় দুটি তীব্রতার তুলনারূপে। তবে শব্দের তীব্রতা আর প্রাবল্যের মধ্যে একটি সম্পর্ক আছে, যাকে ওয়েবার ফেকনার নিয়ম বলা (Weber-Fechner Law) হয়। এই নিয়ম অনুসারে, প্রাবল্যে ন্যূনতম অনুভবযোগ্য বৃদ্ধি আনার জন্য প্রয়োজনীয় তীব্রতা বৃদ্ধি মূল তীব্রতার সমানুপাতী হয়। অর্থাৎ, শব্দ প্রাবল্যের কানে ধরা পড়ার মত ন্যূনতম বৃদ্ধি যদি dL হয়, আর তার প্রয়োজনীয় তীব্রতা বৃদ্ধি যদি dl হয়, তবে

$dl\ a\ dL{\cdot}I$ যেখানে I = মূল তীব্রতা। অথবা,

$$dL = k$$

যেখানে k একটি ধ্রুবক। সমাকলন করলে পাই,

$$L = k\ \log I + C$$

বা, $L = k_1 \log_{10} l$

যেখানে k_1 একটি ধ্রুবক।

সমীকরণ 10.3 হলে ওয়েবার ফেকনার নিয়মের গাণিতিক রূপ। এর থেকে স্পষ্ট হচ্ছে যে, তীব্রতা যখন গুণোত্তর শ্রেণীতে বাড়ে, প্রাবল্য তখন বাড়ে সমান্তর শ্রেণীতে। তাই তীব্রতায় সমান অনুপাতে বৃদ্ধি ঘটলে, প্রাবল্যও সমান ধাপে বাড়বে। প্রাবল্যের একক ও পরিমাণ নিয়ে পরের এককে বিস্তারিত আলোচনা করা হবে। এবার আপনি বরং নিচের অনুশীলনীটির উত্তর দিন।

অনুশীলনী - 1

(a) একটি ব্যস্ত রাজপথে মধ্যাহ্নে শব্দের তীব্রতা স্তর 80db ছিল। মধ্যরাত্রিতে তীব্রতা তুলনায় 32000 গুণ কম হলে এই তীব্রতা স্তরকে ডেসিবেল এককে প্রকাশ করুন।

(b) শূন্যস্থানগুলি পূর্ণ করুন (সাম্ভাব্য শব্দগুলি বন্ধনীতে দেওযা আছে) :
শব্দের উৎসের আকার যত————(বাড়ে/কমে) শব্দের তীব্রতা তত বেশি হয়। উৎস থেকে শ্রোতার দূরত্ব অর্ধেক হলে শ্রোতার কানে শব্দের তীব্রতা————(দুইগুণ/চারগুণ) বেশি মনে হয়। শব্দের তীব্রতার একক————($W/Wm^{-2}/Wm^2$)। শব্দের প্রাবল্য বলতে বোঝায় শব্দের———(কম্পাঙ্ক/তীব্রতা/প্রবলতার অনুভূতি)।

10.4 তীব্রতার পরিমাপ

শব্দের তীব্রতা কম্পনের বিস্তারের বর্গের সমানুপাতী হয় বলে নানাভাবে বিস্তার পরিমাপ করে তীব্রতা গণনা করা যায়। যেমন, বায়ুর কম্পনের ফলে তার মধ্যেকার ধূলিকণার আন্দোলনের বিস্তার মাইক্রোস্কোপের সাহায্যে দেখা যায়। অথবা, কম্পন ও স্থাণু তরঙ্গের ফলে বায়ুর ঘনীভবন ও তনুভবনের দরুণ বায়ুর প্রতিসরাঙ্কের পর্যায়ক্রমে পরিবর্তন হয়। তার মধ্য দিয়ে আলোর ব্যতিচার লক্ষ্য করে বায়ুর কম্পনের ফলে চাপের বিস্তার নির্ধারণ করা যায়। তবে শব্দতরঙ্গের পরিবর্তী চাপ বা বেগকে তড়িৎ বিভবে পরিণত করে ঐ পরিবর্তী তড়িৎ বিভবের পরিমাপই বর্তমানে তীব্রতার পরিমাপের প্রচলিত উপায়।

কোনও একটি বিন্দুতে শব্দের তীব্রতা মাপতে বেশ কয়েকটি ব্যবহারিক অসুবিধার মুখোমুখি হতে হয়। এগুলি আমাদের জেনে রাখা ভালো। অসুবিধার কারণগুলি হল ঃ

1. যে কোনও শব্দমাপক যন্ত্র শব্দক্ষেত্রকে কমবেশি পরিমাণে বিকৃত করে, সুতরাং যন্ত্রটি তার চারপাশে তীব্রতার পরিবর্তন ঘটায়। এজন্য যন্ত্রটির মাপ পরিমেয় শব্দের তরঙ্গদৈর্ঘ্যের তুলনায় ছোট রাখতে হয়।

2. কোনও শব্দমাপক যন্ত্রই সব তীব্রতায় সমানভাবে সাড়া দেয় না। এমনকি কম্পাঙ্কের সঙ্গেও শব্দমাপক যন্ত্রের দক্ষতা পরিবর্তিত হয়। বিশেষত, যন্ত্রের নিজস্ব কোনও কম্পাঙ্ক থাকলে ঐ কম্পাঙ্কের শব্দে যন্ত্রটিতে অনুনাদ ঘটে এবং সাড়ার পরিমাণ অন্য কম্পাঙ্কের তুলনায় অনেক বেশি হয়। এই কারণে যন্ত্রের গঠন এমন হয় যাতে কম্পাঙ্কের যে পাল্লায় সেটি ব্যবহার করা হবে তার মধ্যে বা নিকটে যন্ত্রের কোনও অনুনাদী কম্পাঙ্ক না থাকে।

3. কোনও যন্ত্রই সব মাধ্যমে ব্যবহারের উপযোগী হয় না।

4. সব কিছুর পর, শব্দের ক্ষমতার প্রবাহ এত অল্প যে, অত্যন্ত সুক্ষ্ম সংবেদনশীল যন্ত্রই তীব্রতার পরিমাণে ব্যবহার হয়।

আসুন, এবার আমরা শব্দতীব্রতা মাপার কয়েকটি যন্ত্রের সঙ্গে পরিচিত হই।

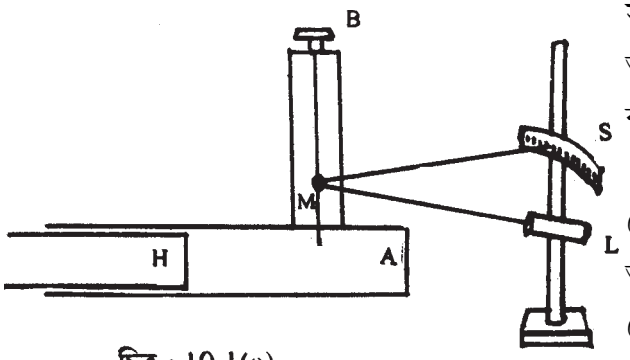
10.4.1 র‍্যালের চাকতি (Rayleigh's Disc)

প্রথমে এই যন্ত্রটি যে নীতির ভিত্তিতে কাজ করে, তা বলা যাক। একটি ছোট, হালকা চাকতি যদি শব্দের গতিপথে রাখা হয়, তবে শব্দতরঙ্গের চাপ সেটিকে তরঙ্গসঞ্চারের দিকের সঙ্গে লম্বভাবে রাখতে চায়। একটি সূতা বা পাতলা তারে ঝোলানো হাল্কা বৃত্তকার চাকতিটি যদি শব্দের গতিমুখের সাপেক্ষে এমনভাবে অবস্থান করে যাতে চাকতির উপর লম্ব এবং শব্দের গতিমুখের মধ্যে কোণ সৃষ্ট হয়, তখন চাকতির উপর একটি বলযুগ্ম কাজ করে

যার মান : $T =$ ...10.4(a)

অর্থাৎ, এখানে মাধ্যমের বায়ুর ঘনত্ব, r চাকতির ব্যাসার্ধ এবং ল হচ্ছে শব্দের ফলে উৎপন্ন বায়ুপ্রাবাহের গড় বর্গ বেগ। এই সূত্রে অবশ্য নানা কারণে কিছু ত্রুটি থাকে। এই কারণগুলি হল, শব্দের গতিপথে চাকতিটি থাকার ফলে শব্দতরঙ্গের ব্যবর্তন, মাধ্যমের সান্দ্রতা, শব্দচাপের প্রভাবে ঝুলন্ত চাকতির দোলন ইত্যাদি। আবার শব্দের কম্পাঙ্ক যদি চাকতির ব্যবর্ত দোলনের স্বাভাবিক কম্পাঙ্কের সমান হয়ে যায়, তখন অনুনাদের ফলে পরিমাপে ব্যাঘাত ঘটে। তবে এই সবের জন্য সংশোধনী ব্যবস্থা নেওয়া যায় এবং এতে যন্ত্রটির মূল নীতি একই থাকে।

এবারে যন্ত্রটির গঠনপ্রণালী দেখা যাক। 10.1(a) চিত্রে এটি দেখানো হয়েছে। এক সেমি ব্যাসার্ধের অভ্রের চাকতি D প্রায় দুই সেমি ব্যাসের লম্বা কাচনল A এর মধ্যে কোয়ার্টজ সূত্র দিয়ে ঝোলানো আছে। কোয়ার্টজ সূত্রের সঙ্গে একটি হালকা আয়না লাগানো আছে এবং সূত্রটির উপরের প্রান্ত একটি ব্যাবর্ত-শীর্ষের (B) সঙ্গে আবদ্ধ।



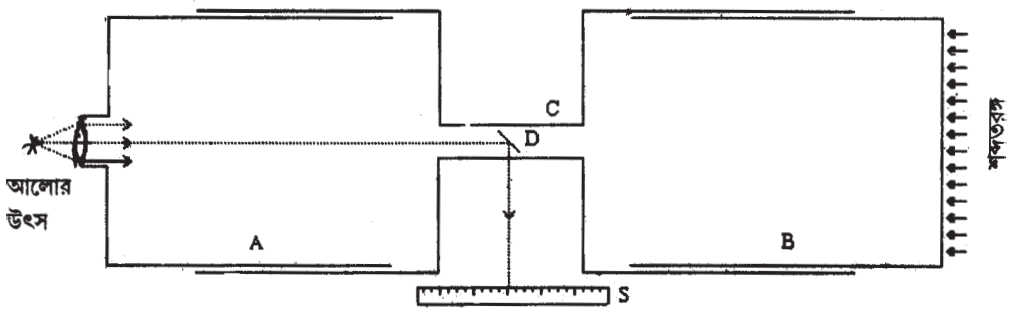
চিত্র : 10.1(a)

চাকতিটি প্রথমে কাচনলের অক্ষের সঙ্গে 45° কোণে রাখা হয়। একটি আলোক উৎস L থেকে আলোক রশ্মি M আয়নায় প্রতিফলিত হয়ে S স্কেলে পড়ে। H একটি পাতলা কাগজের পর্দা যার মধ্যে দিয়ে শব্দতরঙ্গ সহজেই সঞ্চারিত হয় এবং চাকতির উপর পড়ে। S স্কেলে আলোকবিন্দুর অবস্থান থেকে চাকতির বিক্ষেপ লক্ষ্য করা যায় এবং ব্যাবর্ত-শীর্ষটিকে ঘুরিয়ে চাকতির পূর্বাবস্থায় ফিরিয়ে আনা যায়। ব্যাবর্তশীর্ষের প্রয়োজনীয় ঘূর্ণন থেকে শব্দতরঙ্গের দ্বারা প্রযুক্ত বলযুগ্মের মান বার করা যায়।

চাকতিটিকে শব্দতরঙ্গের গতিমুখের সঙ্গে 45° কোণে রাখায় সেটির উপর বলযুগ্মের মান সর্বাধিক হয় কেননা যখন = 45°, sin 2 = 1 এবং T = । ...10.4(b)

এছাড়া শব্দের তরঙ্গ হলে AD = এবং AH = 3 /4 রাখা হয়, যাতে তলের মধ্যে অনুনাদ হয়ে স্থাণুতরঙ্গের সৃষ্টি হয় এবং চাকতিটি একটি সুস্পন্দ বিন্দুতে থাকে। এতেও বলযুগ্মের মান অনেক বাড়ে।

10.1(b) চিত্রে বয়েজ-এর দ্বারা উদ্ভাবিত র‍্যালের চাকতির একটি বিকল্প ও উন্নত যন্ত্রসজ্জা দেখানো হয়েছে।



চিত্র : 10.1(b)

এখানে A এবং B দুটি ফাঁপা ধাতব পাত্র, যাদের দৈর্ঘ্য কমবেশি করা যায়। এদের যোগাযোগ রয়েছে C নলের মধ্যে দিয়ে। এই জাতীয় ফাঁপা পাত্র অনুনাদকের কাজ করে। এরকম যন্ত্রের সম্বন্ধে আমরা অনুচ্ছেদ 10.7.2 তে আবার পড়ব। এদের কাজ শব্দের নির্দিষ্ট কম্পাঙ্কে অনুনাদিত হওয়া। A পাত্রের পিছনে যে ছিদ্র থাকে, তা দিয়ে আলো ফেলার ব্যবস্থা থাকে এবং B পাত্রের পিছনের পর্দার মধ্য দিয়ে শব্দতরঙ্গ প্রবেশ করে। C নলের মধ্যে একটি কোয়ার্টজ তারের সাহায্যে D চাকতিটি শব্দতরঙ্গের গতিপথের সাপেক্ষে 45° কোণে ঝোলানো থাকে। তার আয়নায় আলো প্রতিফলিত হয়ে স্কেল S-এর উপর এসে পড়ে। চিত্রে এটি ভগ্নরেখা দিয়ে দেখানো হয়েছে। কোয়ার্টজ তারটি একটি ব্যাবর্ত-শীর্ষের সঙ্গে লাগানো থাকে। শীর্ষটির সঙ্গে একটি বৃত্তাকার নবও যুক্ত থাকে যাতে শীর্ষটিকে কতটা ঘোরানো হল, তা বোঝা যায়। বয়েজ-এর যন্ত্রটির কার্যপদ্ধতি র‍্যালের যন্ত্রের অনুরূপ।

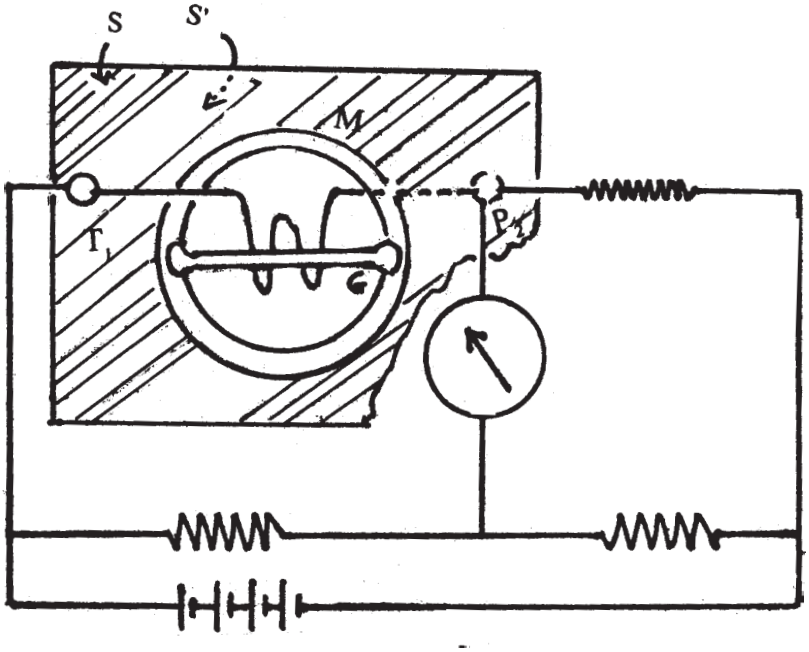
ধরা যাক, কোয়ার্টজ তারে একক মোচড়ের জন্য প্রয়োজনীয় টর্ক । যদি ব্যাবর্ত-শীর্ষের প্রয়োজনীয় ঘূর্ণন হয় তবেT = । এখন 10.4(b) সমীকরণে থেকে -এর মান নির্ণয় করে,

I = (c = শব্দের গতিবেগ)

সূত্র থেকে তীব্রতা 1-এর মান নির্ণয় করা যায়।

10.4.2 তপ্ত তার মাইক্রোফোন (Hot wire microphone)

আপনি নিশ্চয় জানেন যে, ধাতব তারের রোধ তার উষ্ণতার সঙ্গে পরিবর্তিত হয়। যদি একটি তপ্ত তার নির্দিষ্ট উষ্ণতায় রাখা হয়, তার রোধ স্থির থাকবে। কিন্তু তাকে যদি বায়ুপ্রবাহ দ্বারা ঠাণ্ডা করা হয়, রোধ কমে যাবে। এখন, বায়ুপ্রবাহ যদি শব্দতরঙ্গের ফলে সৃষ্ট হয়, তবে তারের উপর আপতিত শব্দের তীব্রতা যত বেশি হবে, বায়ুর আন্দোলনও তত বাড়বে এবং তারটি তাপ পরিচালনের ফলে ঠাণ্ডা হয়ে রোধও তত কমবে। অর্থাৎ শব্দের তীব্রতা ও তারের রোধের মধ্যে একটা সম্পর্ক থাকবে এবং রোধের পরিমাপ থেকে তীব্রতার মান পাওয়া যাবে। রোধের পরিমাপের জন্য আমরা হুইটস্টোন ব্রিজ ব্যবহার করতে পারি। এই ব্রিজের রোধ ব্যবস্থার বিপরীত বাহু দুটির রোধের অনুপাত যদি সমান হয়, দুই বিপরীত সংযোগ বিন্দুর মধ্যেকার গ্যালভানোমিটারে কোনও বিক্ষেপ দেখা যাবে না। একে বলে ব্রিজের সাম্যাবস্থা। এখন মনে করুন, নির্দিষ্ট উষ্ণতায় তপ্ত তারটি এই ব্রিজের এক বাহুর রোধ হিসাবে রাখা আছে। যদি উষ্ণতা পরিবর্তনের ফলে রোধ কমে যায়, ব্রিজের সাম্যাবস্থা নষ্ট হয়ে গ্যালভানোমিটারে তড়িৎ প্রবাহ দেখা দেবে। এইভাবে আপতিত শব্দতরঙ্গের তীব্রতা আর গ্যালভানোমিটারে তড়িৎ প্রবাহ সম্পর্কিত থাকে। এখন তীব্রতা জানা আছে এমন কয়েকটি শব্দতরঙ্গের সাহায্যে তড়িৎ প্রবাহকে আংশাঙ্কিত (calibrate) করা যায়। এই অংশাঙ্কনের সাহায্যে অন্য কোনও শব্দের অজানা তীব্রতা নির্ধারণ করা সম্ভব হয়।



চিত্র : 10.2

এবারে 10.2 চিত্রে তপ্ত তার মাইক্রোফোনের গঠনপ্রণালী লক্ষ্য করুন। এখানে M একটি অভ্র চাকতি, যার মাঝখানে গোলাকৃতি ছিদ্র। এর উপরে আছে একটি কাচের রড G যার গায়ে 6 মাইক্রন ব্যাসের সূক্ষ্ম

প্ল্যাটিনাম তার আটকানো থাকে। এই তারই তপ্ত তারের কাজ করে। অভ্র চাকতিটি দু-পাশে দুটি গোলাকার ছিদ্রযুক্ত রুপোর পাত s, s' দিয়ে চাপা থাকে। প্ল্যাটিনাম তারের এক প্রান্ত উপরের পাত এবং অন্য প্রান্ত নিচের পাতের সঙ্গে যথাক্রমে T_1 ও T_2 টার্মিনালে লাগানো থাকে। T_1 ও T_2 প্রান্তের সাহায্যে তারের মধ্যে তড়িৎ প্রবাহ পাঠিয়ে তাকে গরম করা হয়। এমনভাবে তারটি নির্মাণ করা হয়, যাতে 30mA তড়িৎ প্রবাহেই তারের উষ্ণতা 400°C পর্যন্ত উঠে যায়।

হুইটস্টোন ব্রিজটিকে প্রথমে সাম্যাবস্থায় আনা হয়। এবার যন্ত্রটিকে একটি অনুনাদকের সামনে এনে যে শব্দতরঙ্গের তীব্রতা মাপা হবে, তার কম্পাঙ্কের সঙ্গে অনুনাদ ঘটিয়ে জোরালো বায়ুকম্পন তৈরি করা হয়। সেই বায়ুপ্রবাহে তাপ পরিচলনের ফলে তারের উষ্ণতা কমে গিয়ে রোধ কমিয়ে দেয় এবং হুইটস্টোন ব্রিজের গ্যালভানোমিটারে তড়িৎ প্রবাহ দেখা দেয়। এই তড়িৎ প্রবাহ থেকে তপ্ত তারের রোধ হ্রাস এবং তার থেকে আপতিত শব্দের তীব্রতা নির্ণয় করা যায়।

10.4.3 আলোকীয় পদ্ধতি (Optical method)

এর মূল নীতি হচ্ছে দুটি আলোকতরঙ্গের ব্যতিচার। একটি আলোক রশ্মিগুচ্ছ সাধারণ বায়ুর মধ্য দিয়ে প্রেরণ করা হয় এবং অন্যটি প্রেরণ করা হয় শব্দতরঙ্গ আরোপিত বায়ুর মধ্য দিয়ে। শব্দতরঙ্গের প্রভাবে তার তীব্রতা অনুযায়ী বায়ুতে চাপের পরিবর্তন এবং তার ফলে বায়ুর ঘনত্ব প্রতিসরাঙ্কের ক্রমান্বয়ে পরিবর্তন হতে থাকে। সুতরাং, উভয় রশ্মিগুচ্ছের মধ্যে পথ পার্থক্য (path difference) দ্রুত বদলায় এবং তার ফলে উভয় বিমের (beam) ব্যতিচারে যে পটি (fringe) দেখা যায়, তা সাধারণ অবস্থানের থেকে ক্রমান্বয়ে আন্দোলিত হতে থাকে। দৃষ্টি স্থায়িত্বের জন্য এই দ্রুত আন্দোলনে ব্যতিচার পটি চওড়া হয়ে গেছে বলে মনে হয়। পটির এই প্রস্থ পরিবর্তন থেকে শব্দের তীব্রতা নির্ধারণ করা যায়। তবে খুব জোরালো শব্দ না হলে এই পরিবর্তন এতই নগণ্য হয় যে, এই পদ্ধতিটি বিশেষ কার্যকরী হয় না।

10.4.4 ধ্বনি রেডিওমিটার (Sound Radiometer)

কোনও মাধ্যমে শব্দতরঙ্গের ফলে উৎপন্ন চাপ একটি পর্যাবৃত্ত রাশি। কিন্তু এ ছাড়াও শব্দ তরঙ্গ যখন কোনও তলে আপতিত হয়, তখন সেটি একটি ক্ষুদ্র স্থির চাপও প্রয়োগ করে। একে ধ্বনি বিকিরণ চাপ (acoustic radiation pressure) বলা হয়। তড়িৎ চুম্বকীয় বিকিরণও (electromagnetic radiation) এধরনের চাপ প্রয়োগ করে। লার্মর (Larmor) তার এক সিদ্ধান্ত প্রতিপাদন করেছিলেন। যেহেতু তাতে তরঙ্গ বা মাধ্যমের প্রকৃতি সম্বন্ধে কিছু নির্দিষ্ট নেই, সেই নীতি শব্দতরঙ্গের ক্ষেত্রেও প্রযোজ্য। আগে লার্মর সিদ্ধান্ত অনুসারে ধ্বনি বিকিরণ চাপ কীভাবে উৎপন্ন হয় সেটি দেখা যাক।

মনে করা যাক, c গতিবেগযুক্ত সমতল (plane) শব্দতরঙ্গ একটি আদর্শ প্রতিফলক তলে লম্বভাবে আপতিত হচ্ছে। যদি তলটি শব্দের বিপরীত দিকে বেগে গতিশীল হয়, শব্দতরঙ্গের সাপেক্ষে তার আপেক্ষিক বেগ

$c +$ হবে। সুতরাং, প্রতি সেকেন্ডে প্রতিফলক তল আপতিত শব্দতরঙ্গের ($c +$) দৈর্ঘ্যের একটি স্তম্ভের মধ্য দিয়ে যাচ্ছে। কিন্তু প্রতিফলিত তরঙ্গের ক্ষেত্রে আপেক্ষিক বেগ $c -$ । সুতরাং, সেটির জন্য প্রতিফলক প্রতি সেকেন্ড ($c -$) দৈর্ঘ্যের স্তম্ভ অতিক্রম করবে। যদি আপতিত তরঙ্গের শক্তি ঘনত্ব E হয়, প্রতিফলক তলের প্রতি একক ক্ষেত্রফলে প্রতি একক সময়ে আপতিত শক্তি হবে ($c +$) E, যা প্রতিফলনের পর ($c - u$) দৈর্ঘ্যের মধ্যে সঙ্কুচিত হয়ে যাচ্ছে। সুতরাং, প্রতিফলিত তরঙ্গের শক্তি ঘনত্ব বেশি (ধরা যাক, $E +$ E) হবে, কেননা মোট পরিমাণ নিশ্চয়ই স্থির থাকবে। অতএব আলোচ্য অবস্থা অনুযায়ী,

$(c \;+\;)E = (c -\;)\;(E + \;E)$

বা,

বা, $\quad 1 + \dfrac{\delta E}{E} = \left(1 + \dfrac{v}{c}\right)\left(1 - \dfrac{v}{c}\right)^{-1}$

[illegible]

$= 1 + 2$

$c \;\; E = 2 \;\; E$ ...10.5

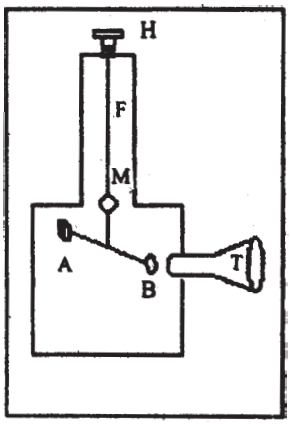
এই হল সেকেন্ডে প্রতিফলকের একক ক্ষেত্রফলের জন্য শব্দতরঙ্গের বাড়তি শক্তি যেটা প্রতিফলক দ্বারা কৃতকার্য থেকেই এসেছে। ধরা যাক, আপতিত তরঙ্গ প্রতিফলকের উপর P বিকিরণ চাপ প্রয়োগ করছে এবং চাপের বিরুদ্ধে তলকে গতিশীল করাতে হচ্ছে। সুতরাং, একক সময়ে প্রতিফলকের একক ক্ষেত্রফলে কৃতকার্য $P.$ । (কেন, একটু চিন্তা করুন।)

সুতরাং, $P. \;=\; \;= 2$ { সমীকরণ (10.5) অনুযায়ী }

$P = 2E$ ...10.6

দেখা যাচ্ছে যে, শব্দ তরঙ্গ প্রযুক্ত বিকিরণ চাপ (P) প্রতিফলক তলের সম্মুখে শক্তি ঘনত্বের দ্বিগুণ। সমীকরণ 10.6 - এ প্রতিফলকের গতির (V) উল্লেখ নেই। অতএব, স্থির তলের ক্ষেত্রেও একই ঘটনা ঘটবে। অবশ্য যদি তলটি আদৌ প্রতিফলন না করে, $P = E$ হবে।

যেহেতু শব্দের তীব্রতা গড় শক্তি ঘনত্ব ও শব্দের গতিবেগের গুণফলের সমান, উপরের তত্ত্ব অনুযায়ী গড় শক্তি ঘনত্ব বার করতে পারলেই শব্দের তীব্রতা নির্ধারণ করা যাবে। যে যন্ত্রের সাহায্যে বিকিরণ চাপ নির্ণয় করা হয়, তাকে **ধ্বনি রেডিওমিটার** বলা হয়। যন্ত্রটির গঠন প্রণালী 10.3 চিত্রে দেখানো হয়েছে। এখানে A



চিত্র : 10.3

একটি ধাতব পাত এবং B তার সমান ভরের একটি ওজন। উভয়ে একটি দৃঢ় অথচ সরু রড দ্বারা যুক্ত এবং রডের মাঝখানে তন্ত্রটির ভরকেন্দ্রে একটি তন্তু (F) দিয়ে ঝোলানো থাকে। ব্যবস্থাটি একটি সুগ্রাহী ব্যাবর্ত তুলা (torsion balance) হিসাবে কাজ করে। তন্তুটির সঙ্গে বৃত্তাকার স্কেলযুক্ত একটি ব্যাবর্ত-শীর্ষ (torsion head) H এবং একটি ক্ষুদ্র আয়না M লাগানো থাকে। ব্যাবর্ত-শীর্ষের সাহায্যে তন্তুটিতে প্রয়োজন মতো মোচড় দেওয়া যায়। স্কেলের সাহায্যে আয়নায় প্রতিফলিত আলোকরশ্মি ঘূর্ণন মাপার ব্যবস্থা (lamp and scale arrangement) থাকে,যা দিয়ে রডের ঘূর্ণন কতটা হল, তা বোঝা যায়। A চাকতির উপর T নলের শব্দতরঙ্গ কেন্দ্রীভূত করা হয়। ধ্বনি বিকিরণ চাপ চাকতিকে স্বাভাবিক অবস্থান থেকে বিচ্যুত করে দেয়। তখন H শীর্ষটি ঘুরিয়ে চাকতিকে আবার আগেকার অবস্থায় আনা হয়। এই অবস্থায় বিকিরণচাপ যদি P হয়, চাকতির ক্ষেত্রফল যদি a হয়, আর যদি H এর মোচড় (twist) হয়, তবে

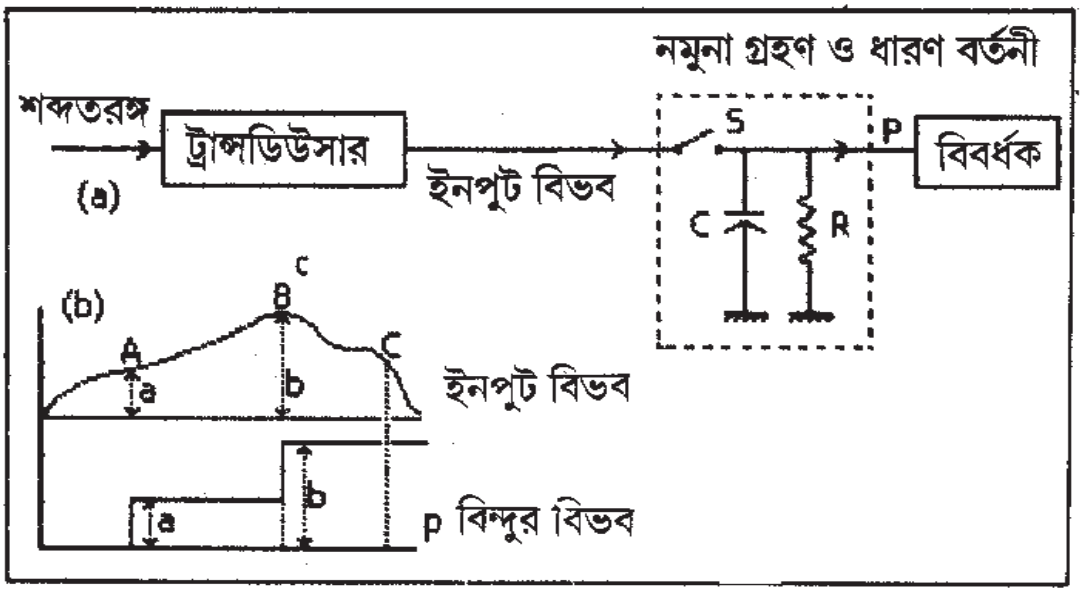
$P \quad l =$ ...10.7

এখানে l হত AB রডের অর্ধ দৈর্ঘ্য আর তারের ব্যাবর্তন ধ্রুবক (torsional constant)। **সমীকরণ** 10.7 থেকে P নির্ধারণ করা যায়।

10.4.5 ডিজিটাল সাউন্ড লেভেল মিটার

অবৈদ্যুতিক রাশিকে তড়িৎ প্রবাহ বা বিভবের হিসাবে মাপতে হলে আগে দরকার রাশিটিকে সমানুপাতী বিভব বা তড়িতে রূপান্তরিত করার একটি উপায়। এই কাজে যে জাতের যন্ত্র ব্যবহার করা হয়, তাদের ট্রান্সডিউসার (Transducer) বলে। এগুলির কাজ তড়িৎ শক্তির অন্য শক্তিতে বা অন্য শক্তিকে তড়িৎ শক্তিতে রূপান্তরিত করা। সবচেয়ে পরিচিত ট্রান্সডিউসার হল মাইক্রোফেন ও স্পিকার (speker)। মাইক্রোফোনের সাহায্যে বক্তার কণ্ঠস্বরকে সমানুপাতী তড়িৎ সঙ্কেতে পরিণত করা হয়। তাকে বিবর্ধিত করে আবার লাউডস্পিকারে শব্দে রূপান্তিরিত করা হয়।

যে শব্দের তীব্রতা মাপা হবে, তাকে প্রথমেই মাইক্রোফোন বা অন্য কোনও ট্রান্সডিউসারের সাহায্যে তড়িৎ সঙ্কেতে রূপান্তরিত করা হয়। এবার এই সঙ্কেতকে নমুনা সংগ্রাহক ও ধারক (Sample-and-hold) নামক একটি বর্তনীতে পাঠানো হয়। চিত্র 10.4(a) - তে এই বর্তনীর ক্রিয়াপদ্ধতি বোঝানো হয়েছে। একটি সুইচ (S) এবং একটি ধারক সহযোগে এই বর্তনী গঠিত হয়। এই সুইচটি অবশ্য সাধারণ অন-অফ সুইচ নয়।



চিত্র : 10.4 : (a) ডিজিটাল সাউন্ড লেভেল মিটারের গঠন (b) বিভব প্রকৃতি

ট্রানজিস্টার বা মসফেট (MOSFET)-কে কাজে লাগিয়ে নির্দিষ্ট সময় অন্তর বর্তনীটি অন-অফ করানো হয়। অন হলে ইনপুট, বা শব্দতরঙ্গ সমানুপাতী বিভব C ধারকে এসে পড়ে এবং ধারকটি দ্রুত উক্ত বিভব পর্যন্ত আহিত হয়। এবারে সুইচটি অফ হলে ইনপুটের সঙ্গে সংযোগ বিচ্ছিন্ন হয়ে যায় এবং ধারকটি রোধ R-এর

মধ্য দিয়ে অনাহিত হতে থাকে। R-এর মান বাড়িয়ে ক্ষরণ কাল (discharging time) বাড়ানো যায়। তা হলে ইনপুট সংযোগ বিচ্ছিন্ন হওয়ার পরেও $C - R$ সমন্বয় কিছুক্ষণ বিভবটি ধরে রাখে। সুতরাং, বর্তনীটি যেন ইনপুট বিভবের নমুনা (sample) গ্রহণ করে তা ধারণ (hold) করে রাখে। এই নমুনা বিভব বিবর্ধকে প্রযুক্ত হয়। এর গুরুত্ব এই যে, ইনপুট তরঙ্গ শব্দের দ্রুত ওঠা-নামার সঙ্গে বাড়লে-কমলেও বিভবের একটি স্থির মান বিবর্ধকে পৌঁছয় এবং শব্দ তীব্রতার গড় অথবা অধিকতর মান জানা যায়।

চিত্র 10.4(b) - তে একটি গ্রাফের সাহায্যে ঘটনাটি বোঝানো হয়েছে। শব্দতরঙ্গের সমানুপাতী ইনপুট বিভব বাড়ছে-কমছে। নির্দিষ্ট সময় পরে পরে A, B এবং C মুহূর্তের বিভব গ্রহণ করা হল। A মুহূর্তের পর S - এর সংযোগ বিচ্ছিন্ন হয়ে গেল এবং $C - R$ সমন্বয় ওই মুহূর্তের বিভব (a) ধরে রাখল। B-তে বিভব আরও বাড়ল। তখন ধারক C সেই বর্ধিত বিভব (b) পর্যন্ত আহিত হল। C মুহূর্তে বিভব আবার কমে গেল। কিন্তু ধারক সেই b বিভবই ধরে রেখে দিল। অতএব, শব্দ তীব্রতার উচ্চতম মানটি পাওয়া গেল। যদি ইনপুট তরঙ্গ শুধু A অবস্থার কাছাকাছি ওঠা নামা করত, তবে তারই একটি মান স্থিরভাবে পাওয়া যেত এবং তা শব্দ তীব্রতার গড় মান নির্দেশ করত। কিন্তু বর্তনীটি একটি বিভব অনির্দিষ্ট কাল ধরে রাখবে, তা বাঞ্ছনীয় নয় তা হলে পটকা ফেটে চারদিকে স্তব্ধ হয়ে যাওয়ার পরও যন্ত্রটি সেই পটকার শব্দের সমানুপাতী উচ্চ বিভবই প্রদর্শন করবে। এই কারণে কিছুক্ষণ অন্তর সুইচটি অন করে বিভবের নমুনা সংগ্রহ করতে হয়। তা করলে আউটপুট বিভব কিছুক্ষণ অন্তর ইনপুট বিভবের সমানুপাতী এক একটা স্থির মান নির্দেশ করে অথচ ইনপুটের অনবরত ওঠা নামার বিশৃঙ্খল অবস্থাটাও এড়ানো যায়।

বিভবের নমুনা সংগ্রহের হার ইনপুট বিভবের উপর নির্ভর করে। কম্পাঙ্ক যত বেশি হবে, তত দ্রুত নমুনা সংগ্রহ করতে হবে। বিভবের পরিবর্তন যদি সাইন (sinusoidal) তরঙ্গ হয়, তবে কম্পাঙ্কের দ্বিগুণ হারে (কম্পাঙ্ক 5KHz হলে 10KHz হারে, বা প্রতি 10^{-4} সেকেন্ড পরে-পরে) নমুনা সংগ্রহ হওয়া উচিত। আর যদি অন্য অনিয়মিত আকৃতির তরঙ্গ হয়, তার উপাদানগুলির যে সাইন তরঙ্গটির কম্পাঙ্ক সবচেয়ে বেশি, তার দ্বিগুণ হারে নমুনা সংগ্রহ হতে হবে।

এখন একটি অনুশীলনীর সাহায্যে যা পড়লেন যেটি একবার ঝালিয়ে নিন।

অনুশীলনী - 2 :

(a) র‍্যালের চাকতির উপর বলযুগ্মের মান বাড়াতে কোন কোন ব্যবস্থা নেওয়া হয়?

(b) তপ্ত তার মাইক্রোফোনের উপর শব্দতরঙ্গ আপতিত হলে তার রোধ পরিবর্তিত হয় কেন?

(c) শব্দের তীব্রতা মাপার আলোকীয় পদ্ধতিতে ব্যতিচার পটির আন্দোলন চোখে দেখা যায় না। এর কারণ কী?

10.5 শব্দের কম্পাঙ্কের পরিমাপ

এই আগের অনুচ্ছেদে আপনি শব্দের তীব্রতা পরিমাপের কয়েকটি উপায় পড়েছেন। তীব্রতার মত শব্দের কম্পাঙ্কও শব্দতরঙ্গের একটি গুরুত্বপূর্ণ ধর্ম। অবশ্য যে শব্দকে আমরা অপস্বর বা গোলমাল (noise) বলে অভিহিত করি তাতে মাধ্যমের বস্তুকণার কোনও দোলগতি থাকে না, এ জাতীয় শব্দের কোনও নির্দিষ্ট কম্পাঙ্কও থাকে না। সুস্বর বা সুরেলা শব্দে (musical sound) এক বা একাধিক কম্পাঙ্কের মিশ্রণ থাকে। আমরা এই জাতীয় শব্দের কম্পাঙ্ক কিভাবে নির্ণয় করা যায়, সেটিই আলোচনা করব।

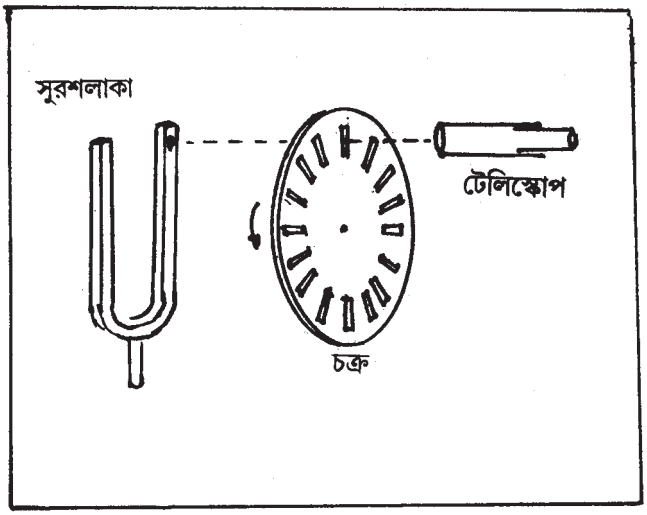
আপনি নিশ্চয়ই আগেই জেনেছেন যে, কোনও শব্দ কতটা খাদে থাকে বা চড়া শোনায় তা শব্দের কম্পাঙ্কের উপর সরাসরি নির্ভর করে। মহিলা বা শিশুর কণ্ঠস্বরের কম্পাঙ্ক পুরুষের তুলনায় বেশি হয়। তাই মহিলা বা শিশুর কণ্ঠস্বর পুরুষের কণ্ঠস্বরের তুলনায় চড়া শোনায়। শ্রোতার কানে বিশেষ একটি শব্দ কতটা চড়া শোনায়, তাকে আমরা শব্দের তীক্ষ্মতা (pitch) বলি। শব্দের কম্পাঙ্ক আর তীক্ষ্মতার ঘনিষ্ঠ সম্পর্ক থাকলেও দুটি কিন্তু এক নয়। কম্পাঙ্ক শব্দের উৎসের ধর্ম, কিন্তু তীক্ষ্মতা পুরোপুরি শ্রোতার অনুভূতির উপর নির্ভরশীল। তবে দুইটি বিশুদ্ধ কম্পাঙ্কের সুর যদি একই কম্পাঙ্কের হয় তবে তাদের তীক্ষ্মতাও সমান হয়। কাজেই শ্রোতা কানে শুনে একটি জানা কম্পাঙ্কের ও একটি অজানা কম্পাঙ্কের শব্দের তীক্ষ্মতার সমতা সুনিশ্চিত করতে পারলে তিনি দুই কম্পাঙ্ক সমান বলে ধরতে পারবেন এবং এইভাবে অজানা কম্পাঙ্কটি নির্ণীত হবে। তবে এই পদ্ধতিটি কেবলমাত্র দুই কম্পাঙ্কের সমতা নির্ণয়ের জন্যই প্রযোজ্য। আমরা এখানে কম্পাঙ্কের পরিমাপের জন্য এজাতীয় তুনলাভিত্তিক পদ্ধতি ছাড়াও শ্রোতার অনুভূতির উপর নির্ভরশীল নয়। এমন কয়েকটি পদ্ধতির আলোচনা করব।

10.5.1 স্ট্রবোস্কোপিক চক্র (Stroboscopic wheel) পদ্ধতি

স্ট্রবোস্কোপ এমন এক যান্ত্রিক ব্যবস্থা, যাতে পর্যাবৃত্ত গতিসম্পন্ন বা ঘূর্ণায়মান বস্তুকে স্থির অবস্থায় দেখা সম্ভব। এর মূলনীতি হল বস্তুর ঘূর্ণন, কম্পন বা অন্য ধরনের পর্যাবৃত্ত গতির পর্যায়কালের সমান সময় পরে পরে বস্তুটিকে দেখার ব্যবস্থা করা, যাতে বস্তুটি একই দশায় স্থির আছে বলে মনে হয়। স্ট্রবোস্কোপের সাহায্যে আপনি সরাসরি শব্দের উৎসের কম্পাঙ্ক নির্ণয় করতে পারেন। ধরুন, শব্দের উৎসটি একটি কম্পমান সুরশলাকা (tuning fork), যার কম্পাঙ্ক নির্ধারণ করতে হবে। আর স্ট্রবোস্কোপ একটি চাকা, যার গায়ে সমান ব্যবধানে নির্দিষ্ট সংখ্যক অরীয় (radial) রেখাছিদ্র আছে এবং যাকে নির্দিষ্ট গতিতে ঘোরানো যায়। সুরশলাকা এবং স্ট্রবোস্কোপ চক্রকে নানাভাবে ব্যবহার করা যায়। তার মধ্যে একটি সুবিধাজনক ব্যবস্থা 10.5 চিত্রে দেখানো হয়েছে।

সুরশলাকার গায়ে একটি বিন্দু বা দাগ (P) দিয়ে শলাকাটিকে এমনভাবে রাখা হয় যাতে তার কম্পনের তল আর চক্রটির তল সমান্তরাল হয়। শলাকার গায়ের দাগটিকে জোরালো আলোয় আলোকিত করা হয়।

সুরশলাকাটি স্থির থাকলে এবং চাকার কোনও একটি রেখছিদ্র দাগটির সোজাসুজি সামনে থাকলে চাকার অন্য পাশে বসানো টেলিস্কোপে দাগটি স্পষ্ট দেখা যায়। শলাকা কম্পিত হলে দাগটি রেখাছিদ্রের ফাঁক দিয়ে আন্দোলিত অবস্থায় দেখা যায়। এবারে যদি সুরশলাকাকে কম্পিত করা হয় এবং সেই সঙ্গে চাকাটিকেও বৈদ্যুতিক মোটরের সাহায্যে ঘোরানো হয়, তা হলে ঘূর্ণনগতি বাড়তে বাড়তে এমন একটা অবস্থা আসবে যখন সুরশলাকার পর্যায়কাল আর চাকার একটা রেখাছিদ্রের জায়গায় পরেরটা আসার সময়কাল সমান হয়ে যাবে। সেই অবস্থায় টেলিস্কোপে দাগটি স্থির অবস্থায় দেখা যাবে।



চিত্র : 10.5 স্ট্রবোস্কোপিক চক্র পদ্ধতিতে শব্দের কম্পাঙ্ক নির্ণয়

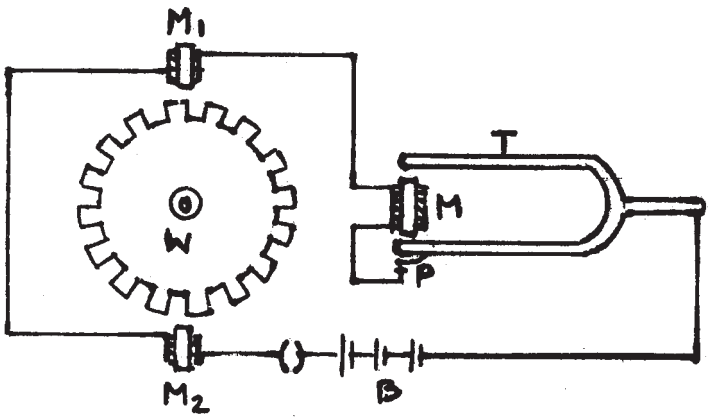
যদি চাকায় ফাঁকের সংখ্যা m এবং প্রতি সেকেন্ড ঘূর্ণনের সংখ্যা n হয়, তবে একটি ফাঁক আগেরটির জায়গা নিতে সময় নেবে সেকেন্ড। এই সময় হবে শলাকার পর্যায় কালের সমান। অতএব, শলাকার পর্যায় কাল সেকেন্ড এবং কম্পাঙ্ক $mm\ Hz$। স্ট্রোবোমিটারের সাহায্যে n জানতে পারলে এই পদ্ধতিতে সুরশলাকার কম্পাঙ্ক নির্ধারণ করা যায়। অবশ্য চক্রটি যদি সেকেন্ডে বার ঘুরত, তাহলেও সুরশলাকার দাগটি স্থির অবস্থায় দেখা যেত, কেননা তখন একটি রেখাছিদ্রের জায়গায় পরেরটি আসতে যে সময় লাগত, তার মধ্যে শলাকাটি দুটি পূর্ণ কম্পন পর্যায় সমাপ্ত করত। এজন্য চক্রের সর্বোচ্চ যে কৌণিক বেগে দাগটি স্থির দেখায়, সেটিই কম্পাঙ্ক নির্ণয়ের জন্য গ্রহণ করতে হয়। সুরশলাকাটিকে সাধারণত বৈদ্যুতিকভাবে কম্পিত করা হয়, যাতে কম্পন স্থির ও দীর্ঘস্থায়ী হয়।

10.5.2 র‍্যালের শব্দ চক্র (Rayleigh's phonic wheel)

এটি বিদ্যুৎ-চালিত সুরশলাকার কম্পাঙ্ক নির্ণয়ের একটি যন্ত্র, যেটি আসলে একটি সমলয় মোটর (synchronous motor).। 10.6 চিত্রে যন্ত্রটির গঠন দেখানো হয়েছে। এখানে যে সুরশলাকার (T) কম্পাঙ্ক নির্ণয় হবে সেটিকে একটি তড়িৎবর্তনীর অর্ন্তভুক্ত করা হয়েছে। B ব্যাটারিটি M_1, M_2 ও M এই তিনটি তড়িৎ চুম্বক, সুরশলাকা এবং সুক্ষ্ম সংযোগবিন্দু P এর মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ চালিত করে। এই তড়িৎ প্রবাহ M তড়িৎ চুম্বককে কার্যকরী করে এবং সেটি সুরশলাকার বাহু দুটিকে আকর্ষণ করে। অবশ্য এজন্য হয় সুরশলাকাটি

লোহা, স্টিল, প্রভৃতি কোন অয়শচুম্বক পদার্থে তৈরি হতে হয়, নতুবা সেটির বাহু দুটির সঙ্গে M চুম্বকের মেরু দুটির সামনে দুটি লোহার টুকরো যুক্ত করতে হয়। সুরশলাকার বাহু আকৃষ্ট হলেই P সংযোগ বিচ্ছিন্ন হয়, ফলে তড়িৎ প্রবাহ বার বার চালু ও বন্ধ হতে থাকে এবং সুরশলাকাটির তার নিজস্ব কম্পাঙ্কে সুস্থিতভাবে কম্পিত হতে থাকে।

আপনি নিশ্চয়ই লক্ষ্য করেছেন, 10.6 চিত্রে একটি চক্র ( ) দেখানো হয়েছে। এটিকেই আমরা শব্দ চক্র বলি। এটি লোহা, বা স্টিলের তৈরি এবং উল্লম্ব অক্ষের উপর খুব মসৃণভাবে ঘুরতে পারে। M_1 ও M_2 যখন চুম্বকিত হয়, তখন সেগুলি চক্রের বিপরীত দিকের দুটি দাঁতকে আকর্ষণ করে। তড়িৎ প্রবাহ বিচ্ছিন্ন হলে এই আকর্ষণ থেমে যায় এবং চক্রটি নিজস্ব জাড্যের জন্য ঘুরতে থাকে। M_1 ও M_2 যখন আবার চুম্বকিত হয় তখন যদি ঠিক পরের দুটি বিপরীত দাঁত আগের দুটির স্থানে আসে, তাহলে সে দুটিও একইভাবে আকৃষ্ট হয় এবং এইভাবে চক্রটি সমগতিতে সুস্থিতভাবে ঘুরে চলে। আসলে ঘর্ষণের ফলে চক্রটির ঘূর্ণন গতিশক্তির যেটুকু ক্ষয় হয়, চুম্বক M_1 ও M_2 - এর আকর্ষণ সেটুকু পূরণ করে। এই অবস্থায় প্রতি সেকেন্ডে সুরশলাকার যতগুলি কম্পন সম্পূর্ণ হয়, ঠিক ততগুলি দাঁত M_1 বা M_2 চুম্বককে অতিক্রম করে যায়। যদি শব্দ চক্রের দাঁতের সংখ্যা n এবং সুস্থিত ঘূর্ণনের সময় প্রতি সেকেন্ডে ঘূর্ণনের সংখ্যা N হয়, তবে এই সংখ্যাটি হল n N এবং এটিই সুরশলাকার নির্ণেয় কম্পাঙ্ক।



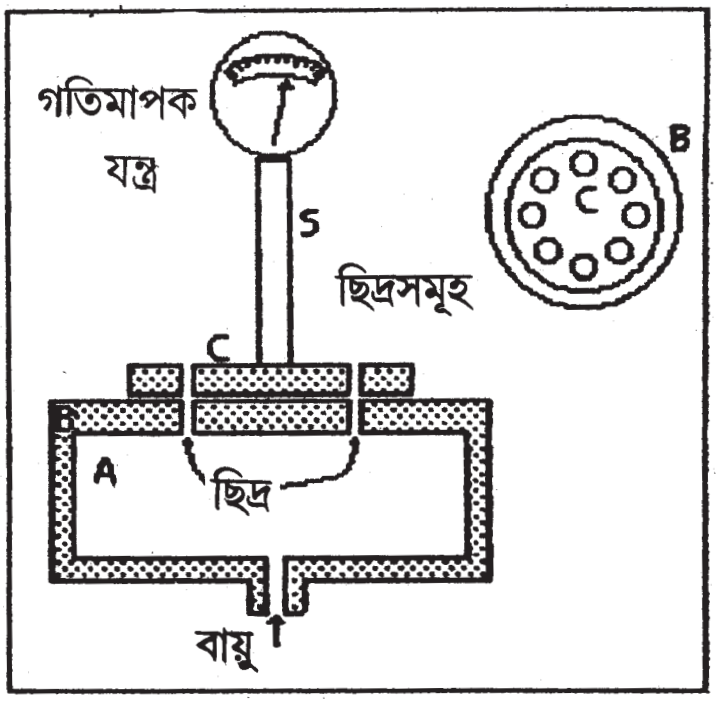
চিত্র : 10.6 র‍্যালের শব্দচক্র

10.5.3 ক্যানিয়ার দ্য লাতুরের সাইরেন (Cagniard de la Tour's siren)

এবার আমরা এমন একটি যন্ত্রের কথা আলোচনা করব যেটির সাহায্যে যে কোনও নির্ণয়যোগ্য কম্পাঙ্কের শব্দ উৎপন্ন করা যায়। এই যন্ত্রটি এক ধরনের সাইরেন। আপনি হয়ত অসামরিক প্রতিরক্ষা বিভাগের সাইরেনের শব্দ শুনেছেন। সেক্ষেত্রে আপনি হয়ত লক্ষ্য করেছেন যে, ঐ সাইরেনের শব্দের তীব্রতা ও তীক্ষ্ণতা উভয়েই প্রথমে বাড়ে কিছুক্ষণ স্থির থাকে বা ওঠা-নামা করে এবং তারপর কমে যায়। এই যন্ত্রের সাহায্যে কী ভাবে একটি অজ্ঞাত কম্পাঙ্ক নির্ধারণ করা যায়, এবার আমরা সেটি দেখব।

ক্যানিয়ার দ্য লাতুরের সাইরেনের গঠন চিত্র 10.7 চিত্রে দেখানো হয়েছে। একটি বায়ুপ্রকোষ্ঠ A-তে পাম্পের সাহায্যে বায়ু প্রবেশ করানো হয়। প্রকোষ্ঠের উপরের তল B-তে অনেকগুলি ছিদ্র সমান দূরত্বে

বৃত্তাকারে সাজানো থাকে। (চিত্র যন্ত্রটির অনুদৈর্ঘ্যচ্ছেদ দেখানো হয়েছে। পাশেই আঁকা আছে ছিদ্রগুলির অবস্থান)। B-এর উপরে একটি চাকতি (C) থাকে, যাকে একটি কেন্দ্রীয় লম্ব অক্ষের সাপেক্ষে সহজেই ঘোরানো যায়। C চাকতিতে B-এর ছিদ্রগুলির সোজাসুজি সমসংখ্যাক ছিদ্র থাকে, যাতে ছিদ্রগুলি মুখোমুখি



চিত্র : 10.7

পড়লে বায়ুপ্রকোষ্ঠ থেকে বাতাস নির্গত হতে পারে, কিন্তু ছিদ্রগুলি সরে গেলে বায়ুপ্রবাহ বন্ধ হয়ে যায়। এই সবিরাম বায়ুপ্রবাহ শব্দের সৃষ্টি করে যার মূল সুরের কম্পাঙ্ক বায়ুপ্রবাহ প্রতি সেকেন্ডে যতবার বাধাপ্রাপ্ত হয় তার সমান। C চাকতির ঘূর্ণন অক্ষ (rotation shaft) S-এর সঙ্গে গতিমাপক যন্ত্র লাগানো থাকে, যাতে C চাকতিটি প্রতি সেকেন্ডে কতবার ঘুরছে, তা জানা যায়।

কোনও একটি স্বনকের অজ্ঞাত কম্পাঙ্ক নির্ণয়ের জন্য সাইরেনের C চাকতিটি বৈদ্যুতিক মোটরের সহায্যে ক্রমশ দ্রুততর বেগে ঘোরানো হয়, যতক্ষণ না অজ্ঞাত কম্পাঙ্কের শব্দ ও সাইরেনের শব্দের তীক্ষ্নতা কানে শুনে সমান মনে হয়। সাধারণত, দুটি কম্পাঙ্ক কাছাকাছি এলে স্বরকম্প শোনা যায়। সে অবস্থায় সাইরেনের ঘূর্ণন বেগ সামান্য কমবেশি করে স্বরকম্প দূর করতে হয়। ধরা যাক, দুই তীক্ষ্নতা যখন সমান তখন চাকতিটি সেকেন্ডে n বার ঘুরছে। ছিদ্রের সংখ্যা যদি m হয় তবে প্রতি সেকেন্ডে m, n সংখ্যক হাওয়ার ঝলক A থেকে বেরিয়ে আসছে। সাইরেনের উৎপাদিত সুরের কম্পাঙ্ক তখন m, n এবং এটিই অজ্ঞাত কম্পাঙ্কের নির্ণেয় মান।

10.5.3 হেলম্‌হোল্‌ৎস্‌ অনুনাদক (Helmholtz's Resonator)

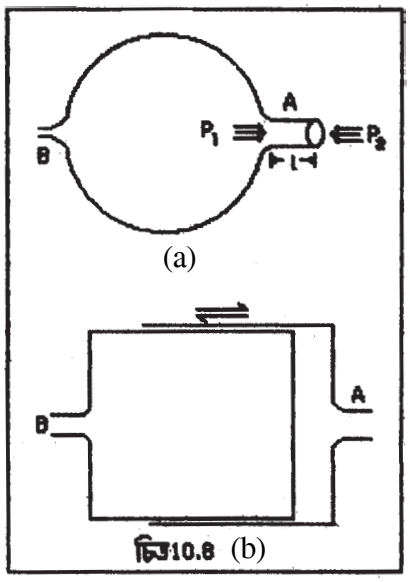
হেলম্‌হোল্‌ৎসের অনুনাদক বাস্তবে ধাতু বা কাচের তৈরি একটি ফাঁপা পাত্র। এর ভিতরের বাতাসের পর্যায়বৃত্ত প্রসারণ ও সংনমনের ফলে এর একটি নিজস্ব কম্পাঙ্ক থাকে। অনুনাদকটির উপর বিভিন্ন কম্পাঙ্কের শব্দ আপতিত হলে আরোপিত কম্পাঙ্কের কেবল একটি নির্দিষ্ট মানের সঙ্গেই এর স্বাভাবিক কম্পাঙ্ক মিলে যায় এবং ঐ নির্দিষ্ট কম্পাঙ্কে এটির অনুনাদ ঘটে। হেলম্‌হোলৎস্‌ অনুনাদকের এই নির্দিষ্ট কম্পাঙ্কে সাড়া দেওয়ার ক্ষমতাটিকে নানা কাজে ব্যবহার করা যায়। যেমন—শব্দের অজ্ঞাত কম্পাঙ্ক নির্ণয়, শব্দ বিশ্লেষণ ও শব্দ বিবর্ধন। এখানে আমরা প্রথম ব্যবহারটিই আলোচনা করব।

চিত্র 10.8 (a)-তে হেলমহোল্‌ৎস্‌ অনুনাদকের গঠন লক্ষ্য করুন। এটি একটি ফাঁপা ধাতব গোলক। একদিকে কুঁজোর মুখের মতো বেলনাকার মুখ আছে, যাকে গ্রীবা (neck) বলা হয়। অন্যদিকে সরু খোলা নল (B) আছে। শব্দতরঙ্গ A-তে আপতিত হয় এবং যদি ঐ শব্দের মূল সুর বা কোনও উপসুর অনুনাদকের অনুবাদী কম্পাঙ্কের সমান হয়, তবে B নলের সামনে কান পাতলে জোরালো শব্দ শোনা যায় অথবা পাতলা কাগজ বা অভ্রের পাত রাখলে কেঁপে ওঠে। তবে এই যন্ত্রে অনুনাদ কেবল একটি কম্পাঙ্কের জন্যই হয়। পরীক্ষার কাজে ছোট থেকে বড় বিভিন্ন আকারের এবং বিভিন্ন কম্পাঙ্কে অনুনাদ ঘটে এমন অনেকগুলি হেলম্‌হোলৎস্‌ অনুনাদকের একটি সেট ব্যবহার করা হয়। একই অনুনাদকের বিভিন্ন কম্পাঙ্কে অনুনাদ পাওয়াও সম্ভব, তবে তার জন্য অনুনাদকটির আকার পরিবর্তন করতে হয়। সেরকম এক ব্যবস্থা কোনিগ (Koenig) করেছিলেন, যা চিত্রে 10.8(b)-তে দেখানো হয়েছে। এতে দুটি বেলনাকার পাত্রের একটি অন্যটির মধ্যে খাপে-খাপে এঁটে যায়। ঠেলে ঢুকিয়ে বা টেনে বার করে, অনুনাদকের আয়তন কমবেশি করা যায়। এভাবে হেলম্‌হোলৎস্‌ অনুনাদকটিকে এমন অবস্থায় আনা হয়, যাতে অজানা কম্পাঙ্কের সঙ্গে অনুনাদ সৃষ্টি হয়। সেই অবস্থায় অনুনাদকের স্বাভাবিক কম্পাঙ্ক যা, অজানা কম্পাঙ্ক তাই। সুতরাং, প্রথমটি জানা থাকলে দ্বিতীয়টি জানা যাবে। এক্ষেত্রে কীভাবে অনুনাদ ঘটে এবং অনুনাদ কম্পাঙ্ক কোন কোন বিষয়ের উপর নির্ভর করে সেটি আপনি নিশ্চয়ই জানতে চাইবেন। এবার এ বিষয়ে কিছু আলোচনা করা যাক।

অজানা কম্পাঙ্কের শব্দতরঙ্গ এসে অনুনাদকের গ্রীবার মুখে পড়লে তার মধ্যেকার বায়ু কম্পিত হয়ে দ্রুত পিস্টনের মতো ওঠানামা করবে। ফলে গোলকের মধ্যে বাতাসের ক্রমান্বয়ে রুদ্ধতাপ সংকোচন ও প্রসারণ (Adiabatic compression and rarefaction) হবে।

যদি গ্রীবার প্রস্থচ্ছেদ ক্ষেত্রফল a ও দৈর্ঘ্য l হয় এবং বায়ুর ঘনত্ব হয়, তবে গ্রীবার মধ্যে বায়ুর ভর al হবে। মনে করা যাক, প্রাথমিক সাম্যাবস্থায় অনুনাদকের গোলকটিতে বায়ুর আয়তন ছিল এবং চাপ ছিল বায়ুমণ্ডলের চাপ P। সাম্যাবস্থান থেকে গ্রীবার বায়ুর x পরিমাণ সরণ ঘটলে গোলকটির বায়ুর আয়তন বেড়ে হয় $V + xa$। ধরা যাক, ঐ প্রসারণের ফলে বায়ুর চাপ পরিবর্তিত হয়ে P_1 হয়। এখন নিউটনের দ্বিতীয় সূত্র অনুযায়ী গ্রীবার মধ্যস্থ বায়ুর গতি সমীকরণ হবে:

$al \quad = (P_1 - P)a$



চিত্র:10.8(b)

যেহেতু বায়ুর প্রসারণ বা সংকোচন শব্দের কম্পাঙ্কে অত্যন্ত দ্রুত ঘটে, অতএব এগুলি রুদ্ধতাপ প্রক্রিয়া এবং এর জন্য রুদ্ধতাপ পরিবর্তনের সূত্র প্রযোজ্য হবে। রুদ্ধতাপ পরিবর্তনের নিয়ম অনুযায়ী $P_1(\mathrm{V}+ xa) = PV$ । এখানে = স্থির চাপ ও স্থির আয়তন বায়ুর দুই আপেক্ষিক তাপের অনুপাত।

$P_1 \quad = P$

বা, $P_1 \quad = P$, যেহেতু $xa <<$ ।

বা, $P_1 - P = \quad P_1$ ...10.9

সমীকরণ 10.8-কে 10.9 সমীকরণে ব্যবহার করলে আপনি পাবেন,

l

বা, $\frac{d^2x}{dt^2} = \frac{-\gamma x a P_1}{Vlp} x$

বা, $\frac{d^2x}{dt^2} + \omega^2 x = 0$ যেখানে

এই পরিচিতি সরল দোলগতির সমীকরণ। সুতরাং, অনুনাদকের মধ্যে বায়ু সরল দোলগতিতে আন্দোলিত হয় এবং তার কম্পাঙ্ক হয়,

$$n = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{\gamma a P_1}{Vl\rho}}$$

বা, $$n = \frac{c}{2\pi}\sqrt{\frac{a}{lV}} \qquad ...10.10$$

যেখানে $c = \sqrt{\gamma P_1 / \rho}$ = অনুনাদকের মধ্যে বায়ুতে শব্দের গতিবেগ।

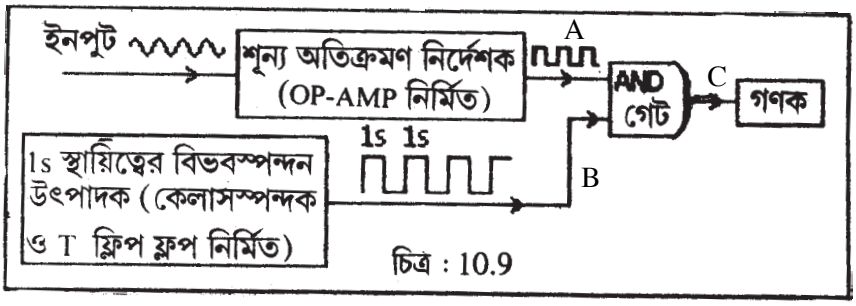
সমীকরণ (10.10) থেকে হেলম্‌হোলৎস্ অনুনাদকের স্বাভাবিক কম্পাঙ্ক নির্ধারণ করা যায়, কারণ c, a, l এবং V সবই আমাদের জানা। অন্য সমস্ত রাশিগুলি স্থির রাখলে

$n =$

অর্থাৎ, অনুনাদকের স্বাভাবিক কম্পাঙ্ক তার আয়তনের বর্গমূলের ব্যাস্তানুপাতী হয়।

10.5.5 ডিজিটাল কম্পাঙ্কমাপক (Digital Frequencymeter)

এটি সম্পূর্ণ ইলেকট্রনিক বর্তনী। এটির জটিল কার্যপদ্ধতি এখানে ব্যাখ্যা করা সম্ভব নয়। এর কোন যন্ত্রাংশের কী কাজ, তা আলোচনা করা যাক। যে শব্দতরঙ্গের কম্পাঙ্ক নির্ধারণ করা হবে, তাকে ট্রান্সডিউসার(সাধারণত মাইক্রোফোন)-এর সাহায্যে সমানুপাতী তড়িৎ তরঙ্গে রূপান্তরিত করে 'ইনপুট' হিসাবে ব্যবহার করা হয়। এবারে চিত্র 10.9 দেখুন। শূন্য অতিক্রমণ নির্দেশক (Zero crossing detector) এমন একটি বর্তনী, যাতে পর্যায়গতির তড়িৎ তরঙ্গ প্রযুক্ত হলে যতবার তা ধনাত্মক থেকে ঋণাত্মক এবং ঋণাত্মক থেকে ধনাত্মক হয়, অর্থাৎ শূন্য অবস্থা অতিক্রম করে, ততবার তার আউটপুট বিভব (A) নির্দিষ্ট বিস্তারের ধনাত্মক বা ঋণাত্মক অবস্থা ধারণ করে। এর ফলে পর্যায়গতির তরঙ্গটি তার সমান কম্পাঙ্কের বর্গতরঙ্গে (square wave) রূপান্তরিত হয়। অপারেশনাল বিবর্ধক (operational amplifier, সংক্ষেপে OP-AMP) নামক এক বিশেষ ইলেকট্রনিক তন্ত্রের (electric device) সাহায্যে এই বর্তনীটি নির্মিত হয়। আর একটি বর্তনী নিখুঁত 1 সেকেন্ড স্থায়িত্বের ধনাত্মক বিভবস্পন্দন (B) উৎপাদন করে। এর জন্য T-flip-flop নামক একটি ইলেকট্রনিক তন্ত্র এবং কেলাস স্পন্দক (crystal oscillator) ব্যবহৃত হয়।

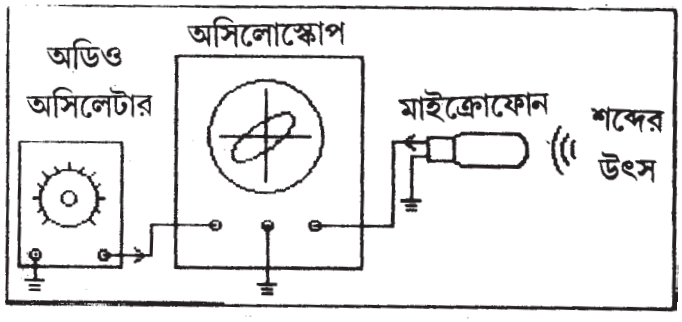


চিত্র : 10.9

A এবং B উভয় বিভব স্পন্দন (voltage pulse)-কে একত্রে AND গেট নামক একটি ইলেকট্রিক তন্ত্রে প্রয়োগ করা হয়। এই তন্ত্রটির বৈশিষ্ট্য এই যে, A এবং B উভয়েই ধনাত্মক হলে তবে C বিন্দুতে ধনাত্মক বিভব পাওয়া যাবে। এখন B-এর বিভব এক সেকেন্ডে ধরে ধনাত্মক। এই সময়ে A যতবার ধনাত্মক হবে (অর্থাৎ যে কটা তরঙ্গদৈর্ঘ্য সম্পূর্ণ হবে), C ততবার ধনাত্মক হবে। সুতরাং, C হবে সরাসরি ইনপুটের কম্পাঙ্কের পরিমাপ। প্রতি সেকেন্ডে ইনপুট তরঙ্গ যতবার কম্পন সম্পূর্ণ করবে, C-তে ততগুলি বিভবস্পন্দন উৎপাদিত হবে। এই সংখ্যাটি গণক (Counter) নামক একটি ইলেকট্রিক বর্তনীর সাহায্যে রেকর্ড করা হয়।

10.5.6 অসিলোস্কোপ পদ্ধতি

এই পদ্ধতির সাহায্যে আপনি একটি অডিও-ফ্রিকোয়েন্স অসিলেটরের উপযোজনযোগ্য (adjustable) কম্পাঙ্কের পর্যাবৃত্ত আউটপুটের সঙ্গে অজ্ঞাত কম্পাঙ্কের শব্দের সরাসরি তুলনা করে পরের কম্পাঙ্কটি বার করতে পারবেন। 10.10 চিত্র থেকে আপনি পদ্ধতিটি বুঝতে পারবেন।



চিত্র : 10.10

নির্ণেয় কম্পাঙ্কের শব্দটি প্রথমে একটি মাইক্রোফোনে আপতিত করা হয় এবং মাইক্রোফোন থেকে যে বিভব পাওয়া যায় সেটিকে অসিলোস্কোপেরY-অক্ষে প্রয়োগ করা হয়। এর ফলে অসিলোস্কোপের ইলেকট্রন রশ্মি পর্দায় যে উজ্জ্বল আলোকবিন্দুটি রচনা করে, সেটি Y বা উল্লম্ব দিকে মাইক্রোফোনে আপতিত শব্দের কম্পাঙ্ক অনুযায়ী আন্দোলিত হতে থাকবে।

এবার অসিলোস্কোপের X অক্ষে একটি অডিও-ফ্রিকোয়েন্সি বা শ্রাব্য কম্পাঙ্কের অসিলেটরের পর্যাবৃত্ত আউট-পুট বিভব প্রয়োগ করা হয়। এই ধরনের অসিলেটর প্রায় 20Hz থেকে 20000Hz কম্পাঙ্কের পর্যাবৃত্ত

বিভব উৎপাদন করতে পারে এবং একটি ডায়ালযুক্ত নব(knob)-এর সাহায্যে এই কম্পাঙ্কটি সম্পূর্ণ পাল্লার মধ্যে ইচ্ছামতো পরিবর্তিত করা যায়। অসিলেটরটি চালু করলে অসিলোস্কোপের পর্দায় আলোকবিন্দুটি X বা অনুভূমিক দিকে অসিলেটরের কম্পাঙ্কে আন্দোলিত হবে।

আপনি নিশ্চয় বুঝতে পারছেন যে, এখন আলোকবিন্দুটির X ও Y অক্ষ বরাবর দুই সরল দোলগতির সমাপতন ঘটবে এবং দুই দোলগতির কম্পাঙ্কে যদি সরল অনুপাত থাকে তবে আলাকবিন্দুটি পর্দায় লিসাজুর চিত্র তৈরি করবে। বিশেষত, দুই কম্পাঙ্ক যদি সমান হয় তবে পর্দায় সরলরেখা অথবা বৃত্ত অথবা একটি উপবৃত্ত দেখা যাবে। এই অবস্থায় অসিলেটরের ডায়াল থেকে সেটির কম্পাঙ্কের পাঠ নিলে সেটিই হবে নির্ণেয় কম্পাঙ্ক। এবার শব্দের কম্পাঙ্কের পরিমাপ সম্বন্ধীয় দুটি প্রশ্নের উত্তর দিন।

অনুশীলনী - 3 :

স্ট্রবোস্কোপিক চক্র পদ্ধতিতে একটি সুরশলাকার কম্পাঙ্ক নির্ণয় করতে গিয়ে দেখা গেল যে, 80 টি রেখাছিদ্রযুক্ত চক্রটি যখন মিনিটে সর্বোচ্চ 90 বার ঘোরে, তখন সুরশলাকাটি স্থির দেখায়। সুরশলাকার কম্পাঙ্ক কত? চক্রটি মিনিটে 45 বার ঘুরলে কী দেখা যেত?

10.6 সারাংশ

যে কোনও শব্দের একটি প্রধান বৈশিষ্ট্য তার তীব্রতা। শব্দের তীব্রতা বলতে বোঝায় মাধ্যমের একক লম্ব ক্ষেত্রফলের মধ্যে দিয়ে একক সময়ে বাহিত শক্তি। তীব্রতার পরিবর্তনের অনুপাতকে তার লগারিদ্‌ম্ হিসাবে প্রকাশ করা হয় এবং তার দশমাংশকে ডেসিবেল একক বলা হয়। তীব্রতার সঙ্গে সম্বন্ধিত একটি রাশি হল শব্দের প্রাবল্য। শব্দ জোরে হচ্ছে, না আস্তে হচ্ছে তার অনুভূতিকেই আমরা প্রাবল্য বলি। ওয়েবার-ফেকনারের সূত্র অনুযায়ী প্রাবল্য বৃদ্ধি তীব্রতার বৃদ্ধির লগারিদ্‌মের সমানুপাতী হয়। তীব্রতা মাপার বিভিন্ন পদ্ধতি—র‍্যালের চাকতি, তপ্ত তার মাইক্রোফোন, আলোক ব্যতিচার পদ্ধতি ইত্যাদি এখানে বর্ণনা করা হয়েছে। ডিজিটাল তীব্রতামাপী যন্ত্রের কার্যপদ্ধতিও আপনি জানতে পেরেছেন।

শব্দের কম্পাঙ্ক মাপার বেশ কয়েকটি পদ্ধতি আপনি এখানে পড়েছেন। এই মধ্যে কতকগুলি সম্পূর্ণ যান্ত্রিক, যেমন ষ্ট্রবোস্কোপিক পদ্ধতি বা র‍্যালের শব্দচক্র পদ্ধতি। আবার কতকগুলি পদ্ধতিতে শ্রোতাকে কানে শুনে দুটি শব্দের তীক্ষ্ণতাকে সমান করতে হয় বা অনুনাদ ঘটছে কিনা, সে ব্যাপারে সুনিশ্চিত হতে হয়।

শোষাক্ত পদ্ধতিতে যে হেলম্‌হোলৎস্ অনুনাদক ব্যবহৃত হয় সেটি, শব্দবিজ্ঞানের ইতিহাসে একটি গুরুত্বপূর্ণ স্থান অধিকার করেছে। এই সরল ব্যবস্থাটি শব্দ বিশ্লেষণে নানাভাবে ব্যবহৃত হয়। এখানে আমরা এই ব্যবস্থাটির কার্যপদ্ধতির গাণিতিক বিশ্লেষণ করেছি এবং এটির অনুনাদ কম্পাঙ্কের একটি রাশিমালাও প্রতিষ্ঠিত করেছি।

10.7 সর্বশেষ প্রশ্নাবলী

1. র‍্যালে চাকতির সাহায্যে শব্দের তীব্রতা কীভাবে মাপা হয়?
2. ধ্বনি রেডিওমিটারের মূলনীতি ব্যাখ্যা করুন।