তরলপূর্ণ পাত্রের নিচে অতিশব্দ উৎপাদক কোয়ার্টজটি লাগানো থাকে। পাত্রের উপরে একটি মসৃণ প্রতিফলক তরলে ডোবানো আছে। এই অবস্থান সূক্ষ্মভাবে পরিবর্তন করা যায় এবং মাইক্রোমিটারের সাহায্যে মাপা যায়। পাত্রের নিচে থেকে উঠে আসা অতিশব্দ তরঙ্গ তরলের মধ্য দিয়ে প্রেরিত হয়ে আবার তরলের মধ্যেই প্রতিফলিত হয়ে ফিরে আসে।

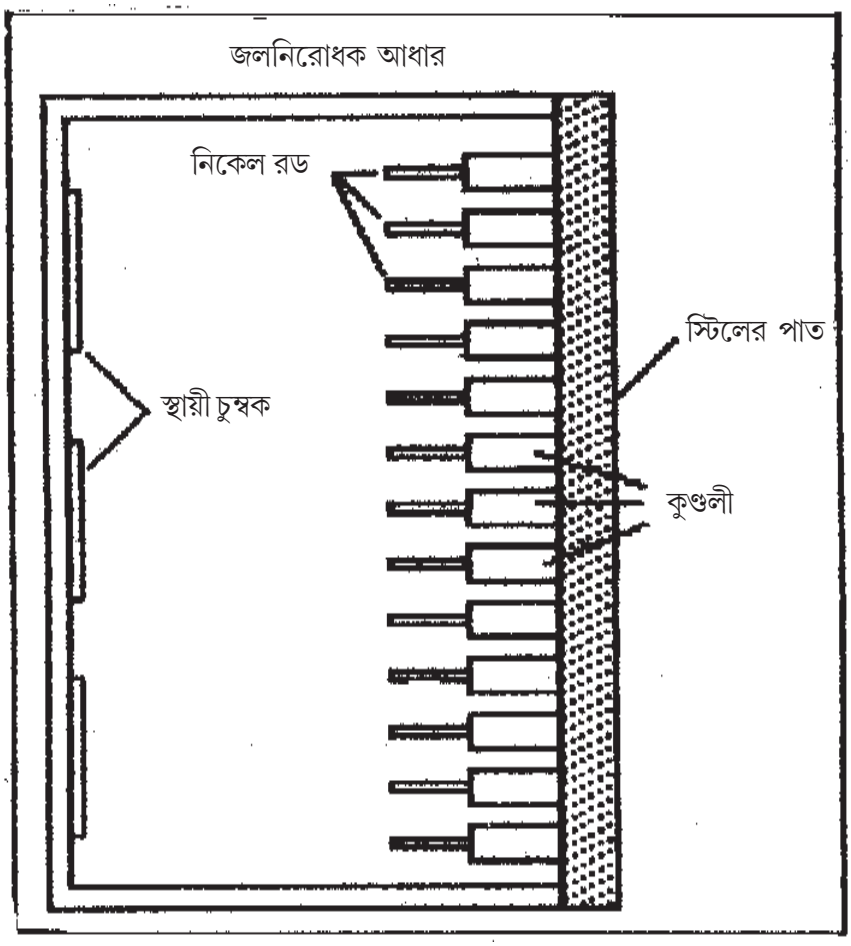
12.4 অতিশব্দের প্রয়োগ ও ব্যবাহর

আপনি প্রথমেই জেনেছেন যে, অতিশব্দের তরঙ্গদৈর্ঘ্য খুব কম। সে কারণে এর সূক্ষ্ম ও সমতল রশ্মিগুচ্ছ তৈরি করা অপেক্ষাকৃত সহজ। সাধারণ শব্দের তুলনায় অনেক ছোট প্রতিফলকে এই তরঙ্গ প্রতিফলিত হয়। মাধ্যমে অতিশব্দ তরঙ্গের শোষণের পরিমাপ সহজেই করা যায়। কোনও অসচ্ছ বস্তু গতিপথে থাকলে এই তরঙ্গ তার ছায়া উৎপন্ন করে। কম্পাঙ্ক বেশি হওয়ায় অতিশব্দতরঙ্গ অধিক পরিমাণ শক্তি বহন করে এবং অত্যন্ত ছোট আকারের বস্তুর ওপর এর মাধ্যমে শক্তি পৌঁছে দেওয়া যায়। এই জন্য অতিশব্দের প্রতিফলন ও বাধাপ্রাপ্তিকে দূরত্ব নির্ণয়, কোনও কঠিন বস্তুর উপস্থিতি নির্ণয় ইত্যাদি নানা কাজে লাগানো হয়। এই জাতীয় কয়েকটি প্রয়োগ এখানে বর্ণনা করা হল।

(i) সমুদ্রের গভীরতা ও জলে নিমজ্জিত বস্তুর দূরত্ব নির্ণয় :

আপনি হয়ত প্রতিধ্বনির সাহায্যে সমুদ্রের গভীরতা নির্ণয়ের পদ্ধতি সম্বন্ধে পড়ে থাকবেন। এই কাজের জন্য অতিশব্দ খুবই উপযোগী। অতিশব্দের তরঙ্গ উৎপাদন করে তা সমুদ্রের জলে সঞ্চারিত করাএবং তার প্রতিধ্বনি গ্রহণ করতে পারার মধ্যে যে সময় অতিবাহিত হয়, তার পরিমাপ থেকে প্রতিফলনের দূরত্ব জানা যায়। অবশ্য এজন্য সমুদ্রের জলে নির্দিষ্ট উষ্ণতায় শব্দের গতিবেগ জানা প্রয়োজন। শব্দের প্রতিধ্বনির সাহায্যে ডুবোজাহাজ, জলে ভাসমান নানাধরনের তরী ও অন্যান্য বস্তুর অস্তিত্ব ও দূরত্ব নির্ণয়, সেগুলির গতিবিধির পর্যবেক্ষণ ও শ্রেণীবিভাগ জলযুদ্ধের একটি প্রয়োজনীয় অঙ্গ। এর জন্য যে পদ্ধতিগুলি ব্যবহৃত হয় সেগুলিকে একত্রে সোনার (SONAR = Sound Navigation and Ranging) বলা হয়।

এই কাজের জন্য যে অতিশব্দ ব্যবহৃত হয় তার গঠন এমন হওয়া প্রয়োজন যাতে সেটি জলের মধ্যে যথেষ্ট তীব্রতার অতিশব্দ উৎপাদন করতে পারে, কেননা, বিশেষত প্রতিফলকটি অনেক দূরে থাকলে সঞ্চারিত তরঙ্গ শক্তির অতি অল্প অংশই প্রতিধ্বনিরূপে গ্রাহকে এসে পৌঁছায়। এছাড়া প্রতিধ্বনি আসার দিকটিও সূক্ষ্ম ভাবে নির্ণয় করা প্রয়োজন।



চিত্র 12.6

12.6 চিত্রে জলের মধ্যে অতিশব্দ প্রেরণের উপযুক্ত অধিক ক্ষমতার একটি চৌম্বক ততি উৎপাদক দেখানো হয়েছে। এখানে কয়েক শত নিকেলের রডের এক প্রান্ত একটি প্রশস্ত স্টিলের পাতের সঙ্গে দৃঢ়ভাবে আবদ্ধ ও অন্য প্রান্তগুলি মুক্ত থাকে। প্রতিটি রডের উপর তার কুণ্ডলী জড়ানো থাকে এবং সেগুলির মধ্য দিয়ে একই দশায় নিকেল রডের অনুনাদী কম্পাঙ্গে পরবর্তী তড়িৎপ্রবাহ পাঠানো হয়। কিছু স্থায়ী চুম্বকের সাহায্যে রডগুলিকে প্রাথমিকভাবে চুম্বকিত করে রাখা হয়। সমস্ত ব্যবস্থাটি জলনিরোধক আধারে রাখা থাকে। নিকেলের রডগুলির কম্পনের ফলে স্টিলের পাতটি একই কম্পাঙ্কে কম্পিত হয় এবং সেটি জলের মধ্যে ডোবানো থাকায় জলের মধ্যে অতিশব্দ তরঙ্গ উৎপন্ন হয়। এখানে শব্দের উৎসের মাপ শব্দের তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের তুলনায় বেশ বড়। এজন্য খুব সংকীর্ণ ঘনকোণের মধ্যে অতিশব্দের তরঙ্গ পাঠানো সম্ভব হয়।

প্রতিফলিত শব্দতরঙ্গের গ্রাহক হিসাবেও চৌম্বক ততির বিপরীত ক্রিয়ার, অর্থাৎ আপতিত শব্দতরঙ্গের চাপে নিকেল রডের ততি এবং তার ফলে চৌম্বক আবেশের উৎপত্তির প্রয়োগ করা হয়। এই জাতীয় গ্রাহক 'হাইড্রোফোন' নামে পরিচিত।

(ii) বস্তুর গঠনগত ত্রুটি নির্ণয় :

ঢালাই লোহা বা ধাতব কাঠামোর মধ্যে কোনও ফাটল বা ত্রুটি আছে কিনা বোঝার জন্য তার মধ্যে অতিশব্দ চালনা করা হয় এবং প্রেরিত, বিক্ষিপ্ত ও প্রতিফলিত তরঙ্গকে বৈদ্যুতিক সংকেত রূপান্তরিত হরা হয়। বস্তুটির গঠন যদি নিখুঁত হয়, তবে সেটির সংলগ্ন গ্রাহকে প্রত্যাশিত বৈদ্যুতিক সংকেত পাওয়া যাবে। কিন্তু কোথাও ফাটল, ফাঁপা অংশ ইত্যাদি থাকলে, সেখানে অতিশব্দ তরঙ্গ প্রতিফলিত বা বিক্ষিপ্ত হবে এবং অনিয়মিত সংকেত পাওয়া যাবে। বস্তুর মধ্য দিয়ে শব্দতরঙ্গ যাওয়ার সময়কাল মাপতে পারলে বস্তুর বেধ বা কতখানি গভীরে গঠনগত ত্রুটি রয়েছে তাও জানা যাবে। অতিসূক্ষ্ম, প্রায় 10^{-5} cm বেধের ফাটলও এভাবে খুঁজে পাওয়া সম্ভব। এই নীতিতে প্রস্তুত একটি যন্ত্র ফায়ারস্টোন (F.A. Firestone) আবিষ্কৃত অতিশব্দ প্রতিফলনদর্শী (Ultrasonic reflectoscope)।

বস্তুকে ভেঙে নষ্ট না করে তার মধ্যেকার ত্রুটি নির্ধারণকে কারিগরি বিদ্যার ভাষায় বলা হয় অবিধ্বংসী পরীক্ষা (non-destructive testing)। অতিশব্দ সে ধরনের একটি সুযোগ করে দেয়।

প্রতিফলন ছাড়া, মাধ্যমের সঙ্গে ক্রিয়া-প্রতিক্রিয়ার উপর ভিত্তি করেও অতিশব্দকে কাজে লাগানো হয়। কোনও মাধ্যমের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত অতিশব্দ তরঙ্গ মাধ্যমে কী পরিবর্তন ঘটাবে, তা নির্ভর করে তরঙ্গের শক্তির উপরে। কম শক্তি তরঙ্গ হলে তা অবিকৃত অবস্থায় মাধ্যমের মধ্য দিয়ে চলে যায়, তরল বা গ্যাসের ক্ষেত্রে অণুগুলির মধ্যে আলোড়ন সৃষ্টি করে। আর বেশি শক্তিসম্পন্ন হলে মাধ্যমের বাধায় তার কম্পন বিকৃত হয়ে যায়। তরঙ্গের শক্তি মাধ্যমের অণু-পরমাণুতে সঞ্চারিত হয়ে কেলাসের উষ্ণতা বৃদ্ধি, আণবিক গঠনের বিকৃতি, রাসায়নিক বিক্রিয়া ইত্যাদি ঘটায়। কোনও মাধ্যমের ভৌত বা রাসায়নিক পরিবর্তন ঘটাতে এই ধরনের অতিশব্দের প্রয়োগ হয়। প্রথমে কম শক্তির অতিশব্দ তরঙ্গের কয়েকটি ব্যবহার উল্লেখ করা যাক।

(iii) অতিশব্দীয় সান্দ্রতা মাপক (Ultrasonic viscometer) :

কোনও তরল তার মধ্য দিয়ে সঞ্চারিত শব্দতরঙ্গকে কতটা শোষণ করে তা ঐ তরলের সান্দ্রতার উপর নির্ভর করে। তরলের মধ্য দিয়ে d দূরত্ব যাওয়ার ফলে শব্দের তীব্রতা যদি I_0 থেকে কমে I_d হয় তবে $\alpha = \ln(I_0/I_d)$ রাশিকে শব্দের শোষাণাঙ্ক (attenuation coefficient) বলা হয়। এই শোষণাঙ্ক তরলের ক্ষেত্রে শব্দের কম্পাঙ্কের বর্গের এবং তরঙ্গের সান্দ্রতার সমানুপাতী হয়। নির্দিষ্ট কম্পাঙ্কে উৎস থেকে বিভিন্ন দূরত্বের শব্দের তীব্রতা ট্রান্সডিউসারের সাহায্যে পরিমাপ করে শোষাণাঙ্কের মান নির্ণয় করা হয়। এইভাবে বিভিন্ন তরলে অতিশব্দের শোষণাঙ্কের মান জানা গেলে যে তরলের সান্দ্রতার মান জানা আছে, তার সঙ্গে তুলনা করে অন্য তরলের অজানা সান্দ্রতার মান নির্ণয় করা যায়।

উচ্চশক্তির অতিশব্দের সাহায্যেও কতকগুলি কাজ করা হয়ে থাকে। যেমন :

(iv) অতিশব্দীয় ড্রিল :

ধাতব বস্তুতে ছিদ্র করার জন্য অতিশব্দ ব্যবহৃত হয়। অতিশব্দের ট্রান্সডিউসারের সঙ্গে ছিদ্র করার বিট লাগানো থাকলে অতিশব্দের সমান কম্পাঙ্কে বিটটি কাঁপবে এবং ক্রমে ক্রমে ধাতুতে ছিদ্র করে প্রবিষ্ট হবে। সাধারণ ড্রিল যন্ত্রে ঘূর্ণন গতি হয়, ফলে শুধু বৃত্তাকার ছিদ্রই করা যায়। কিন্তু এ ক্ষেত্রে বিটটি ঘোরে না, আগে পিছে কাঁপতে কাঁপতে এগিয়ে যায়। ফলে যে কোনও আকৃতির ছিদ্র করা যায়। এই জাতীয় যন্ত্রে কাচ, ইস্পাত এমন কি হীরার মধ্যেও গর্ত করা যায়।

(v) অতিশব্দীয় ক্লিনার (cleaner) :

তরলের মধ্যে অতিশব্দ উৎপাদন করলে সর্বনিম্ন চাপের অঞ্চলগুলিতে বুদ্‌বুদের মত ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র বায়ুশূন্য স্থান তৈরি হয়। এই ঘটনাকে গহ্বরণ বা ক্যাভিটেশন (cavitation) বলা হয়। এই বায়ুশূন্যতা ধূলিকণা প্রভৃতি ক্ষুদ্র বস্তুকে আকর্ষণ করে আনে। সুতরাং, তরলে কোনও বস্তুকে ডুবিয়ে সেই তরলে অতিশব্দ তরঙ্গ চালনা করলে বস্তুর গায়ে লেগে থাকা ধূলো ময়লা উঠে পরিষ্কার হয়ে যায়। এইভাবে সূক্ষ্ম বস্তু, যেমন ঘড়ির ক্ষুদ্র যন্ত্রাংশ যা হাত দিয়ে ঘষে পরিষ্কার করা সম্ভব নয়, তাও অতিশব্দ প্রয়োগে পরিষ্কার করা যায়।

উক্ত পদ্ধতিতে অমিশ্রণীয় তরল (জল ও তেল বা জল ও পারদ) মিশিয়ে অবদ্রব (emulsion) তৈরি করা যায়।

(vi) রাসায়নিক বিক্রিয়া :

বৃহদাকৃতি পলিমারের আণবিক শৃঙ্খল ভেঙে সরল পলিমার তৈরি করার জন্য অতিশব্দ ব্যবহার করা হয়। যেমন, পরিস্টাইরিন (polystyrene)-কে টলুইন (toluene)-এ দ্রবীভূত করে উচ্চ কম্পাঙ্ক (284 KHz) ও শক্তির (5W cm^2) অতিশব্দ প্রয়োগ করলে দ্রবণের পলিমার অণুগুলি ভেঙে যায়। এই পদ্ধতিতে শ্বেতসারের অণু, KI, H_2S, H_gCl_2 প্রভৃতি অণুও ভাঙা সম্ভব হয়।

(vii) নির্বীজন (sterilization) ;

কোনও মাধ্যমে যখন অতিশব্দ শোষিত হয় তখন শব্দশক্তি তাপশক্তিতে রূপান্তরিত হয়ে দ্রুত উষ্ণতা বৃদ্ধি করে। দুধ, পানীয় জল প্রভৃতি তরলের মধ্য দিয়ে শক্তিশালী অতিশব্দ তরঙ্গ পরিচালনা করলে উদ্ভূত উষ্ণতায় নানা ধরণের বীজাণু, এমন কি ব্যাঙাচির মত ছোট ছোট প্রাণী ধ্বংস হয়।

(viii) চিকিৎসাশাস্ত্রে অতিশব্দের প্রয়োগ :

আধুনিক চিকিৎসায় বিভিন্নভাবে অতিশব্দের প্রয়োগ ঘটে। চিকিৎসার ক্ষেত্রে অতিশব্দের ব্যবহারকে মোটামুটি দুই ভাগে ভাগ করা যায়। এগুলি হল (a) রোগ নির্ণয়ে ও (b) রোগের চিকিৎসায় অতিশব্দের ব্যবহার।

(a) রোগ নির্ণয়ে অতিশব্দের প্রয়োগ :

প্রথমে রোগ নির্ণয়ে অতিশব্দের ব্যবহারের কথা আলোচনা করা যাক। আপনি হয়ত আলট্রাসোনোগ্রাফি নামে দেহের অভ্যন্তরের চিত্র গ্রহণের পদ্ধতির নাম শুনেছেন। দেহের মধ্যে অতিশব্দের রশ্মিগুচ্ছ প্রেরণ এবং প্রতিধ্বনির সাহায্যে দেহের অভ্যন্তরের যন্ত্রাদি ও গর্ভস্থ ভ্রূণের ত্রিমাত্রিক চিত্র গঠনই আলট্রাসোনোগ্রাফির মূল কাজ।

আপনি ইতিপূর্বে জেনেছেন যে, শব্দতরঙ্গ যখন এমন দুই মাধ্যমের সীমানায় আপতিত হয়, যেগুলির শব্দরোধ ভিন্ন, তখন তা আংশিকভাবে প্রতিফলিত হয়। শব্দরোধ মাধ্যমের ঘনত্ব ও মাধ্যমে শব্দের বেগ—এই দুই এর গুণফল। বায়ুমাধ্যমের তুলনায় দেহের নরম কলাগুলির ঘনত্ব অনেক বেশি। এগুলির মধ্যে শব্দের বেগও বায়ুমাধ্যমের তুনলায় বেশি, প্রায় $1540ms^{-1}$। সুতরাং, বায়ু ও নরম কলার শব্দরোধ অনেকটাই ভিন্ন এবং বায়ু থেকে দেহে অতিশব্দ তরঙ্গ আপতিত হলে তার আংশিক প্রতিফলন ঘটে। আবার নরম কলা ও অস্থির শব্দরোধও ভিন্ন হওয়ায় অতিশব্দ যখন মেদ-মাংস ও অস্থির সীমানায় আপতিত হয়, তখনও তার কিছুটা প্রতিফলিত হয়।

আলট্রাসোনোগ্রাফিতে 1 mm থেকে 3 cm ব্যাসের চাপ-বিদ্যুৎ কেলাসের দ্বারা কয়েক মাইক্রোসেকেন্ড স্থায়ী থেকে 10 MHz কম্পাঙ্কের অতিশব্দের ঝলক তৈরি করে দেহের মধ্যে পরপর পাঠানো হয়। ঐ ঝলকগুলি দেহমধ্যস্থ পাকস্থলী, হৃৎপিণ্ড, অস্থি থেকে প্রতিফলিত হয়ে ফিরে আসে এবং উৎপাদক কেলাসটিই প্রতিধ্বনির গ্রাহক হিসাবে কাজ করে। প্রতিধ্বনি ফিরে আসতে কতটা সময় লাগে, তার থেকে প্রতিফলকটি দেহের মধ্যে কত গভীরতায় আছে তা নির্ণয় করা যায়। চাপ-বিদ্যুৎ কেলাস থেকে পাওয়া সংকেতের সাহায্যে কম্পিউটারের পর্দায় দেহের অভ্যন্তরের একটি দ্বিমাত্রিক চিত্র ফুটিয়ে তোলা যায়। ইচ্ছা করলে এই সংকেত কম্পিউটারের মেমরীতে সঞ্চিত রাখা যায়, আবার এর সাহায্যে গতিশীল দেহযন্ত্রের (যেমন হৃৎপিণ্ড) চলচ্চিত্র দেখতে পাওয়া যায়।

আলট্রাসোনোগ্রাফি চিকিৎসাশাস্ত্রে এখন একটি বহুব্যবহৃত চিত্রায়ন (imaging) পদ্ধতি। এর সাহায্যে শরীরের মধ্যে টিউমারের অবস্থান, হৃৎপিণ্ডের অবস্থা, গর্ভস্থ ভ্রূণের অবস্থান ও অন্যান্য তথ্য পাওয়া যায়। এক্স-রে চিত্র গ্রহণে বিকিরণের ফলে মানবদেহের বিশেষত ভ্রূণের ক্ষতি হওয়ার আশঙ্কা থাকে। কিন্তু অতিশব্দ এই দিক দিয়ে সম্পূর্ণ নিরাপদ।

(b) রোগ নিরাময়ে অতিশব্দের প্রয়োগ :

দেহকলার মধ্য দিয়ে যখন অতিশব্দের তরঙ্গ সঞ্চারিত হয়, তখন সেটি কিছুটা ম্যাসাজের কাজ করে। বাত ও স্নায়ু সংক্রান্ত রোগে বেদনার উপশমে অতিশব্দের তরঙ্গ প্রয়োগ করা হয়।

মানবদেহের কিডনিতে অনেক সময়ে ছোট ছোট পাথরের টুকরো তৈরী হয়। অতিশব্দের সাহায্যে এগুলি অস্ত্রোপচার ছাড়াই দূর করা যায়। এই পদ্ধতিতে পাথরের উপর একাধিক উৎস থেকে উৎপন্ন অতিশব্দের রশ্মিগুচ্ছ কেন্দ্রীভূত করে পাথরগুলিকে চূর্ণ করা হয় যাতে অতিক্ষুদ্র কণাগুলি দেহের স্বাভাবিক নিষ্কাশন ক্রিয়ার মাধ্যমে বার হয়ে যেতে পারে। এই পদ্ধতি লিথোট্রিপ্‌সি (lithotripsy) নামে পরিচিত।

এবার অনুশীলনীর পালা। নিচের প্রশ্নগুলির উত্তর আপনি সহজেই দিতে পারবেন।

অনুশীলনী - 2 :

(a) একটি 5cm দীর্ঘ মাছ জলের মধ্যে সাঁতার কাটছে। 300Hz কম্পাঙ্কের শ্রবণযোগ্য শব্দ মাছটি থেকে প্রতিফলিত না হলেও 300KHz কম্পাঙ্কের অতিশব্দ সেটি থেকে সুস্পষ্টভাবে প্রতিফলিত হবে। এর কারণ কী? (জলের মধ্যে শব্দের বেগ $1500ms^{-1}$)।

(b) জলের মধ্যে 5MHz কম্পাঙ্কের অতিশব্দ তরঙ্গ পাঠানো হল। এখন এই জলের মধ্য দিয়ে তরঙ্গ

গতির লম্ব অভিমুখে 600nm তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোর সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ পাঠানো হলে তার প্রথম ক্রমের ব্যবর্তন কোণ কত হবে তা 12.6 সমীকরণ ব্যবহার করে নির্ণয় করুন।

(c) সমুদ্রের জলে অতিশব্দ প্রেরণের জন্য ব্যবহৃত চৌম্বক ততিউৎপাদক ব্যবহার করা হয়। এতে একটি প্রশস্ত স্টিলের পাতে অনেকগুলি নিকেল দণ্ড আবদ্ধ থাকে। এই প্রয়োজন হয় কেন?

(d) 18°C উষ্ণতায় ক্যাস্টর আয়েলের মধ্যে 1MHz কম্পাঙ্কের অতিশব্দ তরঙ্গ প্রেরণ করে দেখা গেল $5cm$ দূরত্বে শব্দের তীব্রতা 3 গুণ হ্রাস পায়। ঐ উষ্ণতায় ক্যাস্টর অয়েলের সান্দ্রতাঙ্ক $1000mNsm^{-2}$। এখন যদি অলিভ অয়েলে একই কম্পাঙ্কের অতিশব্দ প্রেরণ করে তীব্রতা 50cm দূরত্বে 4 গুণ হ্রাস পেতে দেখা যায়, তবে অলিভ অয়েলের সান্দ্রতাঙ্ক কত?

12.5 সারাংশ

শব্দের কম্পাঙ্ক 20Hz-এর কম বা 20000Hz-এর বেশি হতে তা আর মানুষের কানে ধরা পড়ে না। কোন শব্দের কম্পাঙ্ক এই সীমার নিচে হলে তাকে অবশব্দ এবং উপরে হলে অতিশব্দ বলা হয়। অতিশব্দ নানাভাবে উৎপাদন করা যায় এবং প্রযুক্তির নানা ক্ষেত্রে অতিশব্দ ব্যবহৃত হয়। আধুনিককালে অতিশব্দ উৎপাদক যন্ত্রে চৌম্বক ততি এবং চাপ-বিদ্যুৎ ক্রিয়াকে কাজে লাগানো হয়।

অতিশব্দের প্রতিফলনকে কাজে লাগিয়ে সমুদ্রের গভীরতা, নিমজ্জিত বস্তুর দূরত্ব ও ধাতব বস্তুর অভ্যন্তরীণ ত্রুটি নির্ণয় করা হয়। তরলের সান্দ্রতা মাপার জন্যও অতিশব্দের ব্যবহার হয়। এ ছাড়া উচ্চশক্তির অতিশব্দের প্রয়োগে ড্রিলিং, ঝালাই এবং অস্ত্রোপচার করা হয়। অতিশব্দের সবচেয়ে পরিচিত ব্যবহার 'আলট্রাসোনোগ্রাফি', অর্থাৎ অতিশব্দের জীবদেহ থেকে প্রতিফলনের ক্রমাগত পরিবর্তনকে বৈদ্যুতিক সংকেত রূপান্তরিত করে অসিলোগ্রাফের পর্দায় শরীরের অভ্যন্তরভাগের দৃশ্যমান চিত্র প্রস্তুত করা হয়। রোগ নিরাময়ের ক্ষেত্রেও আজকাল অতিশব্দ ব্যবহৃত হয়ে থাকে।

12.6 সর্বশেষ প্রশ্নাবলী

1. অতিশব্দ কাকে বলে? জলের মধ্যে যে শব্দের তরঙ্গদৈর্ঘ্য 5cm, তাকে কি আমরা অতিশব্দ বলব?

2. চৌম্বক ততিকে অতিশব্দের উৎপাদনে কীভাবে ব্যবহার করা যায় তার বর্ণনা দিন।

3. চাপ-বৈদ্যুতিক ক্রিয়ার সাহায্যে অতিশব্দের উৎপাদনের বর্ণনা দিন। একই কোয়ার্টজ কেলাসকে কীভাবে বিভিন্ন কম্পাঙ্কের অতিশব্দ উৎপাদনে কাজে লাগানো যায়?

4. অতিশব্দ তরঙ্গের গতিবেগ মাপার কোনও একটি পদ্ধতি বর্ণনা করুন। আপনার বর্ণিত পদ্ধতিটি তরল গ্যাসীয়—উভয় প্রকার মাধ্যমের ক্ষেত্রেই প্রয়োগ করা যায় কি?

5. চিকিৎসাশাস্ত্রে অতিশব্দের প্রয়োগের বিবরণ দিন।

6. অতিশব্দের ব্যবহারের এমন একটি উদাহরণ দিন যেখানে

(a) অতিশব্দের প্রতিফলন ও

(b) অতিশব্দের উচ্চ তীব্রতা কাজে লাগানো হয়।

12.7 উত্তরমালা

অনুশীলনী - 1

(a) যে শব্দের কম্পাঙ্ক শ্রবণযোগ্য শব্দের কম্পাঙ্কের ঊর্ধ্বসীমা অর্থাৎ 20KHz অপেক্ষা বেশি তাকে অতিশব্দ বলা হয়।

(b) দণ্ডটির চৌম্বক আবেশ প্রাথমিক অবস্থায় শূন্য হলে সেটির কম্পনের কম্পাঙ্ক হবে 50KHz × 2 বা 100KHz। কেননা, আরোপিত চৌম্বক আবেশ $0{\cdot}2\text{Wbm}^{-2}$ অথবা $-0{\cdot}2\text{Wbm}^{-2}$ — যেটিই হোক না কেন চৌম্বক অতি সর্ব্বোচ্চ হবে।

দণ্ডের প্রাথমিক চৌম্বক আবেশ - $0{\cdot}5\text{wbm}^{-2}$ হলে সেটি চৌম্বক আবেশ $(0{\cdot}5 \quad 0{\cdot}2)\text{Wbm}^{-2}$ অর্থাৎ, $0{\cdot}7$ ও $0{\cdot}3\text{Wbm}^{-2}$ এর মধ্যে আন্দোলিত হবে। এক্ষেত্রে চৌম্বক ততি প্রতি পর্যায়কালে একবার সর্বোচ্চ এ একবার সর্বনিম্ন হবে। সুতরাং, দণ্ডের কম্পাঙ্কও 50KHz হবে।

(c) যে কোয়ার্টজ কেলাসের মুলসুরের কম্পাঙ্ক 1MHz, তার বেধ হবে :

$$l = \qquad = 2{\cdot}86\ mm$$

সুতরাং, মূলসুর হিসাবে 1MHz কম্পাঙ্কের শব্দ উৎপাদন করতে 2·86mm বেধের কোয়ার্টজ কেলাস ব্যবহার করতে হবে। এর দিনগুণ, পাঁচগুণ ইত্যাদি বেধের কেলাস ব্যবহার করে যথাক্রমে তৃতীয়, পঞ্চম ইত্যাদি সমমেল হিসাবে 1MHz কম্পাঙ্ক উৎপাদন করা যাবে।

অনুশীলনী - 2 :

(a) জলের মধ্যে 300Hz ও 300KHz কম্পাঙ্কের শব্দের তরঙ্গদৈর্ঘ্য যথাক্রমে $= 5m$ ও

$= 5mm$। প্রথম ক্ষেত্রে তরঙ্গদৈর্ঘ্য মাছের দৈর্ঘ্যের তুলনায় অনেক বড় হওয়ায় মাছ থেকে ঐ শব্দ বিশেষ প্রতিফলিত হবে না। কিন্তু দ্বিতীয় ক্ষেত্রে মাছের আকার তরঙ্গদৈর্ঘ্যর তুলনায় বড় হওয়ায় ঐ শব্দ সুস্পষ্টভাবে প্রতিফলিত হবে।

(b) 12.6 সমীকরণ অনুযায়ী $v = n \quad = mn \quad _i / \sin \quad _m$

এখানে $m = 1$, $v = n \quad = 1500ms^{-1}$, $\quad _i = 600 \times 10^{-9}$, $n = 5 \times 10^6$

সুতরাং, sin $\quad =$ $\quad = 0{\cdot}0002$ অর্থাৎ, $\theta = 6'53''$

(c) অনেকগুলি নিকেল দণ্ডের একত্র সম্পনের ফলে শক্তিশালী শব্দতরঙ্গ উৎপন্ন হয়। স্টিলের পাতটি প্রশস্ত হওয়ায় শব্দতরঙ্গ ঈপ্সিত দিকে সঙ্কীর্ণ ঘনকোণে পাঠানো সম্ভব হয়।

(d) ক্যাস্টর অয়েলের শোষণাঙ্ক $\quad _c =$ $\quad$ In 3 = $11{\cdot}0m^{-1}$ একইভাবে অলিভ অয়েলের শোষাণাঙ্ক

$\quad _0 =$ $\quad$ In4 = $1{\cdot}9m^{-1}$ একই কম্পাঙ্কে শোষাণাঙ্ক সান্দ্রতার সমানুপাতী। সুতরাং, অলিভ অয়েলের

সান্দ্রতাঙ্ক = $1000mNsm^{-2} \times \quad = 126mNsm^{-2}$

সর্বশেষ প্রশ্নাবলী :

1. প্রস্তাবনা দেখুন। জলের মধ্যে শব্দের বেগ $1500ms^{-1}$ ধরে নিলে কম্পাঙ্ক $\quad = 30KHz$। এই কম্পাঙ্কের শব্দকে অতিশব্দ বলা হয়।
2. এর উত্তর 12.2.1 অনুচ্ছেদ পাওয়া যাবে।
3. 12.2.2 অনুচ্ছেদে প্রশ্নের প্রথম অংশের উত্তর পাওয়া যাবে। একটি কেলাস বিভিন্ন সমমেলে কম্পিত হতে পারে। সুতরাং, একই কোয়ার্টজ কেলাসকে বিভিন্ন কম্পাঙ্কে অনুনাদ ঘটিয়ে ভিন্ন ভিন্ন কম্পাঙ্কের অতিশব্দ উৎপন্ন করা যায়।
3. 12.3 অংশে আপনি প্রশ্নটির উত্তর পাবেন।
5. প্রশ্নটির উত্তর 12.4 অংশে (viii) অনুচ্ছেদে পাওয়া হয়েছে।
6. এই প্রশ্নটির উত্তরও 12.4 অংশে পাওয়া যাবে।

একক 13 শব্দের অভিলেখন ও পুনর্জনন (Recording and reproduction of sound)

গঠন

13.1 প্রস্তাবনা
উদ্দেশ্য
13.2 শব্দ প্রযুক্তির সংক্ষিপ্ত ইতিহাস
13.3 অভিলেখন ও পুনর্জননের যান্ত্রিক পদ্ধতি
13.3.1 যান্ত্রিক অভিলেখন
13.3.2 যান্ত্রিক পুনর্জনন
13.4 চৌম্বক পদ্ধতি—টেপরেকর্ডার
13.4 আলোকীয় পদ্ধতি
13.5.1 চলচ্চিত্রের ফিল্ম
13.5.2 কমপ্যাক্ট ডিস্ক বা সিডি
13.6 আনুষঙ্গিক যন্ত্রাবলী
13.6.1 মাইক্রোফোন
13.6.2 লাউডস্পিকার
13.7 সারাংশ
13.8 সর্বশেষ প্রশ্নাবলী
13.9 উত্তরমালা

13.1 প্রস্তাবনা

যে সব প্রযুক্তি আমরা দৈনন্দিন জীবনে প্রতিনিয়ত ব্যবহার করে থাকি, শব্দ অভিলেখন ও পুনর্জননের প্রযুক্তি সেগুলির অন্যতম। এই প্রযুক্তির কল্যাণে আমরা বিগত দিনের শিল্পীর কণ্ঠস্বর ও সঙ্গীত বা আবৃত্তি শুনতে পাই। হেমন্ত মুখোপাধ্যায়ের গান এমন কি রবীন্দ্রনাথ ঠাকুরের স্বকণ্ঠের কবিতা আবৃত্তি রেকর্ডের মাধ্যমে শোনা সম্ভব। আবার যে বিদেশী শিল্পীকে চাক্ষুষ দেখার কোনও সুযোগ নেই তাঁর গানও ক্যাসেট-বন্দী হয়ে আজ আমাদের কাছে সহজলভ্য হয়েছে। রেডিও বা দূরদর্শনে আমরা যা কিছু শুনি তার অধিকাংশই পূর্বে রেকর্ড করা। চলচ্চিত্রের যাবতীয় শব্দও ফিল্মের উপরই অভিলিখিত থাকে। এক কথায়, শব্দ যে স্থান কালের ব্যবধান অতিক্রম করতে পেরেছে তা অভিলেখন ও পুনর্জনন প্রযুক্তির উদ্ভাবনের প্রত্যক্ষ ফল। এই গুরুত্বপূর্ণ প্রযুক্তির পরিচয় ব্যতীত স্বনবিদ্যা সম্বন্ধীয় আলোচনা অসম্পূর্ণ থেকে যায়।

শব্দ অভিলেখন ও পুনর্জননের একাধিক প্রযুক্তি বর্তমানে ব্যবহৃত হচ্ছে। এগুলির মূলনীতি একই। শব্দতরঙ্গে চাপের পরিবর্তনকে প্রথমেই মাইক্রোফোনের দ্বারা বৈদ্যুতিক সংকেতে পরিণত করা হয় এবং

ইলেকট্রনিক পদ্ধতিতে যতদূর সম্ভব অবিকৃত রেখে বিবর্ধিত করা হয়। এই বিবর্ধিত সংকেতকে কোনও এক পদ্ধতিতে স্থায়ীভাবে সংরক্ষণ করতে হয়—তা যান্ত্রিক, চৌম্বক বা আলোকীয়, যে কোনও উপায়ে হতে পারে। সংরক্ষিত সংকেতকেই আমরা শব্দের অভিলিপি বা রেকর্ড (record) বলি। শব্দের পুনর্জননের সময়ে এই অভিলিপিটিই সংরক্ষণ পদ্ধতির বিপরীত এক পদ্ধতির মাধ্যমে পূর্বে সংরক্ষিত বৈদ্যুতিক সংকেতের পুনরুৎপাদনে ব্যবহার করা হয়। এই পুনরৎপাদিত সংকেতকে বিবর্ধিত করে তার সাহায্যে লাউডস্পিকারের পর্দাকে কম্পিত করলে অভিলিখিত শব্দটিকে ফিরে পাওয়া যায়।

এই এককে শব্দ অভিলেখনের ও পুনর্জননে প্রচলিত পদ্ধতিগুলি আমাদের প্রদান আলোচ্য বিষয়। এই প্রযুক্তির একটি সংক্ষিপ্ত ইতিহাস এবং এত ব্যবহৃত দুইটি অপরিহার্য যন্ত্র—মাইক্রোফোন ও লাউডস্পিকার সম্বন্ধে কিছু আলোচনাও এই এককের অন্তর্ভুক্ত হবে।

উদ্দেশ্য

আধুনিক শব্দ অভিলেখন ও পুনর্জনন প্রযুক্তির সঙ্গে আপনাকে পরিচিত হওয়ার সুযোগ দেওয়াই এই এককের উদ্দেশ্য। এই এককটি পাঠ করলে আপনি বিশেষভাবে যে কাজগুলি করতে পারবেন সেগুলি হল:

- বিগত এক শতাব্দীর অধিক সময়ে শব্দ প্রযুক্তির যে বিকাশ ঘটেছে তার বিবরণ দিতে পারবেন।
- গ্রামাফোন রেকর্ডে শব্দ অভিলেখন ও তা থেকে শব্দ পুনর্জননের পদ্ধতি বর্ণনা করতে পারবেন।
- টেপরেকর্ডার যন্ত্রের কার্যনীতি ও গঠন ব্যাখ্যা করতে পারবেন এবং শব্দ অভিলেখন ও পুনর্জননে চৌম্বক পদ্ধতির সুবিধাগুলির তালিকা রচনা করতে পারবেন।
- সবাক চলচ্চিত্রের ফিল্মে এবং আলোকীয় বা কমপ্যাক্ট ডিস্কে শব্দ অভিলেখন পদ্ধতির বিবরণ দিতে পারবেন এবং এগুলি থেকে শব্দ পুনর্জননের উপায় বর্ণনা করতে পারবেন।
- শব্দ সংরক্ষণ ও পুনর্জননের আধুনিক ডিজিট্যাল পদ্ধতিটির সঙ্গে পরিচয় লাভ করে এই পদ্ধতি ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- মাইক্রোফোন ও লাউডস্পিকার—এই দুই সাধারণ শব্দযন্ত্রের গঠন ও কার্যপদ্ধতি বুঝিয়ে দিতে পারবেন।

মোটের উপর এই এককটি আপনাকে শব্দ অভিলেখন ও পুর্নজননের প্রচলিত প্রযুক্তিগুলির সঙ্গে বেশ কিছুটা পরিচিত করবে, যাতে প্রয়োজনে আপনি এগুলি সম্বন্ধে হাতেকলমে কাজ শেখায় অগ্রসর হতে পারেন।

13.2 শব্দ প্রযুক্তির সংক্ষিপ্ত ইতিহাস

শব্দ অভিলেখন ও পুনর্জননের যে উন্নত অবস্থা আমরা বর্তমানে যুগে দেখতে পাই তা বহু বিজ্ঞানী ও প্রযুক্তিবিদের দীর্ঘ প্রচেষ্টার ফল। এই প্রযুক্তির ইতিহাস প্রায় দেড়শো বছর পুরনো। এখানে আমরা শব্দ প্রযুক্তির উল্লেখযোগ্য উন্নয়নের ধাপগুলি সারণির আকারে বর্ণনা করব।

সাল ও গবেষক/উদ্ভাবক	প্রযুক্তির উদ্ভাবন ও উন্নয়ন
1857 লিয়ঁ স্কট (ফ্রান্স)	ফোনটোগ্রাফ যন্ত্রের উদ্ভাবন। এই যন্ত্রে একটি ঘুরন্তবেলনের ভূষা মাখানো গায়ে শব্দ আপতনের ফলে একটি পর্দার কম্পন ঢেউ খেলানো রেখা হিসাবে লিপিবদ্ধ হত।
1877 টমাস আলভা এডিসন (আমেরিকা যুক্তরাষ্ট্র)	এঁর উদ্ভাবিত ফোনোগ্রাফ (Phonograph) যন্ত্রে শব্দ একটি পর্দায় আপতিত হলে পর্দাটি কম্পিত হত এবং পর্দার সঙ্গে যুক্ত একটি সূচী ঘুরন্ত বেলনের গায়ে জড়ানো টিনের পাতের উপর শব্দের চাপ অনুযায়ী কমবেশি গভীরতার পেঁচানো রেখা কেটে চলত। এই পদ্ধতির নাম দেওয়া হয়েছিল 'হিল-ডেল' (hill and dale) অভিলেখন।
1878 চিচেস্টার এ.বেল (আমেরিকা যুক্তরাষ্ট্র)	নরম মোমের বেলনের উপরে দৃঢ় পর্দার সঙ্গে যুক্ত ধারালো সূচী শব্দের চাপ অনুযায়ী মোম কেটে বার করে হিল-ডেল পদ্ধতির অভিলেখন রেখা তৈরী করত। আপেক্ষাকৃত শক্ত মোম দিয়ে এই বেলন রেকর্ডের নকল তৈরি করে পুনর্জননের জন্য ব্যবহৃত হত। 1885 সালে এই পদ্ধতির পেটেন্ট নেন বেল ও টেন্টার।
1887 এমিল বার্লিনার (জার্মানি)	ইনি প্রথম ডিস্ক বা চাকতির আকৃতির রেকর্ড নির্মাণ করেন। জিঙ্ক (দস্তা) নির্মিত চাকতির চর্বি জাতীয় বস্তুতে আচ্ছাদিত করে তার উপর পাশের দিকে আঁকাবাঁকা প্যাঁচানো রেখার আকৃতিতে শব্দ অভিলিখিত হত। চাকতিটির উপর অ্যাসিড প্রয়োগ করলে সেটির আচ্ছাদিত অংশ অবিকৃত থাকত কিন্তু অভিলেখন রেখার মধ্য দিয়ে অ্যাসিড জিঙ্কের সঙ্গে রাসায়নিক বিক্রিয়ার ফলে স্থায়ী ও সমান গভীরতায় রেখাকৃতি গর্তের সৃষ্টি করত। পূনর্জননের জন্য দস্তার মূল রেকর্ডটির থার্মোপ্লাস্টিক নির্মিত নকল ব্যবহৃত হত। বার্লিনার হাতে চালানো যন্ত্রের সাহায্যে রেকর্ডটি ঘোরানোর ব্যবস্থা করেন এবং সাউন্ড-বক্সের সঙ্গে একটি ছোট চোং যুক্ত করেন। তিনি এই যন্ত্রটি গ্রামাফোন (Gramophone) নামে পেটেন্ট করেন।

1900	বার্লিনারের উদ্ভাবিত পার্শ্বীয় অভিলেখন পদ্ধতি আমেরিকা ও ইউরোপে জনপ্রিয় হয়।
1907 লাউস্ত (ব্রিটেন)	চলচ্চিত্রের সঙ্গে শব্দ অভিলেখনের ব্যবস্থার ব্রিটিশ পেটেন্ট। এক্ষেত্রে বিবর্ধক ব্যবহৃত হয়নি। প্রতি পিঠ 4 মিনিট বাজানো যায় এমন 78 rpm (প্রতি মিনিটে আবর্তন সংখ্যা 78) রেকর্ড চালু হয়।
1915 লী ডি ফরেস্ট (আমেরিকা যুক্তরাষ্ট্র)	শব্দের ক্ষমতা বৃদ্ধির জন্য ট্রায়োড ভাল্‌ভ ব্যবহার করে অডিয়ন বিবর্ধক নির্মাণ। প্রথম বিশ্বযুদ্ধের ফলে 1920 সালের আগে ইলেকট্রনিক বিবর্ধকের ব্যবহার পুরোপুরি চালু হয়নি। 1924 সালে বৈদ্যুতিক অভিলেখন ও 1925 সাল বৈদ্যুতিক পুনর্জনন প্রচলিত হয়।
1923 লী ডি ফরেস্ট	বিবর্ধকের সাহায্যে চলচ্চিত্রের ফিল্মে শব্দ অভিলেখন ও তার থেকে শব্দ পুনর্জননের পেটেন্ট।
1927 কার্লসন ও কার্পেন্টার	চৌম্বক অভিলেখনের কার্যকরী পদ্ধতি (পরিবর্তী প্রবাহ বায়াস এর সাহায্যে)।
1927-28 আমেরিকা যুক্তরাষ্ট্র ও জার্মানি	চৌম্বক ফিতার প্রস্তুত প্রণালী।
1928 ইংল্যান্ড	প্রথম সবাক চলচ্চিত্র ‘‘The Jazz Singer’’।
1936 জার্মানি	ম্যাগনেটোফোন কোম্পানি বার্লিন রেডিও মেলায় প্রথম টেপরেকর্ডার প্রদর্শন করে।
1960 এর দশক	হল্যান্ড - এর ফিলিপ্‌স্‌ কোম্পানি ক্যাসেট টেপ রেকর্ডার চালু করে। প্রথম দিকে এটি শুধু কথা বলার শব্দ অভিলেখনের জন্য ব্যবহৃত হত।

1970 এর দশক	শব্দের সাংখ্যিক বা ডিজিট্যাল অভিলেখনের প্রচলন। তবে এ সময়ে মূল টেপে অভিলেখন সাংখ্যিক পদ্ধতিতে হলেও বিক্রয়ের জন্য ডিস্ক্ ও টেপগুলিতে অ্যানালগ পদ্ধতিতেই শব্দ অভিলিখিত থাকত।
1983	জাপানের সোনি ও হল্যান্ডের ফিলিপ্স্ (কোম্পানি দ্বারা যৌথভাবে কমপ্যাক্ট ডিস্ক (CD বা সিডি) বা ডিজিট্যাল অডিও ডিস্ক (DAD)-এর নির্মাণ ও বিপণন।

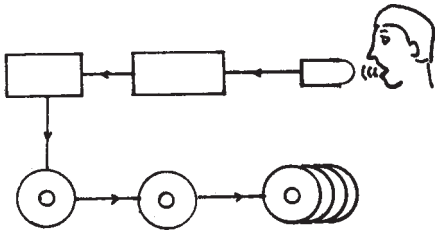
উপরের সারণিতে শব্দ প্রযুক্তির ক্ষেত্রে যে সব উন্নয়নের কথা বলা হয়েছে, সেগুলি ছাড়াও আরও অনেক উন্নয়ণমূলক গবেষণা ও আবিষ্কার শব্দ প্রযুক্তিকে বর্তমান যুগের অত্যুচ্চ মানে পৌঁছতে সাহায্য করেছে। এগুলির মধ্যে আছে মাইক্রোফোন ও লাউডস্পিকারের উদ্ভাবন, বিভিন্ন ইলেকট্রনিক বর্তনীর নির্মাণ, যথা বিবর্ধক ও ফিলটার বর্তনী এবং হাই-ফাই (hifi) প্রযুক্তির (কথাটি এসেছে high fidelity বা উচ্চ অবিকলতা থেকে) উদ্ভব। এই এককের পরবর্তী অংশগুলিতে আপনি শব্দ প্রযুক্তির গুরুত্বপূর্ণ উপাদানগুলির পরিচয় পাবেন।

13.3 অভিলেখন ও পুনর্জননের যান্ত্রিক পদ্ধতি

এই পদ্ধতিতে শব্দ সংরক্ষণের মাধ্যমে গ্রামাফোনের রেকর্ড বা ডিস্ক। বর্তমানে শব্দ অভিলেখনের কাজে গ্রামাফোন রেকর্ডের ব্যবহার প্রচলিত নেই। যদিও পুরনো রেকর্ড বাজারে লভ্য এবং বহু রেকর্ড বিভিন্ন প্রতিষ্ঠানে সংরক্ষিত আছে। শব্দ অভিলেখন প্রযুক্তির ইতিহাসে একটে গুরুত্বপূর্ণ অধ্যায় হিসাবে আমরা গ্রামাফোন রেকর্ডে অভিলেখন পদ্ধতি বর্ণনা করব।

13.3.1 যান্ত্রিক অভিলেখন

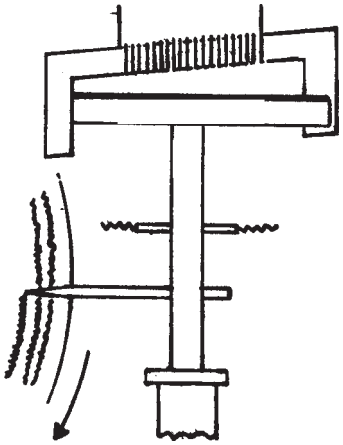
শব্দের যান্ত্রিক অভিলেখন পদ্ধতিটি আপনি 13.1 ব্লক চিত্র থেকে বুঝতে পারবেন। সঙ্গীত, বক্তৃতা ইত্যাদি যে শব্দ অভিলিখিত হবে সেটি প্রথমে মাইক্রোফোনের সাহায্যে বৈদ্যুতিক সংকেতে রূপান্তরিত ও ইলেকট্রনিক



চিত্র : 13.1

বিবর্ধকের সাহায্যে বিবর্ধিত করা হয়। বিবর্ধিত সংকেত তড়িৎপ্রবাহ অভিলেখন যন্ত্রের তড়িৎচুম্বকের কুণ্ডলীতে পাঠানো হয়।

অভিলেখন যন্ত্রটির একটি সরলীকৃত চিত্র (চিত্র 13.2) এখানে দেওয়া হল। এখানে C তড়িৎচুম্বকের কুণ্ডলী। কুণ্ডলীতে পরিবর্তী তড়িৎপ্রবাহের ফলে তড়িৎচুম্বকটির (M) চুম্বকন ও বিচুম্বকন ঘটে। এর ফলে R দণ্ডের সঙ্গে সংযুক্ত আর্মেচার A-এর উপর তড়িৎচুম্বকের আকর্ষণী টর্ক কমে বাড়ে। দণ্ডটি স্প্রিং (*s*, *s*) দিয়ে আটকানো থাকায় আর্মেচারটির *R* দণ্ডের অক্ষের উপর ঘূর্ণন কম্পন ঘটে। দণ্ডটির সঙ্গে আড়াআড়িভাবে লাগানো একটি সুচীমুখ কলম P এর ফলে কম্পিত হয়। সুচীমুখটিতে কোরান্ডাম বা অন্য কোনও কঠিন খনিজের শান দেওয়া টুকরো বসানো থাকে এ বৈদ্যুতিক উপায়ে সেটিকে তপ্ত রাখা হয়। কলমটি যে চাকতির (D) উপর শব্দলিপি মুদ্রিত হবে তার উপর অল্প চাপে বসানো থাকে। চাকতিটি ভারী ধাতুর উপর মোমের প্রলেপ দিয়ে অথবা অ্যালুমিনিয়ামের উপর লাক্ষার বার্নিস দিয়ে তৈরি হয়। কলমটি যেমন কম্পিত হয়, চাকতিটিও ঘুরতে থাকে এবং গিয়ারের সাহায্যে কলমটিকে চাকতির পরিধি থেকে ক্রমে কেন্দ্রের দিকে নিয়ে যাওয়া হয়।



চিত্র : 13.2

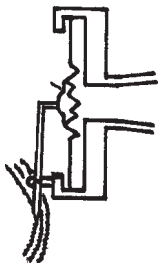
এর ফলে চাকতির উপর একটি প্যাঁচানো লাঙলের দাগের মত রেখা তৈরি হয় যেটি কলমের সূচীমুখটির কম্পন অনুযায়ী আঁকাবাঁকা হয়। এই চাকতিটিই শব্দের রেকর্ড। লাক্ষার বার্নিশ দেওয়া রেকর্ড সরাসরি শব্দের পুনর্জননে ব্যবহৃত হত। আর মোমের রেকর্ড ব্যবহৃত হত বিপণনের জন্য রেকর্ডের কপি তৈরি করার মূল রেকর্ড হিসাবে। অবশ্য লাক্ষার প্রলেপনের মান এবং রেকর্ড কাটার প্রযুক্তির উন্নতির ফলে লাক্ষা প্রলেপিত রেকর্ডই পরে মূল রেকর্ড হিসাবে ব্যবহৃত হয়েছে।

মূল রেকর্ড থেকে বিপণনযোগ্য নকল তৈরি করার জন্য তড়িৎ প্রলেপন (electroplating) পদ্ধতি অবলম্বন করা হয়। প্রথমে রেকর্ডটির উপর একটি পাতলা রুপোর আস্তরণ তৈরি করে তলটিকে তড়িৎ পরিবাহী করা হয়। এর পর মূল রেকর্ডের উপর তামা বা নিকেলের তড়িৎ প্রলেপন করা হলে যে ধাতুর চাকতিটি পাওয়া যায় সেটিকে মূল রেকর্ডের নেগেটিভ বলা যায় অর্থাৎ, মূল রেকর্ডে যে নালীরেখা থাকে, ধাতুর চাকতিতে তার অবিকল প্রতিরূপ আলরেখা পাওয়া যায়। এই চাকতিটিকে ছাঁচ হিসাবে ব্যবহার করে অর্থাৎ থার্মোপ্লাস্টিকের চাকতির উপর ধাতুর চাকতিটির ছাপ দিয়ে ব্যবহারোপযোগী অনেকগুলি রেকর্ড পাওয়া যায়। বাণিজ্যিক উৎপাদনের জন্য তড়িৎ প্রলেপন পদ্ধতিতে অনেকগুলি ধাতুর 'নেগেটিভ' তৈরি করা হয়, যার প্রত্যেকটি থেকে অনেকগুলি 'পজিটিভ' পাওয়া যেতে পারে।

দ্বিতীয় বিশ্বযুদ্ধের সময় পর্যন্ত মিনিটে 78 বার ঘোরাতে হয় এবং এক পিঠ 4 মিনিট বাজে, এরূপ রেকর্ডই প্রচলিত ছিল। 1948 সালে প্রতি পিঠ 30 মিনিট বাজার 33 rpm রেকর্ড এবং তার পর 8 মিনিট বাজার 45rpm রেকর্ডের প্রচলন হয়। এগুলি যথাক্রমে লং প্লেয়িং বা LPএবং এক্সটেন্ডেড প্লে বা EP রেকর্ড রূপে পরিচিত। এগুলির নালীরেখা অত্যন্ত সূক্ষ্ম—প্রস্থে 56 মাইক্রন ও গভীরতায় 32 মাইক্রন। এজন্য এগুলিকে মাইক্রোগ্রুভ (microgroove) রেকর্ডও বলা হয়।

13.3.2 যান্ত্রিক পুনর্জনন

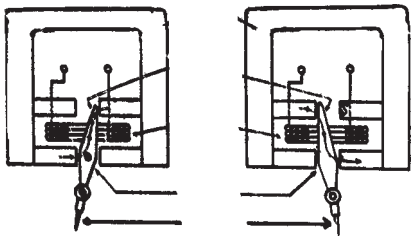
শব্দ প্রযুক্তির প্রথম যুগে গ্রামাফোন রেকর্ড থেকে শব্দ পুনর্জননে 'সাউন্ড বক্স' (চিত্র 13.2) নামে সম্পূর্ণ যান্ত্রিক ব্যবস্থা গ্রহণ করা হত। এতে শব্দলিপির নালীরেখার উপর একটি ধাতব সুচীমুখ অল্প চাপে রাখা হত। রেকর্ডটি ঘুরতে থাকলে নালীরেখার বক্রপথ অনুযায়ী সূচীমুখটি কম্পিত হত। সূচীমূখটি একটি কীলকিত



চিত্র : 13.3

লিভারের মাধ্যমে সাউন্ড বক্সের পর্দার সঙ্গে যুক্ত থাকায় সূচীমুখের কম্পন কিছুটা বিবর্ধিত হয়ে পর্দায় সঞ্চারিত হত এবং পর্দাটি সরাসরি অভিলিখিত শব্দের পুনর্জনন ঘটাত। গ্রামাফোন রেকর্ড থেকে শব্দ পুনর্জননের বৈদ্যুতিক ব্যবস্থার প্রচলনের পর সাউন্ড বক্সের ব্যবহার প্রায় বন্ধ হয়ে গিয়েছে।

বৈদ্যুতিক ব্যবস্থার মধ্যে তিনটি ধাপ আছে। এগুলি হল ; (1) বৈদ্যুতিক পিক-আপ (pick-up) ব্যবস্থার সাহায্যে কম্পনকে নালীরেখার বক্রপথ অনুসারী বৈদ্যুতিক বিভব প্রভেদে রূপান্তরিত করা, (2) বৈদ্যুতিক বিভব প্রভেদকে ইলেকট্রনিক বর্তনীর সাহায্যে বিবর্ধিত করা এবং (3) বিবর্ধিত বৈদ্যুতিক সংকেতটি লাউডস্পিকারে প্রয়োগ করে শব্দ উৎপাদন করা।



চিত্র : 13.4

বৈদ্যুতিক পিক আপ টিও নানা ধরনের হতে পারে। এগুলি হল—

(i) তড়িৎচুম্বকীয় পিক-আপ : এটি স্থির কুণ্ডলী বা চল কুণ্ডলী-এই দুই ধরনের হতে পারে। তলে চল কুণ্ডলী পিক-আপের বৈদ্যুতিক সংকেত অত্যন্ত দুর্বল হওয়ায় এটির বিশেষ ব্যবহার হয় না। স্থির কুণ্ডলী পিক-আপের একটি চিত্র এখানে দেখানো হল (চিত্র 13.4)। এই পিক-আপের সুচীমুখটি একটি কীলকিত লোহার আর্মেচারের সঙ্গে যুক্ত। সূচীমুখটি কম্পিত হলে আর্মেচারটি একটি স্থায়ী চুম্বকের দুইজোড়া N ও S মেরুর মধ্যবর্তী চৌম্বকক্ষেত্রে কম্পিত হয়। এর ফলে আর্মেচারের মধ্য দিয়ে কুণ্ডলীর সঙ্গে জড়িত যে বলরেখাগুলি যায়, সেগুলি দিক পরিবর্তন করে এবং কুণ্ডলীতে বৈদ্যুতিক আবেশজাত বিভব প্রভেদ উৎপন্ন হয়।

(ii) চাপবৈদ্যুতিক (piezo-electric) পিক-আপ : এতে সাধারণত রোশেল সল্ট (potassium sodiumtartrate)-এর চাপবিদ্যুৎ ক্ষমতাসম্পন্ন কেলাস ব্যবহার করা হয়। পিক-আপের সূচীমুখটি একটি কীলকিত কলমের মুখে লাগানো থাকে। সূচীমুখের কম্পন ঘটলে কলমটি কেলাসের উপর পীড়ন সৃষ্টি করে এবং কেলাসের দুই প্রান্তের মধ্যে বিভব প্রভেদের সৃষ্টি হয়।

(iii) রোধ পিক-আপ : এটিতে কম্পনশীল সূচীমুখটি ঘূর্ণীকৃত কার্বনের উপর চাপ সৃষ্টি করে এবং কার্বনের রোধ ওঠানামা করতে থাকে। ফলে সূচীমুখের কম্পনের সঙ্গে কার্বনের মধ্য দিয়ে তড়িৎপ্রবাহও কমতে বাড়তে থাকে।

(iv) ধারকীয় পিক-আপ : সুচীমুখের গতি এক্ষেত্রে একটি ধারকের ধারকত্বের পরিবর্তন সৃষ্টি করে।

উপরে বর্ণিত পদ্ধতিগুলির মধ্যে প্রথম দুটিই অর্থাৎ তড়িৎচুম্বকীয় এবং চাপবৈদ্যুতিক পিক-আপই অধিক প্রচলিত।

পিক-আপ দ্বারা উৎপন্ন বৈদ্যুতিক সংকেত ইলেকট্রনিক বিবর্ধকের সাহায্যে বিবর্ধিত করা হয়। বিবর্ধিত সংকেত লাউডস্পিকারে প্রয়োগ করলে অভিলিখিত শব্দের পুর্ণজনন ঘটে। এই এককের 13.6 অংশে আপনি লাউডস্পিকার সম্বন্ধে কিছু তথ্য জানতে পারবেন। পরের অংশটি পড়ার আগে একটি অনুশীলনীর উত্তর দিন।

অনুশীলনী - 1 :

(i) বৈদ্যুতিক পিক-আপ কোন্ কোন্ ধরনের হয়?

(ii) 33rpm রেকর্ডে কেন্দ্র থেকে 12cm দূরে 512Hz কম্পাঙ্কের একটি সুর অভিলেখিত হলে শব্দের একটি পূর্ণ পর্যায় শব্দলিপিতে একটা দৈর্ঘ্য জুড়ে থাকবে?

13.2 চৌম্বক পদ্ধতি—টেপ রেকর্ডার

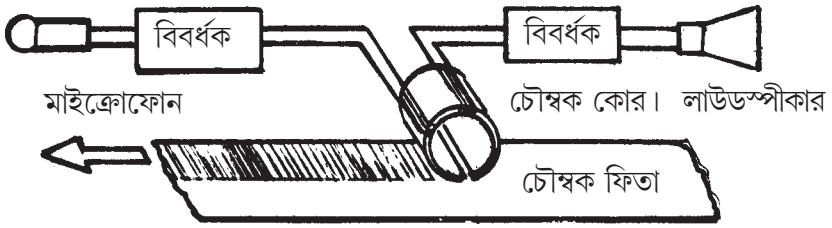
গ্রামাফোন রেকর্ডের তুলনায় চৌম্বক ফিতায় শব্দ সংরক্ষণ অনেক সহজ ও সুলভ। টেপ রেকর্ডার যন্ত্রের সাহায্যে আমরা নিজেরাই চৌম্বক ফিতায় শব্দ অভিলিখিত করতে পারি, একটি ফিতায় অভিলিখিত শব্দ অন্য একটি ফিতায় লিপিবদ্ধ করতে পারি এবং ইচ্ছামত ঐ শব্দের পুনর্জননও ঘটাতে পারি। এই পদ্ধতির কিছুটা বিশদ আলোচনা করা যাক।

চৌম্বক ফিতা : টেপ রেকর্ডারে যে চৌম্বক ফিতা ব্যবহার করা হয় তা মাইলার (Mylar) বা অন্য পলিয়েস্টার প্লাসটিকের নমনীয় ফিতার উপর চৌম্বক পদার্থের প্রলেপ লাগিয়ে তৈরি করা হয়। ফিতার উপর এমন একটি চৌম্বক পদার্থের প্রলেপ দিতে হয় যার চৌম্বক ধারণ ক্ষমতা যথেষ্ট বেশি অর্থাৎ চৌম্বক ক্ষেত্র অপসৃত হলেও যার চৌম্বকত্ব অনেকটাই থেকে যায় আবার নিগ্রাহিতাও (coercivity) যথেষ্ট যাতে রিলে জড়ানো অবস্থায় ফিতার একটি পাকের চুম্বকনের প্রভাবে অন্য পাকের বিচুম্বকন (demagnetisation) না ঘটে। ফিতার বেধ ক্যাসেটের ক্ষেত্রে 12 অথবা 8 মাইক্রন ( )। তবে খোলা রিলের ফিতার বেধ 38 বা 25 মাইক্রন হয়ে থাকে। ফিতার প্রস্থ হয় 3·78mm। চৌম্বক পদার্থ হিসাবে সাধারণত লৌহের অক্সাইড Fe_2O_3, 0·6 থেকে 1·0 মাইক্রন দৈর্ঘ্যের সূচী-আকৃতি কণার আকারে ব্যবহার করা হয়। ক্যাসেট টেপ

রেকর্ডারে ফিতার বেগ কম হওয়ায় উচ্চ কম্পাঙ্কের শব্দ পুনর্জননে অসুবিধা হয়। এ ধরনের যন্ত্রে ব্যবহারের জন্য চৌম্বক পদার্থ হিসাবে ক্রোমিয়াম ডাইঅক্সাইড (CrO_2) এবং ফেরিক অক্সাইডের প্রলেপ দিয়ে ফিতা তৈরি করা হয়েছে। চৌম্বক পদার্থের কণাগুলি বিশেষ ধরনের বন্ধনী আঠার সাহায্যে ফিতার উপর মাখানো হয়। এই আঠা কণাগুলিকে ফিতার উপর সমানভাবে ছড়িয়ে দেয়, শুকিয়ে যাওয়ার পর ফিতার নমনীয়তা বজায় রাখে এবং ফিতাটি গোটানো হলে পরবর্তী পাকের গায়ে আটকে যায় না। খোলা রিলের ফিতায় চৌম্বক প্রলেপের বেধ প্রায় 14 মাইক্রন এবং ক্যাসেটের ফিতার এটি প্রায় 6 মাইক্রন হয়ে থাকে।

অভিলেখন : চৌম্বক ফিতায় শব্দ অভিলেখনের জন্য অপরিহার্য যন্ত্রগুলি হল মাইক্রোফোন বিবর্ধক বা অ্যামপ্লিফায়ার এবং রিকর্ডিং হেড 13.5 চিত্রে আপনি অভিলেখনের পদ্ধতিটি দেখতে পাবেন।

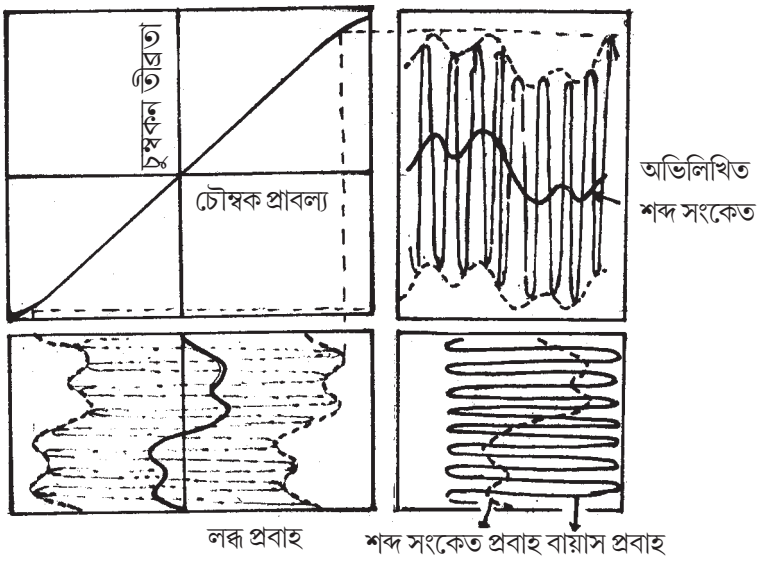
রেকর্ডিং হেডটি আসলে একটি লৌহনির্মিত চৌম্বক কোর। এই উপর একটি তার কুণ্ডলী জড়ানো থাকে। যে শব্দ অভিলিখিত করা হবে, সেটি মাইক্রাফোনের সাহায্যে বৈদ্যুতিক সঙ্কেতে পরিণত হয় এবং ইলেকট্রনিক পদ্ধতিতে সেটিকে বিবর্ধিত করা হয়। এর বিবর্ধিত সঙ্কেত কুণ্ডলীতে প্রয়োগ করলে কোরের চুম্বকন ঐ সঙ্কেত অনুযায়ী পরিবর্তিত হতে থাকে। কোরের একস্থানে দুই মেরুর মধ্যে সামান্য ফাঁক থাকে এবং চৌম্বক ফিতাটি ঐ ফাঁকটির ঠিক পাশ দিয়ে চালিত হয়। এই ফলে কোরের চৌম্বক বর্তনী (magnetic circuit) ফিতার যে অংশ ফাঁকটির ঠিক সামনে পড়ে, তার মধ্য দিয়ে সম্পূর্ণ হয় এবং কুণ্ডলীর তড়িৎপ্রবাহ অনুযায়ী ঐ অংশের চুম্বকন ঘটে। এইভাবে গতিশীল ফিতার উপর শব্দসংকেত অনুযায়ী কম বেশি চুম্বকন হতে থাকে এবং শব্দটি চুম্বকনের রূপে ফিতার উপর অভিলিখিত হয়।



চিত্র : 13.5

চৌম্বক ফিতায় অভিলেখনের যে পদ্ধতিটি আপনি জানলেন, সেটি সরল হলেও এই পদ্ধতিতে সংকেত ও অপশব্দের অনুপাত (signal to noise ratio) যথেষ্ট অধিক হয় না। এর ফলে পুনর্জননের সময় উৎপন্ন শব্দের মধ্যে অপশব্দ থেকে যায়। আধুনিক যুগে অভিলেখনের জন্য এ.সি. বায়াস ব্যবস্থা প্রচলিত হয়েছে। এই ব্যবস্থায় ফিতাটি রেকর্ডিং হেড-এ আসার আগে ইরেজিং হেড (erasing head)-এর পাশ দিয়ে আসে। এটি রেকর্ডিং হেডের মতই তবে অপেক্ষাকৃত বড় একটি ফাঁকযুক্ত চৌম্বক কোর। এটির উপর জড়ানো কুণ্ডলীর মধ্যে শক্তিশালী পরিবর্তী প্রবাহ পাঠানো হয়। ফিতার যে কোনও অংশ ইরেজিং হেড-এর ফাঁকটির পাশ দিয়ে যাওয়ার সময় দ্রুত দিক পরিবর্তনকারী চৌম্বকক্ষেত্রে প্রবেশ করে এবং ক্রমশ বার হয়ে আসে। এর ফলে ক্রমহ্রাসমান শক্তির চৌম্বকক্ষেত্রের প্রভাবে ফিতার ঐ অংশের সম্পূর্ণ বিচুম্বকন ঘটে অর্থাৎ চৌম্বক কণাগুলির চুম্বকত্বের দিক চতুর্দিকে সমভাবে বন্টিত হয়।

সম্পূর্ণ বিচুম্বকিত হওয়ার পর ফিতাটি রেকর্ডিং হেডের সঙ্কীর্ণ ফাঁকের পাশ দিয়ে যায়। রেকর্ডিং হেডের কুণ্ডলীতে (a) মাইক্রোফোন ও বিবর্ধক থেকে আসা সংকেত তড়িৎপ্রবাহ এবং (b) শব্দোত্তর কম্পাঙ্কের একটি পরিবর্তী বায়াস প্রবাহ একত্রে প্রবাহিত হয়। দ্বিতীয় অর্থাৎ (a) প্রবাহের বিস্তার সংকেত তড়িৎপ্রবাহের তুলনায় অনেক বেশি হয়। বায়াস প্রবাহের কম্পাঙ্কও সর্বোচ্চ যে কম্পাঙ্কের শব্দ অভিলিখিত হবে তার বেশ কয়েক গুণ হয়। দুই প্রবাহের মিলিত প্রভাবে ফিতার উপর যে চুম্বকন ঘটে, তার মাত্রা ফিতার চৌম্বক পদার্থের চুম্বকন-তীব্রতা (I) - চৌম্বক-প্রবাল্য (H) লেখের রৈখিক অংশের মধ্যেই থাকে। এর ফলে ফিতার চুম্বকন রেকর্ডিং হেডের কুণ্ডলীর তড়িৎপ্রবাহের যথার্থ অনুলিপি হয়। 13.6 চিত্র থেকে এ বিষয়টি আপনার কাছে স্পষ্ট হবে।



চিত্র : 13.6

ফিতার চুম্বকনে যে শব্দোত্তর কম্পাঙ্কের ওঠানামা থাকে তা স্থায়ী হয় না এবং তার অবশিষ্টাংশ যে শব্দ উৎপন্ন করে তা অতি উচ্চ কম্পাঙ্কের জন্য শোনা যায় না। কিন্তু ফিতার চৌম্বক পদার্থের *I—H* লেখের সম্পূর্ণ রৈখিক অংশ ব্যবহার করার ফলে অভিলিখিত শব্দসংকেতটি শক্তিশালী ও অপেক্ষাকৃত অবিকৃত হয়।

অভিলেখনের উৎকর্ষ বৃদ্ধি করার জন্য কয়েকটি বিষয়ে সতর্কতা অবলম্বন করতে হয়। রেকর্ডিং হেডের ফাঁকটি সম্পূর্ণ সোজা ও সমান হতে হয়। খোলা রিলের যন্ত্রে এই ফাঁকটি প্রস্থে 2.5 থেকে 13 মাইক্রন হয়, তবে সাধারণ টেপ রেকর্ডারে অভিলেখন ও পুনর্জনন—উভয় কাজের জন্য যে হেড ব্যবহার করা হয় তার ফাঁকের প্রস্থ মাত্র 1.3 মাইক্রন। চৌম্বক ফিতার উপর অভিলিখিত শব্দলিপির প্রস্থ সাধারণ স্টিরিও ক্যাসেটের ক্ষেত্রে 0.53mm হয়, তবে পেশাদার অভিলেখনের কাজে এটি 6·4mm হয়ে থাকে। রেকর্ডিং হেডের ফাঁকটি এবং হেডের যে অংশ চৌম্বক ফিতার সংস্পর্শে আসে,সেটি আলোকীয় পদ্ধতিতে পালিশ করে মসৃণ করা হয়।

অভিলিখিত শব্দলিপি চৌম্বক ফিতার প্রস্থের অর্ধেক বা এক চতুর্থাংশ জুড়ে থাকে। এতে একই ফিতায় পাশাপাশি দুইটি বা চারটি শব্দলিপির সংরক্ষণ করা যায়।

পুনর্জনন : শব্দের পুনর্জননের জন্য শব্দলিপিযুক্ত চৌম্বক ফিতাটি অভিলেখনের জন্য ব্যবহৃত চৌম্বক হেড অথবা আরও সঙ্কীর্ণ ফাঁকযুক্ত একটি ভিন্ন 'প্লে-ব্যাক' হেডের পাশ দিয়ে অভিলেখনের সমান গতিতে পাঠানো হয়। কোনও কোনও অভিলেখন যন্ত্রে 'রেকর্ডিং হেড' ও 'প্লে-ব্যাক হেড' আলাদা হলেও সচরাচর ব্যবহৃত টেপ রেকর্ডারে 'রেকর্ডিং হেড'টিই প্লে-ব্যাক হেড হিসাবে কাজ করে।

ফিতার চুম্বকনের ফলে পুনর্জননে ব্যবহৃত এই হেডটির কোরে চৌম্বক ফ্লাক্সের ওঠানামা ঘটে এবং কোরের উপর জড়ানো কুণ্ডলীতে একটি পরিবর্তী বিভব তৈরি হয়। এই পরিবর্তী বিভব ফ্লাক্সের পরিবর্তনের হারের সমানুপাতী। সুতরাং, এটি চৌম্বক ফিতার গতিবেগ, অভিলিখিত সংকেতের বিস্তার ও কম্পাঙ্কের সমানুপাতী হয়।

আপনি নিশ্চয়ই বুঝতে পারছেন যে, প্লে-ব্যাক হেডে উৎপন্ন বিভব অভিলিখিত শব্দের কম্পাঙ্কের সমানুপাতী হওয়ার ফলে শব্দের পুনর্জননে প্রচণ্ড অসুবিধা দেখা দেবে। এর ফলে 64 থেকে 128Hz কম্পাঙ্কের সুরের তুলনায় 128 থেকে 256Hz কম্পাঙ্কের সুরের তীব্রতা দ্বিগুণ শোনাবে, 256 থেকে 512Hz কম্পাঙ্কের সুরের তীব্রতা চতুর্গুণ শোনাবে এবং এইভাবে কম্পাঙ্কের সঙ্গে তীব্রতা বৃদ্ধির ফলে পুনর্জনিত শব্দ, যার মধ্যে নানা কম্পাঙ্কের শব্দ মিশ্রিত থাকতে পারে, তা প্রচণ্ড রকম বিকৃত মনে হবে। এই সমস্যার সমাধানের জন্য সমস্ত পুনর্জনক যন্ত্রে (Tape reproducer) আন্তর্জাতিক মানক অনুযায়ী সমানীকরণের (equalisation) ব্যবস্থা করা হয়। অর্থাৎ, বিবর্ধনের সময় অল্প কম্পাঙ্কে বেশি ও অধিক কম্পাঙ্কে কম বিবর্ধন ঘটিয়ে শব্দের পুনর্জনন করা হয়।

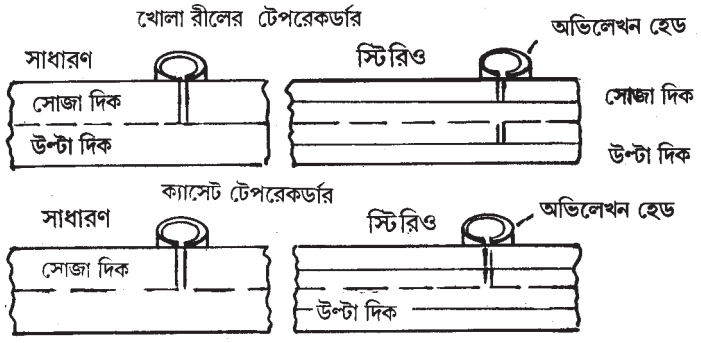
পুনর্জননে ব্যবহৃত প্লে-ব্যাক হেডের ফাঁকটি যথেষ্ট ছোট হওয়া প্রয়োজন। এর কারণ আপনি সহজেই বুঝতে পারবেন। যদি চৌম্বক ফিতার বেগ V এবং শব্দের কম্পাঙ্ক ν, পর্যায়কাল T হয়, তবে ফিতায় অভিলিখিত চুম্বকনের তরঙ্গদৈর্ঘ্য হবে

$$= VT =$$

এখন প্লে-ব্যাক হেডের ফাঁক যদি এর সমান হয়, তবে ফাঁকটির দুই প্রান্তে চুম্বকনের অবস্থা অনুরূপ হবে এবং কোরের মধ্যে কোনও পরিবর্তী ফ্লাক্স না যাওয়ায় কুণ্ডলীর উৎপন্ন বিভব শূন্য হবে। অপরপক্ষে, ফাঁকটি / 2 এর সমান হলে পরিবর্তী ফ্লাক্স ও উৎপন্ন বিভব সর্বাধিক হবে। সুতরাং, সর্বোচ্চ যে কম্পাঙ্কের সুর পুনর্জনন করা দরকার, তার চুম্বকন-তরঙ্গদৈর্ঘ্যের অর্ধেকের চেয়ে প্লে-ব্যাক হেডের ফাঁক বড় হওয়া উচিত নয়। ধরা যাক, চৌম্বক-ফিতার বেগ ν = সেকেন্ডে 1 ইঞ্চি অর্থাৎ $4{\cdot}8 cms^{-1}$। 20000Hz কম্পাঙ্কের সুরের ক্ষেত্রে = cm বা 2·4 মাইক্রন। সুতরা, 20000Hz কম্পাঙ্ক পর্যন্ত সুরের পুনর্জনন ঘটাতে প্লে-ব্যাক হেডের ফাঁক এর অর্ধেক অর্থাৎ 1·2 মাইক্রনের কাছাকাছি হওয়া উচিত।

আগেই জেনেছেন যে, ফিতার একাধিক শব্দলিপি পাশাপাশি থাকে। ফিতাটি সোজা দিকে চালিয়ে এর অর্ধেক থেকে এবং উল্টো দিকে চালিয়ে বাকি অর্ধেক থেকে শব্দের পুনর্জনন করা হয়।

স্টিরিও **অভিলেখন পদ্ধতি** : আপনি হয়ত জানেন যে, স্টিরিও পদ্ধতিতে একই সঙ্গে দুইটি মাইক্রোফোন দ্বারা সংগৃহীত শব্দ অভিলিখিত হয় এবং পুনর্জননের সময় এই দুই শব্দলিপি থেকে উৎপন্ন শব্দ দুইটি পৃথক লাউডস্পিকারের সাহায্যে ধ্বনিত হয়, যাতে দুইটি শব্দ পৃথক উৎস থেকে আসছে বলে মনে হয়। স্টিরিও অভিলেখন ও পুনর্জননের জন্য ফিতায় পাশাপাশি চারটি শব্দলিপি থাকে—যার দুইটি সোজামুখে ও অন্য দুইটি বিপরীতমুখে অভিলিখিত হয়। চিত্র 13.7 থেকে আপনি খোলা রিলের টেপ রেকর্ডার ও ক্যাসেট টেপ রেকর্ডারের সাধারণ (mono) ও স্টিরিও অভিলেখন ব্যবস্থা বুঝতে পারবেন।



চিত্র : 13.7

চৌম্বক অভিলেখন ও পুনর্জননের সুবিধা : পুরানো দিনের গ্রামাফোনের তুলনায় চৌম্বক পদ্ধতি অর্থাৎ টেপ রেকর্ডারের অনেকগুলি সুবিধা আছে। এগুলি হল:

- সহজে বহনযোগ্য যন্ত্রের সাহায্যে যে কেউ যে কোনও স্থানে শব্দের অভিলেখন বা পুনর্জনন করতে পারেন।
- একটানা 30 বা 45 মিনিট বাজানোর উপযোগী অভিলেখন করা সম্ভব।
- একই ফিতায় পুরাতন শব্দলিপি মুছে ফেলে নতুন করে অভিলেখন করা যায়। এমন কি শব্দলিপির অংশ মুছে ফেলে সেটির সম্পাদনা করা যায়।
- চৌম্বক ফিতার কোনও প্রস্ফুটনের (developing) প্রয়োজন হয় না। কাজেই অভিলেখনের ঠিক পরেই শব্দ পুনর্জনন করা যায়।
- চৌম্বক ফিতার অ্যানালগ এবং ডিজিট্যাল—এই পদ্ধতিতেই শব্দ সংরক্ষণ করা যায়। এই ডিজিট্যাল পদ্ধতি সম্বন্ধে আপনি এর পরের অংশে জানতে পারবেন।

এবার আপনার নিচের অনুশীলনীটির উত্তর করতে পারা উচিত।

অনুশীলনী - 2 :

(i) চৌম্বক ফিতায় চৌম্বক পদার্থ হিসাবে ব্যবহার হয় এমন দুইটি পদার্থের নাম লিখুন।

(ii) এ সি বায়াস অভিলেখন পদ্ধতি ব্যবহার করে কী সুফল পাওয়া যায়?

(iii) পুনর্জনক যন্ত্রে সমানীকরণের প্রয়োজন হয় কেন?

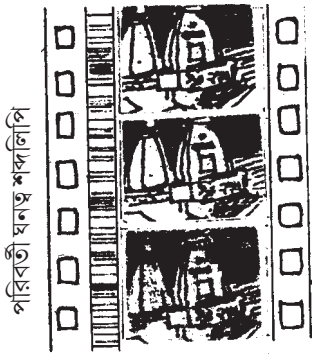
(iv) স্টিরিও অভিলেখন পদ্ধতিতে ফিতার উপর কয়টি শব্দলিপি পাশাপাশি থাকে?

13.5 আলোকীয় পদ্ধতি

আপনি ইতিমধ্যে যান্ত্রিক পদ্ধতিতে অর্থাৎ গ্রামাফোন রেকর্ডে এবং চৌম্বক ফিতায় শব্দ অভিলেখনের কথা পড়েছেন। এ দুটি ছাড়া তৃতীয় যে শব্দ অভিলেখন পদ্ধতির সঙ্গে আমরা পরিচিত সেটি হল আলোকীয় পদ্ধতি। আলোকরশ্মির সাহায্যে শব্দ অভিলেখন ও পুনর্জননের দুইটি সম্পূর্ণ ভিন্ন প্রযুক্তি আমরা আয়ত্ত করেছি। এর মধ্যে সবাক চলচ্চিত্রের ফিল্মে শব্দ অভিলেখন ও তার থেকে শব্দ পুনর্জননের প্রযুক্তি সত্তর বছরের বেশি পুরনো। সম্প্রতি আলোকরশ্মি ব্যবহার করে শব্দ অভিলেখন ও পুনর্জননের যে অন্য প্রযুক্তি আবিষ্কৃত হয়েছে, সেটিতে শব্দলিপি ধরে রাখার জন্য আলকীয় ডিস্ক (optical disc) বা কমপ্যাক্ট ডিস্ক (compact disc) ব্যবহার করা হয়। এই অংশটিতে আপনি চলচ্চিত্রের ফিল্ম এবং আলোকীয় ডিস্ক—উভয় মাধ্যমের বিষয়ই জানতে পারবেন।

13.5.1 চলচ্চিত্রের ফিল্ম :

সিনেমা দেখার সময় আপনি যে কথাবার্তা বা গান বাজনা শুনতে পান, সেই শব্দ সিনেমার ফিল্মের উপরেই অভিলিখিত থাকে। ফিল্মের চিত্রের অভিক্ষেপের (projection) সঙ্গে সঙ্গেই ফিল্মের শব্দলিপি থেকে শব্দের পুনর্জনন ঘটানো হয়, যার ফলে নায়িকার ওষ্ঠের গতি ও তাঁর উচ্চারিত শব্দ, অথবা ধরুন, ধাবমান অশ্বের পদচারণা আর তার খুরের টগ্‌বগ্‌ ধ্বনির মধ্যে সমকালীনতা (synchronization) বজায় থাকে।

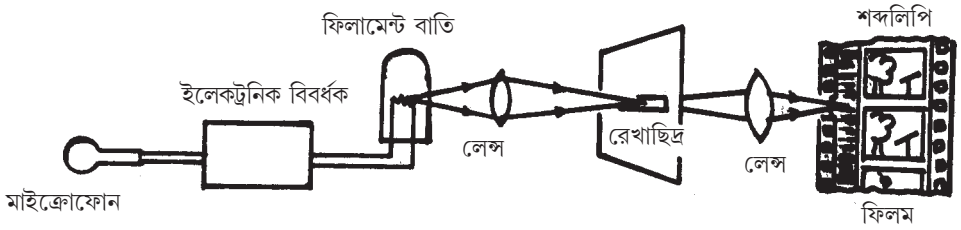


চিত্র : 13·8(a)

ফিল্মে শব্দলিপি দুই ধরনের হতে পারে—পরিবর্তী ঘনত্ব (variable density) ও পরিবর্তী প্রস্থ (variable width) । এখানে আমরা এই দুই পদ্ধতিতে অভিলেখনের পদ্ধতিগুলি সম্বন্ধে সংক্ষিপ্ত আলোচনা করব।

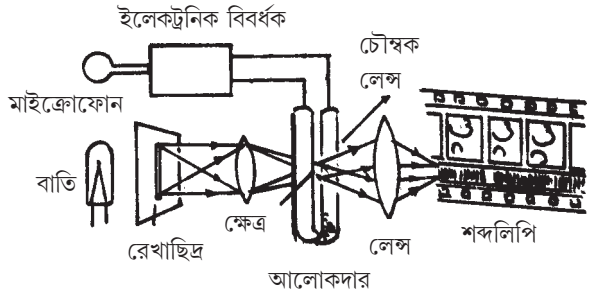
পরিবর্তী ঘনত্ব অভিলেখন : 13.8(a) চিত্র থেকে আপনি এই অভিলেখনের রূপটি বুঝতে পারবেন। এই পদ্ধতিতে ফিল্মের উপর শব্দলিপি সর্বত্র সমান প্রস্থের হয় কিন্তু ফিল্মে কালিমার ঘনত্ব শব্দতরঙ্গের সরণ অনুযায়ী বাড়ে ও কমে। দুই ভিন্ন উপায়ে এটি করা যায়।

- প্রথম পদ্ধতিতে মাইক্রোফোনে উৎপন্ন শব্দ সংকেতটি ইলেকট্রনিক বিবর্ধকের সাহায্যে বিবর্ধিত করে উৎপন্ন তড়িৎপ্রবাহের দ্বারা একটি বৈদ্যুতিক ফিলামেন্ট বা পারদ-আর্ক বাতির ঔজ্জ্বল্য নিয়ন্ত্রণ করা হয়। বাতিটির ঔজ্জ্বল্য প্রাথমিক অবস্থায় মাঝামাঝি থাকে এবং মাইক্রোফোনে গৃহীত শব্দতরঙ্গ অনুযায়ী সেটি কমে বাড়ে। এই বাতির আলো একটি সরু রেখাছিদ্রের (slit) মধ্য দিয়ে ফিল্মের উপর শব্দলিপির জন্য সংরক্ষিত স্থানে পড়ে। ফিল্মটি ডেভেলপ করা হলে পরিবর্তী ঘনত্বের শব্দলিপিটি পরিস্ফুট হয়। 13.8(b) চিত্রে আপনি এই পদ্ধতির একটি রূপচিত্র দেখতে পাবেন।



চিত্র : 13.8(b)

• দ্বিতীয় পদ্ধতিটিতে বাতির ঔজ্জ্বল্য স্থির থাকে কিন্তু ঐ বাতির আলোর সাহায্যে একটি আলোক দ্বারের (light-valve) উপর একটি রেখাছিদ্রের প্রতিবিম্ব ফেলা হয়। আলোক ভালব্‌টি আসলে ডুর‍্যালুমিনের ফিতার একটি সরু ও লম্বা ফাঁস। এই দুই পাটের মধ্যে একটি সূক্ষ্ম ফাঁক বা রেখাছিদ্র থাকে। ফাঁকটি একটি অনুভূমিক চৌম্বকক্ষেত্রে উল্লম্বভাবে ঝোলানো থাকে। মাইক্রোফোন থেকে উৎপন্ন তড়িৎপ্রবাহ ফিতার মধ্য দিয়ে প্রবাহিত হলে চৌম্বকক্ষেত্রে ও তড়িৎপ্রবাহের পারস্পরিক ক্রিয়ায় উৎপন্ন বল ফিতাটিকে কম্পিত করে এবং ফাঁসের মধ্যে রেখাছিদ্রটির প্রস্থ কমে বাড়ে। এর ফলে রেখাছিদ্রটির মধ্য দিয়ে যে আলো ফিল্মের উপর আপতিত হয়, তার পরিমাণ মাইক্রোফোনে গৃহীত শব্দতরঙ্গ অনুযায়ী কম-বেশি হয়। 13·8(c) চিত্র থেকে আপনি এই পদ্ধতির মূল নীতিটি বুঝতে পারবেন।



চিত্র : 13.8(c)

পরিবর্তী প্রস্থ অভিলেখন : আধুনিক চলচ্চিত্রে পূর্ববর্ণিত পরিবর্তী ঘনত্ব অভিলেখন ব্যবহৃত হয় না। বরং বিভিন্ন ধরনের পরিবর্তী প্রস্থ অভিলেখন প্রযুক্তিই বর্তমানে ব্যবহৃত হয়ে থাকে।

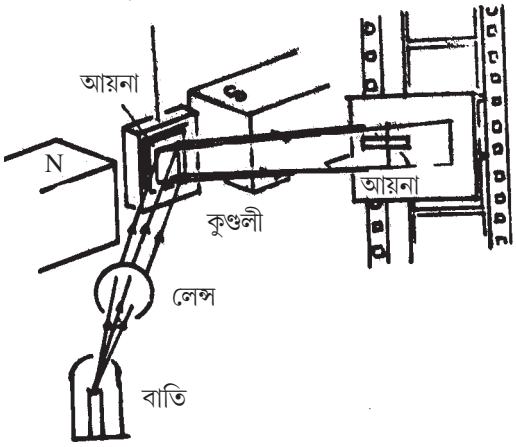
পরবর্তী প্রস্থ শব্দলিপি

চিত্র : 13.9(a)

পরবর্তী প্রস্থ অভিলেখনে শব্দলিপির ঘনত্ব সমান থাকে কিন্তু প্রস্থ কম বাড়ে [চিত্র 13.9 (a)]। এই ধরনের অভিলেখনের একটি সহজ পদ্ধতি হল মাইক্রোফোন জাত তড়িৎপ্রবাহ একটি গ্যালভ্যানোমিটারের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত করা, যাতে গ্যালভ্যানোমিটারের আয়না গৃহীত শব্দতরঙ্গ অনুযায়ী কম্পিত হয়। আয়তাকার প্রস্থচ্ছেদের একটি সমান্তরাল আলোকরশ্মিগুচ্ছ ঐ আয়নায় আপতিত হয় এবং প্রতিফলনের পর একটি সরু রেখাছিদ্রকে আংশকিভাবে আলোকিত করে। আয়নাটি কম্পিত হলে রেখাছিদ্রের

আলোকিত অংশের দৈর্ঘ্য কমবেশি হয়। গতিশীল ফিল্মের উপর রেখাছিদ্রের একটি প্রতিবিম্ব পড়ে এবং গৃহীত শব্দতরঙ্গ অনুযায়ী প্রতিবিম্বের প্রস্থ কম্পিত হওয়ার ফলে পরিবর্তী প্রস্থের শব্দলিপি গঠিত হয়। 13.9(b) চিত্র থেকে আপনি এই পদ্ধতিটি বুঝতে পারবেন।

সিনেমার ফিল্মের অভিলিখিত শব্দলিপি থেকে মূল শব্দটি কীভাবে ফিরে পাওয়া যায়? দুই ধরনের অভিলেখনের ক্ষেত্রে শব্দের পুনর্জননের পদ্ধতিটি একই। শব্দলিপির উপর একটি আলোকিত রেখাছিদ্রের প্রতিবিম্ব গঠিত হয় এবং ফিল্মের মধ্য দিয়ে প্রেরিত আলো একটি ফটো ইলেকট্রিক সেলের উপর পড়ে। এই ফটো ইলেকট্রিক সেল দ্বারা উৎপন্ন তড়িৎপ্রবাহ মূল অভিলিখিত শব্দের কম্পন অনুযায়ী ওঠানামা করে। এই তড়িৎপ্রবাহকে বিবর্ধিত করে সিনেমার পর্দার পিছনে রাখা লাউডস্পিকারে পাঠানো হয় এবং এইরূপ এক বা একাধিক লাউডস্পিকার থেকে পুনর্জনিত শব্দ উৎপন্ন হয়।



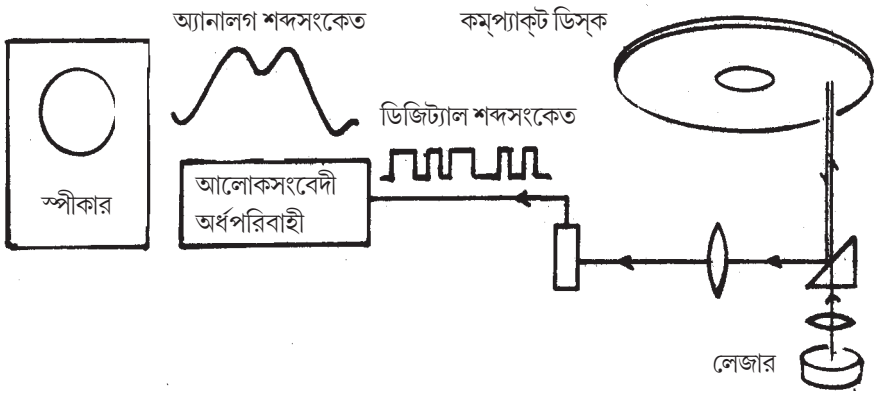
চিত্র : 13.9(b)

সাধারণত ফিল্মের উপর একটি পরিবর্তী প্রস্থ শব্দলিপির পরিবর্তে পাশাপাশি দুইটি অনুরূপ শব্দলিপি অভিলিখিত করা হয়। দুটির মধ্য দিয়ে প্রেরিত আলোকরশ্মি একই ফটো ইলেকট্রিক সেলের উপর পড়ে। দেখা গেছে, এই পদ্ধতিতে পুনর্জনিত শব্দের মধ্যে অবাঞ্ছিত অপশব্দ (noise) অনেকটা কমানো সম্ভব হয়। পরে দুই শব্দলিপিতে দুইটি পৃথক শব্দ অভিলিখিত করে এবং শব্দগুলি পৃথক ফটো ইলেকট্রিক সেল, বিবর্ধক ও লাউডস্পীকারের সাহায্যে পুনর্জনিত করে স্টিরিওফোনিক শব্দ ব্যবস্থা সৃষ্টি করা সম্ভব হয়েছে।

সাম্প্রতিককালে সিনেমার ফিল্মে শব্দ অভিলেখনের জন্য ডিজিট্যাল পদ্ধতি ব্যবহার করা হচ্ছে। এই পদ্ধতি সম্বন্ধে আপনি পরের অংশে কিছুটা বিশদভাবে জানতে পারবেন।

13.5.2 কমপ্যাক্ট ডিস্ক বা সিডি (CD)

শব্দ অভিলেখনের অন্যতম আধুনিক মাধ্যম আলোকীয় ডিস্ক বা কমপ্যাক্ট ডিস্ক, যেটিকে আমরা সংক্ষেপে সিডি বলে থাকি। এই ডিস্কের উপর একটি অ্যালুমিনিয়ামের স্তর থাকে। অভিলিখিত শব্দলিপি অ্যালুমিনিয়াম স্তরের উপর ডিস্কের পরিধি থেকে প্রায় কন্দ্রেস্থল পর্যন্ত প্যাঁচানো রেখা বরাবর ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র গর্তের আকারে খোদিত থাকে। অ্যালুমিনিয়ামের স্তরটি যাতে অক্ষত থাকে সেজন্য সেটির উপরে স্বচ্ছ ও মসৃণ প্লাস্টিকের আবরণ থাকে। গর্তগুলি প্রায় আয়তাকার—প্রস্থে 0.5 মাইক্রন এ দৈর্ঘ্য 1থেকে 3 মাইক্রন। সেগুলি যে প্যাঁচানো রেখা বরাবর সাজানো থাকে, তার এক এক প্যাঁচের মধ্যে ফাঁক মাত্র 1.6 মাইক্রন। আপনার মনে হতে পারে যে, এত ক্ষুদ্র গর্তগুলি খোদিত করা বা সেগুলির পাঠোদ্ধার করার মত সুচীমুখ



চিত্র : 13.10

তৈরি করা দুঃসাধ্য হবে। আসলে এ ধরনের ডিস্কে শব্দ অভিলেখন অথবা পুনর্জননের জন্য লেজার রশ্মি ব্যবহৃত হয়।

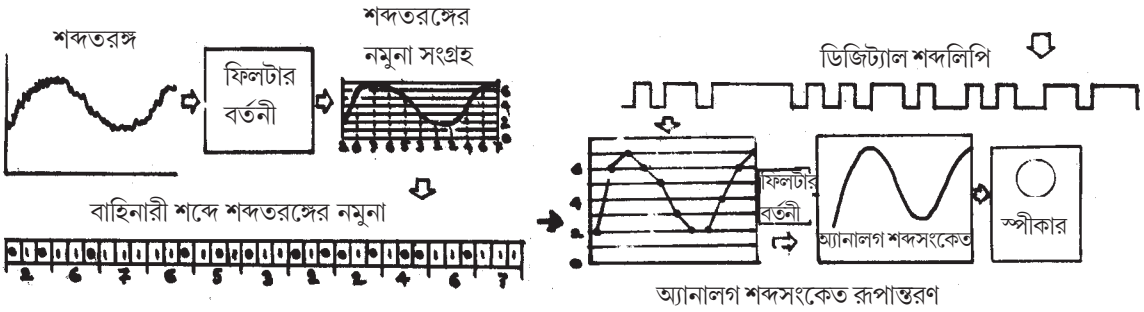
অভিলেখনের সময় লেজার রশ্মিটি শব্দসংকেত অনুযায়ী অ্যালুমিনিয়ামের উপর গর্তগুলি খোদিত করে। পুনর্জননের সময় অপেক্ষাকৃত কম শক্তির লেজার রশ্মি অ্যালুমিনিয়াম স্তরের উপর পড়ে এবং প্রতিফলিত রশ্মিটি আলোকসংবেদী অর্ধপরিবাহীর সাহায্যে গৃহীত হয়। প্রতিফলিত রশ্মির তীব্রতার হ্রাস বৃদ্ধিকে শব্দসংকেতে রূপান্তরিত করা হয়। 13.10 চিত্র থেকে বিষয়টি আপনার কাছে পরিষ্কার হবে।

গ্র্যামাফোন রেকর্ড থেকে কমপ্যাক্ট ডিস্কে শব্দ অভিলেখনের মূল পার্থক্য হল এই যে, গ্রামাফোন রেকর্ডে শব্দ সংরক্ষিত থাকে অ্যানালগ পদ্ধতিতে কিন্তু কমপ্যাক্ট ডিস্কে শব্দের অভিলেখন হয় ডিজিট্যাল পদ্ধতিতে। শব্দ সংরক্ষণের ডিজিট্যাল পদ্ধতি সম্বন্ধে আপনি নিশ্চয়ই কিছুটা জানতে চাইবেন।

ডিজিট্যাল সংরক্ষণ পদ্ধতি : সাধারণ গ্রামাফোন রেকর্ড বা চৌম্বক ফিতায় শব্দ অভিলেখনের সময় শব্দ তরঙ্গের একটি প্রতিরূপ অবিচ্ছিন্নভাবে লিপিবদ্ধ হয়। এই শব্দলিপি অভিলিখিত মূল শব্দকে যত অবিকলভাবে অনুসরণ করে, পুনর্জনিত শব্দ ততটাই মূল শব্দের অনুরূপ হয়। ডিজিট্যাল পদ্ধতিতে শব্দতরঙ্গকে অবিচ্ছিন্নভাবে অনুসরণ করা হয় না। বরং একটি নির্দিষ্ট সময় অন্তর শব্দতরঙ্গের অভিলেখনীয় রাশির নমুনা গ্রহণ করা হয় এবং সেটিকে বাইনারি সংখ্যায় রূপান্তরিত করা হয়। আপনি হয়ত জানেন যে, একটি বাইনারি অর্থাৎ দ্বি-ভিত্তিক সংখ্যা কতকগুলি 0 ও 1-এর সাহায্যে লেখা হয়। শব্দতরঙ্গের নমুনাগুলি অভিলেখন মাধ্যমে পরপর বাইনারি সংখ্যা হিসাবে লিপিবদ্ধ হয়। চৌম্বক ফিতায় চুম্বকনের তারতম্য এবং কমপ্যাক্ট ডিস্কে অ্যালুমিনিয়াম প্রতিফলক ও গর্তগুলির দ্বারা '0' ও '1' সংখ্যাগুলি নির্দেশ করে বাইনারি সংখ্যাগুলি অভিলিখিত হয়। চলচ্চিত্রের ফিল্মে স্বচ্ছ ও অস্বচ্ছ অংশগুলি বাইনারি সংখ্যা নির্দেশ করে। মাত্র চারটি বিট (bit = binary digit) দ্বারা গঠিত একটি ডিজিট্যাল শব্দের দ্বারা শূন্য (0000) থেকে পনের (1111)

পর্যন্ত মোট ষোলটি সংখ্যাকে নির্দেশ করা যায়। শব্দের ডিজিট্যাল অভিলেখনে 14টি বা 16টি বিট দ্বারা গঠিত শব্দ দিয়ে শব্দতরঙ্গের তাৎক্ষণিক মান বোঝানো হয়। আপনি সহজেই হিসাব করে দেখতে পারেন যে, 14 টি বিট ব্যবহার করে মোট 2^{14} বা 16384 টি এবং 16 টি বিট ব্যবহার করে মোট 2^{16} বা 65536 টি সংখ্যা বোঝানো যায়।

শব্দ অভিলেখনে সর্বনিম্ন ও সর্বোচ্চ যে তীব্রতাগুলি সংরক্ষিত হয়, তাদের পাল্লাটি অভিলেখনের উৎকর্ষের একটি সূচক। 16 টি বিটের শব্দ ব্যবহার করলে দুই তীব্রতার অনুপাত হয় $2^{16\times2} : 1$। কেননা তীব্রতা বিস্তারের বর্গের সমানুপাতী। ডেসিবেলের হিসাবে এর মান $10\log(2^{32})$ বা, $10 \times 32 \times \log2$ অর্থাৎ, $96dB$। এই মান যে কোনও অ্যানালগ অভিলেখন পদ্ধতির তীব্রতা ব্যাপ্তির (dynamic range) তুলনায় বড়, যার ফলে ডিজিট্যাল পদ্ধতিতে শব্দের বিকৃতি (distortion) অ্যানালগ পদ্ধতির তুলনায় অনেক কম হয়।



চিত্র : 13.11

13.11 চিত্র থেকে আপনি ডিজিট্যাল পদ্ধতির অভিলেখন ও পুনর্জনন ব্যবস্থাটি বুঝতে পারবেন। মাইক্রোফোন দ্বারা উৎপন্ন সংকেতকে বিবর্ধিত করে ইলেকট্রনিক ফিলটার বর্তনীর সাহায্যে 20,000Hz কম্পাঙ্কের উপরের উপাংশগুলি বাদ দেওয়া হয়। সংকেতটি এইবার ডিজিট্যাল সংকেতে রূপান্তরিত করা হয়। অর্থাৎ, শব্দটি এখন '0' ও '1' দিয়ে তৈরি বাইনারি শব্দের সংকেত রূপে বার হয়। এই সংকেতটিকে প্রয়োজন মত সংশোধন করে রেকর্ডিং হেডে পাঠানো হয়।

শব্দের পুনর্জননের জন্য প্লে-ব্যাক হেড থেকে বাইনারি সংকেতটি প্রথমে একটি মেমরিতে (memory) জমা হয় এবং একটি ঘড়ির সাহায্যে নির্দিষ্ট সময় অন্তর ভুল সংশোধন প্রক্রিয়ার মাধ্যমে ডিজিট্যাল থেকে অ্যানালগ সংকেতে রূপান্তরণ ব্যবস্থায় পাঠানো হয়। এই ব্যবস্থা থেকে উৎপন্ন অ্যানালগ সংকেত পুনরায় 20,000Hz-এর উপরের কম্পাঙ্ক বর্জন করার ফিলটার এবং ক্ষমতা বিবর্ধকে (power amplifier) যায় ও অবশেষে লাউডস্পিকারে শব্দের পনির্জনন ঘটায়।

ডিজিট্যাল পদ্ধতিতে শব্দ অভিলেখন ও পুনর্জননের যে ব্যবস্থার কথা আপনি পড়লেন, এটি চৌম্বক ফিতা এবং কমপ্যাক্ট ডিস্ক—উভয় মাধ্যমের ক্ষেত্রেই প্রযোজ্য। চলচ্চিত্রের ফিল্মে শব্দ অভিলেখনেও এই পদ্ধতি

ব্যবহৃত হচ্ছে এবং এই পাঠ্যবস্তু রচনার সময়ে এটিই সর্বাধিক প্রচলিত পদ্ধতি। আধুনিক 12 cm ব্যাসের কমপ্যাক্ট ডিস্কে 44.1 কিলোহার্ৎস্ হারে (অর্থাৎ সেকেন্ডে 44100 টি) গৃহীত শব্দের নমুনা 16 বিট শব্দের আকারে অভিলিখিত হয়। এগুলির তীব্রতা-ব্যাপ্তি অন্তত 90dB, শব্দবিকৃতি 0·004 শতাংশের কম এবং 5Hz থেকে 20,000Hz কম্পাঙ্কের মধ্যে শব্দোৎপাদনের সাড়ায় (frequency response) 0·5 ডেসিবেলের বেশি হেরফের হয় না। এই সুবিধাগুলির জন্যই শব্দের অভিলেখন ও পুনর্জননে ডিজিট্যাল প্রযুক্তি একটি স্থায়ী জায়গা করে নিতে পেরেছে।

চলচ্চিত্রের ফিল্মে ও কমপ্যাক্ট ডিস্কে শব্দ অভিলেখন ও সেগুলি থেকে শব্দ পুনর্জননের বিষয়ে যা পড়লেন এবার তার উপর একটি অনুশীলনীর উত্তর দিন।

অনুশীলনী 3 :

(i) পরিবর্তী ঘনত্ব অভিলেখনে ব্যবহৃত রেখাছিদ্রটি অত্যন্ত সুক্ষ্ম হয়। এর কারণ কী?

(ii) পরিবর্তী প্রস্থ অভিলেখনে পাশাপাশি দুইটি শব্দলিপি অভিলিখিত হয়। এর সুবিধা কী?

(iii) শব্দের ডিজিট্যাল অভিলেখনে 14 বা 16 বিটের সংখ্যা ব্যবহার না করে আরও কম সংখ্যক বিটের সংখ্যা ব্যবহার করলে কী অসুবিধা হত?

(iv) আলোকীয় ডিস্কের পাঠোদ্ধারে অতি সূক্ষ্ম লেজার রশ্মির প্রয়োজন হয় কেন?

13.6 অনুষঙ্গিক যন্ত্রাবলী

এ পর্যন্ত আপনি এই এককের যতটা পড়েছেন তাতে দেখেছেন যে, শব্দ অভিলেখন বা পুনর্জননের যে কোনও উন্নত পদ্ধতিতে শব্দকে প্রথমেই বৈদ্যুতিক সংকেতে রূপান্তরিত করা হয় এবং বিবর্ধন ও অন্যান্য প্রক্রিয়ার পর সংকেতটিকে অভিলেখন ব্যবস্থায় পাঠানো হয়। তড়িৎচুম্বকীয় তরঙ্গের মাধ্যমে সম্প্রচারের জন্যও শব্দ সংকেতকে বৈদ্যুতিক সংকেতে রূপান্তরিত করা প্রয়োজন। যে যন্ত্র এই রূপান্তরণ ঘটায়, সেটি হল মাইক্রোফোন (microphone)। আবার বৈদ্যুতিক সংকেতকে পুনরায় শব্দসংকেতে রূপান্তরিত করতে যে যন্ত্রটি ব্যবহৃত হয়, সেটি হল লাউডস্পিকার। মাইক্রোফোন ও লাউডস্পিকার—উভয় যন্ত্রই কোন এক মাধ্যমের এক জাতীয় তরঙ্গ থেকে অন্য মাধ্যমে ভিন্ন জাতীয় তরঙ্গ উৎপন্ন করে। এ জাতীয় যন্ত্রকে ট্রন্সডিউসার (transducer) বলা হয়। এই অংশ থেকে আপনি এই দুই যন্ত্রের গঠন ও কার্যপ্রণালী সম্পর্কে কিছুটা ধারণা পেতে পারবেন। প্রথমে আমরা মাইক্রোফোন সম্বন্ধে আলোচনা কর।